

Livrable 7 – Rapport final du projet

Restauration du Lac Waterloo par aires de biorétention



Source : ABVLW

Date de remise : 15 décembre 2017

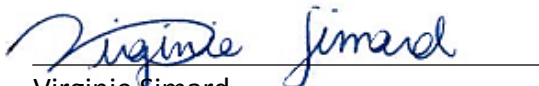
Présenté à : Pr Bertrand Côté, ing., et Stéphanie Perret, ing., Ph.D.

Dans le cadre du cours : GCI900-905-906 – Projet de conception en génie civil

Membres de l'équipe *InnoVert Design* (Équipe 10) :



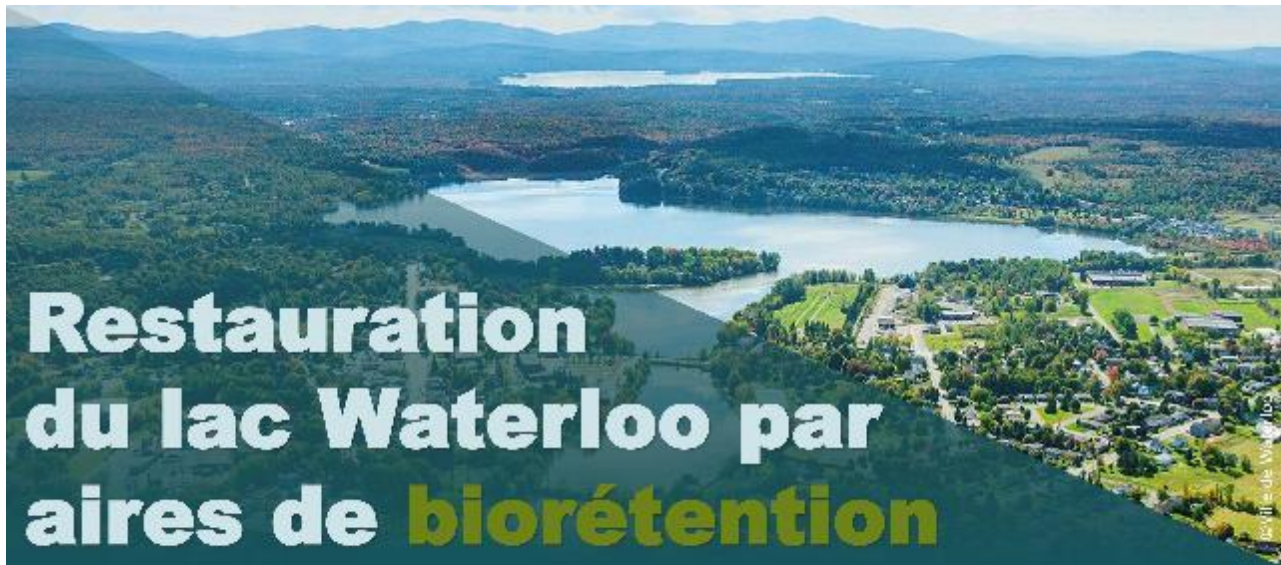
Alice Boisvert-Chapdelaine



Virginie Simard



Justine Sirois



MANDAT

- > Réduire l'impact du ruissellement urbain sur l'eutrophisation du lac Waterloo
- > Analyser et concevoir des aires de biorétention (ADB) normalisées
- > Comparer des solutions d'aires de biorétention applicables à trois sites différents
 - > Unifamiliale
 - > Multilogement
 - > Bordure de route



SOLUTION RETENUE : UNIFAMILIALE

- > Surface de drainage pour le projet pilote : 2 500 m²
- > 23% de surface imperméable pour un terrain type
- > Sol avec roc à plus de 1 m de profondeur
- > Surface de l'ADB : minimum de 5% de la surface totale du terrain



Avant

Après



LOCALISATION VILLE DE WATERLOO

PARTICULARITÉS ET DÉFIS

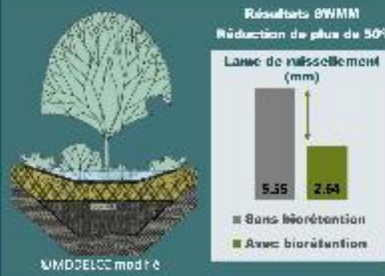
- > Conception d'une méthodologie pour solution normalisée (projet pilote)
- > Critères esthétiques importants
- > Efficacité sur la réduction du ruissellement
- > Considération des changements climatiques
- > Conception à partir de peu de données réelles
- > Gestion du phosphore

ANALYSES

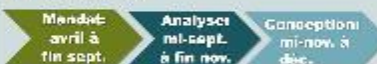
- Hydraulique | Hydrologique
- Géotechnique | Éléments techniques
- Impacts sociaux | Fonctionnelle
- Cycle de vie simplifiée | Entretien
- Environnementale | Impacte des saisons
- Risques préliminaires | Économique

CONCEPTION

- Modélisation hydraulique avec SWMM
- Normalisation des ADB
- Évaluation de l'impact sur le lac Waterloo
- Estimation des coûts des travaux de génie civil
- Plans et devis pour commentaires



ÉCHÉANCIER



ESTIMATION DES COÛTS



CLIENT



REPRÉSENTANT DU CLIENT :

Marc-Antoine Bazinet,
Administrateur de PARVLW
info@abvhw.ca

ÉQUIPE DE PROJET



CHARGÉE DE PROJET
Alice Boisvert-Chapdelaine

ÉQUIPE TECHNIQUE
Virginie Simard
Justine Giroux

COACH

Robert Leconte, Ing., Ph.D.

FICHE DE PROJET | ÉQUIPE 10 | 2017-11-28

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Afin de réduire les apports externes en phosphore du lac Waterloo, l'équipe *InnoVert Design* a été mandatée par les Ami(e)s du bassin versant du lac Waterloo (ABVLW) pour l'analyse et la conception d'aires de biorétention. Ces aires de biorétention visent la réduction du ruissellement urbain qui contribue à la moitié des apports externes en phosphore.

InnoVert Design recommande à l'ABVLW la solution unifamiliale. Cette solution vise la conception normalisée d'une aire de biorétention adaptée au terrain varié d'une habitation unifamiliale. La normalisation de l'ADB unifamiliale permettra au projet pilote d'être facilement dupliqué sur le bassin versant du lac Waterloo qui présente un haut pourcentage de résidence de ce type sur son territoire. La solution unifamiliale permet la réalisation du projet pilote dans de courts délais. Elle est également la solution jugée la plus engageante pour les citoyens puisqu'ils agiront comme participants durant tout le processus de conception et d'implantation.

Les travaux de génie civil pour cette solution sont estimés à 3 410 \$/unité d'ADB. Il est à noter que cette estimation est préliminaire et qu'une estimation détaillée sera présentée au prochain livrable.

De plus, l'équipe *InnoVert design* souhaite souligner les particularités et défis de ce projet qui contribuent à son unicité et à son originalité. Tout d'abord, le projet d'implantation d'aires de biorétention nécessite une acceptation, mais également un engagement social très élevé. La duplication du projet pilote et la maximisation des impacts environnementaux en dépendent. De plus, la création d'une méthodologie de conception afin de normaliser la solution consiste en un défi particulier qui permettra d'augmenter l'expertise citoyenne et leur pouvoir d'actions dans ce grand et beau projet de réhabilitation du lac Waterloo. Finalement, les impacts causés par les changements climatiques, les changements des saisons, la présence de roc affleurant et le peu de données empiriques disponibles sont d'autres défis auxquels l'équipe *InnoVert Design* a dû faire face pour répondre aux besoins de l'ABVLW.

REMERCIEMENTS

L'équipe *InnoVert Design* souhaite remercier les acteurs importants au cœur de la conception d'aires de biorétention en vue de la restauration du lac Waterloo. Tout d'abord, merci aux Ami(e)s du bassin versant du lac Waterloo (ABVLW) de nous avoir donné beaucoup de motivation par leur enthousiasme pour le projet et par leur cœur actif pour l'environnement et la survie du lac Waterloo. Merci à Richard Morasse qui a été le représentant de notre client pour cette première partie du projet et à Marc-Antoine Bazinet qui prendra sa place pour la suite.

InnoVert Design remercie également la ville de Waterloo pour les données remises, le professeur Hubert Cabana, ing. jr, Ph. D. pour son aide en environnement, le professeur Alexandre Cabral pour ses conseils de géotechnique, ainsi que le professeur Sébastien Roy au département de biologie pour la discussion concernant le choix des végétaux ayant des propriétés accrues en matière d'absorption de phosphore. Également, la candidate à la maîtrise Caroline Brodeur-Doucet de l'Université Laval pour le partage de références et ses conseils. Son mémoire sera publié en 2018 et son titre est :

Évaluation de la performance de pratiques de gestion optimales installées en série pour l'amélioration de la qualité des eaux de ruissellement. Cas d'étude : Marché publique de Longueuil.

Également, un remerciement particulier aux conférenciers Richard Frenette, ing., Ph.D, Mourad Ben Amor, ing. jr., Ph.D., Mathieu Nuth ing. jr, PhD qui ont outillé l'équipe pour les diverses analyses. *InnoVert Design* aimerait également remercier Bertrand Côté, ing., et Stéphanie Perret, ing., Ph.D. pour leur encadrement tout au long de la réalisation de ce projet et remercier chaleureusement Robert Leconte, ing., Ph.D. pour son rôle de coach et de conseiller. Merci pour la confiance dont il a fait preuve envers notre équipe.

Dans le cadre du cours GCI 900, les conseils des professeurs (enseignants, coaches, autres experts et représentants du client) sont donnés dans un contexte académique et n'engagent en rien leur responsabilité professionnelle d'ingénieur. De plus, l'équipe *InnoVert Design* est une équipe étudiante, les analyses et résultats tirés de ce projet sont produits pour commentaires seulement et ne peuvent être utilisés pour construction.

VERSION à faire signer POUR CHAQUE TRAVAIL

Déclaration d'intégrité relative au plagiat

Je certifie que

1. je suis l'auteure ou l'auteur

- du présent travail

ou

- de ma contribution au présent travail d'équipe ;

2. j'ai attribué et cité tout contenu emprunté selon les pratiques méthodologiques attendues.

Nom : Boisvert-Chapdelaine Prénom : Alice

Matricule : 12 101 209

Signature :  Date : 15/12/2017

Dans le cas où le texte de la déclaration est remis de manière électronique, l'adresse de courriel @usherbrooke.ca tient lieu de signature.

VERSION à faire signer POUR CHAQUE TRAVAIL

Déclaration d'intégrité relative au plagiat

Je certifie que


1. je suis l'auteure ou l'auteur

- du présent travail

ou

- de ma contribution au présent travail d'équipe ;

2. j'ai attribué et cité tout contenu emprunté selon les pratiques méthodologiques attendues.

Nom : Simard Prénom : Virginie
Matricule : 13 086 297
Signature :  Date : 15/12/2017

Dans le cas où le texte de la déclaration est remis de manière électronique, l'adresse de courriel @usherbrooke.ca tient lieu de signature.

VERSION à faire signer POUR CHAQUE TRAVAIL

Déclaration d'intégrité relative au plagiat

Je certifie que


1. je suis l'auteure ou l'auteur

- du présent travail

ou

- de ma contribution au présent travail d'équipe ;

2. j'ai attribué et cité tout contenu emprunté selon les pratiques méthodologiques attendues.

Nom : Sirois Prénom : Justine
Matricule : 13 034 931
Signature :  Date : 15/12/2017

Dans le cas où le texte de la déclaration est remis de manière électronique, l'adresse de courriel @usherbrooke.ca tient lieu de signature.

TABLE DES MATIÈRES

I.	Mandat	1
1.	Introduction.....	2
1.1	Présentation du projet réel	2
1.2	Présentation du volet académique	2
2.	Contextualisation	3
2.1	Nom et adresse du client et de son représentant.....	3
2.2	Problématique et contexte du projet.....	3
2.3	Besoins du client.....	4
2.4	Visite de terrain	4
2.5	Description du mandat.....	6
2.6	Liste des informations requises.....	7
2.7	Contenu d’intégration	7
2.8	Méthodologie	9
2.9	Organisation de l’équipe	15
2.10	Présentation du coach.....	16
II.	Analyse	17
3.	Élaboration des solutions	18
3.1	ADB unifamiliale en images.....	20
3.2	ADB multilogement en images.....	21
3.3	ADB en bordure de route en images	22
4.	Analyse hydrologique et hydraulique.....	23
4.1	Définition du contexte et des objectifs	23
4.2	Données et hypothèses	24
4.3	Résultats d’analyses	25
4.4	Pondération pour les changements climatiques.....	25
4.5	Étude hydrologique et hydraulique avec un dénominateur commun	25
4.6	Conclusions et recommandations	26
5.	Analyse géotechnique	27
5.1	Définition du contexte et des objectifs	27
5.2	Données et hypothèses	27
5.3	Couches de sols	27
5.4	Conclusions et recommandations	28
6.	Analyse environnementale.....	29
6.1	Définition du contexte et des objectifs	29
6.2	Contamination de l’eau pluviale.....	29
6.3	Différentes formes du phosphore et ses processus de rétention	30
6.4	Réalité du bassin versant du Lac Waterloo	32
6.5	Efficacité des ADB.....	33
6.6	Utilisation créative de la végétation.....	34
6.7	Conclusions et recommandations	35
7.	Analyse des éléments techniques des ADB	36
7.1	Définition du contexte et des objectifs	36
7.2	Différents concepts d’ADB	36
7.3	Zone de prétraitement	39
7.4	Couches de sols	41
7.5	Gestion de l’eau au sein des ADB	43

7.6	Utilité des géotextiles.....	45
7.7	Choix des végétaux.....	45
7.8	Conclusions et recommandations	47
8.	Analyse de l’impact des saisons	48
8.1	Définition du contexte et des objectifs	48
8.2	Pollution de la neige.....	48
8.3	Utilisation des sels et des produits déglacant	49
8.4	Efficacité en hiver des ADB.....	50
8.5	Éléments à considérer pour répondre aux conditions hivernales.....	50
8.6	Conclusions et recommandations	51
9.	Analyse de l’entretien requis.....	51
9.1	Définition du contexte et des objectifs	51
9.2	Tâches et fréquence d’entretien	52
9.3	Entretien lié au changement de saisons.....	54
9.4	Coûts liés à l’entretien.....	54
9.5	Gestion de l’entretien.....	55
9.6	Conclusions et recommandations	55
10.	Analyse des impacts sociaux et développement durable	56
10.1	Définition du contexte et des objectifs	56
10.2	Données et hypothèses	56
10.3	Place du projet par rapport aux objectifs existants	57
10.4	Engagement des citoyens et acceptabilité sociale	60
10.5	Conclusions et recommandations	61
11.	Analyse fonctionnelle	61
11.1	Définition du contexte et des objectifs	61
11.2	Interacteurs	62
11.3	Fonctions	62
11.4	Objectifs	63
11.5	Résultats de la pondération des fonctions	63
11.6	Matrices décisionnelles	64
11.7	Conclusions et recommandations	65
12.	Analyse de risques préliminaire	66
12.1	Définition des enjeux stratégiques.....	66
12.2	Porteurs d’enjeux	66
12.3	Seuils de tolérance	67
12.4	Sources de risques.....	67
12.5	Impacts des risques sur les enjeux	68
12.6	Atténuation des risques	69
12.7	Conclusions et recommandation.....	70
13.	Analyse économique préliminaire.....	70
13.1	Définition du contexte et des objectifs	70
13.2	Estimation préliminaire des coûts de travaux de génie civil	70
13.3	Conclusions et recommandations	71
14.	Analyse de cycle de vie simplifiée	72
14.1	Description du contexte et des objectifs.....	72
14.2	Inventaire	72
14.3	Champs d’études de l’ACV simplifiée	73
14.4	Évaluation des impacts des scénarios	74
14.5	Stratégies d’éco-conception du scénario sélectionné.....	75

14.6	Conclusions et recommandations	76
15.	Recommandation de la solution pour la phase conception	77
15.1	Sommaire des résultats	77
15.2	Pondération des analyses.....	77
15.3	Classement des solutions	78
15.4	Conclusions et recommandation générale d’une solution.....	78
III.	Conception	80
16.	Actualisation des besoins	81
17.	Résumé du projet	82
18.	Conception d’une méthode normalisée	84
18.1	Positionnement sur le terrain.....	84
18.2	Superficie de l’ADB	85
18.3	Configuration des ADB	86
18.4	Zones de prétraitement.....	89
18.5	Végétaux.....	90
18.6	Épaisseur des couches.....	90
18.7	Synthèse	100
	Positionnement sur le terrain	100
19.	Réduction du ruissellement.....	103
19.1	Évaluation d’un terrain-type	103
19.2	Simulations SWMM	103
19.3	Potentiel d’enlèvement du phosphore	105
20.	Plans et devis pour commentaires	107
21.	Estimation détaillée des coûts des travaux de génie civil	107
22.	Synthèse	108
IV.	Recommandations et conclusion	110
24.	Recommandations.....	111
24.1	Conception	111
24.2	Acceptabilité sociale	112
24.3	Construction	114
24.4	Exploitation	115
24.5	À long terme	117
25.	Projet d’appel d’offres.....	119
26.	Conclusion	120
27.	Bibliographie	122

LISTE DES ANNEXES

A.	Échéancier	126
B.	Compte rendu de visite complet	134
C.	Détails – Analyse hydrologique et hydraulique (séparé)	144
D.	Détails – Analyse hydrologique et hydraulique (Dénominateur commun).....	150
E.	Détails – Analyse géotechnique.....	156
F.	Détails – Analyse environnementale.....	162
G.	Détails – Analyse des éléments techniques des ADB	165
H.	Détails – Analyse de l’impact des saisons	175
I.	Détails – Analyse fonctionnelle	177
J.	Détails – Analyse économique préliminaire (Dénominateur commun et individuel)	189
K.	Détails – Analyse de cycle de vie simplifiée	191
L.	Pondération des analyses	202
M.	Végétaux.....	204
N.	Évaluation de la diminution du ruissellement.....	207
O.	Plans et devis pour commentaires.....	219
P.	Estimation détaillée de la solution conçue	222
Q.	Appel d’offres.....	223

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Provenance des apports externes en phosphore suite aux mises à jour de 2016 3

Figure 2 : Vue de la rue des Flandres vers la maison de M. Morasse (rouge) et ses voisins au nord..... 5

Figure 3 : Vue du stationnement adjacent à la rue Lewis O vers le condo en construction 6

Figure 4 : Diagramme du développement durable 9

Figure 5 : Étapes de fonctionnement du Phoslock..... 11

Figure 6 : Principe de surverse 12

Figure 7 : Coupe d’une aire de biorétention 18

Figure 8 : Exemple #1 d’aménagement d’ADB en devanture de maison 20

Figure 9 : Exemple #2 d’aménagement d’ADB en devanture de maison 20

Figure 10 : Exemple #1 d’aménagement d’ADB sur terrain de multilogement..... 21

Figure 11 : Exemple #2 d’aménagement d’ADB sur terrain de multilogement..... 21

Figure 12 : Exemple #1 d’aménagement d’ADB en bordure de route 22

Figure 13 : Exemple #2 d’aménagement d’ADB en bordure de route 22

Figure 14 : Exemple #3 d’aménagement d’ADB en bordure de route 23

Figure 15: Cycle du phosphore dans une typique ADB 31

Figure 16: Carte du bassin versant de La Haute-Yamaska 33

Figure 17 : Coupes types des différentes configurations d’ADB 38

Figure 18 : Tranchée de gravier bien lavé 41

Figure 19: Section type illustrant le raccordement d’un trop-plein 44

Figure 20: Section type d’une ADB..... 48

Figure 21 : Diagramme du développement durable 58

Figure 22 : Exemple de panneau explicatif 61

Figure 23 : Résumé des interacteurs..... 62

Figure 24 : Objectifs de l’analyse fonctionnelle 63

Figure 25 : Résultats de la matrice décisionnelle 64

Figure 26 : Résultats de la matrice décisionnelle 65

Figure 27 : Évaluation de la criticité des risques 68

Figure 28 : Résultats des trois solutions par rapport aux analyses effectuées 78

Figure 29 : Illustration de la solution recommandée 79

Figure 30 : Carte géologique Waterloo 82

Figure 31 : Abaissement de la bordure de route 83

Figure 32 : Exemple esthétique..... 83

Figure 33 : Exemple esthétique..... 83

Figure 34: Type de biorétention adaptée, 87

Figure 35: Aire d’emménagement de surface 88

Figure 36: Pente maximale de 2:1..... 88

Figure 37: Zone de prétraitement..... 89

Figure 38 : Les courbes granulométriques pour le sable et le sol de biorétention 93

Figure 39 : Données caractéristiques des différents types de sols 94

Figure 40 : Courbes granulométriques du sable, du sol de biorétention et le mélange en fonction des proportions.... 96

Figure 41 : Courbe granulométrique du gravier 1/8’’- 3/8’’ 97

Figure 42 : Courbe granulométrique du MG-20..... 98

Figure 43 : Exemple d’une ADB dans un secteur résidentiel..... 102

Figure 44 : Exemple d’une ADB dans un secteur résidentiel..... 102

Figure 45: Hauteur de la lame d’eau de ruissellement 104

Figure 46 : Diminution de la lame d’eau de ruissellement 105

Figure 47 : Affiche avec slogan percutant de Seattle 113

Figure 48 : Coupe typique du piézomètre..... 118

Figure 49 : Carte pédologique des dépôts meubles de la municipalité de Waterloo 156

Figure 50 : Légende 1 – carte pédologique 157

Figure 51 : Légende 2 – carte pédologique 157

Figure 52 : Carte des dépôts de surface et de leur profondeur pour la municipalité de Waterloo 158

Figure 53 : Légende – Carte des dépôts de surface et de leur profondeur pour la municipalité de Waterloo	158
Figure 54 : Description de la géologie générale de la région de Waterloo	159
Figure 55 : Hauteur du niveau de la nappe phréatique autour du lac Waterloo	160
Figure 56 : Valeur typique de la conductivité hydraulique des sols	161
Figure 57 : Matrice décisionnelle	187
Figure 58 : Matrice décisionnelle	187
Figure 59 : Résultats de la pondération des analyses (valeurs de K)	202
Figure 60 : Fleuraison selon les saisons	204
Figure 61 : Intensité de pluie - Station Granby	207
Figure 62 : Simulations 1 à 3 ruissellement	213
Figure 63 : Simulation 4 à 6 ruissellement	214
Figure 64 : Simulations 7 à 9 ruissellement	215
Figure 65 : Simulations 10 à 12 ruissellement	216
Figure 66 : Hauteur de la lame de ruissellement selon les 12 simulations SWMM effectuées	217
Figure 67 : Coefficient d'exportation de Phosphore (Smi, 2009)	218

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste d'informations.....	7
Tableau 2 : Grandes étapes de réalisation.....	15
Tableau 3 : Aperçu des solutions et de leurs spécificités.....	19
Tableau 4 : Données et hypothèses pour l'analyse hydrologique/hydraulique.....	24
Tableau 5 : Sommaire des résultats d'analyse.....	25
Tableau 6 : Pourcentage nécessaire d'ADB par rapport à la surface du terrain d'accueil.....	25
Tableau 7 : Sommaire des résultats d'analyse avec dénominateur commun.....	26
Tableau 8 : Données et hypothèses pour l'analyse géotechnique.....	27
Tableau 9 : Définition et caractérisation de 4 différents types d'ADB.....	37
Tableau 10: Tableau résumé des différents types et de leur applicabilité au projet.....	39
Tableau 11 : Données et hypothèses pour l'analyse des impacts sociaux et développement durable.....	57
Tableau 12 : Fonctions principales du projet.....	62
Tableau 13 : Description des porteurs d'enjeux du projet.....	66
Tableau 14 : Seuils de tolérance des porteurs d'enjeux du projet.....	67
Tableau 15 : Sources de risques et risques en découlant.....	67
Tableau 16 : Grille de gravité des enjeux.....	68
Tableau 17 : Tableau de criticité des risques.....	69
Tableau 18 : Superficie de rétention avec dénominateur commun.....	70
Tableau 19 : Coûts unitaires des éléments d'une ADB.....	71
Tableau 20 : Estimation préliminaire en fonction du dénominateur commun.....	71
Tableau 21 : Estimation préliminaire de chacune des solutions individuellement.....	71
Tableau 22 : Étapes du cycle de vie liées aux trois solutions.....	72
Tableau 23 : <i>Résultats obtenus en écopoints des trois solutions</i>	74
Tableau 24 : <i>Valeur équivalente des écopoints pour un mètre carré</i>	75
Tableau 25 : Valeur obtenue l'ADB avec la piste d'amélioration.....	76
Tableau 26 : Classement des solutions selon les analyses effectuées.....	77
Tableau 27 : Importance de chacune des analyses.....	77
Tableau 28: Validation de la conductivité hydraulique.....	92
Tableau 29: Pourcentages de la granulométrie.....	94
Tableau 30 : Pourcentages en fonction des proportions de sol.....	95
Tableau 31 : Diamètres pour les calculs de la loi des filtres.....	96
Tableau 32 : Diamètre des particules.....	97
Tableau 33 : Fuseau granulométrique.....	98
Tableau 34 : Diamètres des particules.....	99
Tableau 35: Loi des filtres pour sol en support à la végétation et le gravier 3,7 et 11,1mm (critère rétention).....	99
Tableau 36 : Loi des filtres pour le gravier 3,7 et 11,1mm et le MG-20 (critère rétention).....	99
Tableau 37 : Loi des filtres pour sol en support à la végétation et le gravier 3,7 et 11,1mm (critère rétention).....	100
Tableau 38 : Valeurs moyennes utilisées comme terrain type.....	103
Tableau 39 : Données pour simulation SWMM et résultats.....	104
Tableau 40 : Coefficient d'exportation du phosphore.....	106
Tableau 41 : Résumé des tâches d'entretien à réaliser mensuellement.....	116
Tableau 42 : Résumé des tâches d'entretien à réaliser annuellement.....	116
Tableau 43 : Listes des intérateurs.....	177
Tableau 44 : Arbre fonctionnel du stationnement multiétages.....	179
Tableau 45 : Tableau fonctionnel des aires de biorétention.....	181
Tableau 46 : Fonctions du projet d'ADB.....	182
Tableau 47 : Méthode du tri croisé.....	183
Tableau 48 : Méthode du tri croisé.....	184
Tableau 49 : Facteur de pondération.....	184
Tableau 50 : Facteur de pondération.....	185
Tableau 51 : Matrice décisionnelle.....	186
Tableau 52 : Matrice décisionnelle.....	186

Tableau 53 : Résultats de la pondération des analyses	203
Tableau 54 : Propriétés des végétaux pouvant être utilisés dans les ADB.....	205
Tableau 55 : Détails des 25 terrains évalués dans la zone à l'étude	208
Tableau 56 : Résultats du ruissellement des simulations SWMM.....	209
Tableau 57 : Propriétés SWMM	212

I. MANDAT

1. INTRODUCTION

1.1 Présentation du projet réel

Le projet de restauration du lac Waterloo par aires de biorétention s'inscrit dans la mission que s'est donné l'organisme Les Ami(e)s du Bassin Versant du Lac Waterloo (ABVLW) de réhabiliter la santé du lac et de valoriser son bassin versant. Effectivement, l'eau du lac Waterloo se détériore depuis quelques décennies, et l'ABVLW tente depuis 1984 de ralentir le vieillissement accéléré du lac ou l'augmentation de sa concentration en phosphore de différentes manières. Cet organisme à but non lucratif organise entre autres des activités de sensibilisation, des campagnes d'informations, des activités récréatives et des campagnes de végétalisation des berges et de distribution d'arbres. Il est important de mentionner que le lac Waterloo est la source d'approvisionnement en eau potable de 66 000 résidents de Granby et des 260 000 autres citoyens qui habitent sur le territoire du bassin versant de la rivière Yamaska.

Ainsi, le projet d'aires de biorétention (ADB) est une autre avenue proposée par l'ABVLW afin de réduire les apports en phosphore dans le lac qui contribuent au vieillissement accéléré de celui-ci. Pour que ce projet soit efficace et qu'il ait un réel impact sur la santé du lac, il faut implanter un nombre suffisant d'ADB, autant sur les terrains résidentiels que sur les terrains municipaux. La mobilisation citoyenne est donc un élément majeur à considérer dans le projet et plusieurs campagnes de sensibilisation et de vulgarisation techniques seront nécessaires afin que les citoyens puissent bien s'approprier le projet.

Plus de détails concernant la problématique et le contexte du projet, ainsi que les besoins du client se trouvent respectivement aux [chapitres 2.2 et 2.3](#).

1.2 Présentation du volet académique

Les étudiants finissants au baccalauréat en génie civil de l'Université de Sherbrooke doivent réaliser, dans le cadre du cours GCI900-905-905 – *Projet de conception en génie civil*, un projet intégrateur de différentes notions vues au courant de leurs études. Après avoir trouvé un client réel et défini un mandat, chaque équipe effectue l'analyse de différentes solutions possibles pour son projet. Ensuite, l'équipe recommande une solution au client et effectue la conception de la solution retenue. Une estimation des coûts des travaux de génie civil est aussi réalisée, et l'équipe émet des recommandations et des conclusions au client par rapport à l'avenir du projet.

Pour le projet de restauration du lac Waterloo par ADB, l'équipe étudiante *InnoVert Design* priorise une approche normalisée autant dans la phase d'analyse que de conception. Le but premier de cette décision est que le projet puisse être reproduit facilement par les citoyens dans l'ensemble de la municipalité de Waterloo.

2. CONTEXTUALISATION

2.1 Nom et adresse du client et de son représentant

Voici, ci-dessous, les coordonnées du client pour le projet de restauration du lac Waterloo par aires de biorétention (ADB) ainsi que celles du représentant:

Les Ami(e) S du bassin versant du lac Waterloo
 C.P. 756, 5380-2 rue Foster,
 Waterloo (QC) J0E 2N0
 info@abvlw.ca

Représentant
 Marc-Antoine Bazinet,
 Membre exécutif
 (450) 204-1665

2.2 Problématique et contexte du projet

Plusieurs lacs du Québec sont touchés par un problème d'eutrophisation prématurée. L'eutrophisation naturelle est causée par un apport en éléments nutritifs, notamment le phosphore, provenant d'un milieu naturel vierge. Le problème d'eutrophisation prématurée d'un lac survient lorsque cet apport en éléments nutritifs est accéléré entre autres par l'activité humaine qui modifie le milieu naturel. Cela peut amener de nombreux désavantages, dont la prolifération des cyanobactéries, la dégradation de la qualité de l'eau, la diminution de la diversité aquatique et la perte des avantages récréatifs et économiques (GRIL, 2009). Le lac Waterloo, situé dans les Cantons-de-l'Est au Québec, fait partie de ces lacs touchés par ce problème. Il s'agit d'un lac de tête en amont de la rivière Yamaska. Sa superficie est de 1,36 km² et sa profondeur moyenne est de 2,8 m. Les Amis du Bassin Versant du Lac Waterloo (ABVLW) font, depuis plus de 20 ans, des études pour caractériser le lac et ses apports en phosphore. L'ABVLW a comme objectif de mieux les contrôler et de ramener le lac à une concentration en phosphore acceptable afin d'améliorer son statut écologique.

Les dernières études menées par l'ABVLW ont montré que plus de 50% (voir figure 1) des apports externes en phosphore proviennent des surfaces urbaines notamment par les eaux de ruissellement qui atteignent rapidement le lac Waterloo.

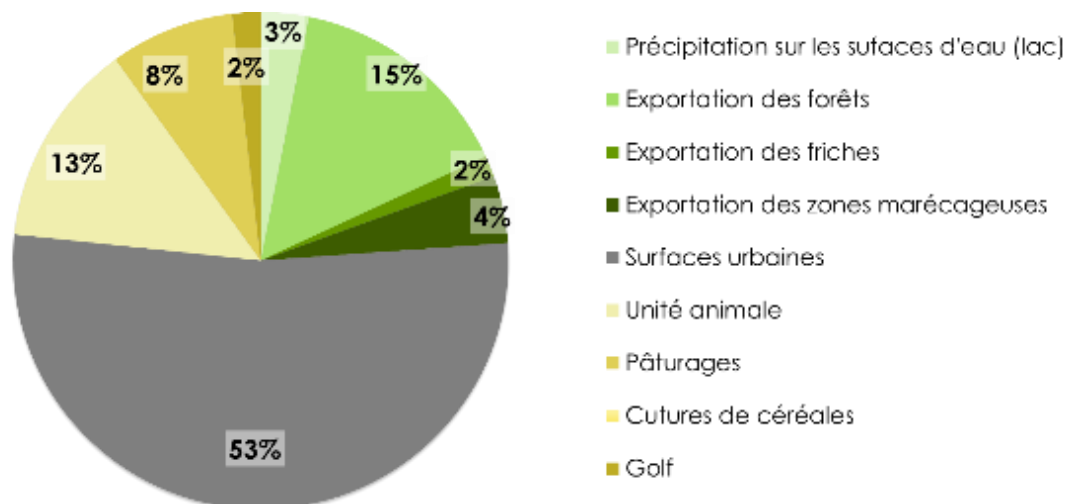


Figure 1 : Provenance des apports externes en phosphore suite aux mises à jour de 2016
 (Source : ABVLW)

2.3 Besoins du client

Ainsi, l'ABVLW a pour objectif de réduire les apports en phosphore du lac Waterloo en minimisant les eaux de ruissellement en provenance de surfaces urbaines. Pour ce faire, l'ABVLW entreprend des démarches d'implantation d'aires de biorétention. Présentement, l'ABVLW travaille conjointement avec Les Entreprises Lachance sur l'élaboration de telles aires sur cinq terrains ciblés en bordure du lac Waterloo. Ce projet servira d'ouverture pour promouvoir l'établissement d'un plus vaste réseau d'ADB dans le bassin versant du lac Waterloo.

L'ABVLW a donc besoin d'obtenir la conception d'un tel réseau qui permettra de réduire considérablement les apports externes en phosphore. Deux types d'aires de biorétention seront étudiés : le premier étant lié aux infrastructures municipales (routes, parc, stationnement à grande surface) et le deuxième étant lié aux secteurs résidentiels.

Pour ce qui est du premier type, le client a besoin de connaître les lieux stratégiques pour l'implantation afin de produire une diminution du ruissellement urbain. L'ABVLW a besoin de plans et devis qui permettront l'ajout de ces aires de biorétention aux infrastructures visées afin que, lorsque leur reconstruction/restauration sera nécessaire, elles puissent être incluses dès la planification. Également, afin de faciliter l'acceptation sociale du projet, les aires de biorétention devront s'inclure harmonieusement à l'urbanisme de la municipalité de Waterloo.

Pour le deuxième, l'ABVLW souhaite des conceptions types qui pourront s'adapter à plusieurs terrains résidentiels. Ces conceptions types se diviseraient en deux catégories : ADB pour une résidence unifamiliale et ADB pour un multilogement. Ces aires de biorétention pourront varier selon différents critères tels que la superficie imperméable du terrain, la proximité avec le lac Waterloo, la quantité d'eau de ruissellement reçue, etc. Ces conceptions devront pouvoir s'intégrer à un projet futur de l'ABVLW qui visera à encourager les citoyens à modifier leur propre terrain en vue de limiter le ruissellement des eaux de pluie. Ce type d'aires de biorétention devra également être esthétique.

2.4 Visite de terrain

Une visite de terrain a été effectuée le 8 août 2017 de 17h30 à 19h30. L'équipe composée d'Alice Boisvert-Chapdelaine, de Virginie Simard et de Justine Sirois était accompagnée du représentant initial du client, M. Richard Morasse.

La visite a débuté à la résidence de M. Morasse. Celui-ci a proposé à l'équipe son terrain, ainsi que ceux de ses deux voisins à l'ouest, pour réaliser l'analyse et la conception type des aires de biorétention résidentielles. Ces terrains sont situés au bas d'une pente, dans une courbe de la rue et ils sont en bordure du lac Waterloo (voir figure 2). Les propriétaires remarquent la présence de ruissellements importants lors de fortes précipitations et au printemps causant de l'érosion. Ainsi, ces terrains seraient idéaux pour l'équipe *InnoVert Design* afin de réaliser l'analyse de faisabilité et la conception de son projet d'aires de biorétention, pour une résidence unifamiliale. De plus, il y a un intérêt de la part des 3 propriétaires de réaliser un projet commun si les résultats de l'équipe sont concluants.



Figure 2 : Vue de la rue des Flandres vers la maison de M. Morasse (rouge) et ses voisins au nord
(Source: InnoVert Design, 8 août 2017, 18h00)

M. Morasse a montré à l'équipe les endroits plus critiques lors de fort ruissellement, les types de végétation en place, le type de sol, l'emplacement des puisards, les éléments déjà en place pour tenter de ralentir le ruissellement et la bande riveraine. Les détails complets sont en pièce jointe de ce rapport à l'[annexe B](#).

Ensuite, l'équipe et le client sont allés visiter la plage du Domaine Chambourg-sur-le-lac. Celle-ci est voisine d'un terrain vacant qui appartient aux résidents du Domaine et de 4 terrains qui appartiennent aux Entreprises Lachance. Les futurs projets de construction sur les 4 terrains résidentiels appartenant à Lachance génèreront du ruissellement supplémentaire et une aire de biorétention est prévue sur le terrain vacant adjacent. Le projet sera dirigé directement par Lachance, donc l'équipe *InnoVert Design* ne s'attardera pas à cet emplacement.

L'équipe et le représentant initial du client se sont ensuite dirigés vers le terrain du multilogement, soit un terrain qui accueillera bientôt un condo de 6 unités (voir figure 3). Le terrain était relativement plat, mais deux pentes importantes bordent ce dernier. De plus, le roc était présent en surface à plusieurs endroits sur le site.

Finalement, l'équipe a ciblé les grandes rues de la municipalité où le ruissellement est plus important et où il y aurait suffisamment d'espace pour installer des aires de biorétention urbaines. Un repérage visuel a été effectué. De plus amples mesures seront prises dans le cas où cette solution serait retenue.



Figure 3 : Vue du stationnement adjacent à la rue Lewis O vers le condo en construction
(Source: InnoVert Design, 8 août 2017, 18h45)

2.5 Description du mandat

Le mandat consiste à effectuer une analyse et une conception type d'aires de biorétention afin que celles-ci puissent être implantées sur les terrains résidentiels et municipaux de la ville de Waterloo. Ces aires, qui aident à réduire les effets néfastes du ruissellement, permettraient un apport en phosphore plus lent et de plus petite quantité dans le lac Waterloo.

Le mandat a débuté par une analyse préliminaire des besoins du client et par une revue de la littérature disponible sur les aires de biorétention. Actuellement, l'équipe a choisi des solutions à analyser parmi toutes celles proposées en début de mandat. Ces solutions sont présentées au [chapitre 3](#) du présent rapport. Elles seront analysées en fonction de leurs impacts environnemental, social et économique afin de favoriser le développement durable du projet. Un tri croisé sera réalisé afin de départager les diverses solutions et de sélectionner la plus appropriée et la plus favorable aux besoins du client.

Par la suite, la conception de cette solution sera effectuée. Des simulations hydrologiques et hydrauliques seront effectuées afin de concevoir avec précision les aires de biorétention nécessaires. L'analyse de l'effet de la solution sur le lac Waterloo sera également effectuée, ainsi que l'analyse du cycle de vie du projet. Une version révisée des plans du projet sera soumise pour commentaires afin de finalement réaliser l'estimation des coûts des travaux de génie civil liés à cette solution. Le mandat proposé est sujet à changement selon les commentaires et discussions avec le client.

2.6 Liste des informations requises

Voici un tableau qui présente les informations nécessaires à l’analyse et la conception du projet d’aires de biorétention. Le haut du tableau présente les informations qui restent à recueillir dans les plus brefs délais. Le bas du tableau présente les informations que l’équipe a déjà en sa possession.

Tableau 1 : Liste d’informations

Informations recueillies	État	Commentaires
Étude topo/géomatique	Reçu	Visite de terrain + cartotheque
Étude géotechnique	Reçu	Données de IRDA et SIGÉOM
Étude Lac Waterloo	Reçu	Fournies par le client
Étude hydrologique	Reçu	n.d.
Normes municipales	Reçu	Fournies par client
Normes environnementales	Reçu	Fournies par client/MDDELCC
Normes routières	Reçu	Fournies par client/MTQ
Plans d'urbanisme	Reçu	Suivi important avec le client
Fiches techniques - drains	Reçu	Client / Fabricant
Fiches techniques - géotextiles	Reçu	Client / Fabricant
Fiches de propriétés - plantes	Reçu	Fac. de biologie

2.7 Contenu d’intégration

2.7.1 Différentes spécialités du génie civil

L’hydrologie, l’hydraulique et l’environnement seront les spécialités du génie civil maitresses de ce projet. Effectivement, la conception d’aires de biorétention nécessite la caractérisation et la compréhension de la dynamique de l’eau présente sur le bassin versant du lac Waterloo. L’écoulement des eaux de ruissellement, l’abondance des pluies, leur intensité et le réseau d’égout pluvial seront principalement à l’étude. Également, les objectifs de restauration du lac Waterloo par l’ABVLW montrent l’importance de l’impact environnemental de ce projet. La prise en compte des mécanismes de transport du phosphore permettra de dimensionner les aires de biorétention adéquatement afin d’atteindre les objectifs de diminution des apports en phosphore tout en respectant les normes environnementales.

Une autre spécialité du génie civil très présente dans ce projet sera la géotechnique. Les aires de biorétention sont composées de couches de sol filtrantes qui permettent la rétention de l’eau et le drainage du sol. L’étude des matériaux utilisés sera essentielle afin d’obtenir une rétention adéquate tout en assurant le bon fonctionnement et la durabilité des aires de biorétention dans les conditions hivernales.

2.7.2 Lien du projet avec les apprentissages et les expériences professionnelles

D’abord, les notions vues dans le cours *Hydrologie appliquée* (GCI-420) seront essentielles afin de déterminer les données préalables pour la conception (ruissellement, précipitations,

comportements des bassins versants, crues saisonnières). Les quantités d'eau en jeu serviront à l'analyse hydraulique et au dimensionnement des jardins. Ayant participé à l'analyse des sources d'apports en phosphore du lac Waterloo lors de son stage avec l'ABVLW, Alice Boisvert sera en mesure de bien interpréter les données de départ.

Par la suite, le cours *Génie de l'environnement* (GCI-515) sera très utile pour l'aspect de diminution des apports en phosphore du projet. Les notions liées aux caractéristiques des contaminants, à la propagation de ceux-ci et aux critères de qualité de l'environnement seront indispensables. De plus, les connaissances qu'a acquises Virginie Simard lors de son 4^e stage par rapport aux bandes de végétation filtrante pour la gestion de résidus de lait seront un atout.

Les notions des cours de *Mécanique des sols I et II* (GCI-310 et GCI-315) permettront à l'équipe de mieux comprendre le comportement des sols, peu importe leurs propriétés (granulaires ou cohérents). Les aspects importants à considérer lors de la conception seront leur composition et l'écoulement de l'eau dans ceux-ci. L'expérience de Justine Sirois dans les laboratoires de géotechnique de la Faculté de génie permettra une meilleure compréhension des phénomènes sur le terrain.

Aussi, les étapes et les stratégies vues dans le cours *d'Estimation* (GCI-620) seront nécessaires afin d'effectuer une estimation réaliste et complète du projet. Une estimation détaillée des solutions permettra au client de mieux cerner l'envergure du projet. Virginie Simard a réalisé son troisième stage chez Hydro-Québec en administration de contrat, alors elle est familière avec les taux sur l'équipement, les matériaux et la main d'œuvre.

Finalement, le cours *Processus de conception en génie civil* (GCI-600) a permis à l'équipe de se familiariser avec les différentes étapes afin de réaliser une conception, soit l'analyse des besoins, la formulation du problème, la conception de différentes solutions, le choix et la prise de décision. Dans le cadre de ce projet de fin de parcours, ces mêmes étapes seront réalisées, tout en y ajoutant celles du détail de conception et de l'estimation complète du projet.

2.7.3 Volets du développement durable

Comme le présente la figure 4, le développement durable est un amalgame entre le bien-être de la société, de l'économie et de l'environnement. Ces trois volets seront pris en compte lors de l'élaboration de ce projet. Tout d'abord, la *société* représente les besoins en matière de santé, d'éducation, d'habitat, d'emploi et de prévention. Les aires de biorétention participeront au processus de réhabilitation du lac Waterloo et de ce fait, permettront aux générations futures de profiter des avantages récréatifs et des emplois rattachés à la présence d'un lac sain, exempt des effets néfastes d'une eutrophisation prématurée causée par des interventions humaines. De plus, ce projet servira à promouvoir l'environnement auprès des citoyens de Waterloo.

Ensuite, la dimension *environnementale* fait référence à la capacité écologique de la planète. Les aires de biorétention permettront entre autres de réduire l'eutrophisation du lac et

l'exemple du lac Waterloo pourra être utilisé à plus grande échelle dans les différents lacs sujets au même problème d'eutrophisation.

Pour le volet de l'*économie*, il renvoie à l'aspect du développement, soit de créer des richesses et améliorer les conditions matérielles. Ce projet participera à la conservation de l'économie de la région liée au tourisme et à conserver la richesse foncière de la ville de Waterloo.

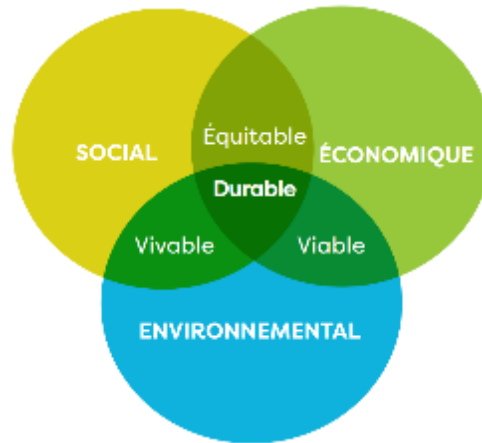


Figure 4 : Diagramme du développement durable
(Source : Ville de Waterloo)

2.8 Méthodologie

2.8.1 Expériences professionnelles des membres de l'équipe

Les expériences de stages d'Alice Boisvert, de Virginie Simard et de Justine Sirois sont décrites brièvement dans les lignes suivantes :

Alice Boisvert

- T1 - Inspectrice de ponceaux, Ministère des Transports du Québec, Sherbrooke
- T2 - Stagiaire en recherche, mécanique des roches et auscultation, UdeS
- T3 - Analyste pour la restauration du lac Waterloo/ solution dragage, L'ABVLW
- T4 - Stagiaire en ingénierie environnementale, LCL Environnement

Virginie Simard

- T1 - Inspectrice de ponceaux, Ministère des Transports du Québec, Sherbrooke
- T2 - Assistante d'adjoint-technique, construction ligne aérienne 315kV, H-Q, Romaine
- T3 - Assistante d'adjoint-admin. de contrat, construction de ligne souterraine, H-Q, Mtl
- T4 - Responsable technique, Canalisation de lait, GCIUS, Népal
- T5 - Stagiaire en recherche, géotechnique environnementale, UdeS

Justine Sirois

- T1 - Stagiaire en recherche, béton de verre ultra haute performance, UdeS
- T2 - Analyste pour les carrières/sablières, MDDELCC, Rimouski.
- T3 - Stagiaire en recherche, mécanique des sols et géotechnique, UdeS
- T4 - Trésorière et responsable technique, Canalisation de lait, GCIUS, Népal

2.8.2 Rôle des membres

Chargée de projet et responsable hydraulique/hydrologie: Alice Boisvert assura les communications avec les professeurs, le client ainsi que le coach. De plus, elle analysera les quantités d'eau qui entreront dans les jardins de pluie et s'assurera qu'elles soient redistribuées adéquatement.

Responsable environnement : Virginie Simard devra analyser le comportement des contaminants, plus précisément le phosphore, dans les jardins de pluies et les quantités rejetées dans le lac. Elle sera également en charge de la conception des bassins, du choix des végétaux et de l'analyse de l'écoulement souterrain des contaminants.

Responsable géotechnique et matériaux : Justine Sirois devra interpréter les analyses de sols et optimiser la conception des jardins en conséquence. Elle étudiera aussi la possibilité d'utiliser des géosynthétiques ou tout autre matériau innovateur.

2.8.3 Détail de l'analyse

Afin de répondre aux besoins de diminution des apports en phosphore du lac Waterloo, pour ainsi diminuer la vitesse d'eutrophisation du lac Waterloo, plusieurs solutions ont été brièvement analysées. Ces solutions sont présentées selon deux thèmes d'intervention, soit, la réduction des apports internes en phosphore et la réduction des apports externes en phosphore. Les trois solutions sélectionnées pour une analyse plus approfondie sont présentées à la fin de ce chapitre.

Intervention sur les apports internes

Une des causes de l'eutrophisation accélérée du lac Waterloo est la quantité importante de sédiments riches en phosphore situés au fond du lac. Bien que les apports internes aient été évalués comme moins importants que les apports externes, la diminution de ceux-ci permettrait une réduction du phosphore total disponible dans le lac et donc une réduction éventuelle de l'eutrophisation du lac. Ce chapitre présente cinq solutions sommairement décrites.

1. Dragage des sédiments par excavation

Le dragage des sédiments permettrait de réduire les apports internes en phosphore. Le dragage par excavation nécessiterait l'installation de batardeaux importants et aurait possiblement plusieurs impacts négatifs sur la faune et la flore du lac Waterloo. De plus, selon les calculs effectués par HESL (Hutchinson, 2016) les travaux généreraient la remise en suspension de sédiments et devraient s'étaler sur plus de cinq ans afin de réduire à un niveau acceptable la quantité de phosphore dissous dans l'eau. Également, la gestion des boues résiduelles à ce dragage serait également un important enjeu technique, environnemental et économique. Cette solution a été rejetée par *InnoVert Design* puisqu'elle ne s'inscrit pas dans une démarche de développement durable. Effectivement, la réduction des apports internes devrait être absolument combinée à une réduction des apports externes afin d'être durable. Selon les conditions actuelles du lac Waterloo, le dragage des sédiments comme

unique intervention serait une solution éphémère et nécessiterait des interventions récurrentes et des coûts très élevés.

2. Dragage des sédiments par pompage

Comme spécifié, dans la solution 1, le dragage des sédiments a été rejeté par l'équipe *InnoVert Design*. Toutefois, cette solution semble générer moins d'impacts sur la faune et la flore du lac Waterloo. Les problèmes de gestion des matières résiduelles restent les mêmes.

3. Traitement chimique au Phoslock

Le Phoslock est une argile composée de 95% de Bentonite et de 5% de Lanthane. Le Lanthane se lie au phosphore disponible dans l'eau le rendant en quelques heures non disponible aux algues présentes. Cette réduction de la disponibilité du phosphore permet une réduction de la prolifération des algues et une décélération du processus d'eutrophisation du lac Waterloo. La figure 5 présente le fonctionnement du Phoslock

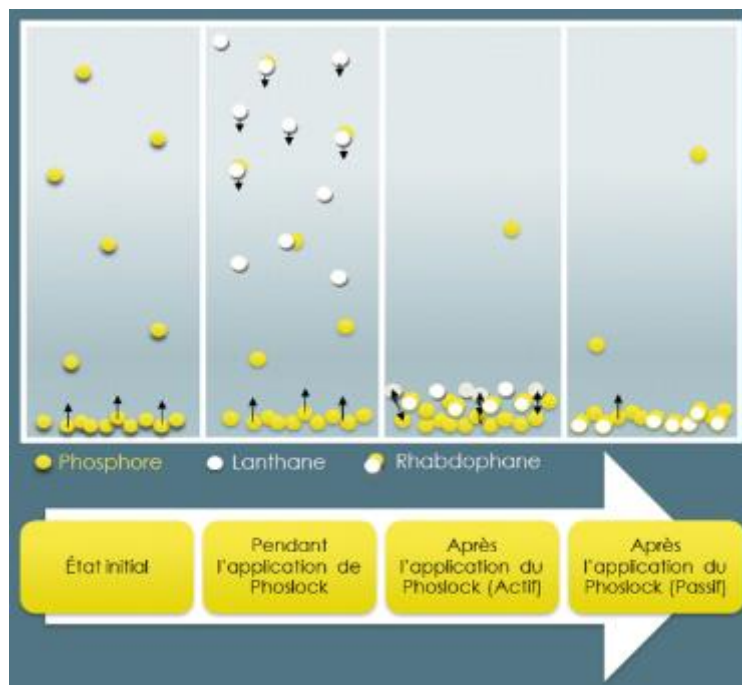


Figure 5 : Étapes de fonctionnement du Phoslock
(Source: Alice Boisvert-Chapdelaine)

Cette solution est grandement utilisée dans plusieurs pays d'Europe. Toutefois, l'application du Phoslock n'a jamais été réalisée sur un lac d'une superficie comparable à celle du lac Waterloo. La majorité des cas d'étude ont été réalisés sur des lacs possédant une superficie de trois à dix fois plus petite que celle du lac Waterloo. Cette solution a également été rejetée par l'équipe *InnoVert Design* vu le manque de cas comparables et le manque de données sur cette solution.

4. Aération

L'aération permet de diminuer la quantité de matières organiques présentes dans le lac en favorisant la décomposition aérobie de ces matières et permet de réduire le relargage interne de phosphore. L'aération permet ainsi la décélération de l'eutrophisation du lac. L'aération est une solution présente dans le lac Waterloo depuis plus de dix ans. Présentement, le taux d'aération du lac est trop faible pour engendrer un impact significatif sur le lac. Bien que, la conception de l'aération adéquate du lac serait une solution intéressante, l'équipe *InnoVert Design* écarte cette solution puisqu'elle est déjà entamée par le client.

5. Serre hydroponique

Comme discuté précédemment, l'eau du lac Waterloo est très riche en phosphore. Ce phosphore pourrait être réutilisé afin de fournir en nutriments une serre hydroponique dédiée à des projets collectifs et éducatifs. L'eau riche en phosphore pourrait être pompée et distribuée à l'intérieur de la serre. Le passage de l'eau riche en phosphore dans les caissons de végétaux permettrait une filtration de l'eau et une diminution de la quantité de phosphore avant d'être retournée au lac. Bien que cette solution soit intéressante sur le plan social, les impacts ont été estimés comme trop faibles pour répondre aux besoins de réduction de l'eutrophisation du lac demandés par le client. De ce fait, l'équipe *InnoVert Design* a écarté cette solution.

Intervention sur les apports externes

Une autre cause de l'eutrophisation accélérée du lac Waterloo est la quantité importante d'apports externes en phosphore provenant de l'ensemble des activités situées sur son bassin versant. Les apports externes ont été récemment évalués par l'ABVLW comme étant la principale source d'apport en phosphore au lac. De plus, les récentes analyses ont estimé que plus de 50 % de ces apports externes proviennent de surfaces urbaines. Les impacts du ruissellement urbain sont multiples. Tout d'abord, le réseau d'égout et le réseau pluvial de la ville de Waterloo comptent encore de nombreux tronçons où les deux réseaux se retrouvent combinés. Lors de fortes pluies ou d'épisodes de fonte des neiges, cette combinaison peut causer la surcharge de la station d'épuration et engendrer des épisodes de surverses. La figure 6 présente une explication visuelle des surverses. Lors des surverses, les eaux usées du réseau combiné sont directement rejetées au lac ce qui génère un important apport ponctuel en phosphore.

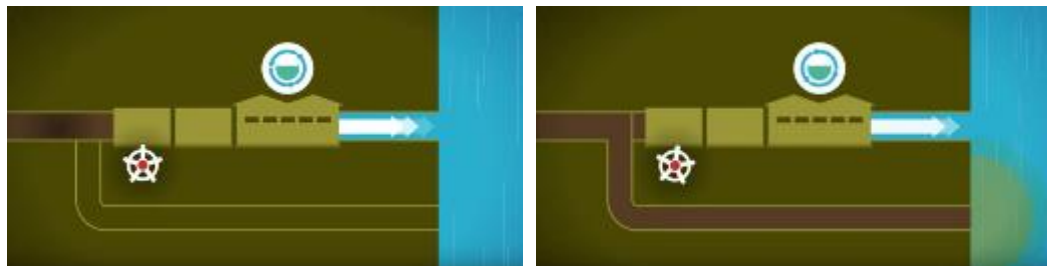


Figure 6 : Principe de surverse
(Source: La Yamaska : une rivière en situation d'urgence)

De plus, le ruissellement urbain augmente l'érosion en bordure du lac et la charge en sédiments des eaux de pluie rejetées au lac. Ces sédiments contiennent du phosphore qui contribue à l'eutrophisation du lac.

Ainsi, la diminution des apports externes et la diminution du ruissellement urbain pourraient grandement contribuer à la réduction éventuelle de l'eutrophisation du lac. Ce chapitre présente 5 solutions sommairement décrites.

6. Conscientisation des citoyens pour une réduction à la source

La réduction des apports externes peut être faite directement à la source en conscientisant les citoyens à développer des habitudes réduisant leur impact sur l'eutrophisation du lac. L'ABVLW œuvre déjà beaucoup dans ce domaine et plusieurs activités éducatives sont réalisées chaque année. De plus, cette solution ne s'inscrit pas dans le domaine de génie civil. Elle est donc écartée par l'équipe *InnoVert Design*.

7. Aires de biorétention en zone résidentielle unifamiliale

L'ajout d'aires de biorétention (jardins de pluie) peut diminuer le ruissellement urbain en offrant une zone tampon de rétention des eaux de pluie. Les aires de biorétention peuvent également jouer un rôle de rétention du phosphore selon le type de végétaux choisis. Comme discuté précédemment, lors de la visite, trois terrains résidentiels de type unifamilial ont été visités. Cette solution aurait pour objectif de générer un exemple d'ajout d'aires de biorétention sur des terrains déjà aménagés. Cet exemple pourrait s'inscrire dans un projet pilote afin de favoriser l'ajout d'aires de biorétention sur l'ensemble de la zone urbaine du bassin versant du lac Waterloo. Cette solution a été retenue pour l'analyse plus approfondie par l'équipe *InnoVert Design* puisqu'elle s'inscrit dans une optique de développement durable et qu'elle constitue un défi technique intéressant.

8. Aires de biorétention en zone résidentielle à multilogement

Cette solution est une variante de la solution 7. Suite à la visite terrain et à la rencontre du client, un condo de six unités a été ciblé afin d'implanter une aire de biorétention de superficie plus importante et sur un terrain présentement non aménagé. Cette solution a été également retenue pour l'analyse plus approfondie par l'équipe *InnoVert Design*.

9. Aires de biorétention en bordure de route

Cette solution est également une variante des solutions 7 et 8. Toutefois, cette solution vise l'implantation d'aires de biorétention en bordure de routes. Cette solution pourrait être incluse lors des projets de réfection des routes principales de la municipalité. Bien que cette réfection ne soit pas prévue pour un avenir rapproché, le client juge intéressant de fournir dès maintenant une conception d'aires de biorétention à la municipalité qui permettra une meilleure planification du plan de développement. Cette solution a été également retenue pour l'analyse plus approfondie par l'équipe *InnoVert Design* puisqu'elle constitue une variante technique quant à l'emplacement, quant aux normes et quant à la nature des sols.

10. Aires de biorétention à la plage du Domaine Chambourg-sur-le-lac

Cette solution est également une variante des solutions 7 à 9. La plage du Domaine Chambourg-sur-le-lac est un vaste terrain vacant qui servira de zone de rétention pour le drainage de terrains adjacents. L'aménagement d'aires de biorétention pour la gestion des eaux de drainage est prévu par le client. Toutefois, la conception est déjà entamée par les *Entreprises Lachance* et c'est pourquoi l'équipe *InnoVert Design* écarte cette solution.

Finalement, les trois solutions sélectionnées pour l'analyse plus approfondie sont les suivantes :

- 1. Aires de biorétention en zone résidentielle unifamiliale**
- 2. Aires de biorétention en zone résidentielle à multilogement**
- 3. Aires de biorétention en bordure de route**

2.8.4 Méthodologie d'analyse

Plusieurs analyses doivent être réalisées afin d'assurer la viabilité du projet, de trouver une solution optimale qui répondra aux besoins du client, et finalement, de recommander cette solution qui sera ensuite portée en conception. Les analyses suivantes seront effectuées :

- [Analyse hydrologique et hydraulique;](#)
- [Analyse géotechnique;](#)
- [Analyse environnementale;](#)
- [Analyse des éléments techniques des ADB;](#)
- [Analyse de l'impact des saisons;](#)
- [Analyse de l'entretien requis;](#)
- [Analyse des impacts sociaux et développement durable;](#)
- [Analyse fonctionnelle;](#)
- [Analyse de risques préliminaire;](#)
- [Analyse économique;](#)
- [Analyse de cycle de vie simplifiée.](#)

2.8.5 Aperçu de conception

Plusieurs aspects devront être pris en compte par l'équipe *Innovert Design* lors de la phase conception pour le projet de restauration du lac Waterloo par aires de biorétention. Voici une liste qui présente ces différents aspects :

- Charges hydrologiques/hydrauliques qui s'appliquent au bassin versant du Lac Waterloo;
- Capacité de rétention nécessaire par les aires;
- Choix des matériaux;
- Couches filtrantes de sol à implanter;
- Végétation adéquate à utiliser dans les aires de biorétention;
- Dimensions des drains sous les aires de biorétention;
- Estimation des impacts de diminution du ruissellement;
- Estimation des impacts environnementaux (phosphore) sur le lac Waterloo;
- Estimation du budget des travaux de génie civil;
- Conception de plans.

L'objectif de l'équipe *InnoVert Design* est de concevoir une solution type qui pourra s'adapter selon la superficie disponible pour l'implantation et selon l'importance du ruissellement sur le territoire. De plus, le côté esthétique sera un aspect sur lequel l'équipe se penchera davantage puisque l'acceptabilité sociale du projet est un critère nécessaire à la réalisation.

2.9 Organisation de l'équipe

L'équipe se rencontrera au minimum une fois par semaine afin d'assurer un bon avancement du projet et croit qu'au minimum une rencontre par mois avec le coach serait nécessaire. De plus, l'équipe reste en communication avec le client pour lui faire part de l'avancement du projet. Un calendrier des grandes étapes du projet se trouve ci-dessous. Le tableau des tâches et l'échéancier complet sont à l'[annexe A](#).

Tableau 2 : Grandes étapes de réalisation

Étapes de réalisation du projet	Dates approximatives
Définition du projet	Avril 2017
Visite du site et collecte d'informations	8 août 2017
Collecte d'informations	Juillet 2017 à octobre 2017
Analyse des 3 solutions retenues	Septembre 2017 à novembre 2017
Choix de la solution finale	Novembre 2017
Conception de la solution finale	Novembre 2017 à décembre 2017
Présentation finale de projet	Décembre 2017

2.10 Présentation du coach

Le coach de l'équipe *InnoVert Design*, le professeur titulaire Robert Leconte, ing. Ph.D., est un expert en hydrologie et en hydraulique urbaine. Il sera un mentor pour l'utilisation des logiciels de modélisation hydrologique comme SWMM, pour l'interprétation des divers hyétogrammes de précipitations et pour la gestion des ressources hydriques sur le territoire du bassin versant du Lac Waterloo.

II. ANALYSE

3. ÉLABORATION DES SOLUTIONS

Les trois solutions retenues pour la phase d'analyse sont celles présentées au [chapitre 2.8.3](#). Comme précédemment expliqué, l'approche retenue par l'équipe *InnoVert Design* pour réhabiliter le lac Waterloo, est une approche visant à réduire les apports en phosphore externes. Pour ce faire, une diminution de l'intensité du ruissellement urbain est visée afin de réduire l'érosion, la présence de phosphore dans l'eau de ruissellement et les épisodes de surverses qui se produisent lorsque le réseau combiné (sanitaire et pluvial) est surchargé. Selon les données les plus récentes, 154 épisodes de surverse se sont produits à Waterloo en 2014 et 42 en 2015. Ainsi, l'équipe *InnoVert Design* propose l'analyse de trois solutions d'aires de biorétention. À titre d'exemple, la figure 7 présente une coupe type d'une aire de biorétention.

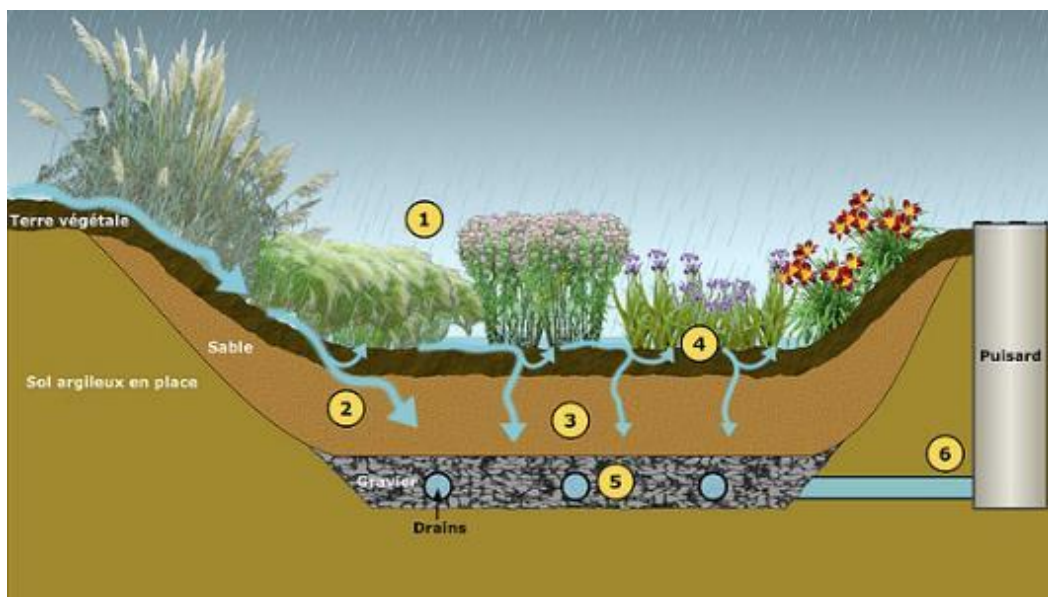





Figure 7 : Coupe d'une aire de biorétention
(Source : <http://static.wixstatic.com/media>)

Le tableau 3 présente un résumé des solutions et leurs spécificités. Une carte avec la localisation de chacun des sites d'analyse est présentée en [annexe B](#).

Tableau 3 : Aperçu des solutions et de leurs spécificités

Titre	Unifamiliale	Multilogement	Bordure de route
Description	ADB conçue pour s'adapter à un terrain typique d'une résidence unifamiliale.	ADB conçue pour s'adapter à un terrain typique d'un bâtiment multilogement.	ADB conçue pour être positionnée en bordure de route.
Photographie du terrain			
Localisation	97 Rue Des Flandres, Waterloo QC, Lot #4162900	110 Rue Lewis O, Waterloo Qc, Lot #4162997	Partie de la rue Foster Partie du Lot # 4162018
Superficie du lot (m²)	2 069,4	5 015,0	Analyse sur 30 m linéaire de route (570 m ²)
Propriétaire	Richard Morasse	WALTER VERHOEF INC.	Ville de Waterloo

Un grand point d'intérêt des solutions proposées sera leur conception normalisée. Considérant que l'efficacité des aires de biorétention à diminuer le ruissellement urbain et à diminuer le phosphore acheminé au lac est accrue par l'implantation d'un réseau de plusieurs aires de biorétention réparties sur le bassin versant, la conception normalisée permettra de dupliquer la conception à d'autres terrains. Cette particularité de conception est essentielle à l'atteinte des résultats souhaités. Ainsi, *InnoVert Design* concevra, en plus d'une solution adaptée aux contraintes spécifiques du terrain visé, une méthodologie de conception normalisée permettant de reproduire une conception appropriée à différents emplacements dans la ville de Waterloo.

3.1 ADB unifamiliale en images

Afin de donner un aperçu visuel des ADB, les trois prochains chapitres présentent plusieurs exemples d'ADB selon les différentes solutions proposées. Les figures 8 et 9 présentent des exemples d'ADB unifamiliales

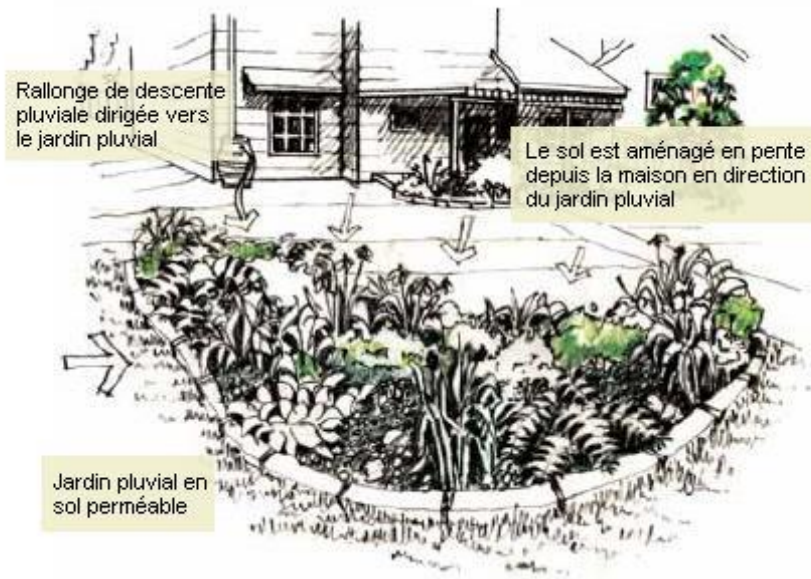


Figure 8 : Exemple #1 d'aménagement d'ADB en devanture de maison
(Source : <https://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/love/images/image1.jpg>)



Figure 9 : Exemple #2 d'aménagement d'ADB en devanture de maison
(Source : http://ottawa.ca/sites/default/files/eastern_raingarden_fr.jpg)

3.2 ADB multilogement en images

Ensuite, les figures 10 et 11 présentent des exemples d'ADB multilogement.



Figure 10 : Exemple #1 d'aménagement d'ADB sur terrain de multilogement
(Source : http://www.habitation.gouv.qc.ca/fileadmin/internet/documents/SHQ/colloque_gestionnaire_technique/2014/Stationnement_ecologique.pdf)



Figure 11 : Exemple #2 d'aménagement d'ADB sur terrain de multilogement
(Source : http://www.habitation.gouv.qc.ca/fileadmin/internet/documents/SHQ/colloque_gestionnaire_technique/2014/Stationnement_ecologique.pdf)

3.3 ADB en bordure de route en images

Finalement, les figures 12, 13 et 14 présentent des exemples d'ADB en bordure de route.

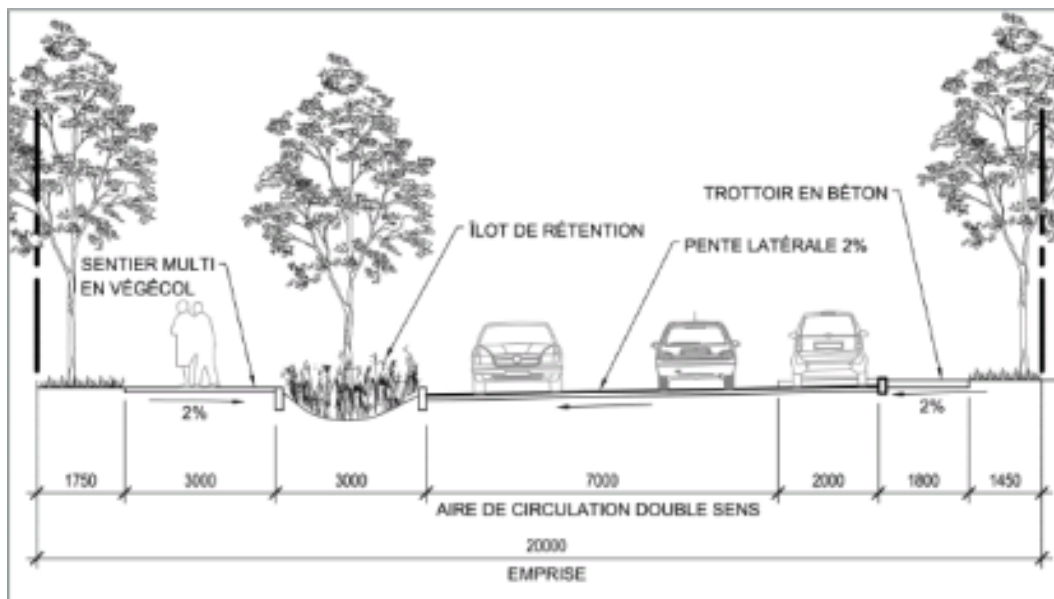


Figure 12 : Exemple #1 d'aménagement d'ADB en bordure de route
(Source : https://www.mamot.gouv.qc.ca/pub/amenagement_territoire/urbanisme/guide_gestion_eaux_pluie_partie_2.pdf)



Figure 13 : Exemple #2 d'aménagement d'ADB en bordure de route
(Source : https://www.mamot.gouv.qc.ca/pub/amenagement_territoire/urbanisme/guide_gestion_eaux_pluie_partie_2.pdf)



Figure 14 : Exemple #3 d'aménagement d'ADB en bordure de route
(Source : https://www.ville.quebec.qc.ca/gens_affaires/implantation-projets-immobiliers/projets-residentiels/docs/fiches_gestion_eaux_pluviales/1_aire_de_bioretention_ou_jardin_de_pluie.pdf)

4. ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

4.1 Définition du contexte et des objectifs

L'analyse hydrologique et hydraulique a pour objectif de déterminer des volumes de ruissellement et de rétention approximatifs, et ce, pour chacune des solutions proposées. Cette analyse consiste en une analyse préliminaire qui ne devrait pas servir à la conception, mais seulement pour établir un ordre de grandeur. Cette analyse est réalisée à l'aide d'un logiciel Excel maison de calcul de drainage et de ruissellement. La solution retenue pour la phase de conception sera étudiée plus en profondeur à l'aide du logiciel SWMM. Cette analyse est essentielle au dimensionnement adéquat des ADB.

4.2 Données et hypothèses

Le tableau 4 présente les données et hypothèses utilisées pour l'analyse préliminaire du ruissellement et des volumes de rétention nécessaire.

Tableau 4 : Données et hypothèses pour l'analyse hydrologique/hydraulique

	ADB unifamilial	ADB multilogement	ADB bordure de route
Hypothèses			
Précipitation	Les données de précipitation de la ville de Granby sont utilisées		
Fréquence de la pluie (log i = -k logt + c)		k	c
	1/25 ans	0,670	2,773
	1/50 ans	0,669	2,813
	1/100 ans	0,668	2,850
Superficie considérée	La superficie considérée pour l'analyse de ruissellement sera équivalente à la superficie totale du lot à l'étude plus la moitié de la superficie de la rue en façade du terrain.		
Fréquence de la pluie (Dugué, 2010)	1/50 ans		
Débit maximal à l'exutoire (Dugué, 2010)	6,7 l/sec ou 0,0067 m ³ /sec		
Coefficient de ruissellement (Dugué, 2010)	Type de surface		Coefficient de ruissellement
	Béton bitumineux		0,90
	Béton de ciment		0,95
	Gazon		0,15
	Toit de bâtiment		0,95
	Toute surface réservée pour agrandissement futur		0,95
	Surface en gravier compacté		0,55
	Boisé en friche		0,10
Facteur de sécurité	1,1		
Profondeur libre ADB (mm)	500		
Données			
Surface totale considérée (m ²)	2200	5080	570 (30 m.l. de rue)
Surface de toit (m ²)	180	650	0
Surface de gravier (m ²)	300	150	0
Surface végétalisée (m ²)	1600	3450	0
Surface asphaltée (m ²)	0	750	0
Superficie de rue avoisinante (m ²)	120	80	450
Superficie bétonnée (m ²)	0	0	120
Station pluviométrique	GRANBY, station #7022800		

4.3 Résultats d'analyses

L'analyse réalisée est présentée en [annexe C](#). Le tableau 5 présente un sommaire des résultats pour chacune des solutions.

Tableau 5 : Sommaire des résultats d'analyse

	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB bordure de route
Surface totale (m ²)	2200	5080	570
Coefficient de ruissellement moyen	0,31	0,39	0,91
Volume de rétention maximale requis (m ³)	11,94	57,70	7,90
Durée correspondante (min)	15	80	10
Débit de pointe correspondant (m ³ /sec)	0,0200	0,0187	0,0199
Volume de rétention avec facteur de sécurité de 1.1 (m ³)	13	63	9

Considérant un potentiel de profondeur des ADB de 500mm, on peut estimer le pourcentage de surface requise pour les ADB par rapport à la surface totale du terrain d'accueil du projet. Ce pourcentage est présenté au tableau 6.

Tableau 6 : Pourcentage nécessaire d'ADB par rapport à la surface du terrain d'accueil

	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB bordure de route
Volume de rétention (m ³)	13	63	9
Surface du terrain d'accueil (m ²)	2 069,4	5 015,0	570
Surface approxi. de l'ADB (m ²)	26	126	18
Pourcentage (%)	1,2	1,6	3,2

4.4 Pondération pour les changements climatiques

La pondération pour les changements climatiques est généralement une majoration de 10% de l'intensité de la pluie simulée. Considérant que la prise en compte des changements climatiques aura un impact similaire sur les trois solutions, cette majoration sera effectuée uniquement en phase de conception sur la solution choisie. La majoration sera incluse lors de la programmation du logiciel SWMM.

4.5 Étude hydrologique et hydraulique avec un dénominateur commun

Considérant la variété des solutions proposées en termes de localisation et de superficie, l'équipe *InnoVert Design* a considéré essentiel de réaliser une étude hydrologique/hydraulique préliminaire supplémentaire en posant l'hypothèse que les trois solutions proposées avaient toutes 1000m² de superficie totale. Cette étude basée sur un dénominateur commun (une surface de 1000m²) permet de rendre possible les comparaisons des trois solutions sur les points de l'analyse économique et de l'analyse de cycle de vie.

Ainsi, les surfaces de chacune des solutions ont été modifiées en gardant les proportions de l'existant. Ceci a permis de conserver le coefficient de ruissellement moyen de chacune des solutions identiques à celui existant. Par exemple, pour ce qui est de la solution 1 (unifamiliale), la surface de toit est passée de 180m² à 81,8 m² selon l'équation suivante :

$$\frac{\text{Surface } x}{\text{Surface totale}} \times \text{Surface commune} = \text{Surface } x'$$

$$\frac{180 \text{ m}^2}{2200 \text{ m}^2} \times 1000 \text{ m}^2 = 81,8 \text{ m}^2$$

Les détails de cette analyse sont présentés à l'[annexe D](#). Le tableau 7 présente les résultats de l'analyse avec dénominateur commun.

Tableau 7 : Sommaire des résultats d'analyse avec dénominateur commun

	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB bordure de route
Surface totale (m ²)	1000	1000	1000
Coefficient de ruissellement moyen	0,31	0,39	0,91
Volume de rétention avec facteur de sécurité de 1.1 (m ³)	4	6	20
Surface moyenne ADB (m ²)	8	12	40

4.6 Conclusions et recommandations

Ainsi, les trois analyses confirment la bonne faisabilité du projet puisque les pourcentages d'utilisation de la surface disponible par les ADB sont très faibles. Effectivement, avec un pourcentage de 15%, le projet aurait été difficilement réalisable alors que pour un pourcentage entre 1 et 5 %, il est tout à fait envisageable. Pour ce qui est des ADB multilogement, la grande superficie d'ADB nécessaire (environ 126 m²) réduit la faisabilité de cette solution sans l'intervention d'un architecte ou d'un urbanisme. Effectivement, une telle superficie devrait être réfléchi afin d'ajouter à l'aspect technique, un concept esthétique. Pour ce qui est de la solution unifamiliale et de la solution en bordure de route, les deux solutions sont réalisables sans l'intervention d'un architecte même si celle-ci ne pourrait pas nuire. Ce qui permet de finalement départager les deux solutions (unifamiliale et bordure de route), est le coefficient de ruissellement qui est plus grand pour la solution en bordure de route. Ainsi, l'intérêt de choisir la solution en bordure de route est justifié par la plus grande nécessité de faire la rétention de l'eau qui ruisselle sur les routes municipales. Finalement, le classement suivant illustre la recommandation des solutions à privilégier suite à l'analyse préliminaire hydrologique et hydraulique :

1. ADB bordure de route
2. ADB unifamiliale
3. ADB multilogement

5. ANALYSE GÉOTECHNIQUE

5.1 Définition du contexte et des objectifs

L'analyse géotechnique est un outil important pour le projet d'ADB, puisque la construction de ces aires se fait directement à même le sol et que l'efficacité de rétention de celles-ci est directement liée aux couches de sols en place.

Cette analyse étudie les dépôts meubles sur le territoire de la municipalité de Waterloo ainsi que leur profondeur. Elle étudie également les aspects à considérer dans l'ADB (présence de roc, niveau de la nappe phréatique, ...) dépendamment du type de sol en place. Finalement, des recommandations sont tirées de l'analyse concernant les 3 solutions étudiées par *InnoVert Design*.

5.2 Données et hypothèses

Le tableau suivant présente, selon chaque solution étudiée, les données et hypothèses nécessaires pour l'analyse géotechnique. Plus de détails concernant ces informations se trouvent à l'[annexe E](#).

Tableau 8 : Données et hypothèses pour l'analyse géotechnique

	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB bordure de route
Hypothèses			
Profondeur du niveau eau (MDDELCC, 2015)	0 m	- 0.1 m	- 4 m
Données			
Type dépôts meubles (IRDA, 2008)	Till (loam sableux)		
Profondeur dépôts meubles (Ministère des Forêts, 1995)	0,25 m	0,25 m	> 1 m
Type substratum rocheux (SIGÉOM, 2017)	Schiste et grès		
Conductivité hydraulique sol (MDDELCC, 2006)	3,6 cm/h		
Conductivité hydraulique roc (MDDELCC, 2006)	0,036 cm/h		

5.3 Couches de sols

L'idée principale d'une ADB est de réduire la vitesse à laquelle l'eau de ruissellement atteint le lac ou le réseau pluvial en lui permettant de s'infiltrer naturellement dans le sol. Or, pour que ce processus soit possible et efficace, il faut des couches de sols adéquates qui laisseront l'eau s'infiltrer, mais qui agiront aussi comme un élément de rétention. Selon le Guide de gestion des eaux pluviales (Gouvernement du Québec, 2014), une conductivité hydraulique de 15 à 17 cm/h pour les sols est idéale dans une ADB. Ainsi, pour chacune des solutions, les conductivités hydrauliques du sol et du substratum rocheux ne sont pas assez élevées pour permettre une

infiltration adéquate. L'ADB agira seulement comme un bassin étanche qui captera l'eau. L'incorporation d'un drain sera essentielle pour les ADB de la municipalité de Waterloo (voir [l'analyse des éléments techniques des ABD](#))

De plus, les ADB peuvent servir de recharge, dans certains cas, pour les eaux souterraines. Par contre, peu importe la solution analysée, la structure du sol est trop imperméable pour que l'eau captée par les ADB puisse atteindre la nappe phréatique.

Aussi, une structure de 1 mètre d'ADB est recommandée (Gouvernement du Québec, 2014). Pour les solutions résidentielles unifamiliale et multilogement, le roc étant trop près de la surface, des opérations de dynamitage seront nécessaires lors de l'installation des ADB. Pour la solution en bordure de route, une excavation standard soit de la structure de chaussée, soit du sol meuble en place, sera requise. Dans tous les cas, les matériaux récupérés lors de l'excavation ne pourront pas être utilisés dans la construction des ADB.

5.3.1 Filtres de protection

Afin d'empêcher l'érosion interne des ADB et de ne pas colmater le drain requis dans chacune des solutions, des filtres de protection sont recommandés (Holtz & Kovacs, 1991). Il s'agit de former plusieurs couches de granulométries différentes pour empêcher la migration des particules fines dans les pores des sols plus grossiers. Évidemment, si les pores des couches de sols sont bouchés, l'infiltration n'est plus efficace et l'ADB ne peut plus remplir sa fonction. En bref, il sera important dans la conception, peu importe la solution retenue, d'assurer une granulométrie graduelle entre les différentes couches de sols. En d'autres termes, les critères de filtre granulaire devront être respectés.

5.4 Conclusions et recommandations

Les sols étant relativement semblables sur l'ensemble de la municipalité, il est difficile de départager les 3 solutions. L'élément qui varie est l'épaisseur de dépôts meubles. Donc, la solution la plus avantageuse du côté géotechnique est la troisième, soit en bordure de route, puisque de manière générale, il n'y aurait pas de dynamitage à effectuer lors de la construction. Ensuite, la solution unifamiliale est la deuxième plus avantageuse puisqu'elle possède une superficie plus petite que celle du multilogement. Ainsi, la classification des solutions se résume comme suit :

4. ADB en bordure de route
5. ADB unifamiliale
6. ADB multilogement

Tel que mentionné dans le présent chapitre, il sera important de considérer la présence des sols imperméables lors de la conception, pour les remplacer par des sols drainants appropriés. Les sols choisis devront aussi avoir de bonnes propriétés pour diminuer les apports en phosphore. De plus, en raison de l'imperméabilité des sols environnants, il sera peut-être nécessaire d'agrandir la superficie de rétention des ADB. Finalement, l'utilisation du principe des filtres de protection avec les différentes couches de sols est conseillée dans les 3 solutions.

6. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

6.1 Définition du contexte et des objectifs

Tel que mentionné dans le chapitre de la contextualisation, le lac Waterloo est de plus en plus eutrophe en raison des apports externes élevés en phosphore. Ces quantités de phosphore proviennent majoritairement du ruissellement urbain, donc le but de ce projet est de veiller à la restauration du lac Waterloo par la diminution du ruissellement avec des aires de biorétention. Également, ce contrôle du ruissellement urbain a de l'impact sur la diminution de l'érosion et des épisodes de surverses.

Par conséquent, l'objectif premier des ADB est de réduire les apports en phosphore au lac Waterloo afin de contrer le phénomène d'eutrophisation existant. Afin de mener à terme l'analyse environnementale, il est important de connaître les contaminants présents dans les eaux de ruissellement, le comportement et les impacts du phosphore, la réalité du bassin versant de Waterloo, de s'attarder à l'utilisation créative de la végétation d'un point de vue environnemental ainsi que de connaître l'efficacité des ABD sur l'environnement.

L'explication des hypothèses et des données est incluse dans chacun des chapitres de l'analyse environnementale.

6.2 Contamination de l'eau pluviale

Cette section de l'analyse environnementale est fondée sur des hypothèses tirées des chiffres présentés dans le tableau de l'[annexe F-1](#). Les valeurs présentées pour la comparaison de la qualité des eaux sont applicables à la situation de Waterloo, car elles sont tirées du *Guide de gestion des eaux pluviales* du Gouvernement du Québec et aucune valeur de paramètres de l'eau pluviale n'est disponible pour la municipalité de Waterloo.

Tout d'abord, de nombreuses études menées au Canada et en Europe indiquent clairement que le ruissellement des eaux pluviales constitue une importante source de pollution. Le tableau du *Guide de gestion des eaux pluviales* présenté à l'[annexe F-1](#) permet de constater que la quantité de polluants charriée annuellement par les eaux de ruissellement urbaines peut se comparer à celle des effluents d'eaux usées et des réseaux unitaires (MDDELCC, 2014).

Afin d'analyser les trois différentes sources d'eau énoncées dans le tableau cité en [annexe F-1](#), des sigles ont été donnés dans l'objectif d'alléger le contenu du texte.

- SRU : Surverses de réseaux unitaires
- EP : Eaux pluviales
- EUS : Eaux usées traitées

Les différents paramètres sont comparés en fonction des eaux de pluie, car il s'agit de la source d'eau utilisée pour la conception des ADB du lac Waterloo. Pour simplifier l'analyse, les valeurs supérieures des intervalles ont été comparées et ont permis d'établir la classification.

- Coliformes fécaux : SRU > EP > EUS
- Matière en suspension : SRU > EP > EUS
- DBO5 : SRU > EP < EUS
- Phosphore total : SRU > EP > EUS
- Cuivre : SRU > EP ≈ EUS
- Plomb : SRU > EP > EUS
- Zinc : SRU > EP < EUS

Suite à l'exercice lié au classement des sources d'eau, la surverse de réseaux unitaires possède des valeurs plus élevées pour les paramètres analysés que les eaux pluviales pour tous les paramètres. En ce qui concerne les eaux usées traitées, elles possèdent des valeurs élevées pour certains paramètres tels que la DBO5 et le zinc. La valeur de concentration pour le cuivre est pratiquement la même pour les deux sources. Il est intéressant de noter que les eaux pluviales possèdent des valeurs plus élevées que les eaux usées traitées pour 4 paramètres sur 7, soit les coliformes fécaux, la matière en suspension, le phosphore total et le plomb. Ces résultats illustrent clairement que l'eau de pluie constitue une véritable source de contamination. De plus, le phosphore, paramètre critique pour le phénomène d'eutrophisation, possède une concentration entre 0,67 et 1,60 mg/L P pour les EP et à titre de comparaison les SRU ont une concentration entre 1,20 et 2,80 mg/L P. Il est évident que les valeurs des EP possèdent des valeurs élevées et relativement semblables à celle des SRU.

6.3 Différentes formes du phosphore et ses processus de rétention

Cette section est basée sur des concepts scientifiques. La source des informations suivantes est un article scientifique produit par Queen's University. Il est admissible d'utiliser les principes énoncés dans cet article, car l'objectif de cette section est basé uniquement sur la compréhension des phénomènes de rétention dans les ADB et qu'aucun chiffre n'est présenté. Toutefois, afin de quantifier les différentes formes de phosphore et la rétention faite par chaque processus, des études approfondies d'ordre chimiques devraient être réalisées pour le projet de Waterloo.

Le phosphore est essentiel pour le développement des plantes plus particulièrement pour la croissance des racines. De façon naturelle, il se retrouve dans l'environnement aquatique en faible concentration suite à l'érosion des pierres phosphatées et à la libération du phosphore contenu dans les excréments des organismes vivants. Toutefois, les activités humaines entraînent une augmentation de la concentration du phosphore dans le milieu. Plusieurs aspects sont en cause tels que l'utilisation de détergents (lave-vaisselle), l'exploitation minière des pierres phosphatées, l'utilisation de fertilisants pour l'agriculture, etc (Agir pour la diable, 2011).

L'excès en phosphore dans un cours d'eau mène à l'eutrophisation de ce dernier. Par définition, l'eutrophisation provient des termes grecs « bien nourris », ce qui se résume à avoir une

croissance trop importante des plantes pour la capacité du plan d'eau. Sans nul doute, ces plantes réduisent la quantité d'oxygène dissous (OD) disponible et ce manque d'oxygène cause la suffocation et la mort des animaux aquatiques. Il y a d'autres impacts de l'eutrophisation sur l'environnement tels que :

- La perte d'habitat et la modification de la biodiversité ;
- L'augmentation de la fréquence et l'expansion de la contamination par les cyanobactéries ;
- La contamination des sources d'eau potable (Agir pour la diable, 2011).

Comme il existe plusieurs formes du phosphore, l'équipe *Innovert Design* a jugé pertinent de s'y attarder afin de mieux comprendre le comportement du phosphore dans les ADB. Dans les aires de biorétention, le phosphore se stabilise grâce à plusieurs phénomènes listés ci-dessous :

- Dissolution et précipitation ;
- Sorption et désorption ;
- Absorption par les végétaux ;
- Minéralisation et immobilisation ;
- Filtration et mobilisation ;
- Sédimentation.

La figure 15 illustre adéquatement les différents processus de rétention au sein d'une ADB. Elle présente l'interaction entre les différentes formes de phosphore grâce aux différents modes. La traduction libre des termes employés est présente à l'[annexe F-3](#).

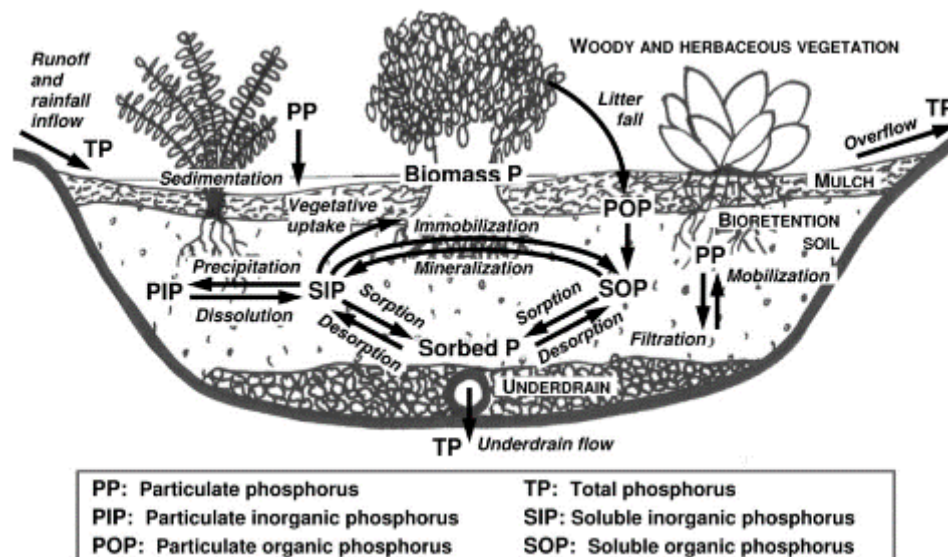


Figure 15: Cycle du phosphore dans une typique ADB
Source : (Roy-Poirier, 2010)

Les différentes formes de phosphore expliquées en détail sont le soluble et particulaire, l'organique et inorganique et le total et dissous dans les lignes suivantes. Cependant, les différents processus ne sont pas décrits précisément, car il n'est pas nécessaire de s'attarder en

détail aux concepts ainsi qu'à d'autres différents modèles mathématiques qui expliquent ces processus de rétention. Ces informations ne sont pas essentielles pour la conception des ADB.

6.3.1 Phosphore soluble et particulaire

Ces types de phosphore sont impliqués dans le transport ainsi que dans le processus de rétention par l'environnement. Les deux types sont habituellement différenciés en utilisant un filtre ayant des pores de $0,45\mu\text{m}$ (Roy-Poirier, 2010). La partie soluble est présente en solution dans les cours d'eau et traversera le filtre. Également, les processus de rétention du phosphore soluble sont la sorption et l'absorption par les végétaux. En ce qui concerne la partie particulaire, elle peut être transportée par des courants d'eau pluviale à des vitesses suffisantes, mais le phosphore particulaire est sujet à la sédimentation et à la filtration.

6.3.2 Phosphore organique et inorganique

Ces types de phosphore sont utiles pour décrire le processus biologique dans un système naturel. Il est important de noter qu'uniquement le phosphore inorganique est utilisé pour la croissance des végétaux, c'est-à-dire l'adsorption par les végétaux. Donc, le phosphore organique est transformé par des microorganismes présents dans le sol en phosphore inorganique. Le phosphore inorganique est quant à lui absorbé par les plantes et transformé lors de la production de biomasse microbienne. Il est ensuite retourné en phosphore organique dans le sol après la mort de la biomasse. Le phosphore inorganique est présent dans l'orthophosphate (H_3PO_4), un minéral naturel phosphaté. Cette forme de phosphore est associée à la dissolution et la précipitation. La dissolution est affectée par la présence d'autres polluants dans l'eau.

6.3.3 Phosphore total et total dissous

Le phosphore total correspond à toutes les formes de phosphore dans l'eau, soit le phosphore retrouvé dans la matière organique, celui lié aux matières en suspension et celui dissous. Autrement dit, il s'agit de la somme de tout le phosphore présent dans l'eau. Généralement, la valeur est exprimée en $\mu\text{g/l}$ et est utilisée pour la classification trophique. Le phosphore total dissous est le phosphore total d'un échantillon d'eau qui a été filtrée sur une membrane ($0,45\mu\text{m}$). Cette fraction peut être rapidement absorbée par les plantes et est souvent appelée la fraction biodisponible (Environnement et Changement climatique Canada, 2015).

6.4 Réalité du bassin versant du Lac Waterloo

La carte de la figure 16 est une donnée du projet de restauration du lac Waterloo, car il s'agit de la teneur moyenne en phosphore pour cette région. Elle représente la situation de 2013 pour la MRC de la Haute-Yamaska

La flèche pointe le lac Waterloo. Cette carte illustre avec évidence que la zone du lac Waterloo est l'une des régions les plus critiques en ce qui concerne les concentrations de phosphore. De plus, il est également important de savoir que le lac Waterloo est un lac de tête du bassin versant de la Yamaska. De ce fait, son mauvais état affecte l'ensemble du réseau hydrographique.

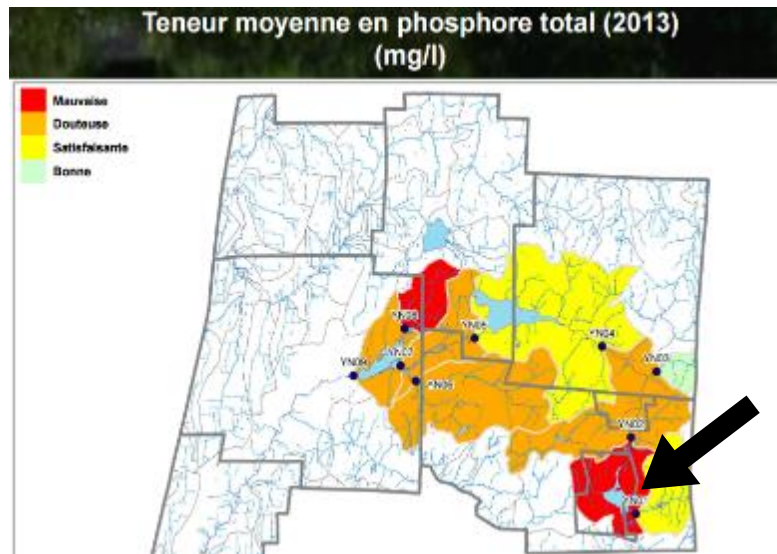


Figure 16: Carte du bassin versant de La Haute-Yamaska
Source : (MRC La Haute Yamaska, 2015)

6.5 Efficacité des ADB

Les valeurs traitées dans cette section du rapport sont des hypothèses, car aucune valeur d'efficacité d'ADB n'est disponible pour le secteur de Waterloo puisque le projet vise leur implantation. Il est justifiable d'utiliser les pourcentages du *Guide de gestion des eaux pluviales* (Gouvernement du Québec, 2014), car le guide est conçu pour la province de Québec.

Les impacts des aires de biorétention sur l'environnement se traduisent par une réduction du ruissellement des eaux de pluie urbaines et une diminution des épisodes de surverses qui mènent à la diminution des apports en phosphore dans le lac Waterloo. Cet impact est l'élément clé du ralentissement du problème lié au phénomène d'eutrophisation dans ce secteur. Le *Guide de gestion des eaux pluviales* fournit le tableau présenté à l'[annexe F-3](#). Il élabore les pourcentages d'enlèvement médians des polluants pour différentes pratiques de gestion optimales (PGO).

En ce qui a trait à l'efficacité des ADB, elle est satisfaisante en comparaison avec les autres types de PGO. Tel que mentionné dans l'une des notes du tableau de l'[annexe F](#), il est recommandé de faire un contrôle sur les matières en suspension (MES) et le phosphore total, car ces polluants influencent grandement la qualité des plans d'eau. Les ADB possèdent le pourcentage le plus élevé pour les MES du tableau et cette valeur est égale avec celles des noues engazonnées et des bassins avec retenue permanente. En ce qui concerne l'efficacité pour le phosphore total, les ADB possèdent un pourcentage inférieur aux bassins avec retenue permanente et aux marais artificiels. Toutefois, le pourcentage des ADB est supérieur aux fossés engazonnés, aux noues engazonnées, aux bandes filtrantes, etc. Bref, il est possible de conclure que les ADB sont dans la moyenne pour l'enlèvement du phosphore. Puis, la colonne de droite du tableau indique les pourcentages pour les pratiques avec infiltration pour les MES (89 %) et pour le phosphore total (65 %). Ces valeurs sont nettement supérieures à toutes les autres PGO. Il est donc pertinent de concevoir les ADB afin de permettre l'infiltration.

Par la suite, comme l'objectif principal de ce projet est la diminution des apports en phosphore dans le lac Waterloo, il est pertinent de s'attarder au comportement du phosphore total et dissous au sein d'une ADB. Le tableau présenté à l'[annexe F-4](#) compare la biorétention avec une conduite perforée et l'infiltration. Les pourcentages présentés dans ce tableau varient entre 50% et 70% selon la forme de phosphore (total ou dissous).

À la lumière de l'analyse de ces deux tableaux, il est possible d'affirmer que l'enlèvement moyen du phosphore total dans les ADB varie entre 40 et 60%. Puis, comme il s'agit de données scientifiques et non de données obtenues directement sur le territoire de la municipalité de Waterloo, elles sont considérées comme des hypothèses.

Enfin, il est important de considérer qu'en termes d'efficacité, les ADB possèdent un effet de retardement sur les apports en phosphore au lac. Effectivement, une partie des apports en phosphore contenu dans les eaux de ruissellement va être retenue dans les ADB via le substrat et la végétation. En effet, la végétation va absorber le phosphore pour sa croissance, mais lors de la décomposition de la biomasse des végétaux, le phosphore sera de nouveau libéré dans l'écosystème. Avec le temps, il sera acheminé vers le lac Waterloo. L'aspect positif de cette pratique est que les apports seront graduels et non spontanés tels qu'actuellement avec les grandes surfaces imperméables, donc le milieu sera en mesure de mieux réagir.

6.6 Utilisation créative de la végétation

Cette section est hypothétique, car l'énumération des différents points est tirée du mémoire de Marie Dugé. Toutefois, la description est basée sur l'intégration des connaissances acquises lors de la rédaction des autres analyses et du parcours académique en génie civil à l'Université de Sherbrooke.

L'installation des ADB dans la municipalité de Waterloo est une façon créative d'utiliser la végétation pour accroître l'impact environnemental. Effectivement, les ADB permettent le drainage, le traitement des eaux de ruissellement, la présence d'ombre, la diminution des îlots de chaleur et l'embellissement du milieu (Dugué, 2010). Les aspects de chaque point sont expliqués ci-dessous.

- Drainage : Comme les ADB possèdent un coefficient de ruissellement plus faible que le gazon ou que les routes par la présence de plantations, le drainage est favorisé, et l'eau se propage plus lentement.
- Traitement des eaux de ruissellement : Les végétaux possèdent les capacités d'utiliser les nutriments contenus dans les eaux de ruissellement pour assurer leur croissance. De plus, les végétaux hyper accumulateurs sont en mesure de capter les métaux présents dans les eaux de ruissellement.
- Présence d'ombre : Les arbres présents dans les ADB permettent d'ajouter de l'ombre dans la ville, car ils remplacent des éléments qui ne sont responsables d'aucune création d'ombres par exemple du gazon, des surfaces imperméables telles que la chaussée ou des stationnements.

- Diminution des ilots de chaleur : Le remplacement de surface initialement faite de béton ou d'asphalte qui emprisonne ou qui réfléchit l'énergie solaire par de la végétation permet de réduire le phénomène d'îlot de chaleur.
- Embellissement du milieu : La présence de végétation contribue à améliorer esthétiquement la ville de Waterloo. Les végétaux envoient une image naturelle appréciée par les citoyens. Les ADB permettent d'ajouter des plantes colorées, des arbres et des arbustes qui permettent l'émerveillement lors des changements de saison et créer un mini écosystème propice à accueillir de petits animaux tels que des oiseaux, des papillons, des grenouilles, etc.

6.7 Conclusions et recommandations

Concernant les trois solutions analysées dans le cadre de ce rapport, il est évident qu'une seule ADB ne sera pas suffisante pour résoudre le problème d'eutrophisation du lac Waterloo. Plusieurs ADB seront essentielles afin de voir une diminution réelle des apports en phosphore. Autrement dit, il est dans un intérêt environnemental de réaliser une conception normalisée qui va permettre une multiplication des ADB sur le territoire de Waterloo et ainsi augmenter l'efficacité de l'enlèvement du phosphore total. En bref, la multiplication de l'implantation des ADB permet d'obtenir un réel impact sur l'environnement.

Le classement des solutions est fait selon le principe de multiplication des ADB. La solution unifamiliale occupe le premier rang, car elle peut être construite sur pratiquement tous les terrains des citoyens et le nombre de terrains unifamilial est supérieur à ceux en bordure de route et multilogement. La solution en bordure de route est limitée par la présence des routes dont le Ministère des Transports est propriétaire ce qui complique l'implantation des ADB. Toutefois, elle occupe quand même le deuxième rang, car elle peut être réalisée sur l'ensemble du réseau routier de la municipalité. Puis, le nombre de terrains de multilogement est moins grand de manière générale sur le territoire de Waterloo, donc la multiplication est plus faible.

1. ADB unifamiliale
2. ADB en bordure de route
3. ADB multilogement

À long terme afin d'évaluer l'efficacité des ADB, il serait essentiel d'instaurer un suivi rigoureux pour les paramètres chimiques et biologiques, les mesures de débit et le suivi de l'érosion afin de mesurer l'efficacité réelle des ADB dans le secteur de Waterloo. Il est important de faire le suivi à l'échelle du bassin versant ou du moins à celle de la ville de Waterloo. Les résultats obtenus pour l'ensemble permettront de faire un portrait réel. Puis, le fait de réaliser le suivi général permettra de réduire les coûts d'opération. Les polluants à analyser sont les suivants :

- Matières en suspension totales (MES) ;
- Demande biochimique en oxygène (DBO5) ;
- Oxygène dissous ;
- Bactéries ;
- Polluants toxiques

- (plomb, zinc, cuivre, mercure étant les principaux sur le plan des métaux lourds) ;
- Nutriments (phosphore total, azote total, nitrite, nitrate)
(Gouvernement du Québec, 2014).

7. ANALYSE DES ÉLÉMENTS TECHNIQUES DES ADB

7.1 Définition du contexte et des objectifs

Les aires de biorétention sont une solution proposée par l'ABVLW afin de restaurer le lac Waterloo. Dans la pratique, les ADB sont également appelées jardins de pluie (rain garden). Le rôle principal est de réduire le volume des eaux de ruissellement et de traiter les polluants contenus dans les eaux pluviales par l'infiltration dans le sol et par l'implantation d'aires végétalisées avant que ces volumes n'atteignent les plans d'eau ou le réseau pluvial municipal (Gouvernement du Québec, 2014). En bref, il s'agit d'un aménagement paysager installé en dépression de la zone drainée qui reçoit par écoulement en surface les eaux de ruissellement. Cette pratique de gestion optimale est tout à fait appropriée pour répondre aux besoins du client de l'équipe *InnoVert Design*.

Afin d'être en mesure de réaliser la conception du projet, il est primordial de commencer par l'analyse des différents aspects qui constituent les aires de biorétention, c'est-à-dire les différents concepts des ADB, les zones de prétraitement, les couches de sols, la gestion de l'eau au sein des ADB, l'utilité des géotextiles et le choix des végétaux.

L'explication des hypothèses et des données est incluse au sein de chaque chapitre de la présente analyse.

7.2 Différents concepts d'ADB

Cette section est hypothétique, car elle est rédigée selon les informations contenues dans le guide de gestion des eaux pluviales et bonifiée avec celles contenues dans le mémoire de Marie Dugué. Il est souhaitable que le choix de concepts soit fait selon le contenu émis par le Gouvernement du Québec. Également, le choix du type de concepts est incertain, car il est basé sur les hypothèses formulées dans l'analyse géotechnique et l'analyse hydraulique.

Le *Guide de gestion des eaux pluviales* propose quatre différents types de conception pour les ADB. Il s'agit de l'infiltration complète, de la filtration avec recharge partielle, de la filtration avec recharge partielle/drain surélevé et de la filtration seule. L'infiltration représente le processus gravitaire naturel d'écoulement de l'eau, tandis que la filtration fait référence à des éléments techniques qui aident le processus (exemple : drain). Le tableau 9 ci-après permet de mieux comprendre les différents types d'ADB.

Tableau 9 : Définition et caractérisation de 4 différents types d'ADB

Définition	Caractéristiques techniques
A – Infiltration complète sans drain perforé	
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aucun drain n'est installé sous le substrat, donc toutes les eaux filtrées sont retournées à la nappe phréatique. <input type="checkbox"/> Ce type est recommandé lorsqu'une recharge importante de la nappe est bénéfique. <input type="checkbox"/> Attention, ce type n'est pas applicable dans les sols perméables. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Plus haut potentiel de recharge (vidange dans un temps inférieur à 48h) <input type="checkbox"/> Les sols en place doivent avoir une capacité d'infiltration élevée (25 mm/h et plus);
B – Filtration avec recharge partielle et drain perforé	
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ce concept inclut un drain qui permet de retourner une partie des eaux filtrées vers le réseau de drainage. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Potentiel de recharge réduit (la vidange se fait dans un temps supérieur à 48h)
C – Filtration avec recharge partielle et drain surélevé et perforé	
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ce concept inclut un drain localisé plus haut de façon à créer une zone fluctuante aérobie/anaérobie sous le drain. <input type="checkbox"/> Une zone saturée se trouve en permanence au fond du substrat. <input type="checkbox"/> Lorsque tout le substrat est saturé, une partie des eaux sont drainées par le drain, une partie est retournée vers la nappe phréatique. <input type="checkbox"/> Ce concept peut se révéler plus approprié pour des charges de nutriments plus élevés (particulièrement des nitrates), car la zone anaérobie améliore le processus de dénitrification. <input type="checkbox"/> Ce type d'ADB peut être utilisé lorsque le sol est peu perméable ou lorsque les volumes à gérer sont importants. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Pour charge plus élevée de nutriments et/ou contrôle quantitatif. <input type="checkbox"/> Le drain est installé sous le substrat sur un épais lit de gravier.
D – Filtration seulement avec drain perforé et géotextile étanche	
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ce type est également appelé la biorétention sans recharge. <input type="checkbox"/> Toutes les eaux filtrées sont drainées par un drain perforé. <input type="checkbox"/> Cette pratique est utilisée lorsque le sol est imperméable ou lorsque la teneur en polluants peut être importante et nocive. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ce type de concept est à préconiser dans des secteurs sensibles à drainer.

La figure 17 à la page suivante présente les coupes types des différentes configurations d'ADB proposées par le MDDELCC.

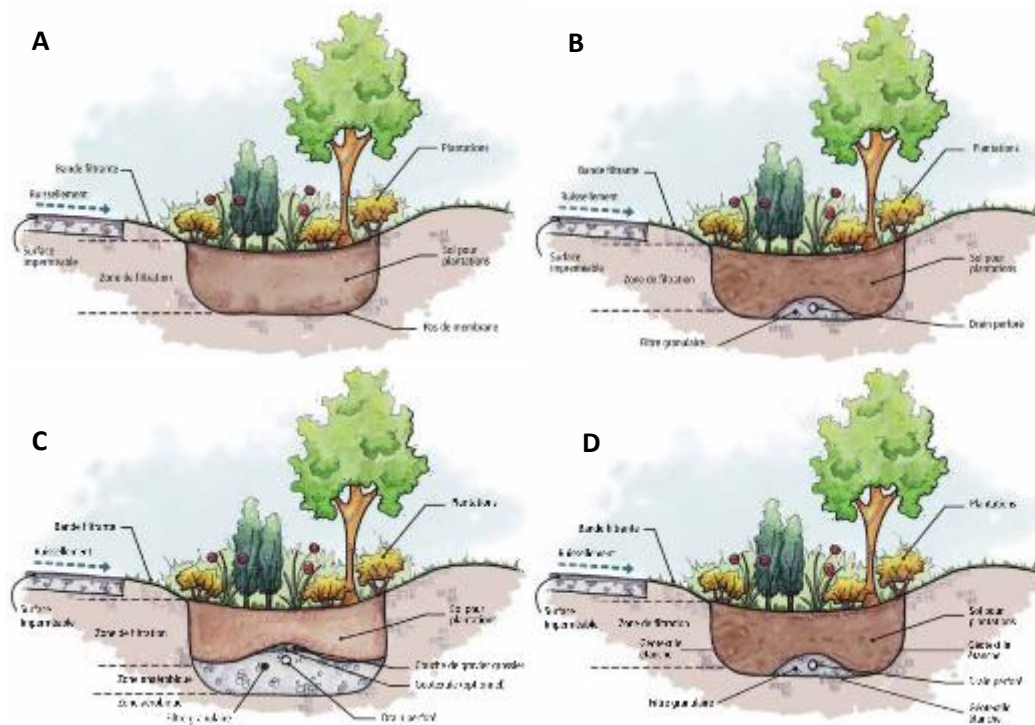


Figure 17 : Coupes types des différentes configurations d'ADB
(Source : MDDELCC)

Il est important d'analyser les quatre types de concepts selon le projet de Waterloo. Les explications suivantes permettent de faire une élimination des types qui ne s'appliquent pas au contexte. Elles permettent également de choisir le type envisageable pour la phase conception.

- Infiltration complète : Ce type **n'est pas applicable** pour le projet de Waterloo, car il ne fonctionne pas dans les sols imperméables. Puis, selon l'étude géotechnique, les dépôts meubles possèdent une conductivité hydraulique de 3,6 cm/h, ce qui est trop imperméable pour les besoins de la conception.
- Filtration avec recharge partielle : Ce type pourrait être **applicable** pour le projet de Waterloo.
- Filtration avec recharge partielle/drain surélevé : Ce type pourrait être **applicable** pour le projet de Waterloo et il a l'avantage de créer une zone de dénitrification dans l'ADB. Cet aspect est positif, car il s'imbrique dans le mandat du client de restauration du lac Waterloo. Il est vrai que les efforts sont portés vers la réduction du phosphore, toutefois l'azote présent dans les écosystèmes est également un nutriment important pour les végétaux. Il existe 3 mécanismes de rétention ou d'élimination de l'azote :
 - la dénitrification;
 - la sédimentation;
 - l'assimilation par les plantes.

La dénitrification permet d'enlever définitivement des quantités importantes d'azote de l'eau en les transformant en azote gazeux (non utilisable par la majorité des organismes) qui s'échappe vers l'atmosphère (Tall, n.d.).

Ces explications justifient qu’il s’agit du type de concept de biorétention qu’il faut choisir pour la conception de l’une des 3 solutions.

- Filtration seulement : Ce type **n’est pas applicable** pour le projet de Waterloo. Premièrement, la protection de la nappe phréatique n’est pas nécessaire. Deuxièmement, tel qu’expliqué dans la section de l’analyse environnementale, il est préférable d’utiliser des ADB avec infiltration pour maximiser la réduction de MES et de phosphore.

Le tableau suivant est un résumé des différents types d’ADB et de leur applicabilité au projet.

Tableau 10: Tableau résumé des différents types et de leur applicabilité au projet.

Types	Applicabilité au projet
Infiltration complète	Non
Filtration avec recharge partielle	Oui
Filtration avec recharge partielle/drain surélevé	Oui (retenue)
Filtration seulement	Non

7.3 Zone de prétraitement

Cette section de l’analyse des éléments techniques est basée sur les informations disponibles dans le *Guide de gestion des eaux pluviales* du Gouvernement du Québec ainsi que celle du mémoire de Marie Dugué. Il est acceptable de considérer ces travaux dans le but de la construction d’ADB à Waterloo, car les deux ouvrages traitent des ADB au Québec.

Comme les unités de biorétention sont susceptibles d’être colmatées par l’apport non contrôlé de sédiments, il est essentiel de prévoir un prétraitement. Toutefois, la méthode la plus efficace pour réduire les apports en sédiments est de séparer le ruissellement non contaminé du contaminé. Le ruissellement non contaminé fait référence au toit tandis que le contaminé est celui provenant des routes, des aires de stationnement, bref toutes les surfaces imperméables. La différence majeure entre ces eaux de ruissellement est le fait que celles non contaminées peuvent être infiltrées directement tandis que celles contaminées doivent être collectées et puis traitées via un ou des PGO (Gouvernement du Québec, 2014). L’utilisation d’unités de prétraitement est pertinente, car elles permettent de réduire les besoins et les activités de maintenance et d’entretien, ce qui pourra contribuer à augmenter la longévité des ADB (Gouvernement du Québec, 2014).

Plusieurs mécanismes permettent le prétraitement. Ils sont énumérés au tableau 11.4 du *Guide de gestion des eaux pluviales* présenté à l’[annexe G-1](#).

Dans le cas du projet de Waterloo, la technique de prétraitement à préconiser est des bandes filtrantes, car elles sont les plus simples à reproduire. Il est donc possible d’utiliser des tranchées de pierres et de paillis pour le prétraitement. Ces mécanismes ne sont pas mentionnés dans le tableau cité en [annexe G](#), mais ils sont couverts à d’autres sections du *Guide de gestion des eaux de pluie* et dans le mémoire de Marie Dugué.

7.3.1 Bandes filtrantes végétalisées

Leur rôle est de réduire les apports en sédiments et ainsi participer à une faible réduction du volume de ruissellement tout dépendant du type de sol en place, du couvert végétal utilisé, de la pente et de la longueur de la bande filtrante. Il est important de noter qu'elles sont rarement utilisées seules, elles sont jointes à d'autres PGO. Elles sont utilisées pour le contrôle des eaux provenant des routes, des toits et des aires de petits stationnements. Elles sont composées d'arbres, d'arbustes et de plantations. Les avantages sont qu'elles permettent l'enlèvement des sédiments et d'autres polluants et elles ne nécessitent pas beaucoup d'entretien. Toutefois, elles ne sont pas appropriées pour des secteurs avec des pentes fortes ou avec de grandes surfaces pavées qui génèrent des écoulements avec de fortes vitesses (Gouvernement du Québec, 2014). Le tableau 11.5 présenté à l'[annexe G-2](#) du *Guide de gestion des eaux pluviales* donne des recommandations pour le dimensionnement des bandes filtrantes. Ces données seront pertinentes pour la phase conception, elles permettront le dimensionnement des bandes filtrantes végétalisées de la solution adoptée par le client.

7.3.2 Tranchées de pierres

L'utilité des tranchées de pierre est de répartir les débits de pointes, mais également les volumes de ruissellement. Il est important de noter qu'il est efficace pour des bassins versants relativement petits, c'est-à-dire des habitations unifamiliales (Gouvernement du Québec, 2014). Elles sont construites avec un revêtement filtrant à la base et remplies d'un matériau de drainage, soit des roches en surface. Une tranchée de gravier grossier bien lavé est illustrée à la figure 18. Selon le mémoire de Marie Dugué, le diamètre du gravier est entre 75 et 125 mm pour être efficace contre l'érosion. Puis, si la tranchée n'est pas applicable dans le cas des ADB, il est recommandé de réaliser un enrochement au point d'entrée (Dugué, 2010). Afin d'assurer l'efficacité et prévenir le colmatage du système, il est nécessaire de faire l'entretien régulièrement.

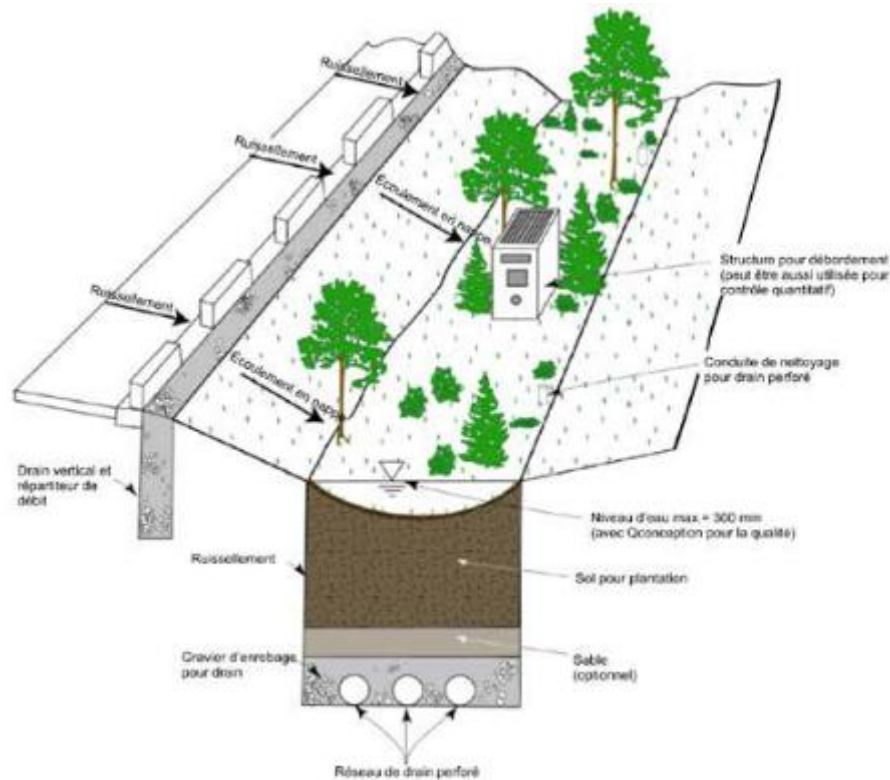


Figure 18 : Tranchée de gravier bien lavé
Source : Guide de gestion des eaux pluviales

7.3.3 Paillis

Le paillis joue également un rôle de prétraitement dans les ADB. Il permet une filtration des eaux de ruissellement en protégeant le substrat du colmatage et ainsi de l'érosion du substrat. Plus de détails seront fournis à la section suivante, soit dans les épaisseurs des couches sur le fonctionnement du paillis.

7.4 Couches de sols

Cette section de l'analyse des éléments techniques est basée sur les informations disponibles dans le *Guide de gestion des eaux pluviales* du Gouvernement du Québec, le mémoire de Marie Dugué, un article de la Presse et le *Biorention Manual* réalisé par le Département of Environmental Resources du Maryland. Il est acceptable d'utiliser les spécifications du guide du Maryland, car il s'agit d'un état du nord des États-Unis et le guide de gestion tire de l'information de ce dernier, donc le gouvernement québécois reconnaît cette source comme crédible.

Afin d'assurer le fonctionnement adéquat des ADB, le dimensionnement de l'ouvrage et les caractéristiques du sol utilisé sont des facteurs importants. De façon générale, le sol doit être assez perméable pour permettre à l'eau de filtrer à travers le substrat, tout en ayant des caractéristiques pour maintenir une végétation robuste à la surface ainsi que pour supporter des communautés biotiques à l'intérieur et à l'extérieur du sol afin de procéder à l'enlèvement des nutriments grâce à l'absorption et l'activité microbienne (Gouvernement du Québec, 2014). Les épaisseurs de sols sont constituées de paillis, du sol pour les plantations et au sein de cette couche se trouve la zone saturée.

7.4.1 Couche de paillis

La couche de paillis possède plusieurs fonctions telles qu'elle protège le sol de l'érosion, retient l'humidité, fournit un médium adéquat pour la croissance biologique et la décomposition de la matière organique tout en filtrant en partie les polluants. Il est important de noter que les métaux sont retenus à 98% par le paillis et le sol pour plantation. En ce qui concerne le phosphore soluble, il est absorbé/adsorbé dans le paillis. Ce processus de rétention a été illustré à l'analyse environnementale. Tel que mentionné, dans l'article de la Presse, il faut choisir un paillis décomposable de manière à fournir les nutriments nécessaires à la croissance des plantes. Il mentionne également qu'il faut essayer de maintenir une épaisseur minimale de 5 cm de paillis en tout temps (Hodgson, 2007). Puis, le mémoire de Marie Dugué conseille une épaisseur de paillis entre 50 et 75 mm.

7.4.2 Couche de sol pour les plantations

Ce type de sol possède plusieurs noms, par exemple la terre en support à la végétation ou le substrat. Cette couche fournit l'eau et les nutriments nécessaires pour supporter la végétation et permet à l'eau de ruissellement de s'infiltrer afin que la pollution y soit traitée grâce à différents processus. Les caractéristiques du sol à respecter sont les suivantes :

- Fournir une grande perméabilité pour permettre l'infiltration de l'eau de ruissellement ;
- Permettre l'adsorption des nutriments (azote et phosphore) ;
- Avoir une grande porosité et conductivité hydraulique
(Département of Environmental Resources, 2007).

Le *biorention manual* du Maryland stipule que le substrat doit rencontrer les spécifications suivantes :

- moins que 5 % d'argile ;
- 50-60 % de sable ;
- 20 -30 % de compost de feuilles ou paillis de feuilles mûri ;
- 20 -30 % de terre végétale de haute qualité
(Département of Environmental Resources, 2007).

Il faut s'assurer que le sol fournit un bon taux d'infiltration/filtration. Pour des ADB installées dans des climats froids, les coefficients de perméabilité recommandés sont entre 15 et 17cm/hr (Dugué, 2010). Pour atteindre ces niveaux de perméabilité, il faut que le sable soit propre, c'est-à-dire sans particule fine (silt ou argile) ni racine, ni branche, etc. Ces impuretés pourraient colmater le système. Le diamètre des grains de sable recommandé à inclure dans le mélange varie entre des grains entre 0,5 mm et 1 mm (Dugué, 2010).

Toutefois, à l'opposé, il faut veiller à ce que le taux d'infiltration ne soit pas trop rapide, car, dans ce cas, l'eau ne resterait pas assez longtemps dans les ADB, et donc les objectifs ne seraient pas atteints. Aussi, un milieu trop perméable entraînerait un assèchement du substrat et ainsi menacerait la survie des végétaux présents (Dugué, 2010).

7.4.3 Épaisseur de la cellule

Il est conseillé que la hauteur de la cellule varie entre 450 mm et 1200 mm. Cependant, afin de répondre aux exigences du Ministère de l'Environnement en matière de conduite pluviale, il faut placer 1200mm de substrat (Dugué, 2010). En ce qui concerne la relation entre l'épaisseur du substrat et l'efficacité de traitement des ADB, aucune étude n'a analysé cet aspect (Gouvernement du Québec, 2014).

7.4.4 Zone saturée

Le type de concept suggère d'aménager une zone saturée pour y créer une zone anoxique et ainsi encourager la dénitrification au sein des ADB. Elle doit avoir d'une épaisseur entre 50 et 270 mm. Le mémoire de Marie Dugué suggère qu'elle soit constituée d'un substrat composé de 1kg de sable pour 17g de papier journal. Le papier journal permet d'apporter une source de carbone nécessaire pour la dénitrification en aidant au support initial des bactéries. Elle permet d'améliorer le pourcentage d'enlèvement des nitrates de 75% (Dugué, 2010).

7.4.5 Mise en place

Lors de la construction des ADB, il est important d'éviter la compaction des sols pour assurer l'efficacité et éviter l'apport de sédiments dans l'objectif de préserver la capacité d'infiltration. La disposition des couches devrait se faire selon des couches de 300-450 mm d'épaisseur.

7.5 Gestion de l'eau au sein des ADB

Cette section est basée sur des hypothèses, car elle est liée à la théorie du mémoire de Marie Dugué et du *Biorention Manual* réalisé par le Department of Environmental Resources du Maryland. Pour le moment, l'équipe *InnoVert Design* est consciente que ces éléments devraient être inclus dans la conception des ADB pour assurer une bonne gestion de l'eau, mais la présence de ces éléments pour la conception d'une méthode normalisée peut être modifiée en fonction de la faisabilité.

La gestion de l'eau au sein des ADB est effectuée via le drain perforé et le trop-plein. La figure 19 est une section type qui présente ces éléments.

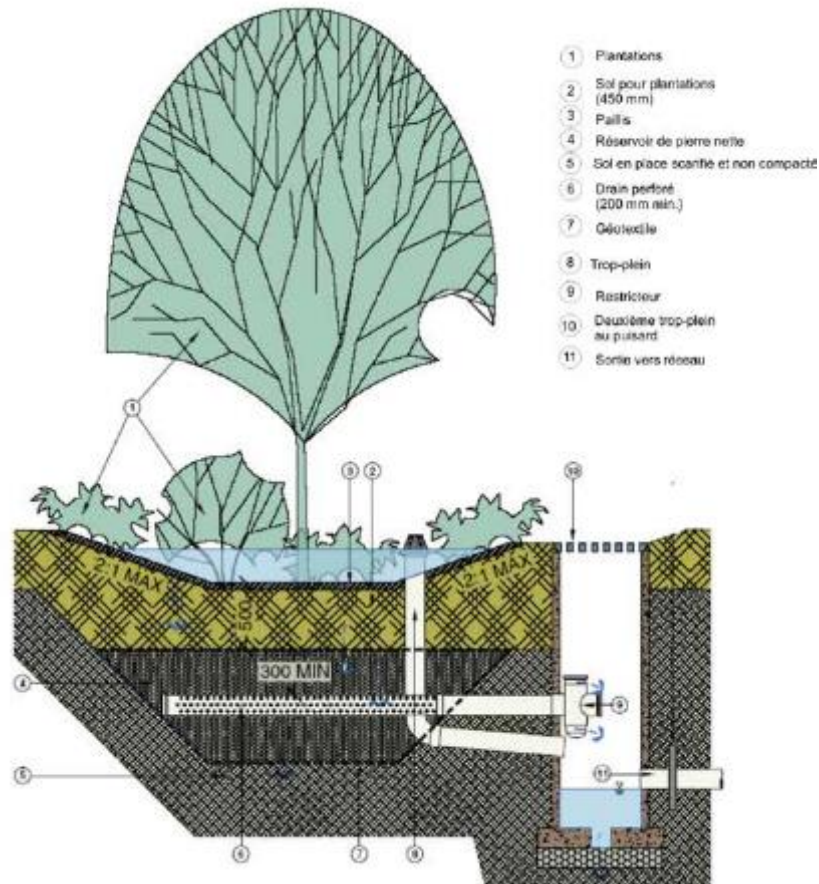


Figure 19: Section type illustrant le raccordement d'un trop-plein
Source : MDDELCC

7.5.1 Drain

Il permet de collecter l'eau infiltrée pour l'acheminer au réseau de drainage. Les deux concepts de type d'ADB applicables au projet de Waterloo possèdent des drains. Le drain est perforé, entouré de pierres nettes. Puis, un géotextile est installé entre la pierre et le substrat pour éviter le colmatage du système (Dugué, 2010). Plus de détails sur le géotextile sont présents à la section suivante.

7.5.2 Trop plein

En ce qui concerne le ruissellement de plus grande importance, il est géré par un trop-plein qui achemine le surplus vers le réseau de drainage. Il est nécessaire pour éviter l'inondation de l'ADB, ce qui pourrait être problématique pour les bâtiments environnants, les végétaux et la sécurité du public. Il permet d'évacuer les volumes d'eau qui sont supérieurs au débit de conception. Le trop-plein est installé en surface à une hauteur variant entre 0 et 600 mm au-dessus du point bas de l'ADB (Department of Environmental Resources, 2007). Il peut être connecté au réseau pluvial.

7.6 Utilité des géotextiles

L'utilité des géotextiles est basée sur les précisions des schémas des différents types de concepts des ADB. Donc, il s'agit d'hypothèses, car aucune section ne fournit des détails précis.

Si la percolation des eaux vers la nappe phréatique est désirée, aucun géotextile ne doit être installé pour maximiser l'infiltration et éviter le colmatage du géotextile. Cependant, si l'ADB est installée dans un milieu sensible et qu'il faut éviter la contamination de la nappe phréatique à cause de la présence de puits d'eau potable à proximité, la présence d'un géotextile est essentielle.

Puis, selon le guide de gestion des eaux pluviales, la présence des géotextiles est variable en fonction du type de l'ADB choisi :

- Infiltration complète : non nécessaire ;
- Filtration avec recharge partielle : non nécessaire ;
- Filtration avec recharge partielle et drain surélevé : optionnel, car s'il y a une dispersion granulométrique des couches de sols, il y a moins de risque de colmatage de la conduite. Autrement dit, il faut veiller au respect de la loi des filtres ;
- Filtration seulement : obligatoire. Il est installé aux pourtours de l'ADB.

Comme le type applicable est celui avec filtration avec recharge partielle et drain surélevé, la présence de géotextile est optionnelle.

7.7 Choix des végétaux

Dans le cadre de ce livrable, le choix des végétaux est hypothétique et même spéculatif, car les végétaux présentés sont tirés de plusieurs sources et devront être validés par des personnes compétentes pour assurer leur efficacité et leur disposition dans l'ADB. Sébastien Roy, professeur en biologie, sera consulté pour la détermination finale lors de la phase conception.

Par définition, le terme biorétention a été créé pour décrire une pratique intégrée de gestion qui utilise les propriétés chimiques, biologiques et physiques des plantes et des sols pour effectuer un contrôle quantitatif et qualitatif. Par conséquent, la sélection des végétaux est une étape cruciale pour assurer le fonctionnement adéquat des ADB.

Les plantes sont responsables de la rétention de l'eau de pluie et de l'assimilation biologique des nutriments (Gouvernement du Québec, 2014). De plus, le développement des racines permet d'améliorer l'infiltration, de réduire le colmatage et régénère le système. Elles servent aussi de support pour les micro-organismes (Dugué, 2010). En bref, les végétaux permettent l'évapotranspiration, la dégradation biologique, la création de l'ombre et la réduction des îlots de chaleur.

Afin de réaliser un choix judicieux des végétaux à installer dans les ADB dans le secteur de Waterloo, certains critères de sélection sont nécessaires. De plus, il est préférable de choisir de la végétation spontanée, espèces indigènes afin de favoriser le respect des écosystèmes et ainsi éviter la propagation d'espèces envahissantes. De plus, les critères suivants sont pertinents pour le choix des végétaux :

- Accumulation d'eau maximale dans les ADB ;
- Résistance à l'inondation ;
- Résistance aux sels de déglçage ;
- Si possible, hyper accumulateur de métaux (Dugué, 2010).

Certaines espèces sont connues pour être intolérantes aux sels. Il est donc évident que ces plantes devraient être évitées pour la conception des ADB, puisqu'il y a de fortes chances qu'elles soient en contact avec des sels de déglçage. Le détail se trouve en [annexe G](#).

- Cornouiller à grappes (*Cornus racemosa*) ;
- Cornouiller stolonifère (*Cornus stolonifera*) ;
- Érable argenté (*Acer saccharinum*) ;
- Érable à sucre (*Acer saccharum*) ;
- Tilleul d'Amérique (*Tilia Americana*) (Gouvernement du Québec, 2014).

Les sources présentées ci-dessous possèdent des végétaux qui pourraient être utilisées dans le choix final des végétaux dans cadre des ADB pour le projet de restauration du lac Waterloo.

- La politique d'aménagement des bassins de rétention des eaux pluviales suggère des mélanges de plantes pour les zones humides (0-2 ans) et les zones inondables. Les détails de cette source se trouvent à l'[annexe G-3](#).
- Le tableau A- 1 du *Guide de gestion des eaux pluviales* fournit des plantes, des arbustes et des arbres dont la tolérance aux sels de déglçage est reconnue. Une capture d'écran est présentée à l'[annexe G-4](#).
- Le mémoire de Marie Dugué présente quelques arbustes et vivaces qui répondent aux critères énumérés ci-dessus. Les captures d'écran des deux tableaux sont présentes à l'[annexe G-5](#).
- Le guide du riverain lavallois suggère une liste de végétaux recommandés pour stabiliser une rive, mais les végétaux sont facilement transposables à la réalité des ADB, car il fait la distinction entre les terrains humides et secs. Les sections pertinentes sont présentes à l'[annexe G- 6](#).
- Les recommandations pour l'aménagement de bassins de rétention des eaux pluviales fournissent également des détails. Les tableaux sont présents à l'[annexe G-7](#) et traitent des plantes filtrantes indigènes, des plantes indigènes pour milieux humides et des arbres indigènes recommandés près des milieux humides.
- La fédération interdisciplinaire de l'Horticulture ornementale du Québec a produit un guide des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec. Il ne s'agit pas de la végétation spécifique aux ADB, mais ce guide peut être utile d'un point de vue indicatif. (Source : <http://www.fihq.qc.ca/medias/D1.1.5B-1.pdf>)

Dans le cadre de la conception, une synthèse devra être réalisée pour s'assurer que les végétaux sélectionnés répondent aux critères prioritaires c'est-à-dire qu'ils soient une végétation spontanée, espèce indigène, qu'ils soient résistants aux sels et aux produits déglaçant et certains d'entre eux soient résistants lors d'une présence excessive d'eau, car ils seront placés au centre des ADB.

7.8 Conclusions et recommandations

Selon les trois solutions proposées dans le cadre de ce rapport, il est difficile de distinguer la meilleure solution d'un point de vue des éléments présents dans les ADB, car ils seront majoritairement tous présents. Les différences sont présentes au niveau de la simplification de l'intégration des éléments dans chacune des solutions. Une plus grosse structure permet une meilleure intégration des éléments. Donc, voici le classement des solutions selon ce principe :

4. ADB en bordure de route
5. ADB multilogement
6. ADB unifamiliale

Pour conclure, les aspects à inclure dans la conception des ADB sont rappelés ci-dessous.

- Différents concepts des ADB : Dans le cadre du projet Waterloo, il est préférable de choisir le type avec filtration avec recharge partielle et drain surélevé, car il est conseillé pour réduire les apports en nutriments.
- Zone de prétraitement : La bande filtrante ou la tranchée de pierres sont des éléments importants à inclure dans les ADB pour réduire les apports en sédiments et pour répartir les débits de pointes.
- Couches de sols : L'épaisseur de la couche de paillis varie entre 50-75 mm de paillis. Celle du substrat est d'environ de 1200 mm avec un coefficient de perméabilité entre 15 et 17cm/h. Sans oublier la présence de la zone saturée, si le type avec filtration avec recharge partielle et drain surélevé est choisi. Puis, la compaction de chaque couche doit être faible pour un bon fonctionnement de l'ADB.
- Gestion de l'eau au sein des ADB : Si y a présence de drain, il faut dimensionner le drain selon l'équation de Manning. Également, il ne faut pas oublier la présence d'un trop-plein pour gérer les surplus d'eau en cas d'averses importantes.
- Utilité des géotextiles : Selon le type de concept choisi, la présence des géotextiles est optionnelle.
- Choix des végétaux : Il existe une grande variété de végétaux. Toutefois ils doivent être en mesure d'accumuler le plus grand volume d'eau, de résister aux inondations spontanées et aux sels de déglaçages tout en étant de la végétation spontanée, espèce indigène pour respecter l'écosystème.

En termes de recommandation, la figure 20 présente des éléments nouveaux qui pourraient être ajoutés lors de la conception, soit une couche optionnelle de filtre en sable aux pourtours de l'ADB et un drain vertical de gravier en aval. Sinon, la figure 20 rappelle les aspects importants des ADB tels que la tranchée de pierre (drain vertical en gravier), le sol de plantation, la présence de géotextile, etc.

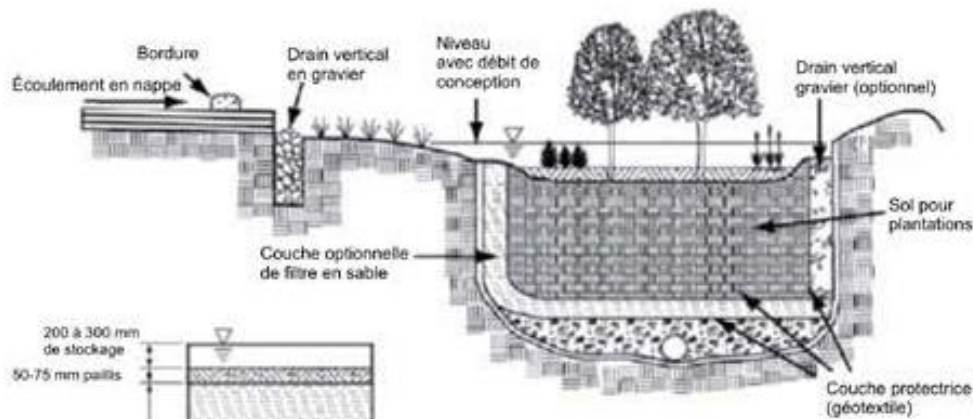


Figure 20: Section type d'une ADB
Source : Guide de gestion des eaux pluviales

8. ANALYSE DE L'IMPACT DES SAISONS

8.1 Définition du contexte et des objectifs

Comme le Québec connaît des hivers rigoureux, l'équipe *InnoVert Design* a jugé pertinent d'analyser les impacts des saisons sur les ADB. La région de Waterloo a des précipitations annuelles de neige d'environ 225 cm (Météo Média, 2017). Le tableau 11.5 tiré du *Guide de gestion des eaux pluviales* énumère les défis imposés par le froid pour les PGO des eaux pluviales (Voir [annexe H-1](#)). Ce tableau présente les défis qui sont liés aux températures froides, aux sols gelés, aux saisons de croissance et aux chutes de neige.

Dans le cas de l'implantation des ADB à Waterloo, deux problématiques seront prédominantes selon l'équipe *InnoVert Design*. Le premier défi est lié à la chute de neige et plus précisément au fait que la neige est fortement contaminée durant la fonte printanière. Le deuxième défi est également lié à la chute de neige, mais cette fois-ci selon l'utilisation des sels et des produits déglaçant. Ces problématiques ne sont pas présentées dans le tableau du guide, mais il est important de les considérer pour les ADB risquant d'être atteintes par des sels et des produits déglaçant.

En d'autres termes, les objectifs de cette section sont d'évaluer les impacts sur les changements de saisons, particulièrement la période hivernale, d'un point de vue lié à la pollution de la neige, d'évaluer les impacts de l'utilisation des sels et des produits déglaçant, l'efficacité en hiver d'une ADB et les éléments de conception à introduire pour répondre aux conditions hivernales.

L'explication des hypothèses et des données est incluse au sein de chaque sous-section de l'analyse des impacts des saisons

8.2 Pollution de la neige

Les valeurs fournies dans cette section constituent des hypothèses pour le projet de restauration du lac Waterloo. Les valeurs présentées ci-dessous permettent de comprendre la problématique liée à la contamination de la neige. L'équipe *Innovert Design* a décidé d'utiliser

les valeurs de concentration de la pollution de la neige contenue dans le *Guide de gestion des eaux pluviales* pour la situation de Waterloo. De plus, l'équipe *InnoVert Design* fait la généralité que le secteur étudié de Waterloo est mixte afin de pouvoir comparer les résultats fournis dans les tableaux. Cette hypothèse est justifiée, car les trois solutions possèdent des localisations différentes.

Le degré de pollution rattaché aux neiges usées peut être variable, selon le quartier et les méthodes utilisées pour la gestion de la neige, soit l'épandage de fondants ou non, le déblaiement ou non des routes et trottoirs, l'enlèvement ou soufflage. Le tableau 2.6 du *Guide de gestion des eaux pluviales* présenté à l'[annexe H-2](#) explique les principales sources de contaminants présents dans la neige. Il s'agit des débris, des matières en suspension, des huiles et des graisses, des ions et des métaux. Les débris ainsi que les matières en suspension entraînent un entretien lié au nettoyage (voir l'[Analyse de l'entretien requis](#)). Tandis que les ions sont néfastes pour les végétaux (voir l'[Analyse des éléments techniques des ADB](#)).

Également, le guide suggère une comparaison des valeurs de neige usées entre un secteur mixte avec celles d'égouts unitaire et pluvial. Le tableau 2.8 présenté à l'[annexe H-3](#) illustre cette comparaison.

Les concentrations des différents paramètres pour les neiges usées sont majoritairement plus élevées que la norme pluviale. Par exemple, pour le contaminant lié aux sels et produits déglacant, les valeurs pour les secteurs mixtes sont respectivement de 3851 mg/L et 2021 mg/L en comparaison avec la valeur de la norme qui est de 1500 mg/L. Un autre exemple sont les MES avec des valeurs de 1209 mg/L et 2057 mg/L pour les secteurs mixtes tandis que celle pour la norme pluviale est de 30 mg/L, soit pratiquement 40 fois moins. Sans nul doute, les neiges sont des sources de pollution importante.

De plus, il est important de noter que toute cette contamination est accumulée durant les mois d'hiver et elle est relâchée au printemps lors de la fonte printanière. Puis, comme le sol est encore gelé à cette période de l'année et que la présence de lentilles de glace nuit à l'infiltration, les polluants se retrouvent dans les réseaux municipaux et/ou dans les cours d'eau. Donc, il faut savoir que les ADB ne sont pas efficaces contre cette pollution présente dans la neige.

8.3 Utilisation des sels et des produits déglacant

Cette section de l'analyse est basée sur des hypothèses, car aucune valeur n'est disponible pour quantifier ce problème à Waterloo. Les hypothèses sont basées sur le *Guide de gestion des eaux pluviales*. Également, l'équipe *InnoVert Design* fait l'hypothèse que la municipalité de Waterloo utilise des sels et des produits déglacant.

Les sels et les produits déglacant sont responsables de la présence de chlorure dans les milieux. Cet ion peut causer des chocs toxiques au printemps, lors de la fonte des neiges. De plus, généralement, il se retrouve dans les cours d'eau et il est toxique pour plusieurs organismes aquatiques (Gouvernement du Québec, 2014). Sans nul doute, il nuit à la santé du lac Waterloo.

En ce qui concerne la teneur en chlorure dans l'environnement, elle est habituellement inversement proportionnelle à la présence de voitures. Effectivement, les municipalités ont

tendance à utiliser plus de sels de déglacage lorsque la route est peu utilisée ou lorsqu'elle est située en montagne. Puis, à l'opposé, sur les autoroutes, le passage répétitif des véhicules enlève une partie de la neige et demande donc l'épandage de moins de sels et de produits de déglacant (Dugué, 2010).

En ce qui concerne la conception des ADB, un type de conception avec infiltration devrait être déclinée lors de l'utilisation des sels et des produits déglacant à proximité, car ces produits pourraient contaminer le sol et la nappe phréatique (Dugué, 2010). Également, il faut noter que les végétaux sont sensibles à la présence excessive du chlorure. Il est néfaste pour leur croissance. Donc, le choix de la végétation devra se faire selon cette contrainte.

8.4 Efficacité en hiver des ADB

Cette section est basée sur des hypothèses tirées du mémoire de Marie Dugué, car l'équipe *InnoVert Design* assume que le volume de ruissellement, le rôle de la végétation et les informations liées aux sels et produits de déglacant sont applicables puisque les travaux analysent des ADB du Québec.

L'étude exprime que la biorétention réduit seulement le volume de ruissellement en hiver de 5%. En comparaison, la réduction est de 50% en période estivale (Dugué, 2010). Il est vrai qu'un certain volume peut s'infiltrer malgré que le sol soit gelé, il faut que le substrat soit perméable. De plus, comme la végétation tombe en dormance pendant l'hiver, l'évapotranspiration et le traitement biologique sont faibles. Une partie de la pollution contenue dans les neiges usées est déposée sur le paillis et y est transformée au printemps (Dugué, 2010). Les sels et les produits de déglacant ne sont aucunement enlevés par les ADB, c'est pourquoi il faut choisir les végétaux avec attention en cas de contact avec ces produits.

8.5 Éléments à considérer pour répondre aux conditions hivernales

Les éléments présentés dans ce chapitre de l'analyse de l'impact des saisons sont des hypothèses, car l'équipe d'*InnoVert Design* ignore si le système mené en conception et en construction aura une vanne, les dimensions de drains suggérées et la conductivité hydraulique du substrat. Les hypothèses sont basées sur le *Guide de gestion des eaux pluviales* du Québec, donc il est acceptable de s'y référer, car la construction aura lieu au Québec. Bref, il s'agit d'éléments pertinents à inclure pour répondre aux problèmes potentiels liés aux changements de saisons.

Afin d'assurer une efficacité optimale des ADB, le système doit être relativement sec. Effectivement, les ADB réagissent mieux à l'arrivée de l'hiver et traitent le ruissellement dû à la fonte des neiges plus efficacement au début de la fonte. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser en tout temps un drain, qui peut être toutefois fermé avec une vanne. Cette option du système permet une liberté. Elle permet l'infiltration, si elle doit être maximisée durant l'été. Puis, elle permet qu'elle soit ouverte à la fin de l'automne pour sortir l'eau du système. Bref, l'ouverture de la vanne à la fin de l'automne permet d'assécher le filtre avant les conditions hivernales (Gouvernement du Québec, 2014).

En ce qui concerne le drain, un diamètre d'au moins 200 mm est recommandé pour minimiser la possibilité de gel et l'endommagement dû au gonflement de la glace. Le drain doit être enrobé de 300 mm de gravier de 50 mm (Gouvernement du Québec, 2014).

La perméabilité du substrat est importante pour éviter le gel prolongé et assurer le fonctionnement de l'ADB au printemps. Le matériau doit être filtrant. Le choix adéquat du substrat est donc nécessaire lors de la conception.

8.6 Conclusions et recommandations

Les impacts des saisons sur les trois solutions des aires de biorétention sont pratiquement les mêmes. Le froid, le gel et la neige vont empêcher le fonctionnement adéquat durant l'hiver des ADB. Il est vrai que le contact avec les sels et les produits déglacant varie d'une solution à l'autre, mais les ADB n'influencent pas leur impact sur l'environnement, car elles sont dans l'incapacité de traiter les chlorures. Donc, le classement des analyses est basé sur les effets des chlorures sur les végétaux. La solution multilogement possède un plus terrain, donc le choix de positionnement de l'ADB est plus libre. Il est possible de choisir un endroit loin de l'entrée et de la route. Pour la solution unifamiliale, il est aussi possible de positionner avec précaution l'ADB, mais généralement les terrains sont plus restreints. Puis, pour la solution en bordure de route, comme les apports en chlorures sont élevés vu le fait que la neige risque d'y être poussée, cette solution occupe le troisième rang.

1. ADB multilogement
2. ADB unifamiliale
3. ADB en bordure de route

En conclusion, la pollution de la neige et les sels et les produits déglacant constitue deux défis importants à considérer pour l'implantation d'ADB au Québec. Selon la littérature, l'efficacité des ADB en hiver est faible. Elles sont en mesure de réduire de 5% le ruissellement urbain. Plusieurs éléments sont à considérer lors de la conception comme la présence d'une vanne, le diamètre des conduites, la perméabilité du substrat. Puis, il est vrai que l'entretien suite aux changements de saisons est important, mais cet élément est traité au chapitre suivant. Pour analyser adéquatement les impacts réels des saisons sur les ADB, une cueillette de données sur le terrain de Waterloo serait pertinente.

9. ANALYSE DE L'ENTRETIEN REQUIS

9.1 Définition du contexte et des objectifs

Les éléments de la nature ainsi que le temps ont des impacts positifs et négatifs sur les ADB. Effectivement, l'énergie du soleil et l'eau aident à la croissance des plantes, mais aussi leur mort en cas d'absence ou de présence trop abondante. Le vent et les fortes pluies peuvent engendrer de l'érosion, l'eau transporte des sédiments qui peuvent colmater le système. Le temps a également de l'influence, car il engendre de la détérioration et la dégradation du système. Par conséquent, l'entretien des ADB du projet de Waterloo est primordial afin d'assurer son efficacité et d'accroître son espérance de vie (Gouvernement du Québec, 2014).

Les objectifs de cette analyse sont d'étudier les tâches ainsi que leur récurrence, les tâches liées aux changements de saisons, les coûts liés à l'entretien et la gestion des personnes impliquées.

L'explication des hypothèses et des données est incluse au sein de chaque chapitre de l'analyse de l'entretien requis.

9.2 Tâches et fréquence d'entretien

Pour cette section de l'analyse d'entretien, les descriptions des tâches sont considérées comme des données, car elles sont établies selon des sources variées, soit le *Guide de gestion des eaux pluviales* et le mémoire de Marie Dugué. Toutefois, l'application pour le projet de Waterloo est basée sur des hypothèses, car les tâches applicables sont variables en fonction de la réalité du projet. Cependant, les récurrences des tâches sont des hypothèses établies selon les informations fournies dans les sources énumérées ci-dessus. Autrement dit, il s'agit de suggestions de tâches de récurrence suggérée des tâches pour assurer l'efficacité et accroître l'espérance de vie des ADB.

L'inspection des ADB permet d'évaluer leur comportement, leur état et de prévoir si des mesures d'entretien sont nécessaires. Autrement dit, elle se veut une étape effectuée régulièrement qui permet d'anticiper les potentielles déficiences. Il est conseillé d'examiner le système après chaque pluie d'importance pendant au moins les deux premières d'opération (Gouvernement du Québec, 2014). Par la suite, des inspections mensuelles sont suffisantes lors de l'opération estivale. Lors de l'inspection, il faut porter une attention particulière à :

- Comportement hydraulique : temps de rétention de l'eau, fréquente inondation;
- Sol : faible perméabilité, humidité;
- Végétation : état visuel des végétaux à l'intérieur et à l'extérieur;
- Entrées et sorties : obstructions;
- Polluant : présence d'accumulation de contamination, débris;
- Zone de prétraitement : si présente.

9.2.1 Comportement hydraulique

Il est important de vérifier les ADB par leur comportement hydraulique, soit que le temps de rétention correspond à celui de conception, que le trop-plein capte les eaux lorsque le niveau d'eau est élevé, que le drain fonctionne adéquatement (Gouvernement du Québec, 2014). La récurrence d'entretien est après chaque pluie d'importance, du moins pour la première année.

9.2.2 Caractéristiques pour les couches de sols

Afin d'assurer un faible coefficient de perméabilité, la couche supérieure doit être remaniée au besoin pour éviter qu'elle ne se compacte et qu'elle devienne ainsi trop imperméable. Un signe évident qu'il est nécessaire de remanier le sol est s'il y a de l'eau stagnante plus de 24h sur le dessus du bassin (Gouvernement du Québec, 2014). De plus, il faut considérer que cette accumulation d'eau pourrait également être causée par un surplus de sédiments dans le système. Bref, il faut être attentif à la perméabilité du substrat, après les averses ou à

chaque mois. Toutefois, le remaniement doit être réalisé au printemps après la fonte de la neige et lorsque l'imperméabilité du sol est trop grande.

De plus, le sol doit maintenir un niveau d'humidité propice à la croissance des végétaux. Donc, en période de sécheresse, il faut arroser les ADB, idéalement avec des eaux de pluie récupérées.

La présence de zone érodée indique qu'une répartition des débits est non uniforme dans l'ADB. Les zones érodées accélèrent la vitesse de l'eau de ruissellement et empêchent une bonne infiltration. Pour pallier cette problématique, la plantation de nouveaux végétaux est envisageable. L'inspection des zones érodées est à réaliser tous les mois.

D'un point de vue en lien à l'entretien, le paillis possède plusieurs avantages tels que :

- réduit les infestations de mauvaises herbes;
- réduit les infestations d'insectes, de maladies et de limaces;
- réduit le besoin d'arrosage;
- maintient le sol plus meuble, c'est-à-dire réduit l'érosion ;
- enrichit le sol en se décomposant. (Hodgson, 2007)

Il est conseillé d'utiliser du paillis décomposable afin d'obtenir les avantages énumérés ci-dessus, mais également pour enrichir le sol. Donc, le paillis disparaît avec le temps, il faut en rajouter au printemps. Autrement dit, l'entretien se fait annuellement (Dugué, 2010).

9.2.3 Végétation

Les végétaux doivent être en bonne santé afin de jouer leur rôle au sein des ADB, soit l'évapotranspiration, la dégradation biologique, la rétention de l'eau de ruissellement, etc. Après la plantation des végétaux, il faut maintenir les tuteurs en bon état, les réajuster au besoin. En ce qui concerne l'entretien quotidien, il faut couper les branches mortes ou cassées, remplacer les végétaux morts (Dugué, 2010). La vérification des plantes devrait également se faire chaque mois.

Le contrôle des mauvaises herbes est une étape à réaliser régulièrement pour assurer le bon fonctionnement des ADB (Dugué, 2010). Par définition, une mauvaise herbe est toute végétation qui est non désirée au sein de l'ADB. L'enlèvement manuel des mauvaises herbes est conseillé pour éviter d'endommager le système.

Également, il est primordial de noter que l'utilisation d'herbicides et d'insecticides est proscrite près des ADB, car elle entraîne des problèmes liés à la qualité de l'eau. En ce qui concerne les fertilisants, ils doivent être limités pour minimiser les apports en nutriments et éviter d'ajouter une charge supplémentaire au système.

La tonte de gazon aux pourtours des ADB doit être limitée, car le gazon permet une certaine infiltration et réduit les vitesses du ruissellement causé par les eaux pluviales. Donc, la récurrence de la tonte est variable selon l'utilisation du site sur lequel l'ADB est installée (Gouvernement du Québec, 2014).

9.2.4 Entrées et sorties

Il faut vérifier que les entrées et les sorties de ADB ne soient pas obstruées par des débris ou du sol ainsi que l'exutoire du drain (Gouvernement du Québec, 2014). Cette étape devrait être réalisée mensuellement.

9.2.5 Sources de pollution

L'enlèvement de l'accumulation de pollution et de débris est une étape cruciale au bon fonctionnement des ADB (Gouvernement du Québec, 2014). Il peut s'agir de la pollution macro et microscopique, soient les débris, les accumulations de sédiments/polluants. Effectivement, la présence de déchets nuit à l'infiltration de l'eau dans le substrat. Le nettoyage est nécessaire au printemps et par la suite, une vérification est nécessaire à chaque mois.

9.2.6 Zone de prétraitement

Les zones de prétraitement demandent également un entretien régulier, mais elles visent à réduire les efforts d'entretien des ADB généralement plus complexes. Il est important de noter que la conception des ADB n'est pas adéquate, les tâches d'entretien seront plus fréquentes. Également, il est important de noter que pour assurer le développement adéquat des ADB, un entretien plus minutieux est exigé durant la première année d'opération afin que les végétaux aient une croissance adéquate. Les tâches d'entretien sont les mêmes que pour les ADB.

9.3 Entretien lié au changement de saisons

Cette section est également basée sur des hypothèses, car les tâches sont tirées du mémoire de Marie Dugué.

Tel que mentionné dans l'analyse des impacts des saisons, l'hiver entraîne des changements au sein des ADB. Plusieurs étapes sont à considérer lors des changements de saisons, plus particulièrement à l'automne et au printemps. Il faut ouvrir la vanne du drain pour permettre d'assécher le système. Il faut fermer l'ouverture de l'entrée du drain à l'approche de l'hiver et l'ouvrir au printemps. Durant l'hiver, il faut éviter de pousser de la neige sur les ADB afin de conserver l'accumulation sur le jardin lui-même. De plus, au printemps, il y a une augmentation du risque lié au colmatage causé par les activités d'épandage de sable ou de sel de déglacage (Dugué, 2010). Sans aucun doute, un nettoyage est nécessaire une fois la fonte des neiges terminée.

9.4 Coûts liés à l'entretien

Comme l'entretien consiste majoritairement à des tâches de remplacements des matériaux comme le paillis et les végétaux, il suffit de se référer à l'estimation des coûts de travaux de génie civil au chapitre 21 pour connaître les prix.

9.5 Gestion de l'entretien

La gestion de l'entretien est une section basée sur des hypothèses, car elle s'applique à la réalité des 3 solutions pour la restauration du lac Waterloo. Autrement dit, l'équipe *InnoVert Design* a supposé que la gestion de l'entretien serait faite selon cette distribution.

Dans le cadre des ADB unifamiliales, chaque résident est responsable du nettoyage du système au même titre que son terrain. Pour les ADB multilogement, l'entretien peut être réalisé par le propriétaire des logements ou une firme d'entretien paysagiste. Puis, pour la solution en bordure de route, l'entretien est sous la responsabilité de la municipalité.

Afin d'assurer l'uniformité de l'entretien des ADB, l'ABVLW pourrait réaliser des cliniques d'information et/ou des bénévoles pourraient effectuer des tournées au printemps pour des inspections. Cette recommandation est pertinente peu importante la solution adoptée suite à la recommandation au client. Un entretien homogène et régulier aura des impacts sur l'efficacité et l'espérance de vie des ADB.

9.6 Conclusions et recommandations

Pour le classement des solutions, la solution d'ADB unifamiliale est en première place, car elle n'engendre pas de coûts liés à la rémunération de personnel. Les frais d'entretien d'ADB multilogement sont inclus dans les frais de condos. Tandis que ceux de la solution en bordure sont couverts par les taxes payées par les contribuables. En résumé, l'ordre du classement des solutions en fonction des coûts liés à l'entretien est :

1. ADB unifamiliale
2. ADB multilogement
3. ADB en bordure de route

Tel qu'expliqué dans ce chapitre, l'entretien des ADB est essentiel pour assurer une efficacité élevée et accroître sa longévité. Les étapes d'entretien à réaliser sont résumées selon la fréquence mensuelle ou annuelle :

Mensuelle :

- Analyser le comportement hydraulique ;
- Valider la compaction de la couche supérieure ;
- Mesurer le niveau d'humidité ;
- Repérer les zones érodées
- Vérifier l'état des végétaux ;
- Enlever les mauvaises herbes ;
- Examiner les entrées et les sorties ;
- Ôter les débris et les accumulations de sédiments.

Annuelle :

- Remaniement du sol ;
- Rajouter du paillis ;
- Fermer et ouvrir la vanne du drain ;
- Éviter de pousser la neige sur les ADB.

Mais avant tout, il faut s'assurer que la conception soit adéquate afin de minimiser les efforts liés à l'entretien des ADB.

Puis, en termes de recommandations, il pourrait être pertinent de réaliser une analyse d'entretien requis précise pour la situation du projet à Waterloo. L'analyse pourrait mesurer l'accumulation de sédiments, documenter les tâches réalisées pour l'entretien afin de cerner les problèmes et ainsi veiller à améliorer les ADB lors de prochaines conceptions. Bref, cette analyse permettrait d'obtenir des valeurs réelles pour le projet de restauration.

10. ANALYSE DES IMPACTS SOCIAUX ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

10.1 Définition du contexte et des objectifs

L'analyse des impacts sociaux et de l'intégration du projet dans le principe de développement durable permettra d'évaluer les enjeux de l'acceptabilité sociale et de la pérennité du projet. Comme il sera spécifié dans le chapitre 11 traitant de l'[analyse fonctionnelle](#), l'acceptabilité sociale ainsi que l'engagement des citoyens sont des fonctions importantes du projet.

10.2 Données et hypothèses

Le tableau 11 à la page suivante présente les données et hypothèses utilisées pour l'analyse des impacts sociaux.

Tableau 11 : Données et hypothèses pour l'analyse des impacts sociaux et développement durable

	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB bordure de route
Hypothèses			
Nombre de citoyens impactés par la solution	Faible (projet pilote) Élevé (duplication du projet)	Faible (projet pilote) Moyen (duplication du projet)	Élevé
Importance de l'environnement pour les citoyens		Très important	
Importance de l'esthétisme pour les citoyens		Très important	
Style esthétique préféré par les citoyens et la municipalité		Champêtre et soigné	
Données (selon le recensement de 2016, stat. Canada)			
Population de Waterloo	4 410 habitants		
Densité de la population	360 hab./km ²		
Âge médian des habitants	45 ans		
Type d'habitation	<input type="checkbox"/> 850 maisons non attenantes <input type="checkbox"/> 205 jumelées Total : 1055	<input type="checkbox"/> 40 maisons en rangée <input type="checkbox"/> 160 appartements dans un duplex <input type="checkbox"/> 575 appartements dans un immeuble <input type="checkbox"/> 53 maisons mobiles <input type="checkbox"/> 110 autres logements Total : 938	N.A.

10.3 Place du projet par rapport aux objectifs existants

Afin d'optimiser l'implication citoyenne, l'implication des institutions et l'acceptabilité sociale, le plan directeur de l'eau 2017-2021 de la Haute-Yamaska (H-Y, 2017) ainsi que le plan d'action de développement durable de Waterloo (Ville de Waterloo, 2016) ont été approfondis. Cette étude a permis de réaliser la concordance entre le projet d'ajout d'aires de biorétention et les mesures visées par ces deux plans.

10.3.1 Plan directeur de l'eau de la Haute-Yamaska

Sans surprise, l'un des constats présents dans le plan directeur de l'eau est la présence de « volumes et la vitesse de ruissellement des eaux de surface amplifiés par la multiplication des surfaces imperméables » (H-Y, 2017). Ce constat est accompagné de l'action 39 ayant pour but « d'accompagner les municipalités dans la mise en place de pratiques innovatrices en gestion durable des eaux pluviales. » (H-Y, 2017) Ainsi, le projet d'implantation d'aire de biorétention répond directement à l'action 39 du plan directeur de l'eau. Il est donc possible d'envisager de l'aide en provenance de l'Organisme de bassin versant de la Yamaska et un engagement social plus rapide par rapport à l'implantation d'ADB puisque cette mesure est

en concordance avec un plan qui a déjà fait l'objet de consultation publique lors de son établissement.

10.3.2 Plan d'action de développement durable de Waterloo

De plus, le plan d'action de développement durable de Waterloo exprime ceci « Waterloo a choisi de s'inscrire dans une perspective de développement durable pour, à la fois définir son avenir, mais également pour répondre aux besoins présents de sa communauté sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. » (Ville de Waterloo, 2016). De plus, la ville de Waterloo vise « Un développement qui limite son empreinte sur l'environnement en incarnant l'avant-gardisme et en préservant l'accessibilité à ses milieux naturels » (Ville de Waterloo, 2016). Cette perspective d'avenir et ce plan d'action révèlent une volonté de la municipalité, mais également des citoyens, d'agir en faveur du principe de développement durable. La figure 21 présente les trois grandes sphères du développement durable.

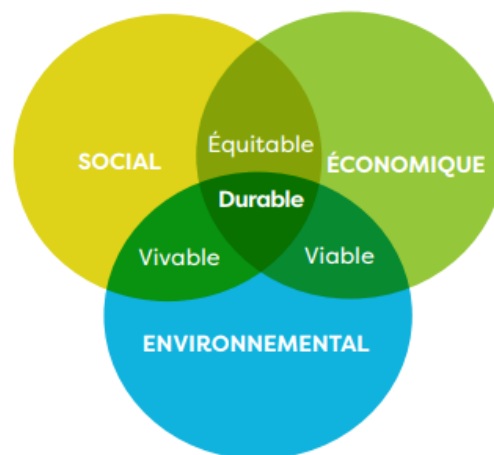


Figure 21 : Diagramme du développement durable
(Source : Ville de Waterloo, 2016)

10.3.3 Impacts environnementaux

En ce qui concerne les impacts environnementaux des aires de biorétention, le [chapitre 6](#) y est entièrement dédié. Néanmoins, les impacts environnementaux sont dépendants de la duplication des aires de biorétention. En effet, l'ajout d'une seule ADB ne générera possiblement pas d'impact tangible sur le lac. Toutefois, avec une duplication significative du projet pilote, les impacts sur la diminution du phosphore dans le lac seront plus importants et plus intéressants sur le point de vue environnemental. C'est pourquoi, les impacts environnementaux, pour être durables, sont interdépendants des impacts sociaux et des impacts économiques. La pérennité du projet et sa duplication ne dépendent pas de l'engagement (social et économique) d'un seul citoyen, mais d'une étendue de citoyens.

10.3.4 Impacts économiques

Les impacts économiques des ADB peuvent être envisagés à court et à long terme. Tout d'abord à court terme, un investissement pour l'implantation des ADB est nécessaire. Cet

investissement n'est pas exorbitant, mais peut facilement être un frein pour certains propriétaires (en ce qui concerne les solutions unifamiliale et multilogement). Ainsi, il est intéressant d'envisager la possibilité de subventions d'une partie des coûts des ADB afin de favoriser la croissance en nombre des ADB. De plus, pour la solution en bordure de route, si l'implantation des ADB se réalise en même temps que des travaux de réfection de la route ou du réseau hydraulique, l'impact économique des ADB peut être amoindri puisque la mobilisation de la machinerie serait déjà nécessaire. De plus, plusieurs exemples de projets d'ADB en bordure de route ont résulté par une diminution de la largeur pavée de la route ce qui peut également être une économie sur les coûts totaux.

Pour ce qui est des impacts économiques à long terme, si le projet d'ADB est pérenne et qu'il implique l'implantation de plusieurs ADB, la réduction des apports externes en phosphore sera significative. Cette réduction permettra possiblement d'éviter d'autres méthodes de réduction très coûteuses et moins durables. Par exemple, le lac Bromont, aussi touché par une eutrophisation accélérée, est présentement en processus réduction du phosphore par l'intermédiaire de l'application de 175 tonnes de Phoslock, et ce, au coût de 615 000\$ (Laflamme, 2017). Considérant que le lac Waterloo a une superficie près de 3 fois plus grande que celle du lac Bromont, on peut prévoir des couts pour une telle méthode dépassant le million de dollars. Également, le dragage des sédiments, qui est envisagé par l'ABVLW, est une solution d'autant plus couteuse en plus d'être destructive pour l'écosystème au fond du lac.

Finalement, les ADB s'inscrivent dans un projet de réhabilitation du lac Waterloo. Cette réhabilitation permettra le maintien de la valeur foncière des résidences de la municipalité et le maintien, voire même la croissance, de l'économie liée au tourisme et aux activités récréotouristiques. De plus, l'embellissement des rues et des quartiers avec l'ajout d'ADB peut avoir également un impact sur la valeur foncière des propriétés.

10.3.5 Impacts sociaux

En ce qui concerne les impacts sociaux, la restauration du lac Waterloo aura certainement un impact positif sur les citoyens en leur offrant un lac avec un bon état écologique et une quiétude par rapport à son rythme d'eutrophisation plus naturel. De plus, dans un objectif de développement durable et de ne pas compromettre les générations futures, d'eux aussi, profiter des avantages de vivre à proximité d'un lac, la restauration du lac Waterloo a un impact social sur les citoyens présents et futurs.

10.3.6 Conclusion par rapport aux objectifs existants

Ainsi, le projet d'aires de biorétention s'inscrit dans les plans d'action déjà en place de la ville de Waterloo et du bassin versant de la Yamaska. De plus, les impacts de ce projet s'accordent avec les objectifs du développement durable. En effet, les ADB sont viables économiquement, elles ont des impacts positifs sur les citoyens présents et futurs et elles visent un impact environnemental positif en réduisant l'apport en phosphore du lac sans toutefois détruire l'écosystème du fond du lac.

10.4 Engagement des citoyens et acceptabilité sociale

Vu leurs emplacements différents, les trois solutions toucheront les citoyens de façons différentes. Cette différence pourrait maximiser ou minimiser l'acceptabilité sociale et l'engagement des citoyens. Dans ce sous-chapitre, chacune des solutions sera analysée selon ces aspects.

10.4.1 Solution unifamiliale

Pour ce qui est de la solution unifamiliale, les citoyens qui seront touchés directement par le projet seront les propriétaires du terrain d'accueil, leur famille et leur voisinage. À l'échelle du projet pilote, l'impact sur les citoyens est très faible et se limite à une dizaine de personnes. Toutefois, avec la normalisation de la solution unifamiliale, l'impact des ADB peut toucher une majorité de la population. En effet, sur un total de 1995 habitations à Waterloo, plus de 50% de ces habitations correspondent au profil de la solution unifamiliale. Puisque le projet est un embellissement du terrain actuel et qu'il permet la personnalisation des ADB (choix de végétaux, forme des ADB, style champêtre, moderne, etc), l'acceptabilité sociale de cette solution ne devrait pas être problématique. De plus, les citoyens sont réellement mobilisés dans cette solution. Ils sont impliqués dans le design, le financement et l'entretien, ce qui peut avoir un impact positif sur leur compréhension des ADB et sur leur implication dans le grand projet de la restauration du lac Waterloo. De plus, l'ajout d'une plateforme web sur le site de la ville de Waterloo ou de l'ABVLW permettrait d'utiliser les technologies de l'information pour sensibiliser les citoyens sur la problématique, l'impact du ruissellement urbain, les subventions possibles, le fonctionnement des ADB, leurs impacts et leur entretien.

10.4.2 Solution multilogement

Pour ce qui est de la solution multilogement, les citoyens touchés par cette solution seraient les propriétaires du logement, les locataires, les visiteurs ainsi que le voisinage. À l'échelle du projet pilote, l'impact sur les citoyens serait faible, mais plus important que l'étape du projet pilote de la solution unifamiliale. Toutefois, avec la normalisation de la solution, l'impact serait beaucoup plus étendu. Néanmoins, en ce qui a trait de l'engagement citoyens, seulement les propriétaires seraient actifs dans le projet et incluent dans les phases de conception et d'entretien. La sensibilisation à la condition du lac Waterloo via cette solution semble plus difficile puisque moins de citoyens seront mobilisés. De plus, la subvention par la ville des ADB sur des terrains de multilogement pourrait être moins facilement acceptée socialement, puisque les propriétaires de ces immeubles génèrent déjà du profit de ceux-ci. Sans subvention, l'incitatif à l'implantation des ADB peut être amoindri et la duplication du projet pilote peut en être affectée.

10.4.3 Solution bordure de route

La solution bordure de route est intéressante puisqu'elle impacte la majorité des citoyens de Waterloo, et ce, même lors du projet pilote. Cette solution embellira une portion de route qui est fréquentée régulièrement par les citoyens. De plus, vu la proximité de l'ADB avec le public, des panneaux explicatifs pourront être installés permettant de sensibiliser les passants curieux. La figure 22 montre un exemple de panneaux tiré de la gestion des eaux pluviales aux Habitations Jeanne-Mance. Cette solution n'engage toutefois pas autant les citoyens puisque la municipalité se charge du projet de A à Z.



Figure 22 : Exemple de panneau explicatif
(Source : www.habitation.gouv.qc.ca)

10.5 Conclusions et recommandations

Finalement, toutes les solutions auront un impact positif sur les citoyens et embelliront leur milieu de vie. De plus, le projet d'ADB s'inscrit dans les différents plans d'action déjà en place. De ce fait, l'acceptabilité sociale du projet peut être considérée comme atteignable sans trop de difficulté. Toutefois, les solutions offrent un niveau de visibilité varié, soit beaucoup plus important pour la solution en bordure de route et un niveau d'engagement citoyen tout autant varié, soit très faible pour la solution en bordure de route et très élevé pour la solution unifamiliale.

Ainsi, à partir de l'analyse des impacts sociaux, *InnoVert Design* recommande les solutions dans cet ordre de priorisation pour la phase de conception :

1. Solution unifamiliale
2. Solution en bordure de route
3. Solution multilogement

11. ANALYSE FONCTIONNELLE

11.1 Définition du contexte et des objectifs

L'analyse fonctionnelle est un processus qui vise à définir les fonctions requises par un projet afin de bien répondre aux besoins du client et des autres interacteurs de ce projet. L'analyse fonctionnelle s'appuie sur le contexte et sur des objectifs de conception pour également hiérarchiser en importance les fonctions déterminées. L'analyse fonctionnelle réalisée est présente en intégrité à l'[annexe I](#). Elle regroupe les interacteurs, l'arbre fonctionnel, le tableau fonctionnel, les matrices du tri croisé ainsi que les résultats de cette analyse. Un résumé des sections principales est présenté dans cette section.

Puisque l'analyse fonctionnelle se produit en amont de la phase conception, plusieurs hypothèses sur la conception ont été réalisées afin de déterminer quelle solution des trois présentées répondrait le mieux à la fonction. Une réévaluation itérative de la solution choisie en fonction des fonctions tout au long de la conception permettra d'assurer le respect et la maximisation de chacune d'entre elles. De plus, la plupart des données et hypothèses nécessaires à cette analyse réfèrent aux autres analyses qui constituent ce présent rapport.

11.2 Interacteurs

La figure 23 présente un résumé des acteurs et interacteurs du projet. Une liste plus étendue est présente à [l'annexe I](#). L'identification des interacteurs est une étape préliminaire à l'élaboration des fonctions principales.

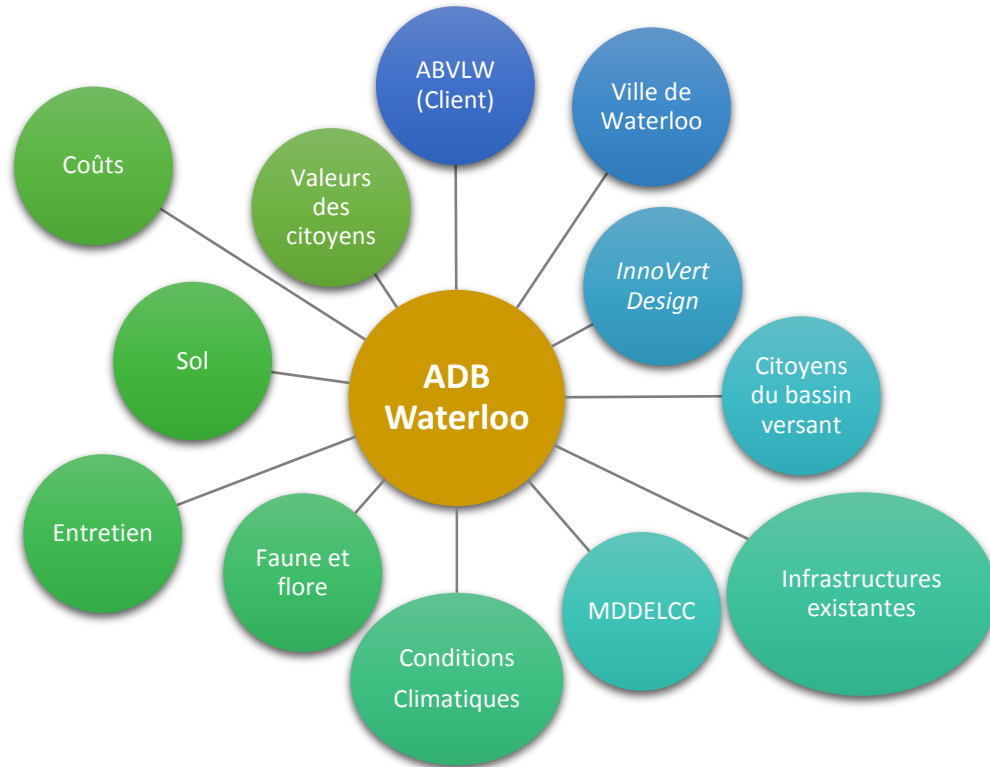


Figure 23 : Résumé des interacteurs

11.3 Fonctions

Par la suite, l'élaboration de l'arbre fonctionnel présenté également en [annexe I](#) a permis d'obtenir les fonctions qui permettront de discriminer les solutions à comparer. Les huit fonctions retenues sont présentées au tableau 12.

Tableau 12 : Fonctions principales du projet

No	Fonctions
F1	Assurer l'intégration ou la bonification esthétique des ADB à l'environnement présent
F2	Mettre de l'avant les méthodes utilisées par l'ABVLW pour la diminution de l'eutrophisation du lac Waterloo
F3	Permettre la possibilité de duplication des ADB
F4	Assurer une diminution de l'intensité des eaux de ruissellement urbain et une diminution du volume qui atteindra le lac et les conduites d'égout pluvial ou combiné
F5	Permettre le nettoyage adéquat des ADB
F6	Permettre l'implantation des ADB à court terme
F7	Optimiser l'aspect économique du projet
F8	Minimiser le transport nécessaire à l'élaboration des ADB

11.4 Objectifs

Deux grands objectifs permettront de hiérarchiser les fonctions déterminées afin d'évaluer les trois solutions selon deux perspectives différentes, soit une perspective technique et une perspective sociale. Les deux objectifs choisis répondent aux exigences établies par l'ABVLW. Le premier objectif est que les aires de biorétention doivent **diminuer le ruissellement urbain et la charge externe en phosphore en optimisant les ressources**. Le second objectif est que les ADB puissent **renforcer la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain**. En d'autres termes, les ADB doivent être acceptés socialement et être une vitrine de sensibilisation pour l'ABVLW.

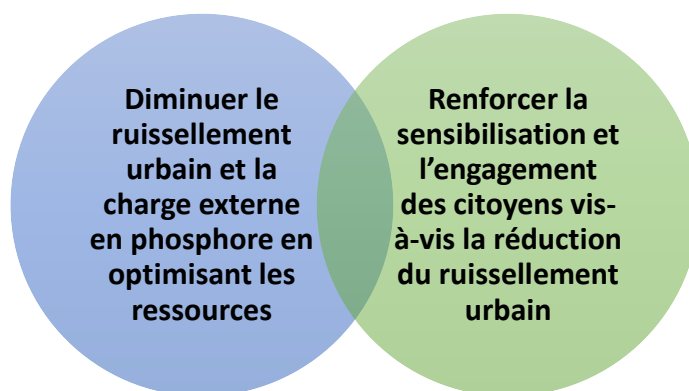


Figure 24 : Objectifs de l'analyse fonctionnelle

Les objectifs choisis ont permis de déterminer des facteurs de pondération (K) essentiels pour la prise de décision (voir [annexe I](#) pour le détail du tri croisé et des matrices décisionnelles)

11.5 Résultats de la pondération des fonctions

Pour l'objectif **diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources**, la fonction ayant obtenu le pourcentage le plus élevé est *Assurer une diminution de l'intensité des eaux de ruissellement urbain et du volume qui atteindra le lac et le réseau pluvial*. Cette fonction a obtenu la valeur de 30,2%. Les fonctions *assurer la possibilité de reproduction des ADB* et *assurer le nettoyage adéquat des ADB* ont obtenus les deuxièmes valeurs les plus élevées, soit 17,5%. Ces 3 fonctions qui ressortent de la méthode du tri croisé sont cohérentes avec l'objectif.

Pour le second objectif, soit **renforcer la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain**, les fonctions prédominantes dans l'analyse des facteurs de pondération *mettre de l'avant les méthodes utilisées par l'ABVLW pour la diminution de l'eutrophisation du lac Waterloo* et *assurer la possibilité de reproduction des ADB*. Le pourcentage obtenu par chacune des fonctions sont respectivement 24,6% et 20,0%. La troisième fonction qui acquiert le plus haut pourcentage est *Assurer l'intégration ou la bonification esthétique des ADB à l'environnement présent* avec la valeur de 18,5%. Ces 3 fonctions sont également cohérentes avec l'objectif.

11.6 Matrices décisionnelles

La matrice décisionnelle analysée selon l'objectif **diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources** permet de retenir, sans hésitation, la solution des aires de biorétention unifamiliale reproductible avec un résultat de 52%. C'est la solution qui répond le mieux aux fonctions établies par l'équipe. Il est possible de remarquer que les deux autres solutions ont des pourcentages nettement inférieurs. Ainsi, ces dernières sont moins adaptées pour cet objectif.

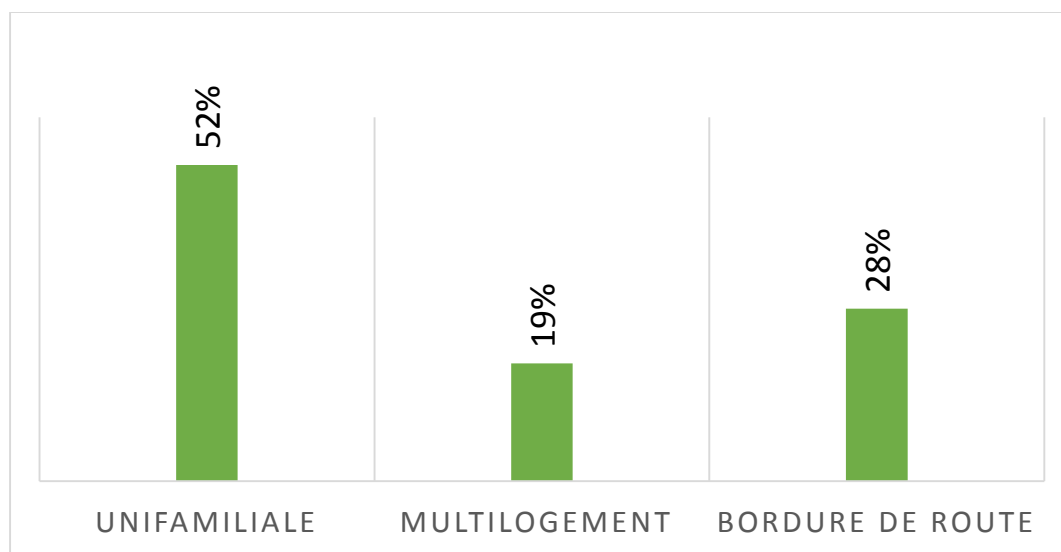


Figure 25 : Résultats de la matrice décisionnelle

Objectif : Diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources

La matrice décisionnelle analysée selon l'objectif **renforcer la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain** permet de retenir la solution des aires de biorétention unifamiliale avec 45%. Toutefois, la solution des aires de biorétention en bordure de route n'est pas loin derrière avec un pourcentage de 38%. Ainsi, l'équipe *InnoVert Design* considère qu'un choix entre ces deux solutions est envisageable et discutable en vertu de cet objectif.

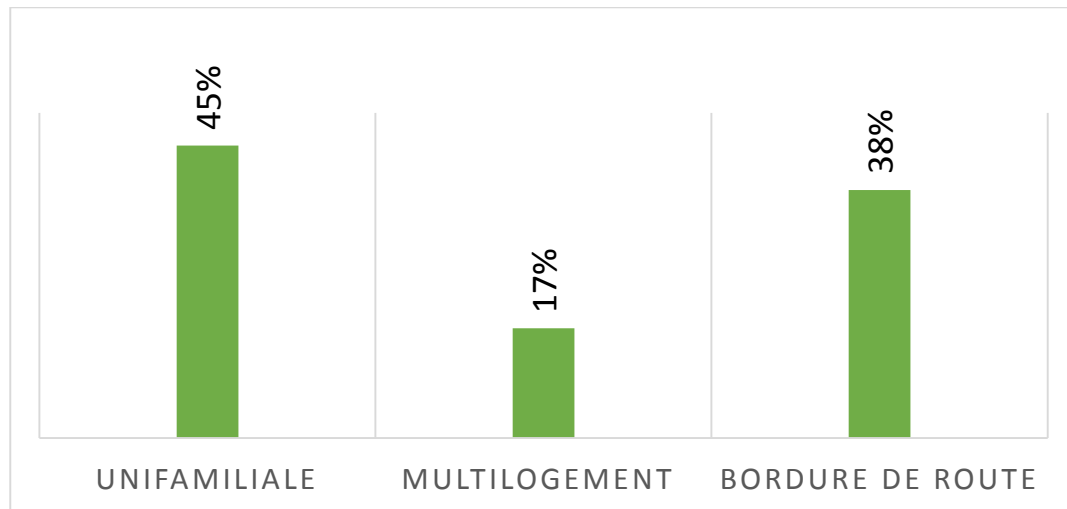


Figure 26 : Résultats de la matrice décisionnelle
 Objectif : renforcer la sensibilisation et l’engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain

11.7 Conclusions et recommandations

Selon les résultats obtenus avec l’analyse fonctionnelle, une solution semble émerger, et ce, peu importe les fonctions et les objectifs visés. En effet, la solution qui propose des aires de biorétention pour des propriétés unifamiliales et reproductibles est supérieure, tant au niveau de la diminution optimale du ruissellement urbain tant au niveau de la sensibilisation et de l’engagement social des citoyens. Les autres solutions comportent des éléments intéressants qui pourraient éventuellement être intégrés à l’implantation d’un réseau d’aires de biorétention plus étendu. Cependant, pour ce qui est de la solution en bordure de route, elle implique une mobilisation de ressources plus importantes ce qui pourrait retarder le projet. Aussi, pour ce qui est de la solution pour multilogement, sa duplication serait moins à grande échelle et efficace en plus d’engager moins de citoyens dans la démarche. Ces solutions alternatives ne permettent pas de répondre aisément à l’ensemble des fonctions et des objectifs nécessaires.

Selon les résultats obtenus dans l’analyse fonctionnelle, l’équipe *InnoVert Design* recommande la solution des aires de biorétention pour propriété unifamiliale.

12. ANALYSE DE RISQUES PRÉLIMINAIRE

L'analyse de risques préliminaire est une étape importante dans les projets de génie civil puisqu'elle permet d'intégrer les préoccupations de chacun des interacteurs et de démontrer l'utilisation efficace des ressources (Frenette, 2017).

D'abord l'analyse définit les enjeux présents dans le projet des ADB ainsi que les porteurs d'enjeux. Ensuite, elle établit les seuils de tolérance de chacun des porteurs d'enjeux et finalement, fait ressortir les sources, les impacts et les méthodes d'atténuation de risques.

12.1 Définition des enjeux stratégiques

Les enjeux présents dans le projet, qui seront utilisés pour l'analyse de risques préliminaire, sont les mêmes que ceux mentionnés dans le [chapitre 11](#) avec l'analyse fonctionnelle. Afin de seulement les rappeler brièvement, voici les enjeux stratégiques de notre projet sous forme de liste :

- Les coûts du projet;
- Le temps (échancier, délais);
- L'eau (quantité pour le pluviale et le ruissellement);
- L'entretien;
- La faune et la flore;
- La sécurité;
- Le sol en place;
- Les changements climatiques;
- L'acceptabilité sociale;
- La pérennité.

12.2 Porteurs d'enjeux

Les porteurs d'enjeux qui seront utilisés pour l'analyse de risques préliminaire ont aussi été présentés dans l'analyse fonctionnelle détaillée dans le [chapitre 11](#). Le tableau 13 présente les porteurs d'enjeux du projet.

Tableau 13 : Description des porteurs d'enjeux du projet

Porteur d'enjeux	Brève description
Concepteur	Firme de génie-conseil qui prépare les plans et devis finaux du projet.
Entrepreneur	Organisateur et exécuter des travaux de construction.
Ville de Waterloo	Municipalité dans laquelle le projet est réalisé.
Université de Sherbrooke	Institution qui supporte le volet académique du projet.
ABVLW	Le client du projet d'aires de biorétention.
<i>InnoVert Design</i>	Équipe étudiante qui analyse le projet et qui émet des recommandations de conception.
Résidents du bassin versant du lac Waterloo	Résidents de la ville de Waterloo, du canton de Shefford et de Stukely.
Résidents récepteurs du projet	Résidents qui planteront potentiellement une ADB sur leur terrain.

12.3 Seuils de tolérance

Afin d'analyser les risques présents dans le projet, il importe de déterminer préalablement les seuils de tolérance de chacun des porteurs d'enjeux face aux conséquences liées aux enjeux du projet d'ADB. Les seuils de tolérance sont divisés en 4 niveaux pour l'analyse :

1. Tolérance élevée;
2. Tolérance moyenne;
3. Tolérance faible;
4. Aucune tolérance.

Le tableau 14 met en relation les enjeux du projet et les seuils de tolérance de chacun des porteurs d'enjeux.

Tableau 14 : Seuils de tolérance des porteurs d'enjeux du projet

Enjeux	Porteurs d'enjeux							
	Concept.	Entrepren.	Waterloo	UdeS	ABVLW	I. Design	Rés. BV	Rés. proj.
Coûts	2	4	3	1	4	2	3	4
Temps	2	4	2	1	4	2	3	4
Eau	4	3	2	1	3	3	2	4
Entretien	2	1	3	1	3	3	3	3
Faune/Flore	4	4	4	1	3	2	2	3
Sécurité	4	4	4	4	4	4	4	4
Sol	4	3	1	1	3	2	2	2
Changements climatiques	3	1	3	1	3	2	2	2
Acceptabilité sociale	3	2	4	2	4	4	4	4
Pérennité	3	2	3	1	3	4	2	4
Somme	31	28	29	14	34	28	27	34

Il est possible de voir que les porteurs d'enjeux qui ont des seuils de tolérance faibles sont ceux qui sont directement en contact avec le projet, soit le concepteur, l'ABVLW et les résidents.

12.4 Sources de risques

Le tableau 15 présente les sources de risques qui pourraient avoir un impact sur les enjeux du projet des ADB et les risques associés.

Tableau 15 : Sources de risques et risques en découlant

Sources de risques	Risques associés
Techniques	1 Déficience lors de la construction
	2 Déficience des matériaux (en terme de caractéristiques)
Environnement	3 Ruissellement exceptionnel
Saisons	4 Mauvaise préparation des ADB à l'automne/au printemps
Entretien	5 Entretien inadéquat des ADB par les citoyens/la municipalité
Social	6 Mauvaise acceptabilité du projet
	7 Taux de participation faible de la part des citoyens
Monétaire	8 Refus des citoyens de déboursier pour les ADB

12.5 Impacts des risques sur les enjeux

Afin d’identifier les risques les plus critiques pour le projet, il importe définir les différents niveaux de gravité en fonction des enjeux du projet et distinguer selon la vraisemblance et la gravité des risques, ceux qui sont plus faibles de ceux qui sont plus critiques.

Tableau 16 : Grille de gravité des enjeux

Niveau de gravité	Enjeux				
	Coût	Temps	Eau (ruiss.)	Entretien	Faune/Flore
1 Faible	Dépass. <10%	< 2 ans	< 10%	< 1 an	< 1 an
2 Moyen	Dépass. <20%	< 4 ans	< 20%	< 3 ans	< 3 ans
3 Élevé	Dépass. <30%	< 6 ans	< 30 %	< 5 ans	< 5 ans
4 Critique	Dépass. >30%	> 6 ans	> 30 %	> 5 ans	> 5 ans

Niveau de gravité	Enjeux (suite)				
	Sécurité	Sols	Chang. Clim.	Accept. Soc.	Pérennité
1 Faible	Formation ++	< 1 an	< 10%	> 50 %	> 15 ans
2 Moyen	Formation +	< 3 ans	< 20%	< 50 %	< 15 ans
3 Élevé	Peu formation	< 5 ans	< 30 %	< 30 %	< 8 ans
4 Critique	Aucune form.	> 5 ans	> 30 %	< 10 %	< 3 ans

Pour les niveaux de gravité des enjeux du ruissellement de l’eau et des changements climatiques, les pourcentages représentent l’excès par rapport aux valeurs utilisées dans la conception. Pour l’entretien, la faune/flore et les sols, il s’agit de la fréquence à laquelle les tâches sont réalisées et que la végétation est entretenue/remplacée. Le temps représente les limites acceptables avant que le projet soit implanté, et la pérennité se définit par la longévité des ADB.

Le tableau 17 présente la criticité des risques en fonction des niveaux de gravité établis et des risques relevés dans le tableau 16. La fréquence représente la vraisemblance des risques à se produire. Elle se divise en 4 catégories, soit :

1. Rare : < 1% de chance de se réaliser
2. Peu probable : 1 à moins de 10 % de chance de se réaliser
3. Possible : 10 à moins de 50 % de chance de se réaliser
4. Probable, certain : > 50% de chance de se réaliser

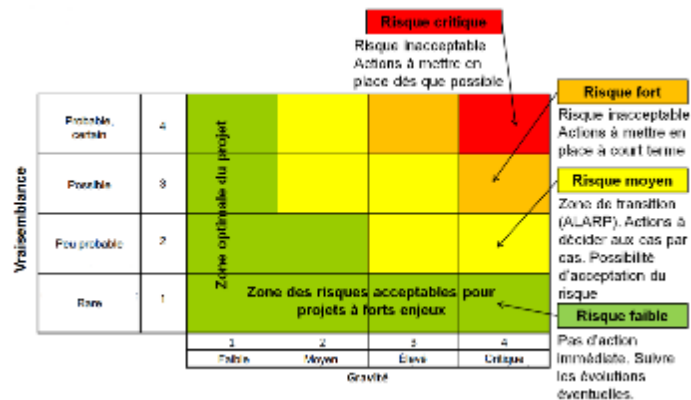


Figure 27 : Évaluation de la criticité des risques (Source : Richard Frenette)

Tableau 17 : Tableau de criticité des risques

Risques	Fréquence	Enjeux				
		Coût	Temps	Eau (ruiss.)	Entretien	Faune/Flore
1	1	3	2	4	1	1
2	1	3	2	4	1	1
3	1	3	1	4	3	3
4	3	1	1	3	3	3
5	3	2	1	1	3	3
6	2	2	4	1	3	2
7	3	3	3	1	3	3
8	3	4	3	1	4	4
Risques	Fréquence	Enjeux (suite)				
		Sécurité	Sols	Chang. Clim.	Accept. Soc.	Pérennité
1	1	1	1	4	2	3
2	1	1	1	4	2	3
3	1	1	3	4	1	3
4	3	3	3	1	1	2
5	3	3	3	1	1	3
6	2	2	3	1	4	3
7	3	3	2	1	4	4
8	3	4	4	1	4	4

La criticité des risques, représentée par les différentes couleurs dans le tableau 17, a été analysée selon la grille de criticité (voir figure 27 fournie par M. Richard Frenette, ing. Ph.D.)

Ainsi, il est possible d'observer que les risques les plus forts dans le projet sont ceux directement liés à la participation citoyenne des résidents dans le projet d'implantation d'aires de biorétention, que ce soit de par leur implication ou par leur contribution financière. Toutefois, il est possible d'affirmer que la majorité des risques sont faibles dans ce projet.

12.6 Atténuation des risques

Afin de réduire la criticité des risques de faible participation des citoyens (implication et monétaire), il est important de penser dès maintenant à des actions à mettre en place, et ce, même si le projet n'est qu'en phase analyse. Voici une liste des actions qui pourraient être prises par *InnoVert Design* et par l'ABVLW afin d'augmenter la mobilisation citoyenne du projet :

- Campagnes de sensibilisation;
- Subventions monétaires pour l'implantation d'ADB;
- Visite organisée du projet pilote;
- Publicité web (site internet de la ville et du client);
- Objectifs par quartier (Ex : 25 nouveaux ADB pour 2018);
- Solutions esthétiques pour qu'elles soient plus attrayantes pour les citoyens;
- Instauration d'un mérite décerné par la municipalité pour générer un sentiment d'appartenance et de fierté lors de la participation (*Hall of Fame* des ADB).

12.7 Conclusions et recommandation

Tel que mentionné, les risques plus critiques du projet se situent au niveau de la participation citoyenne. Ainsi, plus la participation des résidents de Waterloo est encadrée et commune, moins les risques seront grands. Au contraire, plus la participation au projet est individuelle, plus elle sera un risque fort par rapport au succès du projet.

De ce fait, la solution en bordure de route, prise en charge par la municipalité représenterait moins de risques quant à la mobilisation citoyenne, puisque la municipalité jouerait un rôle plus important dans le projet. Ensuite viendrait la solution multilogement, car elle implique encore une fois moins d'interacteurs que celle unifamiliale qui se trouverait en dernière position. En bref, plus les interacteurs du projet agiront ensemble, plus la mobilisation citoyenne sera grande, et donc plus la pérennité du projet sera assurée. Ci-dessous, le classement final des solutions selon les résultats de l'analyse de risques :

1. Solution en bordure de route
2. Solution multilogement
3. Solution unifamiliale

13. ANALYSE ÉCONOMIQUE PRÉLIMINAIRE

13.1 Définition du contexte et des objectifs

Dans cette section du rapport de projet, une estimation préliminaire des coûts des travaux de génie civil est effectuée. Afin d'être en mesure de comparer les 3 solutions sur le plan économique, un dénominateur commun a été déterminé, puisque les 3 solutions proposées par *InnoVert Design* ont des emplacements et des superficies de drainage différents. Le dénominateur commun utilisé dans l'analyse économique est le même que celui développé dans [l'analyse hydrologique et hydraulique](#), c'est-à-dire une superficie de 1 000 m². Il est à noter que cette méthode implique une hypothèse de proportionnalité. Le tableau suivant présente les superficies de rétention nécessaires pour chaque solution en considérant cette superficie commune de ruissellement.

Tableau 18 : Superficie de rétention avec dénominateur commun

	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB bordure de route
Surface de rétention (m ²)	8	12	40

13.2 Estimation préliminaire des coûts de travaux de génie civil

Lors de la phase conception de la solution retenue, une estimation plus complète sera effectuée. Pour ce chapitre, l'analyse préliminaire se basera sur une thèse de maîtrise réalisée sur les aires de biorétention (Dugué, 2010). Les coûts présentés dans le tableau suivant sont directement pris de cette étude. D'autres hypothèses sont aussi effectuées pour adapter l'analyse au projet.

Tableau 19 : Coûts unitaires des éléments d'une ADB

Description	Unité	Prix unitaire
Excavation et disposition hors du site	m ³	18 \$
Matériau granulaire	m ³	10 \$
Dynamitage	m ³	13 \$
Régulateur de débit à plaques/vortex	unitaire	1 500 \$
Conduite PVC 200 mm (trop plein)	m.l.	150 \$
Conduite perforée 200mm (drain)	m.l.	150 \$
Géotextile	m ²	3 \$

Les prix incluent tous les frais reliés à l'achat des matériaux et à la main d'œuvre. De plus, une profondeur totale de 1,5 m a été considérée, incluant 1 m de structure et 0,5 m de hauteur libre pour l'eau en surface. Les détails de calcul sont présentés à l'[annexe J](#).

Le prochain tableau présente l'estimation préliminaire pour chaque solution en fonction du dénominateur commun.

Tableau 20 : Estimation préliminaire en fonction du dénominateur commun

	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB bordure de route
Surface totale (m ²)	1000	1000	1000
Surface d'ADB (m ²)	8	12	40
Estimation préliminaire	4 750 \$	5 300 \$	13 150 \$

Le tableau suivant présente le prix de chaque solution en fonction des superficies réelles de ruissellement et de rétention. Toutefois, cette estimation ne permet pas la comparaison des solutions sur le plan économique vu les grandes distinctions entre les différentes solutions.

Tableau 21 : Estimation préliminaire de chacune des solutions individuellement

	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB bordure de route
Surface totale (m ²)	2200	5080	570
Surface d'ADB (m ²)	26	126	18
Estimation préliminaire	7 150 \$	18 950 \$	7 600 \$

13.3 Conclusions et recommandations

Selon l'aspect économique uniquement, en considérant le dénominateur commun d'analyse, la solution la moins chère, en date d'aujourd'hui, est la solution d'ADB unifamiliale. Ensuite, la solution d'ADB multilogement est un peu plus chère que la première et finalement, la solution en bordure de route est la plus chère des 3. En résumé, les solutions se classent comme suit :

1. ADB unifamiliale
2. ADB multilogement
3. ADB bordure de route

L'analyse économique préliminaire pour la solution bordure de route est très élevée en raison de la très grande quantité de conduites perforées qui est requise. La forme de l'ADB étant plus allongée, le drain doit se prolonger sur toute la longueur, donc celui-ci possède un rayon d'action moins grand.

14. ANALYSE DE CYCLE DE VIE SIMPLIFIÉE

14.1 Description du contexte et des objectifs

L'objectif de ce chapitre est de réaliser une analyse de cycle de vie simplifiée. Elle est basée sur le Eco-Indicator 99 où un point correspond au millième de l'impact environnemental annuel d'un Européen moyen (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, 2003) et où l'objectif est d'avoir le processus avec le plus petit résultat possible. Elle permet d'étudier les 3 solutions retenues afin de déterminer laquelle de ces dernières favorables d'un point de vue environnemental selon les critères de cycle de vie simplifiée. En détail, l'analyse suivante permet de répondre aux objectifs suivants :

- Réaliser une ACV simplifiée pour les 3 solutions ;
- Identifier le scénario favorable;
- Proposer une piste d'amélioration pour le scénario retenu.

L'explication des hypothèses et des données est incluse au sein de chaque chapitre de l'analyse de cycle de vie.

14.2 Inventaire

Les différentes étapes liées au cycle de vie des 3 solutions des ADB sont présentées au tableau 22. En ce qui concerne les étapes liées à la production et l'utilisation, elles sont identiques pour les trois solutions. Cependant, celles liées à la fin de vie sont pareilles pour les ADB unifamiliale et les ADB multilogement, mais elles sont différentes pour les ADB en bordure de route.

Tableau 22 : Étapes du cycle de vie liées aux trois solutions

ADB unifamiliale et multilogement	ADB en bordure de route
Production	
Excaver la zone de prétraitement (Hypothèse: le prétraitement : tranchée de pierre)	
Excaver et (Hypothèse : de réutiliser 30% de déblais)	
Excaver pour le drain et le trop-plein le réseau pluvial	
Installation du drain et du trop-plein	
Connecter le drain et le trop-plein au réseau pluvial	
Mélanger le sol en place avec du compost et du sable	
Mettre en place le mélange	
Déposer du paillis à la surface	
Semer les végétaux	
Utilisation	
Ôter les débris et les accumulations de sédiments.	
Enlever les mauvaises herbes et les végétaux morts	
Ajouter du paillis	

ADB unifamiliale et multilogement	ADB en bordure de route
Fin de vie	
Tout est laissé en place, car il est inutile de défaire le jardin sur un terrain résidentiel.	Démolition, car il peut être difficile de conserver les ADB lorsque la route est refaite.
	Excavation pour l'enlèvement du géotextile, du drain perforé et du trop-plein
	Disposition du géotextile, du drain perforé et du trop-plein
	Les végétaux et les matériaux granulaires sont laissés en place

14.3 Champs d'études de l'ACV simplifiée

14.3.1 Fonction

La fonction principale des ADB pour le projet de restauration du lac Waterloo est de réduire les apports externes de phosphore, ce qui entraîne une diminution du ruissellement urbain. Pour ce faire, les ADB devront réduire les volumes des eaux de ruissellement et de traiter les polluants contenus dans ces dernières par l'infiltration dans le sol et par l'implantation d'aires végétalisées. La fonction est identique pour les 3 solutions.

14.3.2 Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle est que les ADB doit réduire les réduire les volumes des eaux de ruissellement et de traiter les polluants contenus dans ces dernières pour une période de 30 ans.

14.3.3 Flux de référence

La durée de vie de 30 ans est applicable aux 3 solutions. Effectivement, pour les ADB unifamiliale et multilogement, il est peu probable que les ADB soient détruits. Généralement, les propriétaires demeurent à la même demeure pendant au moins 30 ans. De plus, en cas de vente, il est rare que les nouveaux propriétaires changent complètement les aménagements paysagers. Puis, en ce qui concerne les ADB en bordure de route, il est possible de faire plusieurs replanages de la chaussée pendant les 30 années de durée de vie en protégeant les ADB. Une durée de vie de 30 ans est probable avant que la structure de la route doive être refaite.

14.3.4 Limites du champ d'études

Dans le cadre de cette étude, les volumes sont basés sur la surface de rétention selon un dénominateur commun afin de permettre la comparaison. Toutefois, il ne s'agit des volumes obtenus lors l'analyse hydraulique et hydrologie complète. De plus, comme les 3 solutions possèdent des volumes différents, les quantités pour chaque élément technique sont mentionnées dans le sous-chapitre Estimations préliminaire. Également, les trois solutions possèdent des localisations différentes, donc les distances entre chaque solution et le point d'achat ont été calculées. Puis pour ce projet, la seule généralité est la durée de vie des trois solutions de 30 ans. Autrement, aucun élément n'est similaire.

14.4 Évaluation des impacts des scénarios

14.4.1 Méthodologie

Les 3 solutions analysées dans le cadre de ce rapport et expliquée au sous –chapitre Inventaire ont été modélisée à l’aide d’un logiciel Excel fournit dans le cadre du cours GCI 900. Il s’agit d’un outil qui permet de réaliser de ACV simplifiée. La base de données est construite à l’aide de la base de données Ecoinvent version 2.2.

14.4.2 Quantités

Le fichier Excel ne fournit aucune information sur certains éléments techniques des ADB, ils ont donc été négligés. Tel est le cas pour la masse de la terre végétale, les géotextiles et les végétaux paysagers pour l’étape de production et pour l’étape d’utilisation la disposition des déchets, des sédiments, des mauvaises herbes et des végétaux morts.

Également, les distances entre la carrière et les magasins seront calculées avec un aller-retour tandis que le transport vers le site d’enfouissement sera calculé que pour un aller, car il est calculé en tkm. Une tkm est le produit du nombre de tonnes et de kilomètres.

Les quantités annuelles du sous-chapitre Utilisation sont multipliées par la durée de vie de 50 ans.

Finalement, [l’annexe K](#) présente les quantités utilisées pour les calculs de la méthode 99. Les valeurs sont calculées pour des matériaux similaires et des distances à parcourir pour l’achat des matériaux et l’entretien. Le tableau est une synthèse des résultats obtenus au sous-chapitre Estimations préliminaire des quantités.

14.4.3 Résultats selon la méthode E99

Les différents résultats obtenus lors de l’utilisation du logiciel EXCEL sont présentés au tableau 3. Le résultat est exprimé en éco point pour chacune des solutions. Aucun facteur de pondération n’est nécessaire, car la durée de vie est la même pour les 3 solutions.

Tableau 23 : Résultats obtenus en écopoints des trois solutions

Étapes - Cycle de vie	Score (Ecopoints)		
	unifamiliale	multilogement	bordure de route
Production	3,13	5,11	29,02
Utilisation	148,81	221,29	547,36
Fin de vie	0,00	0,00	0,73
Total	151,94	226,40	575,11

14.4.4 Discussion des résultats

En analysant le tableau 23, il est possible de constater que les meilleurs résultats sont classés selon un ordre croissant. Effectivement, la solution des ADB unifamiliale obtient la plus petite somme, avec une valeur de 151,94, suivi de la solution des ADB multilogement avec une valeur de 226,40 et finalement les ADB en bordure de route avec une valeur de 575.11, ce qui correspond pratiquement au triple de la valeur obtenue pour la première solution.

Dans le but de ramener tous les écopoints obtenus à un mètre carré de superficie, il est possible de diviser le résultat par les surfaces de rétention. Les résultats sont présentés au tableau 24.

Tableau 24 ; Valeur équivalente des écopoints pour un mètre carré

Étapes - Cycle de vie	unifamiliale	multilogement	bordure de route
Surfaces de rétention utilisées pour établir le dénominateur commun.	8 m ²	12 m ²	40 m ²
Production (ecopoint)	0,39	0,43	0,73
Utilisation (ecopoint)	18,60	18,44	13,68
Fin de vie (ecopoint)	0,00	0,00	0,02
Total	18,99	18,87	14,43

Le tableau 24 illustre que la solution des ADB en bordure de route obtient le meilleur résultat, suivi de celle multilogement et après celle unifamiliale. Ces résultats sont expliqués par le fait que les écopoints sont redistribués selon la superficie. Donc, plus l'ADB est grande, plus la somme des écopoints est faible, ce qui est souhaitable pour ne pas avoir trop d'impact sur l'environnement.

14.5 Stratégies d'éco-conception du scénario sélectionné

Comme la solution de l'ADB en bordure de route obtient le meilleur résultat, il sera retenu pour l'élaboration d'une piste d'amélioration. Comme le pointage obtenu pour les trois solutions est le plus élevé dans l'étape de cycle de vie dans l'utilisation, il sera considéré pour l'amélioration. La majorité des points est obtenue suite au transport nécessaire lié à l'entretien. Les stratégies choisies sont de :

1. Il serait pertinent d'instaurer la récupération de la matière organique afin de la transformer en compost au sein la municipalité. Autrement dit, les distances à parcourir pour les mauvaises herbes et les végétaux morts seraient diminuées et pourraient être introduites dans les nouvelles ADB construites pour le 30% de compost. Un lieu potentiel pour l'installation d'un composteur industriel sera le garage municipal de Waterloo et comme aucune information n'est disponible sur sa localisation, l'hypothèse est formulée qu'il est situé à l'Hôtel de Ville. Selon l'ancienne analyse, la distance entre le site d'enfouissement et la solution pour une durée de vie de 50 ans est de 1150,00 km tandis que la nouvelle distance est 100,00 km pour une période de 100 ans.
2. Puis, comme il s'agit de petites quantités annuellement, la personne responsable de l'entretien peut aller les porter directement à l'hôtel de ville avec son véhicule. Cette modification entraîne une diminution de l'utilisation des camions dédiés au transport des déchets municipaux. L'ancien véhicule est un Transport, municipal waste collection, lorry 21t/CH U tandis que le nouveau est un Operation, lorry 3.5-16t, fleet average/RER U.

14.5.1 Résultat

Le tableau 25 illustre les résultats obtenus pour la piste d'amélioration des ADB en bordure de route. Pour le calcul de la valeur équivalente, il est important de rappeler que la surface de rétention des ADB en bordure de route est de 40 m²

Tableau 25 : Valeur obtenue l'ADB avec la piste d'amélioration.

	Ancienne analyse		Nouvelle analyse	
	Ecopoint obtenu directement	Valeur équivalente	Ecopoint obtenu directement	Valeur équivalente
Utilisation	547,36	13,68	192,62	4,82

Le résultat obtenu pour la l'étape de l'utilisation suite aux modifications proposées ci-dessus est presque 3 fois plus petite que le résultat de la précédente analyse. Effectivement, elle obtient une valeur de 4,82 comparativement à 13,68. Ces pistes de solutions sont donc viables.

14.6 Conclusions et recommandations

En conclusion, cette analyse de cycle de vie simplifiée a couvert trois grands objectifs soit de réaliser une ACV simplifiée pour les 3 solutions, d'identifier le scénario favorable et de proposer une piste d'amélioration. Pour réaliser ces tâches, tout d'abord, un inventaire détaillé des solutions a été réalisé pour connaître les quantités propres à chaque solution. Puis, l'utilisation du logiciel EXCEL a permis de conclure que le classement des solutions était le suivant lorsque les éco-points sont remis sur un mètre carré.

1. ADB en bordure de route
2. ADB multilogement
3. ADB unifamiliale

Finalement, la piste de solution proposée est faite selon les ADB en bordure de route. Elle est basée sur des modifications liées à l'entretien.

Puis, les recommandations liées à cette analyse sont basées sur des améliorations possibles pour maximiser les transports. Tout d'abord, afin de réduire les impacts liés au voyage pour l'achat du paillis, il serait intéressant de regrouper les achats. En d'autres termes, pour la solution des ADB unifamiliales, les propriétaires pourraient se regrouper pour passer des commandes d'achat de matériaux. Sinon, pour la solution des ADB multilogement et en bordure de route, la compagnie d'entretien paysager et la municipalité pourraient également regrouper leur achat avec d'autres sites afin de réduire les impacts environnementaux liés au transport. Cette stratégie s'applique également aux achats initiaux des matériaux granulaires et de construction. Puis, pour la solution en bordure de route, il sera viable que la municipalité fournisse un véhicule électrique à l'employé responsable de l'entretien.

15. RECOMMANDATION DE LA SOLUTION POUR LA PHASE CONCEPTION

15.1 Sommaire des résultats

Au total, 11 analyses ont été réalisées afin de discriminer les trois solutions et de permettre la recommandation d'une solution au client. Le tableau 26 présente le classement des solutions selon chacune des analyses.

Tableau 26 : Classement des solutions selon les analyses effectuées

	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB bordure de route
Fonctionnelle	1	3	2
Risques préliminaire	3	2	1
Estimation préliminaire	1	2	3
Cycle de vie simplifiée	3	2	1
Hydraulique préliminaire	2	3	1
Géotechnique	2	3	1
Environnementale	1	3	2
Éléments techniques	3	2	1
Entretien requis	1	2	3
Impacts des saisons	2	1	3
Impacts sociaux	1	3	2

15.2 Pondération des analyses

Afin de pondérer les analyses et d'ainsi leur donner un poids plus adéquat dans le choix d'une recommandation au client, la méthode du tri croisé a été utilisée. Cette méthode vise à mettre en compétition chacune des analyses afin d'évaluer laquelle devrait peser plus dans la prise de décision. Le détail de l'analyse par tri croisé est présenté à l'[annexe L](#).

Le tableau 27 présente les analyses en ordre d'importance selon la méthode du tri croisé

Tableau 27 : Importance de chacune des analyses

Rang	Analyse	Poids dans la pondération (%)
1	Environnementale	26,7
2	Fonctionnelle	18,6
3	Impacts sociaux	18,6
4	Géotechnique	12,8
5	Estimation préliminaire	8,1
6	Impacts des saisons Entretien	7,0
7	Cycle de vie simplifiée	4,7
8	Risques préliminaires	1,2
9	Hydraulique Hydrologique préliminaire	1,2
10	Éléments techniques	1,2

Ainsi, les analyses environnementale, fonctionnelle et des impacts sociaux auront un poids plus important dans la prise de décision pour la recommandation.

15.3 Classement des solutions

La figure 28 présente les résultats de performance des solutions. Ce résultat inclut la pondération des analyses. Ainsi, la solution unifamiliale est la plus intéressante pour répondre aux besoins du client avec un pointage de 49%, la solution bordure de route suit avec un pointage de 34% et la solution multilogement est la solution la moins performante avec un pointage de 17%.

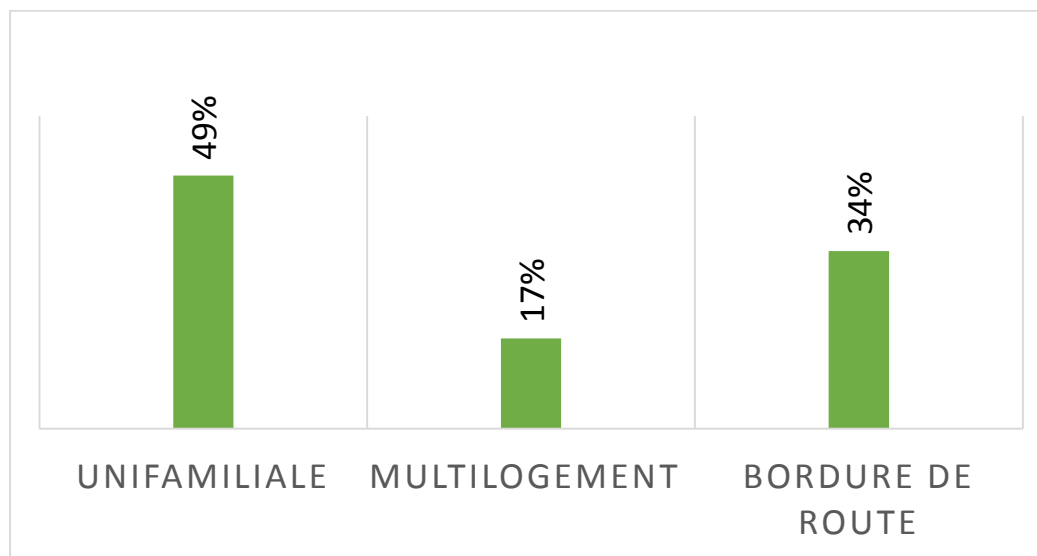


Figure 28 : Résultats des trois solutions par rapport aux analyses effectuées

15.4 Conclusions et recommandation générale d’une solution

Pour conclure, la **solution unifamiliale** (figure 29) est recommandée au client par *InnoVert Design*. Cette solution permet une réalisation du projet pilote dans des délais plus courts que la solution en bordure de route. De plus, sa possibilité de duplication est très intéressante vu le haut pourcentage de résidence unifamiliale sur le territoire de Waterloo. Cette solution présente un potentiel de réduction du phosphore et est une solution engageante pour les citoyens. Toutefois, cette solution présente de faibles résultats pour les analyses de risques préliminaires et d’analyse de cycle de vie. Cette faible performance dans ces analyses peut être remédiée par plusieurs méthodes d’atténuation présentées dans chacune de ces analyses (Regroupement des citoyens pour diminuer le transport lors de l’implantation et de l’entretien et création d’un sentiment d’appartenance et de fierté pour diminuer les risques par rapport à la pérennité du projet).

Finalement, la normalisation de la solution est un point fort des trois solutions et qui sera, bien entendu, partie prenante de cette solution. La création d’une méthodologie claire et facile d’utilisation permettra de faciliter la duplication du projet et d’ainsi maximiser les impacts environnementaux. L’équipe *InnoVert Design* est fière de recommander la solution unifamiliale comme projet pilote au projet d’implantation d’ADB sur le bassin versant du lac Waterloo. L’implantation d’ADB unifamiliale permettra une réduction du ruissellement urbain et un embellissement du milieu de vie des citoyens, et ce, aux quatre coins de la municipalité.



Figure 29 : Illustration de la solution recommandée
(Source : http://ottawa.ca/sites/default/files/eastern_raingarden_fr.jpg)

III. CONCEPTION

16. ACTUALISATION DES BESOINS

À la suite de la rencontre du 7 novembre 2017 avec Monsieur Marc-Antoine Bazinet, représentant de l'ABVLW, la solution unifamiliale recommandée par l'équipe *InnoVert Design* a été acceptée avec modifications par le client pour la phase conception. Effectivement, la discussion avec M. Bazinet a permis de préciser les besoins du client sur plusieurs aspects, notamment l'aspect économique. La solution d'ADB unifamiliale proposée correspondait bien aux besoins du client quant à l'engagement citoyen, la possibilité de duplication et la possibilité d'implantation à court terme vu l'indépendance du projet vis-à-vis la municipalité de Waterloo. Toutefois, l'estimation préliminaire de 7000\$ par aire de biorétention par résidence a été considérée par le client comme un facteur très critique. En effet, il a été estimé peu probable qu'une majorité de propriétaires souhaitent investir une telle somme pour l'implantation d'ADB sur leur terrain. De plus, les ADB proposées comportaient un drain qui devait être raccordé au réseau pluvial, ce qui engendrait également des travaux sur la rue. Ce montant d'investissement et les désagréments liés aux travaux sur la rue pourraient compromettre la duplication des ADB et donc, par le fait même, compromettre l'impact environnemental potentiel sur le ruissellement urbain. **Il est à noter que l'impact réel des ADB sur le lac ne sera manifeste que si les aires de biorétention sont répandues en grand nombre sur le bassin versant du lac Waterloo.**

Ainsi, l'équipe *InnoVert design* a modifié la solution unifamiliale afin de réduire les coûts par ADB de près de moitié. La solution initiale visait la conception normalisée d'ADB unifamiliale pour les terrains résidentiels en bordure de lac (zones bleues foncées sur la figure 30). Cette zone avait été sélectionnée en fonction de l'enthousiasme des propriétaires de cette zone à accueillir le projet pilote et à le financer. De plus, cette zone avait été ciblée pour le grand volume de ruissellement qui était présent à la suite de l'urbanisation des rues plus en amont. Néanmoins, cette zone est également défavorable sur le plan géotechnique. La présence de roc affleurant augmente les coûts d'excavation et rend obligatoire la présence d'un drain raccorder au réseau pluvial afin d'assurer l'infiltration adéquat des eaux de ruissellement.

C'est pourquoi, l'équipe *InnoVert design* a décidé de relocaliser le projet pilote et d'effectuer la conception normaliser d'ADB unifamiliale pour une la zone résidentielle où le drainage est plus adéquat soit les zones bleues pales présentent sur la carte suivante.



Figure 30 : Carte géologique Waterloo

Cette relocalisation permettra la conception d'ADB sans drain puisque le roc se trouve à plus d'un mètre de profondeur et que les sols sont de catégorie «bien drainé» selon les cartes géologiques disponibles. Les coûts liés à l'excavation du roc, au drain et à la connexion à la rue seront déduits de l'estimation initiale ce qui permettra une meilleure participation citoyenne. De plus, les travaux d'implantation d'ADB n'auront pas d'impact sur la structure de chaussée. Également, il est à noter que la réduction de ruissellement urbain dans les quartiers en amont du lac aura un impact sur le ruissellement des terrains en bordure de lac où le problème d'important volume de ruissellement avait été souligné et aura également un effet de réduire les apports en phosphore au lac Waterloo.

Cette modification de localisation a également eu un impact sur la représentation d'un terrain type. Effectivement, les terrains en bordure de lac sont généralement plus grands et plus végétalisés. Le pourcentage d'imperméabilisation des terrains a donc été modifié pour l'analyse hydraulique réalisée sur SWMM.

17. RÉSUMÉ DU PROJET

Ainsi, la solution retenue est la conception d'aires de biorétention normalisées pour des terrains de résidences unifamiliales existantes. Cette conception vise les zones du bassin versant du lac Waterloo où l'épaisseur du dépôt meuble est de plus de 1 mètre et où la capacité du drainage de sol est catégorisé comme très bon. Cette caractéristique géotechnique justifie l'élaboration d'ADB sans drain qui seront beaucoup moins coûteux pour les propriétaires que les ADB avec drain. Il est à noter que l'objectif de cette solution est d'ajouter des aires de biorétention dans des zones déjà urbanisées. Advenant le développement de nouveaux quartiers, l'option d'aires de biorétention avec drain pourrait être avantageuse puisque les drains seraient installés au même moment que les autres connexions à la rue, toutefois les ADB avec drain ont été écartés pour cette étude afin de mieux répondre aux besoins du client. De plus, afin de minimiser l'entretien pour les propriétaires et le réinvestissement de coûts liés à l'achat de végétaux, la solution proposée

n'abaisse par les bordures de routes, ce qui favorise généralement la gestion de l'eau de ruissellement provenant des routes. Cette eau est généralement chargée en sel de déglacage à l'hiver et au printemps ce qui aurait un impact nocif sur les ADB en colmatant les couches filtrantes et en causant la mort des végétaux présents de l'ADB. Le tout augmenterait la charge de travail pour l'entretien ce qui risquerait de nuire à la participation citoyenne. La figure 31 présente un exemple d'abaissement de la bordure de route à éviter pour cette solution. La solution retenue vise le traitement de l'eau de ruissellement provenant des terrains résidentiels et non de l'eau de ruissellement provenant de la rue. Il serait toutefois intéressant, dans une prochaine phase du projet, d'ajouter au grand projet de restauration du lac Waterloo la solution d'ADB en bordure de route en collaboration avec la municipalité.



Figure 31 : Abaissement de la bordure de route. Source : extension.umn.edu

Ainsi, la solution retenue comporte une évaluation du taux d'imperméabilisation moyen des terrains dans cette nouvelle zone, une conception normalisée visant à encadrer les propriétaires dans l'implantation d'ADB adéquate pour leur terrain, les plans et devis nécessaires pour commentaires, les impacts potentiels sur la réduction du ruissellement et du phosphore et finalement, les recommandations pour la construction. Les figures 32 et 33 rappellent le grand potentiel esthétique de la solution unifamiliale.



Figure 32 : Exemple esthétique. Source : apwa.net



Figure 33 : Exemple esthétique. Source : sndimg.com

18. CONCEPTION D'UNE MÉTHODE NORMALISÉE

Un élément clé de ce projet est la normalisation de la conception, ce qui permet de faciliter l'implantation des ADB par les citoyens. L'équipe *InnoVert Design* a travaillé à la normalisation de plusieurs éléments tels que :

- Positionnement sur le terrain ;
- Superficie de l'ADB ;
- Configuration des ADB ;
- Zones de prétraitement ;
- Végétaux ;
- Épaisseurs des couches.

Les détails de chacun des éléments sont fournis au sein de ce chapitre.

18.1 Positionnement sur le terrain

Lors du choix de la position de l'ADB sur le terrain, il faut tenir compte de plusieurs aspects pour optimiser l'efficacité et pour protéger les installations existantes. Les points suivants sont élaborés dans le texte suivant.

- Proximité des gouttières ;
- Évitement des routes et des stationnements ;
- Respect des limites du terrain ;
- Présence de fosses septiques et de puits ;
- Contraintes physiques ;
- Distance des bâtiments.

18.1.1 Proximité des gouttières

Tel que mentionné au chapitre 7.3, la méthode la plus efficace pour éviter le colmatage du système par l'apport de sédiments est de séparer le traitement des eaux de ruissellement non contaminées de celui des eaux contaminées (Ville de Québec, N.D.). Il faut donc rappeler que le traitement des eaux contaminées issues des surfaces imperméables soit les routes et les stationnements, nécessite le traitement via plusieurs PGO. Donc, il est préférable de positionner les ADB près du ruissellement produit par le toit, soit près de la gouttière. De plus, il est possible d'acheminer directement l'eau issue des gouttières dans l'ADB en utilisant un tuyau.

18.1.2 Évitement des routes et des stationnements

Tel que mentionné au chapitre 8 portant sur l'analyse de l'impact des saisons, l'ADB ne doit pas être positionnée à proximité des routes et des stationnements pour éviter le contact avec les sels et les produits déglaçants. Les sels et les produits déglaçants sont responsables de la présence de chlorure dans les milieux. Puis, il faut rappeler que les végétaux sont sensibles à la présence excessive de chlorure, car il est néfaste pour la croissance de la végétation.

18.1.3 Respect les limites du terrain

D'une part, il faut s'assurer que l'ADB soit construite sur le terrain du propriétaire désirant réaliser l'implantation. Il est donc préférable de s'éloigner de la ligne de séparation des terrains. D'une autre part, il faut respecter l'emprise de la municipalité sur le terrain en bordure de la rue. En résumé, l'ADB doit être construite à l'intérieur des limites du lot.

18.1.4 Présence de fosses septiques et de puits

En cas de présence de fosse septique, il faut installer l'ADB à au moins 15 mètres en amont de la fosse et 3 mètres en aval de la fosse (12 000 Rain Gardens in Pudget Sound, 2013). Comme peu d'informations sont disponibles dans la littérature à ce sujet, il est pertinent de valider les limitations avec un professionnel. En ce qui concerne les puits pour eau potable, il est conseillé que l'installation de l'ADB soit au minimum à 30 mètres (12 000 Rain Gardens in Pudget Sound, 2013).

18.1.5 Contraintes physiques

En ce qui concerne les pentes du terrain, il est préférable d'installer l'ADB dans un point bas naturel du terrain. Cette stratégie permet de forcer l'accumulation d'eau au sein de l'ADB. Toutefois, si l'ADB est installée sur un terrain en pente, la valeur maximale de la pente est de 20% (Gouvernement du Québec, 2014). Dans ces circonstances, il faut prévoir une entrée au point haut et une sortie au point bas. Puis, au sein de l'ADB, la pente maximale est de 5% pour éviter l'accumulation dans le point bas. Par la suite, il faut prendre en considération la profondeur du roc ainsi que de la nappe phréatique. Pour ces deux cas, il faut s'assurer que la distance entre le fond de l'excavation et ces contraintes soit d'au moins 1 mètre. Il faut considérer la hauteur de la nappe phréatique varie en fonction des sessions. En résumé, il faut porter une attention aux pentes du terrain, de l'ADB, à la présence du roc naturel et de la nappe phréatique.

18.1.6 Distance des bâtiments

Une distance minimale de 4 m entre une ADB et des bâtiments devrait être prévue, sans quoi une membrane étanche verticale doit être installée pour minimiser les apports d'eau induit aux drains de fondation (Ville de Québec, N.D).

18.2 Superficie de l'ADB

La détermination de la superficie des ADB est basée sur une modélisation SWMM. Afin de normaliser la surface, il faut réaliser les deux calculs suivants, l'un basé sur le pourcentage de l'aire en fonction de la superficie totale du terrain et l'autre, selon l'hypothèse que l'ADB a une forme carrée.

18.2.1 Calculs

Pour la conception du projet type, dans le secteur de la rue Bellevue, l'équipe *InnoVert Design* considère un terrain moyen ayant une aire de 925m². En se basant sur les recommandations de surface tributaire, la valeur des ADB devrait se situer entre 5 et 10%(Ville de Québec, N.D.). La valeur choisie suite à la modélisation SWMM est de 5%. Il

est important de rappeler que la superficie de l'ADB est fonction de la superficie du terrain. Par conséquent, le citoyen devrait effectuer le calcul suivant pour déterminer l'aire de ADB.

$$\text{Aire de l'ADB} = 5\% * \text{Superficie du terrain}$$

Donc, en considérant une superficie totale de 925m², l'aire de l'ADB est 46,25m².

18.2.2 Forme

Dans l'objectif de simplifier les calculs d'estimation et les plans réalisés sur AutoCAD, la forme des ADB est carrée. Toutefois, les citoyens sont libres de choisir la forme qu'il désire pourvu que l'aire soit équivalente.

Donc, par la suite, il est possible de déterminer les dimensions des côtés.

$$L_{\text{côté}} = \sqrt{\text{Aire de l'ADB}}$$

Dans cette situation, le carré est de 6,8m par 6,8.

18.3 Configuration des ADB

La configuration des ADB fait référence aux éléments suivants :

- Type de biorétention ;
- Aire d'emmagasinement de surface;
- Pentés au sein des ADB.

Les détails qui sont fournis dans les lignes suivantes sont des renseignements essentiels pour la réalisation des plans AutoCAD.

18.3.1 Type de biorétention

Le type de biorétention choisi par l'équipe *InnoVert Design* considérant les contraintes géotechniques est celui qui permet une infiltration complète. Ce type est expliqué dans le guide de gestion des eaux pluviales. Cependant, l'équipe *InnoVert Design* a légèrement modifié la configuration en ajoutant une couche de matériau granulaire tel que suggéré dans le logiciel SWMM afin de modéliser une aire de biorétention et non seulement un jardin de pluie. La modification de configuration est illustrée à la figure 34.

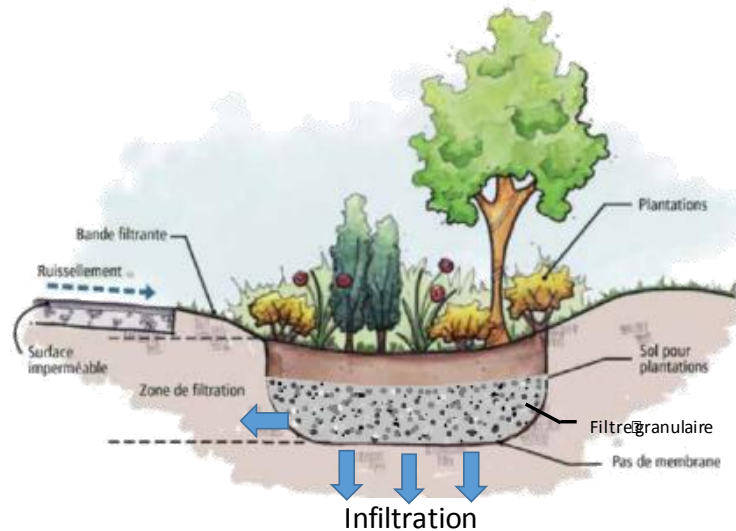


Figure 34: Type de biorétention adaptée,
Source : Gouvernement du Québec modifié par *InnoVert Design*

Il est important de rappeler qu’aucun drain n’est installé pour des raisons économiques et permettre d’accroître l’acceptabilité sociale pour la solution conçue par l’équipe *InnoVert Design*. Par conséquent, toutes les eaux filtrées sont retournées à la nappe phréatique. Ce type permet donc de recharger la nappe phréatique. Afin que ce type de biorétention soit efficace, il faut valider que les sols en place ayant une capacité d’infiltration élevée (25 mm/h et plus).

Tel que mentionné au chapitre 7.6 du présent document, la présence de géotextile n’est pas pertinente puisque l’objectif est l’infiltration des eaux des ruissellements dans le sol et qu’il n’y a pas de restriction concernant les risques de contamination de la nappe phréatique. De plus, l’absence de géotextile évite les problèmes liés au colmatage.

18.3.2 Aire d’emmagasinement de surface

L’aire d’emmagasinement de surface fournit un volume d’accumulation d’eau avant l’infiltration à travers le sol, tout en permettant l’évaporation et le dépôt des sédiments. Une hauteur maximale d’eau de 150 à 300 mm devrait être prévue. (Ville de Québec, N.D.) Dans le cadre de la conception des ADB, l’équipe *InnoVert Design* a choisi une hauteur de 200 mm. Autrement dit, il y a une différence de hauteur de 200 mm entre la surface du sol naturel et le point bas du jardin. La figure 35 présente une aire d’emmagasinement de surface, il s’agit de la zone nommée *maximum ponding depth*.

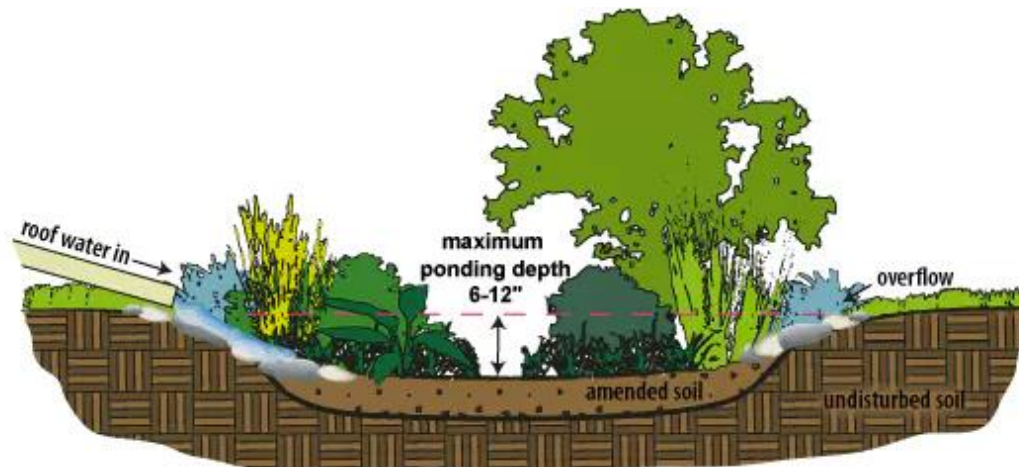


Figure 35: Aire d'emmagasinement de surface
Source : apartmenttherapy.com

18.3.3 Pente au sein de l'ADB

Selon le guide produit par l'état de Washington, les pentes maximales de l'excavation sont 2 :1 (12 000 Rain Gardens in Puget Sound, 2013). Ce ratio de pente se traduit par un angle de $26,56^\circ$, à titre de simplification, l'angle utilisé est de 30° . La figure 36 indique cette spécification.

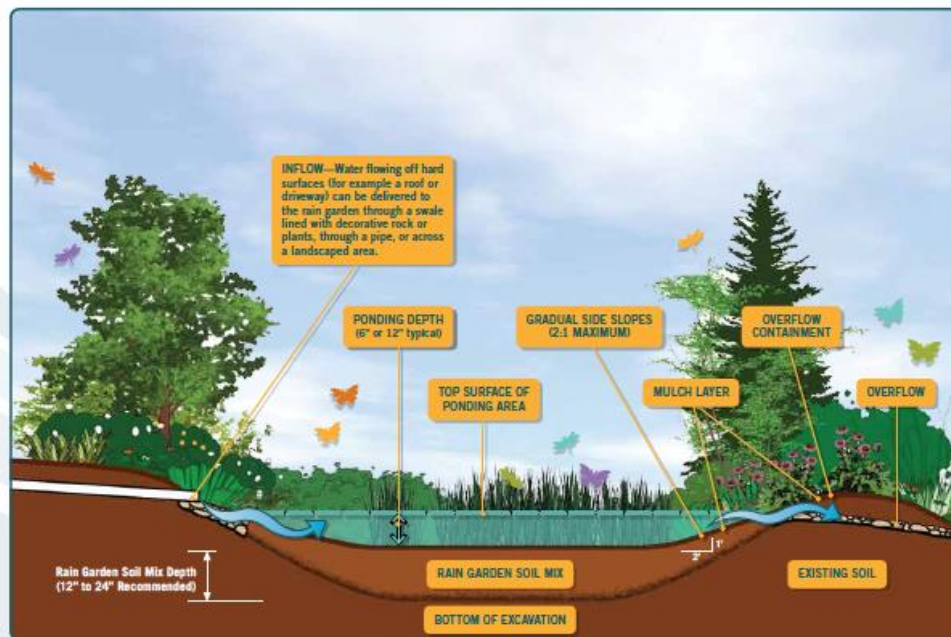


Figure 36: Pente maximale de 2:1
Source : 12 000 Rain Gardens in Puget Sound, 2013

Il est important de valider cet angle avec les valeurs émises par la CSST pour les angles de repos et la nature du terrain ([annexe K-1](#)). Le type de dépôt meuble est un loam sableux, comme ce type de sol n'est pas mentionné dans le tableau de la CSST. L'analyse est réalisée selon le sable et le silt qui ont respectivement des angles de repos de 30° et de 25° . En conclusion, les pentes d'ADB sont conçues selon un ratio 2 :1, car elles respectent les recommandations émises par la CSST et le guide produit par l'état de Washington.

18.4 Zones de prétraitement

Le choix de la zone de prétraitement est une tranchée de pierre pour la conception réalisée par l'équipe *InnoVert Design*. Pour mieux expliquer les caractéristiques de cette partie, elle est divisée en trois catégories soit :

- Rôle de cet élément ;
- Dimensions ;
- Détails techniques.

18.4.1 Rôle de l'élément

Comme les ADB sont susceptibles d'être colmatés par un apport non-contrôlé de sédiment, il est primordial de prévoir des zones de prétraitement. L'installation d'unités de prétraitement permet de réduire les besoins et les activités de maintenance et d'entretien et d'augmenter la longévité des ADB (Gouvernement du Québec, 2014). De plus, la zone de prétraitement permet de répartir les débits au sein de l'ADB.

18.4.2 Dimensions

Les dimensions de la zone de prétraitement sont basées sur le côté d'entrée. Dans cet exemple, il est de 6,8 mètres de longueur. En ce qui concerne la profondeur et la largeur, elles sont respectivement de 200mm tel qu'indiqué sur la figure 37 et de 400 mm.

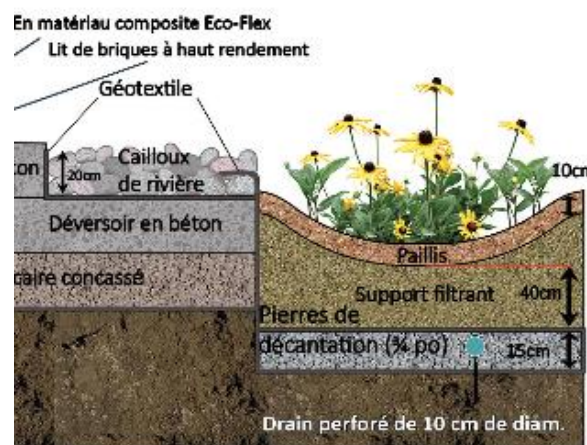


Figure 37: Zone de prétraitement

source : Toronto and Region conservation for the living city, 2015

18.4.3 Détails techniques

Il est important de déterminer le côté qui agit à titre d'entrée. Il s'agit du côté qui est le plus selon l'inclinaison de la pente. C'est le long de ce segment qu'est installée la zone de prétraitement. La tranchée est constituée de pierres de rivières qui sont préalablement lavées pour éviter un apport externe de sédiment. Le fond de la tranchée est couvert d'une membrane géotextile. La fiche produite par l'AAC et le MAPAQ conseille l'utilisation de type Texel 7609 ou 7612 dans le cas de sols sableux et limoneux pour empêcher le colmatage latéral de la pierre (Agriculture et Agroalimentaire Canada et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2007).

18.5 Végétaux

Tel que mentionné précédemment lors de l'analyse environnementale (chapitre 6) et de l'analyse des éléments techniques des ADB, le rôle des végétaux est multiple au sein des ADB. Tout d'abord, les végétaux utilisent les nutriments contenus dans les eaux de ruissellement pour assurer leur croissance. De plus, s'ils sont des végétaux hyper accumulateurs, ils sont en mesure de capter les métaux présents dans les eaux de ruissellement. Ensuite, grâce au développement des racines des végétaux, les propriétés d'infiltration sont augmentées, les risques de colmatages sont réduits, les problématiques liées à l'érosion sont également réduites. Également, les plantes servent aussi de support pour les micro-organismes (Dugué, 2010). En bref, les végétaux permettent l'évapotranspiration, la dégradation biologique, la création de l'ombre et la réduction des îlots de chaleur.

Il faut rappeler que le choix des végétaux est basé sur certains critères, soit :

- Végétation spontanée, espèces indigènes;
- Accumulation d'eau maximale dans les ADB ;
- Résistance à l'inondation ;
- Résistance aux sels de déglacage ;
- Si possible, hyper accumulateur de métaux (Dugué, 2010).

En ce qui concerne la disposition des végétaux au sein de l'ADB, il est important de placer les végétaux en se souvenant que le centre possède des risques plus élevés d'inondation, car l'ADB est construit légèrement en dépression. De plus, il faut respecter les distances de plantations de chacun des végétaux pour assurer leur survie.

Également, il est intéressant d'installer un arbre au sein de l'ADB parce qu'il possède un réseau racinaire plus dense que les plantes et qu'il produit plus d'ombre ce qui est avantageux pour réduire le phénomène d'îlots de chaleur.

Pour augmenter l'aspect esthétique de l'ADB durant la période estivale, il est avantageux de vérifier la période de floraison. La figure 60 présente en [annexe M](#) permet de comprendre cet aspect.

Une liste non exhaustive des végétaux, l'humidité du sol, la tolérance aux sels de déglacants, etc. présentée à l'[annexe M](#). Le tableau contient quelques caractéristiques, par exemple le nom.

18.6 Épaisseur des couches

Dans cette partie, l'équipe *InnoVert Design* suggère des épaisseurs minimales afin de répondre au mandat de normalisation. Toutefois, il est possible de faire varier les épaisseurs des différentes couches pour obtenir une hauteur totale de la cellule entre 450 mm et 1200mm (Dugué, 2010). Lors de l'analyse géotechnique (chapitre 5), le type de dépôts meuble selon l'emplacement du projet pilote est du till soit un loam sableaux. Selon le guide produit par le Maryland, un sandy loam a un taux d'infiltration minimum de 260 mm/h (Department of Environmental Resources, 2007). Ce taux répond aux critères du type de

biorétention choisi qui exige un taux supérieur à 250 mm/h. Cette partie traite des 3 couches de sol présentes au sein d'une ADB soit le paillis, le sol en support à la végétation et le matériau granulaire. Chaque couche est expliquée selon la division suivante :

- Rôle de cet élément ;
- Détails techniques ;
- Épaisseur de la couche.

18.6.1 Paillis

Rôle de cet élément

Le paillis possède plusieurs rôles au sein des ADB. Tout d'abord, il joue un rôle de prétraitement en permettant l'infiltration des eaux de ruissellement tout en protégeant le substrat du colmatage. Également, la couche de paillis permet de protéger le sol de l'érosion, de retenir l'humidité, de fournir un médium adéquat pour la croissance biologique et la décomposition de la matière organique tout en filtrant en partie les polluants. De plus, le paillis permet d'éliminer le problème de mauvaises herbes. En bref, le paillis est un élément primordial au sein des ADB.

Détails techniques

Dans le cadre de ce projet, comme l'objectif des ADB est la réduction des apports en phosphore, il est préférable d'utiliser du paillis fait de cèdre, d'écorce de conifères et d'éclats de bois. Ces types de paillis se décomposent plus lentement que des paillis décomposables soit les aiguilles de pin, les copeaux et la sciure de bois, la paille, etc. Par conséquent, ce type de paillis n'apporte pas la même quantité de nutriments que les éléments énumérés précédemment. Alors, les végétaux vont capter leurs nutriments nécessaires à leur croissance dans l'eau de ruissellement de l'eau et dans le compost présent dans le mélange de sols en support à la végétation.

Épaisseur de la couche

L'épaisseur couche de paillis peut varier entre 50 et 75 mm (Dugué, 2010). L'équipe *InnoVert Design* a choisi l'épaisseur minimale de **50mm** pour réaliser les détails de conception.

18.6.2 Sol en support à la végétation

Rôle de cet élément

Comme son nom le stipule, elle permet de fournir l'eau et les nutriments nécessaires pour supporter la végétation. Afin de réaliser adéquatement son rôle, il est important que le sol possède une porosité et une conductivité équilibrée afin de permettre l'infiltration des eaux de ruissellement, mais tout en fournissant l'eau nécessaire à la croissance des végétaux. De plus, cette couche permet l'absorption des nutriments tels que l'azote et le phosphore.

Détails techniques

Le guide du Maryland suggère la composition suivante pour la couche de sol en support à la végétation, elle est un mélange de :

- 50-60 % de sable ;
- 20 -30 % de compost de feuilles ou paillis de feuilles mûri ;
- 20 -30 % de terre végétale de haute qualité
(Département of Environmental Resources, 2007).

L'équipe *InnoVert Design* a choisi pour proportion de sols 50% de sable, 20% de compost et 30% de terre végétale.

Il est important de noter que la somme de particules d'argile dans le mélange final doit être inférieure à 5%. Une quantité importante d'argile dans l'ADB nuirait à l'infiltration adéquate de l'eau de ruissellement, car l'argile possède des propriétés imperméables. Tel qu'identifié lors de l'analyse géotechnique, les dépôts meubles sont du loam sableux (sandy loam). Selon le *soil survey manual*, un sandy loam contient entre 7 à 20% de particules d'argiles (Soil Survey Division Staff, 1993). Donc, il ne peut pas être introduit dans les ADB construites à Waterloo.

En ce qui concerne la conductivité hydraulique, il est important que le coefficient de perméabilité de l'ADB soit supérieur à celui des dépôts meubles afin de s'assurer que l'eau va s'infiltrer dans l'ADB. Le guide produit par le Maryland propose des valeurs de conductivité hydraulique qui sont présentées dans le tableau 28. (Département of Environmental Resources, 2007). Le tableau inclut également les proportions de sols qui composent la couche en support à la végétation pour déterminer la valeur totale de la conductivité hydraulique.

Tableau 28: Validation de la conductivité hydraulique

Type de sols	K ft/day	K cm/hr	Proportion	K en fct des proportions cm/hr
Sand	3.50	4.45	50%	2.22
Leaf compost	8.70	11.05	20%	2.21
Bioretention Soil	0.50	0.64	30%	0.19
			Somme	4.62

Tel que mentionné précédemment, la conductivité hydraulique du dépôt meuble (Sandy loam) est de 2.60 cm/hr. Cette valeur est inférieure à la somme de la conductivité hydraulique qui possède une valeur de 4.62 cm/hr, donc, l'eau de ruissellement va s'infiltrer dans l'ADB.

Épaisseur de la couche

L'équipe *InnoVert Design* suggère une épaisseur minimale de 150 mm pour la couche en support à la végétation. Le règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles suggère également une épaisseur de 150 mm à l'article 50.4. (MDDELCC, 2017).

18.6.3 Matériau granulaire

Rôle de cet élément

Le rôle de couche granulaire est d’emmagasinier l’eau temporairement pour permettre l’infiltration de l’eau dans le sol en place. Autrement dit, cette partie de l’ADB agit à titre de réservoir momentané.

Détails techniques

Il est important de valider la disposition des couches pour éviter un colmatage des couches inférieures. Afin de réaliser cette vérification, la loi des filtres est utilisée. Seulement le critère de rétention est appliqué, car l’une des problématiques des ADB est le risque de colmatage du système. La définition du critère de rétention est :

Les vides du filtre devront être suffisamment petits pour empêcher les particules de la base d’y pénétrer, de le colmater et d’entraver son bon fonctionnement.

Elle est exprimée par les équations suivantes :

$$\text{Rétention} = \frac{D_{15} \text{ du matériau filtrant}}{D_{85} \text{ du matériau à protéger}}$$

$$\text{Rétention} = \frac{D_{50} \text{ du matériau filtrant}}{D_{50} \text{ du matériau à protéger}}$$

Les bases de la théorie pour la loi des filtres sont tirées du livre de Holtz & Kovacs, 1991.

Analyse pour la couche de sol en support à la végétation

Les courbes granulométriques sont tirées d’une étude qui la performance hydraulique des LID (Gulbaz, Sezar, 2016). Les pourcentages de chaque tamis ont été prélevés sur la figure 38 pour permettre de reproduire les courbes dans un fichier Excel.

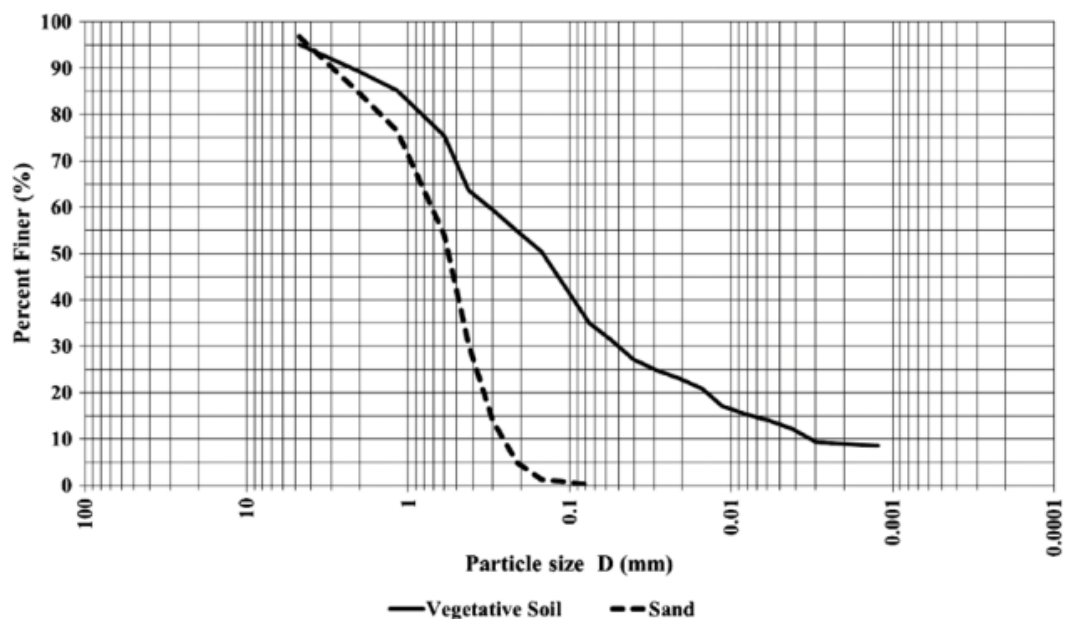


Figure 38 : Les courbes granulométriques pour le sable et le sol de biorétention, source : Gulbaz, Sezar, 2016

Les valeurs de pourcentage de passant tirées de la figure 38 sont présentées dans le tableau 29.

Tableau 29: Pourcentages de la granulométrie

Tamis (mm)	Pourcentage Vegetative Soil (%)	Pourcentage Sand (%)
112	100.00	100.00
80	100.00	100.00
56	100.00	100.00
40	100.00	100.00
28	100.00	100.00
20	100.00	100.00
14	100.00	100.00
10	100.00	100.00
5	95.00	95.00
2.5	90.00	87.00
1.25	85.00	75.00
0.63	75.00	55.00
0.315	63.00	27.00
0.16	55.00	5.00
0.08	37.00	0.00
0.02	23.00	
0.01	17.00	
0.002	9.00	

Comme il l'est stipulé dans l'analyse de Gulbaz, le paillis et le compost ne peuvent pas être exprimés dans des courbes granulométriques, car ils ne contiennent ni de gravier ni de sable ni de silt et ni d'argile. Comme le présente la figure 39, la mention NA est alors utilisée.

Table 2. Mechanical Analyses Result of Bioretention Media

Media	d_{60}/d_{10}	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Dry bulk density ρ_b (g/mL)	Specific gravity of solids, SG	Void ratio, e	Porosity, n_p	Organic matter ratio (%)
Sand	2.67	3.04	96.79	0.17	0.00	1.49	2.64	0.77	0.44	0.86
Vegetative soil	106.67	5.00	48.50	37.50	9.00	1.06	2.33	1.21	0.55	6.41
Gravel	NA	100	0	0	0	1.70	2.75	0.62	0.38	0.19
Turf	NA	NA	NA	NA	NA	0.50	0.98	0.97	0.49	47.37
Mulch	NA	NA	NA	NA	NA	0.30	0.56	0.88	0.47	67.23

Note: NA = not applicable.

Figure 39 : Données caractéristiques des différents types de sols

Tel que mentionné précédemment le sol en support à la végétation respecte les proportions suivantes :

- Sable : 50% ;
- Terre végétation (sol pour la biorétention) : 30% ;
- Compost 20%.

Puis, tel qu'illustré à la figure 39, le compost ne peut pas être présenté sous forme de courbe granulométrique, donc il sera négligé.

Le tableau 30 illustre les pourcentages en fonction des proportions de sol déterminé par l'équipe *InnoVert Design*. Le mélange est ramené sur une base de 100% pour respecter les notions des courbes granulométriques.

Tableau 30 : Pourcentages en fonction des proportions de sol

Tamis (mm)	30% de vegetative soil	20% de compost	50% de sand	Mélange total
112	30	N.A.	50	100
80	30	N.A.	50	100
56	30	N.A.	50	100
40	30	N.A.	50	100
28	30	N.A.	50	100
20	30	N.A.	50	100
14	30	N.A.	50	100
10	30	N.A.	50	100
5	28.5	N.A.	47.5	95
2.5	27	N.A.	43.5	88.125
1.25	25.5	N.A.	37.5	78.75
0.63	22.5	N.A.	27.5	62.5
0.315	18.9	N.A.	13.5	40.5
0.16	16.5	N.A.	2.5	23.75
0.08	11.1	N.A.	0	13.875
0.02	6.9	N.A.	0	8.625
0.01	5.1	N.A.	0	6.375
0.002	2.7	N.A.	0	3.375

À partir des tableaux 29 et 30, il est possible de tracer les courbes granulométriques suivantes. Les résultats sont présentés à la figure 40.

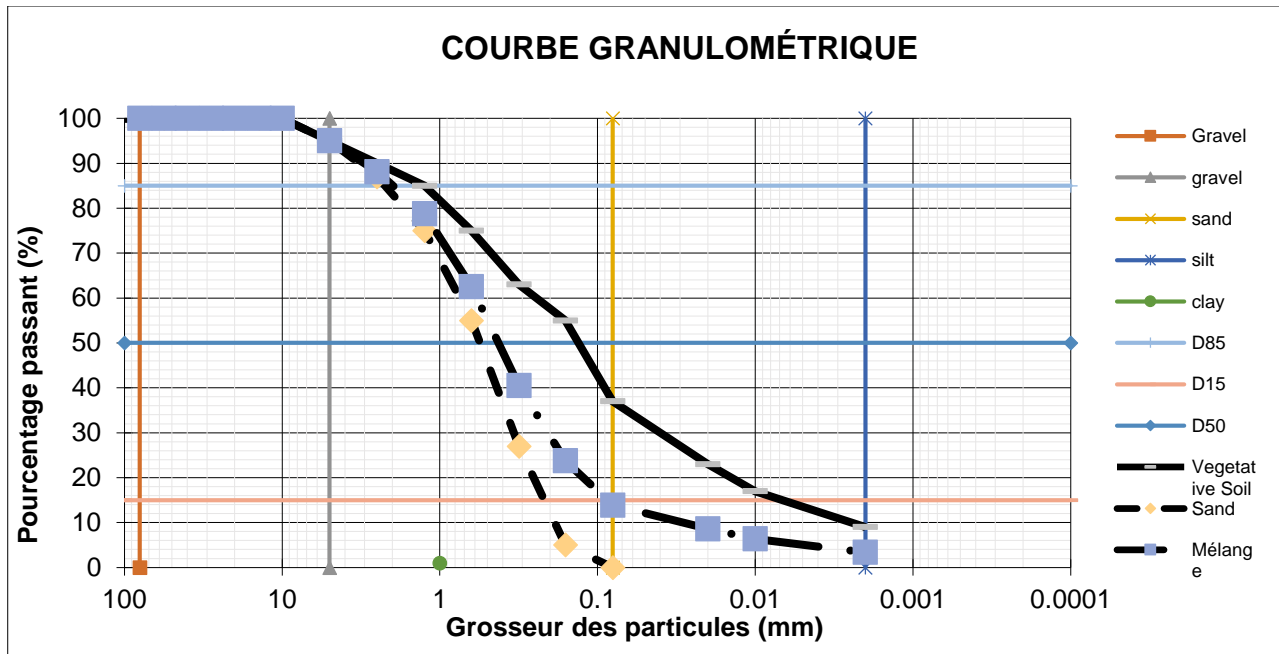


Figure 40 : Courbes granulométriques du sable, du sol de bioréention et le mélange en fonction des proportions

La figure 40 permet de présenter la courbe obtenue suite aux calculs pour le mélange. Elle est illustrée par la courbe avec les carrés bleus. La figure permet également de déterminer que le mélange contient moins de 5% de particules d'argiles. Dans cette situation, le pourcentage pour une valeur de 0,002 mm est de 3.375%. Par conséquent, ce mélange respecte les limitations émises par le guide de gestion des eaux pluviales. La figure 40 permet également de déterminer les diamètres nécessaires au calcul de la loi des filtres selon les pourcentages de 85,50 et 15%. Les valeurs sont présentées dans le tableau 31.

Tableau 31 : Diamètres pour les calculs de la loi des filtres

Pourcentage mm	Valeurs mm
85	2,00
50	0,40
15	0,08

Analyse pour les matériaux granulaires

Le couche supérieure est constituée de gravier 1/8'' - 3/8'', ce qui correspond à 3,7 mm et 11,1 mm. La figure 41 présente la courbe granulométrique de ce type de gravier.

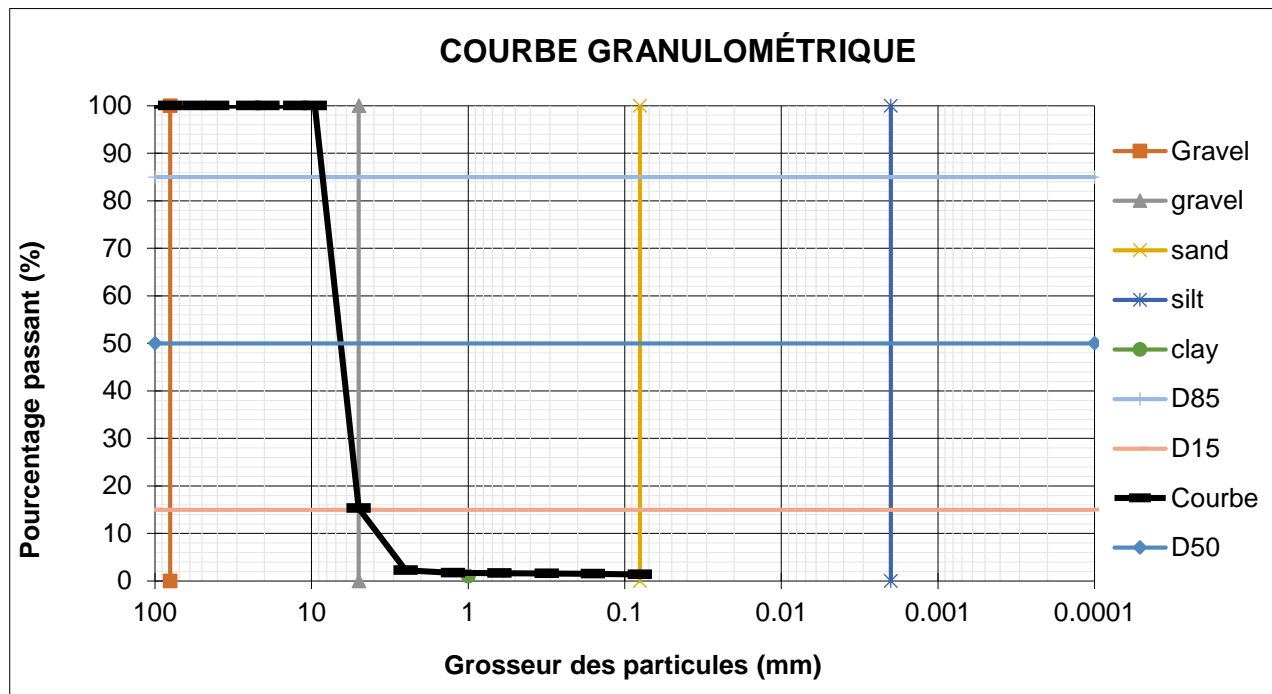


Figure 41 : Courbe granulométrique du gravier 1/8'' - 3/8''

À partir de la figure 41, il est possible de déterminer les diamètres nécessaires pour le calcul de la loi des filtres pour le critère de rétention (voir tableau 32).

Tableau 32 : Diamètre des particules

Pourcentage mm	Valeurs mm
85	8,00
50	5,70
15	4,94

Le deuxième matériel utilisé pour la couche de matériel granulaire est du gravier MG-20. Les valeurs des pourcentages d'un fuseau granulométrique de MG-20 sont présentées au tableau 33 (Bilodeau, 2019).

Tableau 33 : Fuseau granulométrique

MG 20		
Tamis (mm)	Min	Max
31.5	100	100
20	90	100
14	68	93
5	35	60
1.25	15	38
0.315	5.0	17.0
0.08	2.0	7.0

Les valeurs minimales du tableau 33 ont été utilisées pour réaliser la courbe granulométrique présentée à la figure 42.

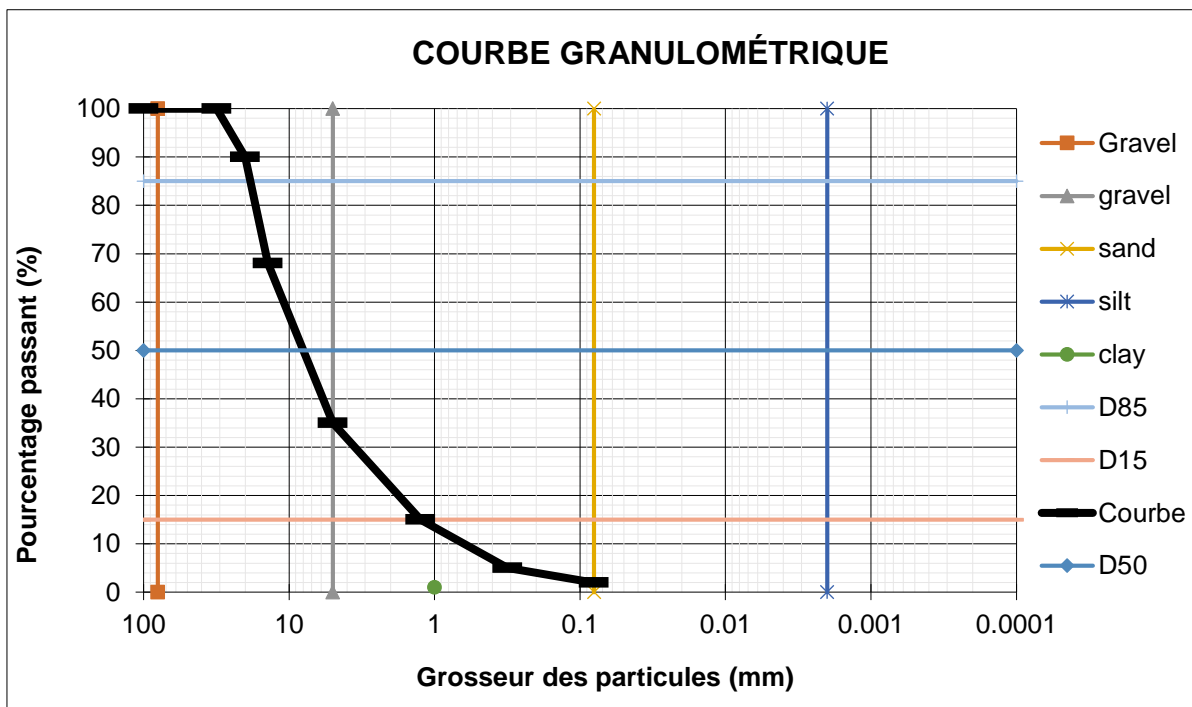


Figure 42 : Courbe granulométrique du MG-20

À partir de la figure 42, il est possible de déterminer les diamètres nécessaires pour le calcul de la loi des filtres pour le critère de rétention (voir tableau 34).

Tableau 34 : Diamètres des particules

Pourcentage	Valeurs
mm	mm
85	19,00
50	8,00
15	1,50

Calcul de la loi des filtres

Deux différents scénarios ont été étudiés pour effectuer la validation du critère de rétention. Le premier considère une couche de gravier 3,7-11,1 mm et une de MG-20. Le deuxième examine uniquement une couche de MG-20.

Les détails des calculs sont présentés dans les tableaux 35 à 37.

Scénario 1

Tableau 35: Loi des filtres pour sol en support à la végétation et le gravier 3,7 et 11,1mm (critère rétention)

Matériau		Valeurs		
		D85	D50	D15
Filtrant	Gravier 3,7-11,1 mm	8,00	5,70	4,94
À protéger	Sol en support à la végétation	2,00	0,40	0,08
Critères	Calculs	Limites	Respect	
1	2,47	< 5	Ok!	
2	14,25	< 25	Ok!	

Tableau 36 : Loi des filtres pour le gravier 3,7 et 11,1mm et le MG-20 (critère rétention)

Matériau		Valeurs		
		D85	D50	D15
Filtrant	MG-20	19,00	8,00	1,50
À protéger	Gravier 3,7-11,1 mm	8,00	5,70	4,94
Critères	Calculs	Limites	Respect	
1	0,19	< 5	Ok!	
2	1,40	< 25	Ok!	

Scénario 2

Tableau 37 : Loi des filtres pour sol en support à la végétation et le gravier 3,7 et 11,1mm (critère rétention)

Matériau		Valeurs		
		D85	D50	D15
Filtrant	MG-20	19,00	8,00	1,50
À protéger	Sol en support à la végétation	2	0,4	0,08
Critères	Calculs	Limites	Respect	
1	0,75	< 5	Ok!	
2	20	< 25	Ok!	

En conclusion, il est possible d'installer seulement une couche de MG-20, car il respecte le critère de la loi des filtres. Toutefois, comme l'ADB comporte un risque de colmatage, il est préférable de réaliser différentes couches pour le matériau granulaire.

Épaisseur de la couche

L'épaisseur de la couche granulaire minimale est de 300 mm soit une épaisseur de 100 mm de gravier 3,7-11,1 mm et 200 mm de MG-20. Une plus grande épaisseur de MG-20 est souhaitable, car les vides du MG-20 sont plus grands, donc la tension capillaire est moindre, ce qui permet une meilleure infiltration.

18.7 Synthèse

Cette section est une synthèse des étapes à réaliser et à prendre en considération pour la duplication des ADB au sein de la municipalité de Waterloo. Pour plus de détails, il faut se référer aux éléments expliqués précédemment. La synthèse est présentée selon les catégories de positionnement sur le terrain, la superficie de l'ADB, la configuration des ADB, les zones de prétraitement, les végétaux et les épaisseurs des couches.

Positionnement sur le terrain

Proximité des gouttières

- Installer l'ADB à proximité des gouttières et/ou acheminer directement l'eau issue des gouttières dans l'ADB.

Évitement des routes et des stationnements

- Ne pas installer des ADB près des routes et des stationnements pour éviter les apports en sels et produits déglacants.

Respect des limites du terrain

- Ne pas construire l'ADB à proximité de la ligne de séparation des terrains et l'emprise de la municipalité sur le terrain en bordure de la rue.

Présence de fosses septiques et de puits

- Fosses septiques : construire à au moins 15 mètres en aval et 5 mètres en amont,
- Puits : construire à au moins 30 mètres.

Contraintes physiques

- Pente maximale du terrain est de 20%.
- Prévoir un côté d'entrée pour l'eau de ruissellement où la zone de prétraitement est installée.
- Si possible, installer l'ADB dans un point bas du terrain.
- Vérifier que la distance minimale entre la nappe phréatique et roc de 1 mètre.
- Prévoir une distance de 4 mètres entre l'ADB et les bâtiments.

Superficie de l'ADB

Calcul

- Réaliser le calcul pour déterminer l'aire de l'ADB :
Aire de l'ADB = 5% * Superficie du terrain

Forme

- La forme de l'ADB est carrée pour la simplification de la conception.
$$L_{\text{côté}} = \sqrt{\text{Aire de l'ADB}}$$
- Le citoyen est libre de la forme pourvu qu'il obtienne une aire équivalente.

Zones de prétraitement

- Installer une tranchée de pierre pour éviter le colmatage du système, ayant les dimensions la longueur du côté du carré, une profondeur de 20 mm et une largeur de 40 mm.
- Il s'agit de pierre de rivière ayant des diamètres variant entre 75 et 125 mm.

Végétaux

- Le choix des végétaux est basé sur leur capacité à l'absorption du phosphore, leur résistance aux inondations et aux sels et produits déglacant.
- Une liste est fournie à titre indicatif à [l'annexe M](#).

Épaisseur des couches

Paillis

- Le paillis permet de protéger le sol de l'érosion, de retenir l'humidité, etc.
- Choisir un paillis fait de cèdre, d'écorce de conifères et d'éclats de bois.
- Mettre une épaisseur de 50 mm.

Sol en support à la végétation

- Cette couche fournit l'eau et les nutriments pour la croissance des végétaux.
- S'assurer que le mélange possède moins de 5% d'argiles.
- Composition du mélange 50% de sable, 20% de compost et 30% de terre végétale de haute qualité.
- Mettre une épaisseur de 150 mm.

Matériau granulaire

- Cette couche permet d'emmagasiner l'eau au sein de l'ADB.
- Composition 100 mm de gravier 3,7-11,1 mm et 200 mm de MG-20.
- Mettre une épaisseur totale de 300 mm.

Les figures 43 et 44 présentent bien le résultat final d'ADB installé dans un secteur résidentiel. Elles pourraient être jointes au guide que l'ABVLW peut produire pour expliquer les différentes étapes à suivre pour l'implantation d'une ADB par les citoyens.



Figure 43 : Exemple d'une ADB dans un secteur résidentiel, source : Toronto and Region conservation for the living city



Figure 44 : Exemple d'une ADB dans un secteur résidentiel, Toronto and Region conservation for the living city

19. RÉDUCTION DU RUISSELLEMENT

19.1 Évaluation d'un terrain type

Afin de réaliser des simulations SWMM représentatives d'une majorité des terrains de la zone visée, une évaluation du taux d'imperméabilisation de 25 propriétés de la zone a été réalisée. Cette évaluation a été faite à l'aide de photographie aérienne de laquelle ont été extraites les superficies totales de lot et les superficies imperméables telles que les toits et les surfaces asphaltés. Le choix des 25 terrains a été réalisé aléatoirement. Afin de déterminer le pourcentage des surfaces imperméables, l'approche de la cellule type a été utilisée, selon les notes de cours « Se former au logiciel SWMM » par Pr Bertrand Côté, ing., M.Sc.A. du département de génie civil de l'Université de Sherbrooke. Les détails des 25 terrains analysés sont présentés en [annexe N](#). Les moyennes des 25 terrains présentées au tableau 38 ont été utilisées pour former un terrain type qui a été utilisé dans les simulations SWMM réalisées.

Tableau 38 : Valeurs moyennes utilisées comme terrain type

Superficie totale (m²)	925
% imperméable*	30
% perméable**	70

* Toit, asphalte, béton, gravier, piscine. ** Végétation, sol dénudé.

19.2 Simulations SWMM

Afin d'évaluer l'efficacité de l'implantation d'une aire de biorétention sur la diminution du ruissellement de l'eau de pluie, 12 simulations ont été réalisées avec SWMM. Les simulations ont permis d'évaluer le ruissellement urbain d'un terrain type sans ADB, avec une ADB d'une superficie de 5% de la surface totale et avec une ADB d'une superficie e 10% de la surface totale du terrain. De plus, l'intensité de pluie utilisée pour l'analyse a également été modifiée lors des différentes simulations afin d'évaluer la réponse du ruissellement selon des pluies de période de retour de 2 et 10 ans, avec ou sans augmentation due aux changements climatiques. Le tableau 39 présente les spécificités de chacune des simulations réalisées.

Tableau 39 : Données pour simulation SWMM et résultats

Simulation	Intensité (mm)	Durée (h)	Période de retour (an)	Augmentation de I pour CC (%)*	Superficie de l'ADB/Total (%)
#1	25.3	1	2	0	
#2					5
#3					10
#4	27.8	1	2	10	
#5					5
#6					10
#7	40	1	10	0	
#8					5
#9					10
#10	44	1	10	10	
#11					5
#12					10

*** Augmentation de l'intensité pour considérer les changements climatiques (CC) (%)**

Le tableau 57 présenté à [l'annexe N](#) résume les valeurs utilisées dans le logiciel SWMM pour les simulations. L'ensemble de ses valeurs est tiré des notes de cours « Se former au logiciel SWMM » et a été ajusté avec les commentaires de la rubrique aide du logiciel SWMM.

Les figures 62 à 66 présentées à [l'annexe N](#) présentent les résultats des simulations 1 à 12 quant aux ruissellements des eaux pluviales. La figure 45 présente les résultats quant à la hauteur de la lame de ruissellement pour chacune des simulations et la figure 46 présente la diminution du ruissellement avec l'ajout d'un ADB représentant 5% ou 10% de la superficie totale du terrain.

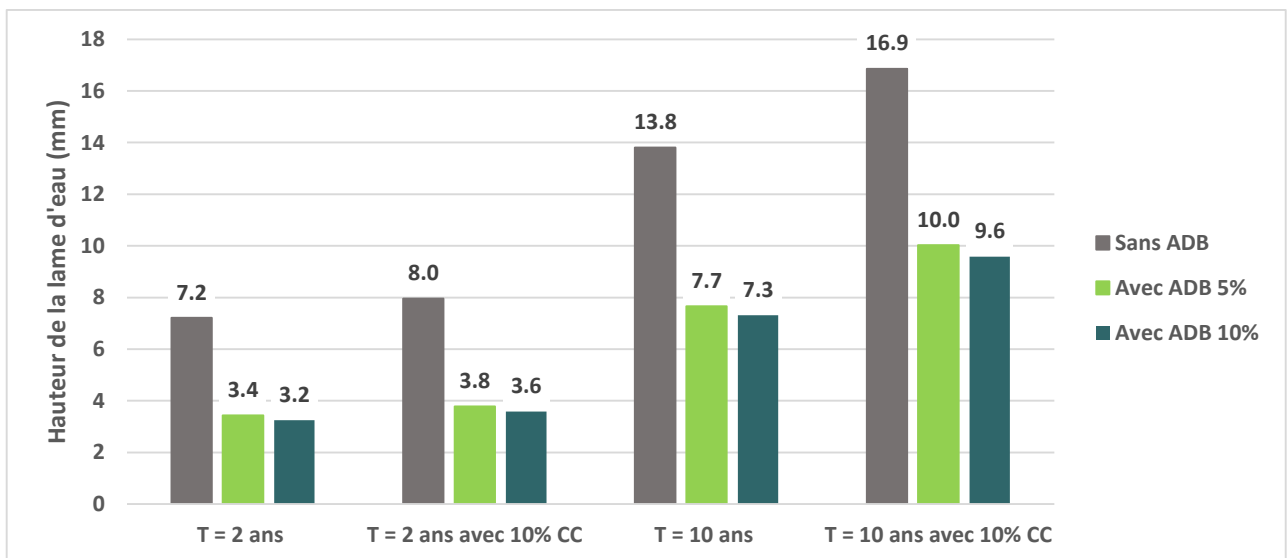


Figure 45: Hauteur de la lame d'eau de ruissellement

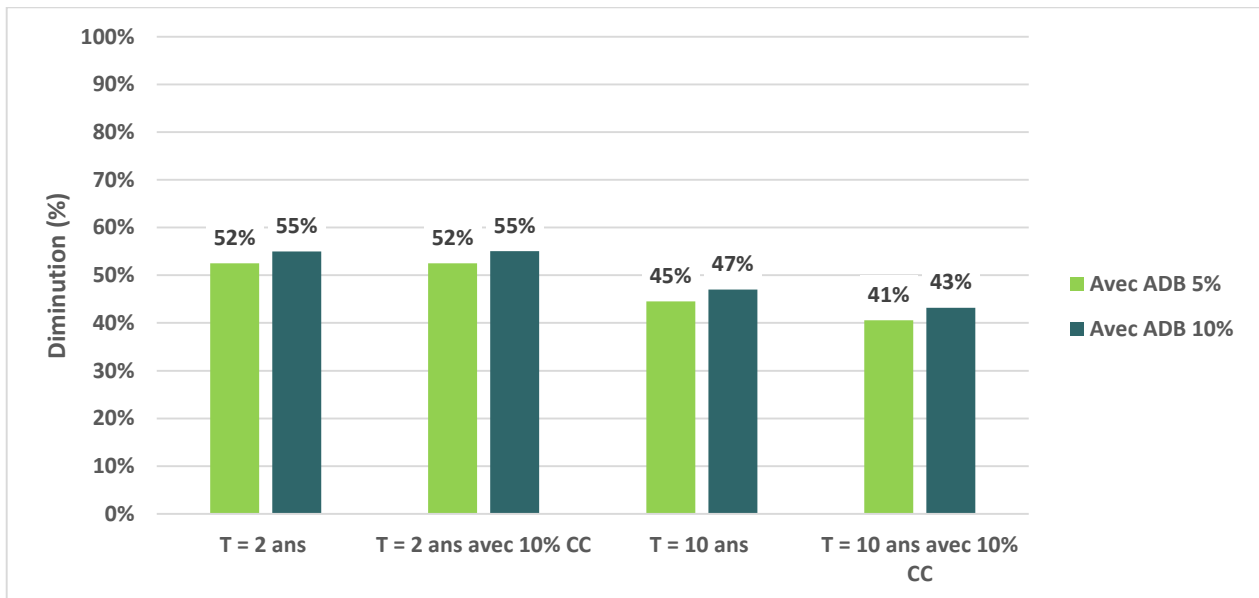


Figure 46 : Diminution de la lame d'eau de ruissellement

Ainsi, selon les simulations SWMM effectuées, l'ajout d'une aire de biorétention d'une superficie de 5% de la superficie totale du terrain permet une réduction de plus de 50% de la lame de ruissellement, et ce, pour la majorité des pluies qui tomberont sur le territoire de Waterloo. L'efficacité d'une ADB diminue avec des pluies de plus fortes intensités, toutefois la réduction de la lame de ruissellement est de plus de 40% pour toutes les simulations effectuées. En considérant une augmentation de 10% de l'intensité des pluies due aux changements climatiques, les simulations ont permis de constater que les ADB conserveront leur efficacité malgré les changements climatiques qui s'annoncent.

Également, il est possible de constater que malgré le fait que la superficie de l'ADB soit doublée, la lame de ruissellement n'est réduite que de quelques pourcentages supplémentaires. Il est donc préférable, pour une solution avec un bon ratio qualité prix, de se limiter à une ADB de 5%.

19.3 Potentiel d'enlèvement du phosphore

Pour ce qui est de la diminution du phosphore lié à l'ajout d'ADB, l'équipe InnoVert *design* recommande à l'ABVLW d'effectuer une campagne d'échantillonnage qui permettrait d'évaluer de façon réelle la portion de phosphore relarguer par les sédiments du fond du lac et la portion de phosphore provenant du bassin versant. Selon les évaluations statistiques basées sur des coefficients d'exportation et sur les superficies d'occupation du territoire, la charge en phosphore liée au ruissellement urbain varie entre 244 et 952 kg/an. Toutefois, l'échantillonnage de l'eau à l'exutoire des conduites du réseau pluvial ou du réseau combiné lors d'épisodes de surverses permettrait une évaluation beaucoup plus précise de la condition actuelle et du potentiel de réduction par les ADB. Le tableau 40 présente différents coefficients d'exportation de Phosphore utilisés dans la littérature.

Tableau 40 : Coefficient d'exportation du phosphore

Superficie résidentielle (km ²)	Coefficient d'exportation de P Kg/km ² /an pour résidentiel à faible densité	Impact potentiel du ruissellement urbain sur le lac en kg de P/an
4.88	50 (min utilisé par SMi, 2009)	244
	106 (moy. utilisée par SMi, 2009)	517
	195 (max utilisé par SMi, 2009)	952
	55 (moy. Utilisé par Gouv. Qc, 2014)	269

Avec l'ajout d'aire de biorétention et conformément au tableau 8.18 du guide de gestion des eaux pluviales, le taux moyen (conservateur) d'enlèvement du phosphore est de 50%. Ainsi, l'ajout d'aire de biorétention sur le territoire a un potentiel d'enlèvement du phosphore de 120 à 475 kg de phosphore dans le lac par année. De plus, selon l'étude « Gestion optimale des eaux pluviales : Étude comparative de la performance d'un bassin de biorétention et d'une tranchée d'infiltration » produite par le Sustainable Technologies Evaluation Program – STEP de Toronto and Region Conservation Authority – TRCA, le taux d'enlèvement du phosphore par ADB est de 88% (Toronto and Region conservation for the living city, 2015). Cette variation peut être due à plusieurs facteurs tels que la quantité réelle de phosphore entrant dans l'ADB. C'est pourquoi, l'équipe InnoVert *design* recommande la modélisation de la diminution du phosphore à l'aide de logiciel tel que Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ou la comparaison des débits d'eau et des quantités de phosphore dans l'eau du réseau pluvial avant et après l'implantation d'ADB pour évaluer plus précisément l'impact de l'implantation des ADB sur l'eutrophisation du lac.

Néanmoins, la diminution de l'intensité du ruissellement urbain de près de 50% permettra la diminution des épisodes de surverses et la diminution de l'érosion du sol. Ces diminutions permettront une diminution des intrants en phosphore, mais également en MES, en coliformes fécaux, en azote, etc.

Afin d'optimiser l'impact environnemental des ADB, il est nécessaire de procéder à l'implantation de plusieurs ADB sur toute la superficie urbanisée du bassin versant, mais principalement sur les zones plus à risque aux épisodes de surverses.

20. PLANS ET DEVIS POUR COMMENTAIRES

Les plans et les commentaires qui font office de devis, conçus par l'équipe *InnoVert Design* pour le projet de restauration du lac Waterloo par aires de biorétention, sont présentés à [l'annexe O](#).

21. ESTIMATION DÉTAILLÉE DES COÛTS DES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

L'estimation détaillée est réalisée pour un terrain de 925 m² et pour une superficie d'ADB de 5% la superficie totale du terrain. Les éléments considérés dans l'estimation des coûts de travaux de génie civil sont l'excavation et la disposition des matériaux hors du site (machinerie et main d'œuvre), les matériaux utilisés pour les différentes couches de l'ADB (paillis, sable, compost, terre et gravier) et les matériaux utilisés pour la bande filtrante (pierre et géotextile). De plus, des frais généraux (15 %) ont été inclus en plus d'un pourcentage pour les imprévus (10 %) et les taxes (14,975 %). Ainsi, le prix total pour une ADB unifamiliale de 46 m² est 3 410 \$. Les détails de l'estimation se trouvent à [l'annexe P](#).

22. SYNTHÈSE

Compte tenu de ce qui précède, l'équipe *InnoVert Design* a décidé, en collaboration avec l'ABVLW, d'aller vers la solution d'aires de biorétention unifamiliales en y apportant des modifications pour la phase conception, et ce, toujours dans le but de mieux répondre aux besoins du client. En effet, l'estimation préliminaire présentait un prix trop élevé aux yeux du client. Celui-ci craignait que la participation citoyenne soit moindre, et c'est un aspect majeur dans le déploiement du projet, alors l'équipe a repensé à une solution unifamiliale modifiée. En relocalisant le projet-pilote dans des quartiers plus en amont dans la municipalité (comparativement aux terrains en bordure de lac), les ADB ne requièrent plus l'installation d'un drain, puisque les sols sont de meilleures qualités et réussissent à mieux drainer l'eau. Ainsi, les coûts sont coupés de presque la moitié, et les ADB ont tout de même un impact majeur sur le ruissellement urbain et la santé du lac.

Les buts principaux de la conception étaient d'ajouter des ADB en zones déjà urbanisées et de normaliser la conception afin que l'implantation du projet puisse se faire plus facilement par les citoyens de la municipalité. La normalisation comprend plusieurs aspects. D'abord, il est important de positionner les ADB unifamiliales à proximité de l'exutoire des gouttières de la maison, à un endroit qui ne sera pas contaminé par les produits déglaçant lors de la période hivernale, à une distance raisonnable de la fosse septique, si applicable et dans un point bas naturel du terrain. Ensuite, la superficie de l'ADB doit représenter au minimum 5% de la superficie totale du terrain afin de voir un réel impact. De plus, pour la configuration des ADB, l'équipe a considéré le type d'aire de biorétention à infiltration complète, des pentes de 2 :1, une aire d'emmagasinement de 200 mm qui sert à accumuler l'eau, mais qui permet aussi l'évaporation et le dépôt des sédiments et la présence d'une bande filtrante en amont l'aire d'emmagasinement pour réduire la maintenance de l'ADB et effectuer un prétraitement des eaux de ruissellement. Les végétaux choisis sont aussi importants dans la normalisation puisque ceux-ci doivent avoir de bonnes propriétés pour absorber le phosphore et résister aux inondations et aux produits déglaçant. Finalement, la dernière étape de la méthode normalisée est l'épaisseur des couches de sols. La hauteur totale d'ADB peut varier entre 450 mm et 1200 mm. Pour la conception réalisée par l'équipe, l'ADB-type possède 50 mm de paillis pour prévenir l'érosion et le colmatage, 150 mm de sol en support à la végétation (mélange de sable, compost et terre) pour mieux absorber les nutriments comme l'azote et le phosphore, et 300 mm de matériaux granulaires pour emmagasiner temporairement l'eau. Il est important de respecter le principe des filtres pour éviter le colmatage de cette dernière couche.

Afin de valider l'efficacité des aires de biorétention conçues, des simulations SWMM ont été réalisées et ont démontré une réduction de 50% de la lame d'eau de ruissellement pour la majorité des pluies qui tombent sur la municipalité annuellement. De plus, une analyse sommaire de la réduction du phosphore a été réalisée et les ADB permettent d'enlever 50% (conservateur) de la quantité de phosphore présente dans l'eau de ruissellement. Une validation des valeurs trouvées pour la diminution de la quantité de phosphore pourrait être effectuée en mettant en place des campagnes d'échantillonnages au sein de la municipalité.

Finalement, l'équipe a réalisé une estimation pour un projet type se trouvant sur un terrain de 925 m² et le prix s'élève à 3 500 \$ pour un jardin de 46 m². Il s'agit d'un prix beaucoup

plus intéressant pour les citoyens. De plus, le prix total pourrait être encore diminué en organisant des périodes dédiées à l'implantation des ADB dans la municipalité. Les prix liés à la machinerie nécessaire pourraient être divisés entre les participants, il y aurait moins de perte de matériaux en raison du partage plus facile entre les citoyens et une personne ressource pourrait être disponible pour un groupe de citoyen afin de les guider dans la réalisation du projet.

En conclusion, l'équipe InnoVert Design est fière de présenter la conception d'une solution qui permet de diminuer le ruissellement urbain et les apports externes en phosphore, qui est intéressante économiquement, qui est attrayante et esthétique pour les citoyens et qui, ultimement, va augmenter la qualité du lac pour que tous les citoyens de Waterloo puissent profiter davantage de cette richesse.

IV. RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION

24. RECOMMANDATIONS

La restauration du lac Waterloo par des aires de biorétention est composée de deux aspects distinctifs qui sont essentiels à la duplication des ADB au sein de la municipalité de Waterloo. Le premier aspect est lié au côté technique basé sur les contraintes propres au génie civil des ADB tandis que le second est basé sur l'acceptabilité sociale des ADB par les citoyens. Il va de soi que les recommandations émises au client vont dans cet ordre d'idée. Donc, les recommandations liées à la conception, à la construction et à l'exploitation font référence au côté technique du projet tandis que les catégories de l'acceptabilité sociale et à long terme s'imbriquent dans la vision sociale du projet. Les détails des concepts sont présentés ci-dessous.

24.1 Conception

Les recommandations liées à la conception sont traitées de la prise de données nécessaires à une conception plus juste et à la validation des concepts par des professionnels.

24.1.1 Prise de données

Dans l'objectif de réaliser une conception mieux adaptée à la situation de Waterloo, plusieurs essais devraient être réalisés. Tout d'abord, en ce qui concerne les caractéristiques géotechniques, des tests de percolation in situ devraient être réalisés afin d'établir les propriétés du sol en matière de capacité d'infiltration. De plus, en matière de géotechnique, la détermination des courbes granulométriques est nécessaire pour la validation de la conception. Effectivement, elle permet de valider les hypothèses faites pour la loi des filtres. Également, il serait pertinent de réaliser des forages pour connaître la profondeur du roc ainsi que de la nappe phréatique.

24.1.2 Critères de géotechnique

Étude selon l'indice des vides

Comme le 20% du compost a été négligé dans le calcul de la loi des filtres ainsi que le paillis, car il ne contient ni gravier, ni de sable, ni de silt et ni d'argile, il pourrait être intéressant d'étudier le risque de colmatage en fonction de l'indice des vides.

Loi des filtres

Il serait pertinent de réaliser une loi des filtres pour valider que les sols contenus dans les ADB ne font pas colmater le sol en place, soit du loam sableux. Également, sur le terrain, il peut être intéressant de valider s'il est préférable d'utiliser du MG-20 ou du MG-56. Toutefois, avant il va falloir confirmer que le critère de rétention est respecté entre le MG-56 et le gravier 3.7-11.1mm.

Considération de la théorie de barrière capillaire

Comme les ADB contiennent à la base du MG-20, soit un matériel granulaire grossier, du gravier 3.7-11.1mm et un mélange de sable et de terre végétale soit des matériaux fins et qu'elles peuvent posséder une légère pente maximale de 5%, il peut être pertinent d'étudier le concept de théorie barrière. Effectivement, par définition, l'effet de barrière capillaire est créé lorsqu'un matériau aux pores relativement fins, constituant la couche de rétention (CRC), est placé au-dessus d'un matériau aux pores plus grossiers, constituant la

couche de bris capillaires (Parents, 2012). Également, il faut considérer la longueur de transfert si le l'ADB est incliné. Cet aspect est déterminé en obtenant les courbes de fonctions de conductivité hydraulique de chacun des sols. Bref, il s'agit d'un aspect qui pourrait être appondis pour plus de détails se référer à l'article de Parents et Cabral, 2012.

24.1.3 Validation par des professionnels

Ce projet est réalisé dans un cadre académique. Il est donc important de rappeler que ce rapport est seulement à titre indicatif et que les plans sont pour commentaires uniquement. Il est donc essentiel de faire appel à des professionnels pour la validation de la conception avant la diffusion des informations et le début de la construction des ADB. Pour les détails liés à la conception, il est important de faire appel à une firme d'ingénierie ayant une expertise en matière de conception d'aires de biorétention. Pour le choix des végétaux, il est souhaitable de se référer à un paysagiste afin de s'assurer que les végétaux sont des espèces indigènes et de leur résistance aux inondations. De plus, le paysagiste peut conseiller des végétaux ayant des différentes périodes de fleuraison, ce qui permet d'avoir des fleurs tout au long de la période estivale. Également, il faudrait valider avec des professionnels en matière de fosses septiques savoir s'il a des limitations, des distances à respecter.

24.2 Acceptabilité sociale

Plusieurs stratégies sont envisageables pour accroître la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la restauration du lac Waterloo par des aires de biorétention. Les moyens suivants permettent d'augmenter d'accroître ce sentiment d'appartenance :

- Séances d'informations ;
- Développement d'un site web ;
- Création d'affiches avec un slogan percutant.

24.2.1 Séances d'informations

La première étape est la diffusion des informations concernant les ADB qui peut être réalisée lors d'une séance d'informations. Un exemple du contenu de présentation est présenté ci-dessous. Il est basé sur les détails présentés au sein de ce rapport dans les sections précédentes.

- La situation actuelle lac Waterloo :
 - Eutrophisation du lac Waterloo ;
 - Lac de tête du bassin versant de la Yamaska ;
- La définition du concept de biorétention.
- L'efficacité des ADB en matière de retrait de phosphore moyen : 50-60%.
- Les avantages des ADB ;
 - Alternatives à des mesures destructives telles que le dragage ;
 - Drainage ;
 - Traitement des eaux de ruissellement ;
 - Ilot de chaleur ;
 - Embellissement du milieu ;
 - Augmentation de la valeur foncière.

- La conception :
 - Les résultats de la modélisation SWMM ;
 - Les éléments des ADB normalisés.
- Les coûts liés à la conception.
- Les différentes tâches de l’entretien.
- Les recommandations.

24.2.2 Développement d’un site web

La création d’un site web est un moyen facile et simple pour permettre la diffusion de l’information relative à l’implantation des ADB au sein de la municipalité de Waterloo. Une plateforme simple telle que WIX peut être utilisée pour la conception du site web. Sinon, les informations concernant les ADB peuvent être intégrées au site actuel de l’ABVLW. En ce qui concerne les différents onglets, il peut être basé sur le plan de présentation décrit précédemment ou selon les différentes parties du présent rapport. Toutefois, avant toute diffusion, il est important de rappeler qu’un ingénieur doit valider les informations ainsi que le processus de conception.

Aussi, dans l’objectif de simplifier les calculs liés au dimensionnement et à l’estimation des matériaux, un fichier Excel pourrait être créer et disponible sur le site web. De sorte que le citoyen écrit seulement la superficie de son terrain et que le fichier calcule l’aire de l’ADB ainsi que les quantités liées à chaque couche. Cet outil devra posséder une interface simple d’utilisation et il devra être verrouillé pour éviter la modification.

24.2.3 Création d’affiches avec un slogan percutant

Une autre solution pour accroître le sentiment d’appartenance des citoyens face à ce projet est la création d’affiches avec un slogan percutant. Cette stratégie est employée dans la région de Seattle pour l’implantation de 12 000 ADB (12 000 rain garden). La figure 47 présente un exemple d’affiche.



Figure 47 : Affiche avec slogan percutant de Seattle, source : sightline.org

24.3 Construction

La construction est une étape cruciale à l'implantation des ADB. Il est donc essentiel de s'attarder à quelques petits détails avant d'entreprendre les démarches. Les recommandations de l'équipe InnoVert Design sont basées sur les catégories suivantes :

- Vérification de la canalisation ;
- Choix des matériaux ;
- Mise en place
- Construction simultanée.

La construction simultanée peut également s'inscrire dans le côté plus social de l'implantation des ADB.

24.3.1 Vérification de la canalisation

Avant de réaliser toutes formes d'excavation, il est primordial de vérifier s'il n'y a pas la présence de canalisation sous le futur emplacement de l'ADB. Il est donc important de vérifier les plans. Il faut porter une attention à la présence de canalisation de gaz, d'électricité, d'eau, de communication, etc.

24.3.2 Choix des matériaux

Pour le sable, il faut s'assurer qu'il soit propre, c'est-à-dire sans particule fine (silt ou argile) ni racine, ni branche, etc. La présence de ces impuretés pourrait colmater le système.

24.3.3 Mise en place

Plusieurs aspects sont à considérer afin de maximiser la mise en place des ADB au sein de la municipalité de Waterloo.

Tout d'abord, la circulation dans le secteur à aménager doit être contrôlée jusqu'au début des travaux pour éviter la compaction des sols en place. Par la suite, l'érosion des sols doit être adéquatement contrôlée pour protéger la zone de travail de l'apport de sédiments pouvant colmater les ouvrages et nuire à leur fonctionnement. Également, les eaux de ruissellement ne doivent pas s'écouler sur le terrain pendant la construction afin d'éviter la contamination et le colmatage par des sédiments. (Ville de Québec, N.D.). Il faut donc prévoir des barrières anti sédiments.

Par la suite, afin de maximiser le contact avec les matériaux de l'ADB avec le sol en place, il est souhaitable de scarifier les dépôts meubles, mais également entre chaque couche de sols. Un râteau peut être utilisé pour réaliser cette étape. Les sols sont déposés selon les différentes couches. Il faut porter une attention particulière pour ne pas trop compacter les couches. Il faut se rappeler que l'objectif de l'ADB est l'infiltration de l'eau de ruissellement dans le sol.

Un autre aspect important à considérer lors de la mise en place est la propreté des matériaux utilisés. Par conséquent, il faut s'assurer que les matériaux soient exempts de particules fines. Lors de la conception des choix de sols, il a été considéré que le mélange de sols devait contenir moins de 5% d'argiles. Il faut donc s'assurer que ce critère est respecté lors de la construction.

De plus, il faut s'assurer que les sols utilisés ne soient pas des sols contaminés pour éviter de surcharger le système de contaminants et pour éviter de contaminer la nappe phréatique. Également, il faut garantir que le sol ne contient pas de semences d'espèces envahissantes.

En ce qui concerne la mise en place du compost, il peut être tout simplement mélangé avec l'autre sol ou il peut être déposé à la surface. Pour la deuxième option, il suffit d'utiliser un gros râteau afin de faire des rainures à la surface et d'y déposer une couche de 50 mm.

24.3.4 Construction simultanée

Il serait intéressant que l'ABVLW organise des fins de semaine dédiées à la construction des ADB dans différents quartiers. Cette organisation permettrait l'achat de matériaux locaux en grande quantité, ce qui permet de réduire la pollution liée au transport, de réduire les frais de location pour la machinerie et optimiser leur utilisation. De plus, lors de ces fins de semaine, il serait pertinent que des personnes ressources soient présentes sur le terrain afin de répondre aux interrogations des citoyens et assurer la conformité des travaux. Autrement dit, ces personnes agiraient à titre de surveillants de chantier.

24.4 Exploitation

Une exploitation adéquate d'une ADB peut augmenter considérablement sa longévité et assurer son efficacité. Plusieurs éléments sont à réaliser pour répondre à ces deux aspects, soit :

- Inspection ;
- Entretien ;
- Utilisation d'herbicides et d'insecticides ;
- Tonte de gazon ;
- Gestion de la neige.

24.4.1 Inspection

L'inspection est une étape clé qui permet d'anticiper les potentielles déficiences. Il est conseillé au cours des six mois suivant la construction de l'ADB de réaliser deux inspections ainsi qu'après chaque pluie de plus de 10 mm. Pour les années suivantes, une inspection est nécessaire à chaque printemps et après des pluies de plus de 50 mm (Ville de Québec, N.D.)

24.4.2 Entretien

Les détails concernant les tâches à réaliser pour l'entretien sont détaillés à l'analyse de l'entretien requis (chapitre 9) de ce présent rapport. Cependant, certaines tâches ne sont plus nécessaires comme aucun drain n'est installé dans le cadre de cette conception. Un résumé est présenté ci-dessous. Il pourrait s'agir d'un aide-mémoire remis aux citoyens pour veiller au bon entretien des ADB. Autrement dit, cette liste pourrait être jointe à un futur guide. Il est important que les tâches liées à l'entretien soient divisées en deux, soit celles à réaliser mensuellement et annuellement.

Mensuel

Le tableau 41 est un résumé des tâches d'entretien à réaliser mensuellement.

Tableau 41 : Résumé des tâches d'entretien à réaliser mensuellement

Tâches	Justification	Actions à poser	Questions
1. Analyser le comportement hydraulique.	Permettre de valider la conception.	Vérifier le temps de rétention. Vérifier la fréquence des inondations.	Combien de temps l'eau reste-t-elle dans l'ADB ? Quelle est la fréquence d'inondation ? Quelle est la durée de l'inondation ?
2. Valider la compaction de la couche supérieure.	Permettre l'infiltration maximale de l'eau.	Remanier au besoin la couche supérieure.	Est-ce que l'eau reste à la surface trop longtemps ? Est-ce que la couche supérieure est dure/compactée ?
3. Mesurer le niveau d'humidité.	Les végétaux ont besoin d'eau pour leur croissance.	En cas de sécheresse, arroser l'ADB avec de l'eau de pluie récupérée.	Est-ce que le sol est sec ? Est-ce que les végétaux semblent fanés ?
4. Repérer les zones érodées.	Les zones érodées accélèrent la vitesse de ruissellement et empêchent une bonne infiltration.	En cas de présence de zones érodées, planter de nouveaux végétaux ou ajouter du paillis.	Est-ce qu'il y a la présence de sillon d'érosion ? Est-ce que certains endroits sont dénudés de paillis ?
5. Vérifier l'état des végétaux.	Permettre l'évapotranspiration, la dégradation biologique, la rétention de l'eau.	Couper les branches mortes ou cassées. Remplacer les végétaux morts.	Est-ce qu'il y a des branches cassées/mortes, des feuilles jaunes, des fleurs mortes ?
6. Enlever les mauvaises herbes.	Éviter d'endommager le système.	Disposer manuellement des mauvaises herbes.	Est-ce qu'il y a des plantes non désirables ?
7. Ôter les débris et les accumulations de sédiments.	Éviter le colmatage du système et permettre l'infiltration.	Retirer manuellement les débris et les sédiments.	Est-ce qu'il y a des zones décolorées ?

Annuel

Le tableau 42 est un résumé des tâches d'entretien à réaliser annuellement.

Tableau 42 : Résumé des tâches d'entretien à réaliser annuellement

Tâches	Justification
1. Remanier le sol	Le sol est compacté à cause du poids de la neige.
2. Ajouter du paillis décomposable	Le paillis se décompose.

Une solution pour assurer un bon entretien des ADB par les citoyens est qu'il y a des personnes ressources au sein de l'ABVLW. Ces personnes pourraient vérifier l'état des ADB et conseiller des mesures correctrices aux citoyens au printemps. Également, ces personnes pourraient être contactées par les citoyens en cas de dysfonctionnement.

24.4.3 Utilisation d'herbicides et d'insecticides

Il est primordial de noter que l'utilisation d'herbicides et d'insecticides est proscrite près des ADB, car elle entraîne des problèmes liés à la qualité de l'eau. En ce qui concerne, les fertilisants doit être limitée pour minimiser les apports en nutriments et éviter d'ajouter une charge supplémentaire au système.

24.4.4 Tonte de gazon

La tonte de gazon aux pourtours des ADB doit être limitée, car le gazon permet une certaine infiltration et réduit les vitesses du ruissellement causé par les eaux pluviales. Donc, la récurrence de la tonte est variable selon l'utilisation du site sur lequel l'ADB est installée (Gouvernement du Québec, 2014)

24.4.5 Gestion de la neige

Durant l'hiver, il faut éviter de pousser de la neige sur les ADB afin de conserver l'accumulation sur le jardin lui-même. Autrement dit, il faut éviter d'augmenter la charge des ADB. De plus, si de la neige provenant des routes ou des routes est déposée sur les ADB, au printemps, les risques liés au colmatage sont accrus dû à la présence de sable ou de sel de déglacage dans cette neige. (Dugué, 2010). Puis, il est important de rappeler que les végétaux sont sensibles aux chlorures.

24.5 À long terme

Afin de permettre l'amélioration des ADB dans le temps, il est important d'émettre des recommandations qui pourront être réalisées à long terme. Il faut savoir que le piézomètre doit être installé en même que la construction de l'ADB si le client souhaite effectuer un suivi de la qualité de l'eau dans le futur. La mise en place d'une gestion municipale du compost est une proposition émise lors de l'analyse de cycle de vie pour réduire les impacts liés au transport. Puis, dans le cadre d'un nouveau développement domiciliaire, il est pertinent de prévoir les connexions de drains pour la gestion de l'eau au sein des ADB.

24.5.1 Suivi des ADB dans le temps

Comme les ADB sont un projet qui possède une évolution dans le temps et que les aires de biorétention vont être construites à différentes localisations au sein de la municipalité de Waterloo, il est primordial de réaliser un suivi rigoureux de l'efficacité et des changements des ADB. Pour ce faire, des piézomètres peuvent être aménagés dans les cellules de biorétention, afin d'être en mesure de recueillir des échantillons d'eau souterraine ayant été infiltrée dans les cellules. Il ne faut pas oublier que le piézomètre doit avoir un bouchon pour éviter que l'eau de pluie tombe directement, ce qui fausserait les résultats. La figure 48 permet de visualiser le principe du piézomètre.

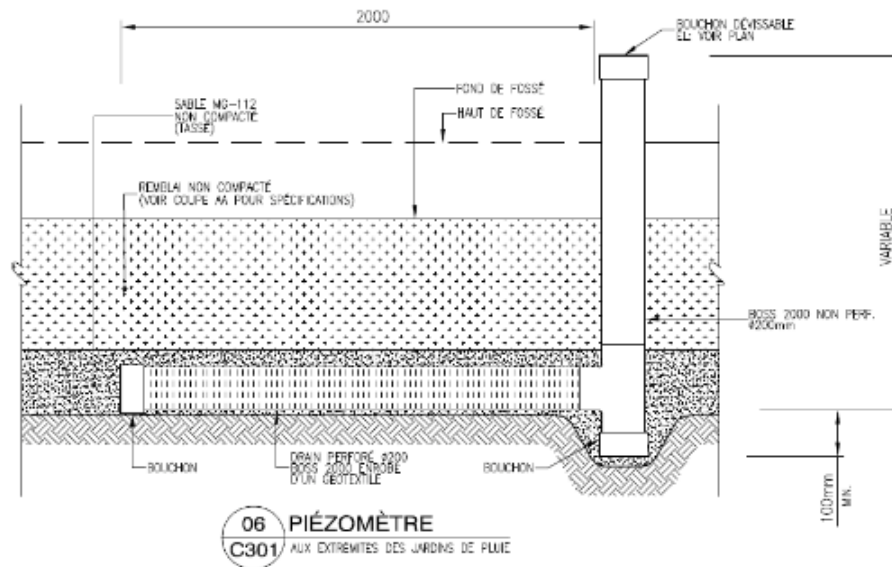


Figure 48 : Coupe typique du piézomètre

Le suivi peut porter sur les paramètres chimiques et biologiques, les mesures de débit, le suivi de l'érosion, la survie des végétaux, etc. La liste suivante est à titre indicatif pour les paramètres chimiques et biologiques :

- Matières en suspension totales (MES) ;
- Demande biochimique en oxygène (DBO5) ;
- Oxygène dissous ;
- Bactéries ;
- Polluants toxiques (plomb, zinc, cuivre, mercure, etc.)
- Nutriments (phosphore total, azote total, nitrite, nitrate).

(Gouvernement du Québec 2014)

Le fait de constater les problématiques présentes au sein des ADB permet de réviser les choix de conception pour la construction des futures ADB. Autrement dit, ces observations permettent d'être proactif et d'accroître l'efficacité des ADB. De plus, avoir des résultats concernant les paramètres propres à Waterloo permet de quantifier l'efficacité des ADB pour cette municipalité. Les chiffres sont un bon outil pour convaincre les citoyens de participer à l'implantation des ADB.

24.5.2 Mise en place d'une gestion municipale du compost

Lors de l'analyse de cycle de vie simplifiée selon la méthode Eco-Indicator 99, l'étape qui produit le plus de points est l'utilisation. Par conséquent, la stratégie d'écoconception est basée sur la réduction du transport liée à l'entretien des ADB. Pour ce faire, il serait pertinent d'instaurer la récupération de la matière organique afin de la transformer en compost au sein de la municipalité. Actuellement, les mauvaises herbes et les végétaux morts générés par les ADB seront acheminés au site d'enfouissement situé à Granby. Cette solution permet de réduire les distances des mauvaises herbes et des végétaux morts et de les revaloriser au sein des ADB présentes dans la municipalité de Waterloo. Autrement dit, ces quantités pourraient être introduites dans le 30% de compost. Plus de détails sont présents au chapitre 18 du présent document.

24.5.3 Nouveaux développements domiciliaires

Comme le projet pilote a lieu dans un quartier existant, l'ajout de drain et de trop-plein augmente considérablement le coût de l'ADB. Il est important de rappeler qu'un montant trop élevé pourrait nuire à l'implantation des ADB, puisque les citoyens sont responsables des coûts de construction. Il est évident que la connexion au réseau pluvial pour chaque résidence est très élevée, car elle nécessite l'excavation entre l'ADB et la rue, les matériaux de connexion au réseau, les employés spécialisés pour réaliser les travaux et la remise en état de la route. De plus, il faut se rappeler que toutes ces étapes doivent être approuvées, signées et supervisées par des ingénieurs.

L'ajout de drains et de trop-plein dans les ADB pourrait se faire dans le cadre de nouveaux développements domiciliaires. Effectivement, le promoteur pourrait prévoir la présence d'ADB dans le quartier et ainsi les connexions nécessaires. Également, il est possible d'ajouter des drains dans les ADB lorsqu'il faut procéder à la réflexion complète de la route et/ou des systèmes de collecte pluviale.

25. PROJET D'APPEL D'OFFRES

Afin d'aider les citoyens à l'implantation d'ADB sur leur propriété, l'équipe *InnoVert design* a réalisé un exemple d'appel d'offres à remplir par le citoyen désirant obtenir des soumissions clés en main pour leur futur ADB. L'appel d'offres présenté à [l'annexe Q](#) comporte des zones en jaune qui devront être remplies par le propriétaire. Cet appel d'offres dûment rempli, accompagné des plans et devis, pourra être acheminé aux entrepreneurs en aménagement paysager de la région.

26. CONCLUSION

Afin de réduire les apports externes en phosphore du lac Waterloo, l'équipe *InnoVert Design* a été mandatée en mars 2017 par les Ami(e)s du bassin versant du lac Waterloo (ABVLW) pour l'analyse et la conception d'aires de biorétention (ADB). L'équipe *InnoVert design* a alors présenté un projet de conception normalisée qui permettrait à l'ABVLW d'utiliser l'analyse et la conception proposées pour l'implantation de plusieurs ADB sur le territoire du bassin versant du lac Waterloo.

Suite à l'analyse de trois variantes d'ADB, soit des ADB pour terrain unifamilial, des ADB pour terrain multilogement et des ADB en bordure de route, l'équipe *InnoVert design* a recommandé à l'ABVLW de porter en phase de conception la solution d'ADB pour terrain unifamilial puisque celle-ci permettait une implantation des ADB à court terme et à plus grande échelle, une participation citoyenne plus importante ainsi qu'une réalisation plus économique que les autres solutions. Ce choix de solution a été accepté par M. Bazinet, représentant du client, le 7 novembre 2017. Toutefois, M. Bazinet a alors souligné l'importance de proposer aux citoyens une solution encore plus économique que celle envisager, c'est pourquoi l'équipe *InnoVert design* a effectué plusieurs modifications à la solution initialement proposée tel que l'enlèvement du drain de fond, le choix de la zone d'implantation et les profondeurs des couches. Ces modifications ont permis de réduire le coût d'implantation d'une ADB de près de la moitié des coûts envisagés initialement. De plus, les citoyens pourront procéder eux-mêmes à l'implantation de leur ADB à l'aide des conseils d'implantation présents dans ce rapport, le tout afin de réduire davantage les coûts d'implantation.

Lors de ce projet réalisé dans le cadre du cours GCI 900, l'équipe étudiante *InnoVert design* a pu développer et démontrer ses compétences dans diverses sphères du génie civil. Tout d'abord, en hydrologie et en hydraulique, l'équipe a utilisé, premièrement, la méthode rationnelle pour une analyse préliminaire de la rétention requise et a procédé à diverses simulations à l'aide du logiciel Storm water management model (SWMM) afin d'évaluer l'impact de l'implantation d'ADB sur le ruissellement urbain. De plus, le domaine des matériaux a permis l'analyse des divers éléments techniques tels que les zones de prétraitement, les drains, les géotextiles, les végétaux, etc. qui peuvent composer l'ADB. De plus, en ce qui concerne la géotechnique, l'équipe a dû faire preuve de débrouillardise afin de contourner les dépassements économiques qu'engendraient les contraintes géotechniques de la première zone d'implantation choisie pour la solution unifamiliale. Pour ce faire l'équipe a procédé à l'analyse des cartes géologiques, des courbes granulométriques, le respect de la loi des filtres, la considération de la conductivité hydraulique et de la profondeur du roc. Et finalement, la sphère de l'environnement a été au cœur de ce projet, avec la considération du phosphore, du respect des plans de développement durable et directeur de l'eau et avec un souci constant de présenter à l'ABVLW une solution durable et viable socialement, environnementalement et économiquement.

Finalement, il est important de rappeler l'utilité et l'ampleur du projet d'implantation d'ADB sur le bassin versant du lac Waterloo. Tout d'abord, considérant que l'impact environnemental des ADB sera significatif, seulement si le projet est dupliqué à maintes reprises sur le bassin versant. Ainsi, le projet se devait de permettre une grande acceptabilité sociale, une possibilité d'engagement et d'implication des citoyens et l'implantation dans de multiples localisations. **Les ADB de Waterloo d'inscrivent dans une vision globale de gestion optimale de l'eau.** Ce nouveau type de gestion

permettra de réduire de près de 50% du phosphore transporté par les eaux de ruissellement, mais également la diminution des charges d'azote, des MES, des coliformes fécaux, etc. De plus, la lutte contre l'eutrophisation du lac Waterloo par des méthodes de gestions des eaux de pluie et des apports externes comme l'implantation d'ADB est une alternative à des mesures d'enlèvement du phosphore pouvant générer plus de dommage sur l'écosystème du fond du lac. Également, le projet d'implantation d'ADB pourra servir de vitrine de sensibilisation pour l'ABVLW qui pourra conseiller les citoyens dans leur démarche personnelle pour la restauration du lac. En outre, l'ajout d'une ADB sur sa propriété permet d'embellir son terrain, d'augmenter la valeur foncière de sa propriété et de générer de nouveaux écosystèmes qui seront des habitats propices pour les oiseaux et les papillons. À l'échelle du quartier, cet embellissement permettra d'augmenter le prestige du quartier ce qui aura également un impact sur la valeur foncière des propriétés. À plus grande échelle, les ADB permettent de réduire le phénomène d'îlot de chaleur en ajoutant des arbres sur le territoire, il permet d'augmenter l'infiltration de l'eau, de recharger les nappes phréatiques et, bien entendu, de diminuer la charge en phosphore du lac.

Bref, la démarche de l'ABVLW d'outiller les citoyens et de les encourager vers des pratiques plus durables et environnementales est un exemple pour les autres municipalités du Québec qui malgré leur moyen limité peuvent viser de grands projets. Ce n'est pas l'ampleur d'une seule implantation qui fera la force de ce projet, mais bien l'ampleur du nombre d'implantations. L'ABVLW suit avec audace le mouvement qu'ont déjà entamé de grandes villes pionnières en environnement telles que Seattle qui projette d'implanter plus de 12 000 ADB dans les prochaines années. L'équipe *InnoVert design* souhaite remercier une dernière fois l'ABVLW pour sa persévérance visant la restauration du lac Waterloo et pour sa participation active dans ce projet.

Individuellement, nous sommes une goutte. Ensemble, nous sommes un océan.

- Ryunosuke Satoro -

27. BIBLIOGRAPHIE

- Agir pour la diable. (2011). *Dossiers informatifs*. Récupéré de http://www.agirpouurladiable.org/html/do_phosphore.html, consulté le 18 octobre 2017.
- Agriculture et Agroalimentaire Canada et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. (2007). Tranchées filtrantes. Récupéré de : https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/.../TrancheesFiltrantes_FR_web.pdf. Consulté le 15 décembre 2017
- Bilodeau, Jean-Pascal. (2009). MG-20. Récupéré de : <http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/26136/ch02.html#d0e6374>. Consulté le 15 décembre 2017
- Corporation d'actions et de gestion environnementales de Québec. (2010). *Recommandations pour l'aménagement de bassins de rétention eaux pluviales*. Québec, Canada. Récupéré de https://www.cageq.ca/documents/Recommandations_bassins_ancienne.pdf
- Department of Environmental Resources. (2007). *Bioretention Manual*. The Prince George's Country, Maryland. Récupéré de http://www.ct.gov/deep/lib/deep/p2/raingardens/bioretention_manual_2009_version.pdf, consulté le 18 octobre 2017.
- Dugué, Marie. (2010). *Conception d'un jardin de pluie : théorie et cas pratique*. Montréal : École polytechnique de Montréal. Récupéré de https://publications.polymtl.ca/427/1/2010_MarieDugu%C3%A9.pdf
- Environnement et Changement climatique Canada. (2015). *Le phosphore dans les écosystèmes aquatiques canadiens*. Récupéré de : <https://www.ec.gc.ca/eaudouce-freshwater/default.asp?lang=Fr&n=0A77A85E-1&printfullpage=tru>, consulté le 18 octobre 2017.
- Fédération interdisciplinaire de l'Horticulture ornementale du Québec. (2008). Répertoire des recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec. Québec, Canada. Récupéré de <http://www.fihq.qc.ca/medias/D1.1.5B-1.pdf>
- Frenette, R. (2017). *Gestion durable des risques des grands projets d'infrastructure*. Conférence dans le cadre du cours GCI 900. Récupéré de la plateforme Moodle2 Udes
- Gouvernement du Québec. (2014). *Guide de gestion des eaux pluviales*. Québec, Canada. Récupéré de <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide-gestion-eaux-pluviales.pdf>.
- Gulbaz, S. (2016) *Experimental Investigation on Hydrologic Performance of LID with Rainfall-Watershed-Bioretention System*. Récupéré de : <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0001450>. Consulté le 14 décembre 2017
- Haute-Yamasaka. (2017). *Présentation du plan directeur de l'eau*. Récupéré de <http://www.haute->

yamaska.ca/documents/Plan_directeur_de_eau/Revision_2017/Presentation_PDE_consultations_WEB.pdf

- Hodgson, Larry. (2007,05 25). Savoir choisir son paillis. *La Presse*. Récupéré de <http://www.lapresse.ca/maison/cour-et-jardin/cour/200705/25/01-870391-savoir-choisir-son-paillis.php>, consulté le 18 octobre 2017.
- Holtz, R. & Kovacs, W. (1991). *Introduction à la géotechnique*. Presses internationales Polytechnique, Qc. 808 pages
- Laflamme, C. (2017). L'opération Phoslock est lancée à Bromont. *La Voix de l'Est*. Récupéré de <https://www.lavoixdelest.ca/actualites/en-region/loperation-phoslock-estlancee-a-bromont-7727f598b36460d67986bc4f2ec80d4e>, consulté le 31 octobre 2017.
- MDELCC. (2017). *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles*. Récupéré de : <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/matieres/reimr.htm>. Consultée le 13 décembre 2017.
- Météo Média. (2017). *Les précipitations annuelles*. Récupéré de <https://www.meteomedia.com/ca/previsions/statistiques/quebec/sherbrooke>, consulté le 18 octobre 2017.
- MRC Brome-Missisquoi. (2015). *Projet Stationnement écologique de la MRC Brome-Missisquoi*. Récupéré de : https://www.researchgate.net/publication/301201797_Projet_Stationnement_ecologique_de_la_MRC_Brome-Missisquoi_-_Evaluating_Bio-retention_cells_for_parking_lots. Consulté le 13 décembre 2017
- MRC La Haute Yamaska. (2015). Les actions de la MRC de La Haute-Yamaska dans le cadre de son plan directeur de l'eau (PDE). Récupéré de <http://www.ville.granby.qc.ca/webconcepteurcontent63/000024200000/upload/LaVille/Environnement/2014-04-04-ConsultationsurlelacBoivin-PDEdeLaMRC.pdf>
- Parent, Serge-Étienne. Cabral, Alexandre. (2012). Principes de base en hydraulique des sols non saturés et applications pratiques.
- Roy-Poirier, A. Champagne, P. & Fillion, Y. (2010). Bioretention processes for phosphorus pollution control. *Environmental Reviews, Volume 18*. Récupéré de <https://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=05a931ce-fded-4cbb-92df-23358521d939%40sessionmgr4007>, consulté le 18 octobre 2017.
- SMi. (2009). Modélisation du transport du phosphore sur l'ensemble du bassin versant du lac Memphrémagog. Récupéré de http://www.memphremagog.org/FCKeditor/ckfinder/userfiles/files/Centre_de_documents/FR/Modelisation-phosphore-Rapport-final-20100111.pdf
- Soil Survey Division Staff. (1993). *Particle Size Distribution*. Récupéré de : http://enviro-soil.com/soiljudging/reference_documents/Chpt.3ClayPercentageCoarseFragments_and_Texture_SoilSurveyManual1993.pdf. Consulté le 14 décembre 2017
- Tall, L., Blanchet, C. & Maranger, R. (n.d) *L'azote : Un élément clé dans l'eutrophisation des lacs*. Montréal, Canada. Récupéré de https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/docs/GSC1272/F896185191_lauretall.pdf

- Toronto and Region conservation for the living city. (2015). *Gestion optimale des eaux pluviales : Étude comparative de la performance d'un bassin de biorétention et d'une tranchée d'infiltration*. Récupéré de : <http://docplayer.fr/8120782-Gestion-optimale-des-eaux-pluviales-etude-comparative-de-la-performance-d-un-bassin-de-bioreten-tion-et-d-une-tranchee-d-infiltration.html>. Consulté le 13 décembre 2017.
- Ville de Laval (n.d.). *Guide du riverain lavallois*. Laval, Canada. Récupéré de <https://www.laval.ca/Documents/Pages/Fr/Citoyens/environnement-recyclage-et-collectes/guide-riverains-lavallois.pdf>
- Ville de Québec. (N.D.). *Aire de biorétention ou jardin de pluie*. Récupéré de : https://www.ville.quebec.qc.ca/gens_affaires/implantation-projets-immobiliers/projets-residentiels/docs/fiches_gestion_eaux_pluviales/1_aire_de_bioretention_ou_jardin_de_pluie.pdf. Consulté le 13 décembre 2017.
- Ville de Sherbrooke. (n.d.). *Politique d'aménagement des bassins de rétention des eaux pluviales*. Sherbrooke, Canada. Récupéré de https://www.ville.sherbrooke.qc.ca/fileadmin/fichiers/Mairie/plansstratpol/Politique_amenagement_bassins_retention_eaux.pdf, consulté le 18 octobre 2017.
- Ville de Waterloo. (2016). *Plan d'actions de développement durable (PADD)*. Waterloo, Canada. Récupéré de <http://ville.waterloo.qc.ca/library/Loisirs/PADD%20Waterloo.pdf>
- Ville de Waterloo. (2010). *Plan de zonage et règlements de zonage*. Waterloo, Canada. Récupéré de <http://ville.waterloo.qc.ca/library/Loisirs/PADD%20Waterloo.pdf> et <http://ville.waterloo.qc.ca/library/documents//R%C3%A8glement%20de%20zonage.pdf>
- 12 000 Rain Gardens in Pudget Sound. (2013). *About Rain Garden*. Récupéré de : <http://www.12000raingardens.org/>. Consulté le 11 décembre 2017.

V.ANNEXES

A. ÉCHÉANCIER

Notes : La semaine commence le lundi; Année : 2017;

Item	Étapes du processus	Durée (h)	Membre de l'équipe		
			ABC	JS	VS
Total :		757.25	252.25	252.75	252.25
1	Mandat	31	13	10	8
1.1	L2-Actualisation du projet	28	12	9	7
	Explication en classe	3	-	-	-
	L2 -Planification du projet	13	4	9	-
	L2-Rapport de visite du site	7	-	-	7
	L2-Fiche de projet	8	8	-	-
1.2	Mise à jour des besoins avec le client	3	1	1	1
2	Analyse	352.25	114.25	119.75	121.25
2.1	L3-Compte-Rendu de réunion	196.5	4	5	10.5
	Ordre du jour	5	2	2	1
	L3-Compte rendu de réunion	4	1	3	-
	L3-Tableau de répartition des tâches	3	-	-	3
	L3-Échéancier	7.5	1	-	6.5
2.2	Rencontre avec le coach	8.5	3.5	3	2
2.3	L4-Présentation initiale	12.75	3.25	5.25	4.25
	L4-Réalisation de la présentation PowerPoint	12	3	5	4
	L4-Présentation orale de 10 min	0.75	0.25	0.25	0.25
2.4	L5- Rapport initial de projet	19	7	6	6
	Explication en classe	3	-	-	-
	Mise à jour de la fiche de projet	5	5	-	-
	L5-Rédaction	14	2	6	6
2.5	Collecte d'information	88	27	30	31
	Fiches techniques- drains	6	-	4	2
	Normes municipales	8	2	2	4
	Étude topo/géomatique/géotech	5	-	5	1
	Études fournies par l'ABVLW	5	2	1	2
	Rencontre avec Hubert Cabana	3	-	-	3
	Apprentissage du logiciel SWMM	10	6	2	2
	Revue de littérature sur les ADB	51	17	17	17
2.6	Analyse technique	83	34	23	26
	Estimations des impacts de ruissellement (phosphore)	18	8	-	10
	Estimation des impacts environnementaux et DD	20	5	5	10
	Analyse géotechnique	20	1	15	4
	Analyse hydrologique	25	20	3	2

Item	Étapes du processus	Durée (h)	Membre de l'équipe		
			ACB	JS	VS
2.7	Analyse du cycle de vie simplifiée	20	3	10	7
	Conférence M. Amor	3	-	-	-
	Analyse complète	20	3	10	7
2.8	Analyse de risques	15	0	3	12
	Conférence analyse de risques	3	-	-	-
	Analyse préliminaire de risques	15	-	3	12
2.9	Analyse des impacts sociaux	15	11	2	2
	Analyse préliminaire des impacts	15	11	2	2
2.10	Élaboration des solutions	38	11	15	12
	Description de 10 solutions	6	6	-	-
	Élaboration des 3 solutions retenues	12	4	4	4
	Analyse fonctionnelle	15	-	9	6
	Recommandation d'une solution	5	1	2	2
2.11	Estimation préliminaire des coûts de travaux de génie civil	28	8	14	6
	Recherche des coûts des matériaux	18	6	8	4
	Rédaction	10	2	6	2
3.0	Conception	326	110	108	108
3.1	Rencontre avec le coach	9	3	3	3
	Préparation	6	2	2	2
	Rendez-vous	3	1	1	1
3.2	L6- Présentation finale du projet	49.5	18.5	17.5	13.5
	Réalisation des supports visuels	18	10	5	3
	L6-Réalisation de la présentation PowerPoint	30	8	12	10
	L6-Présentation orale de 18 min	1.5	0.5	0.5	0.5
3.3	L7- Rapport final du projet	53	18	19	16
	Mise à jour de la fiche de projet	5	5	-	-
	L7- Rédaction	48	13	19	16
3.5	Analyse des besoins	13	0	8	5
	Actualisation de la phase analyse	13	-	8	5
3.6	Élaboration du concept	5	1	2	2
	Résumé de la solution	5	1	2	2
3.7	Conception des plans pour commentaires	144	56	38	50
	Choix des matériaux	12	-	8	4
	Choix de la végétation	6	-	-	6
	Calcul du volume de rétention	20	20	-	-
	Calcul sur l'impact du phosphore	10	-	-	10
	Estimation de la diminution du ruissellement	6	6	-	-
	Dimensionnement des ADB	30	10	10	10
	Réalisation des plans	60	20	20	20

Item	Étapes du processus	Durée (h)	Membre de l'équipe		
			ABC	JS	VS
3.9	Estimation des coûts de travaux de génie civil	24	7	10	7
	Calculs finaux	24	7	10	7
3.8	Recommandations et conclusion	18	3	7	8
	Documents pour le client	18	3	7	8
4.0	Recommandation pour la construction	15	10	10	10
4.1	Mesures de protections et autres	15	10	10	10
5.0	Exposition Mégagéniale	45	15	15	15
	Préparation de l'exposition	15	5	5	5
	Présence à l'évènement	30	10	10	10

Restauration du Lac Waterloo par des
aires de biorétention Équipe 10

Rédigé par: Virginie Simard
Révisé par : Alice Boisvert

Échéancier
2017/12/15

Calendrier du projet

Notes: - La semaine commence le lundi. - Année: 2017.- Les sommes excluent les heures en classes

Item	Étapes du processus	Durée (h)	Août					Septembre					Octobre					Novembre				Décembre		
			28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	15	26					
Total: 757,25																								
1	Mandat	31																						
1,1	L2-Actualisation du projet	28	Remise L2- 8 septembre																					
	Explication en classe	3																						
	L2 -Planification du projet	13																						
	L2-Rapport de visite du site	7																						
	L2-Fiche de projet	8																						
1,2	Mise à jour des besoins avec le client	3																						
	Discussion avec le client	3																						
2	Analyse	355,25																						
2,1	L3-Compte-Rendu de réunion	19,5	Remise L3- 22 septembre																					
	Ordre du jour	5																						
	L3-Compte rendu de réunion	4																						
	L3-Tableau de répartition des tâches	3																						
	L3-Échéancier	7,5																						
2,2	Rencontre avec le coach	81,5																						
	Prise de rendez-vous	0,5																						
	Rendez-vous	8																						
2,3	L4-Présentation initiale	12,75	Remise L4- 26 octobre																					
	L4-Réalisation de la présentation																							
	PowerPoint	12																						
	L4-Présentation orale de 10 min	0,75																						

Restauration du Lac Waterloo par des aires de biorétention Équipe 10

Rédigé par: Virginie Simard
Révisé par : Alice Boisvert

Échéancier
2017/12/15

Calendrier du projet

Notes: - La semaine commence le lundi. - Année: 2017.- Les sommes excluent les heures en classes

Item	Étapes du processus	Durée (h)	2017							2018										
			Août	Septembre			Octobre				Novembre			Décembre						
			28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	15	26	
2,6	Analyse technique	Total: 83																		
	Estimations des impacts de ruissellement (phosphore)	18																		
	Estimation des impacts environnementaux et DD	20																		
	Analyse géotechnique	20																		
	Analyse hydrologique	25																		
2,7	Analyse du cycle de vie simplifiée	20																		
	Conférence M. Amor	3																		
	Analyse complète	20																		
2,8	Analyse de risques	15																		
	Conférence analyse de risques	3																		
	Analyse préliminaire du risques	15																		
2,9	Analyse des impacts sociaux	10																		
	Analyse préliminaire des impacts	10																		
2,10	Élaboration des solutions	38																		
	Description de 10 solutions	6																		
	Élaboration des 3 solutions retenues	12																		
	Analyse fonctionnelle	15																		
	Recommandation d'une solution	5																		
2,11	Estimation préliminaires des coûts de génie civil	28																		
	Recherche des coûts des matériaux	18																		
	Rédaction	10																		

Restauration du Lac Waterloo par des
aires de biorétention Équipe 10

 Rédigé par: Virginie Simard
Révisé par : Alice Boisvert

 Échéancier
2017/12/15

Calendrier du projet

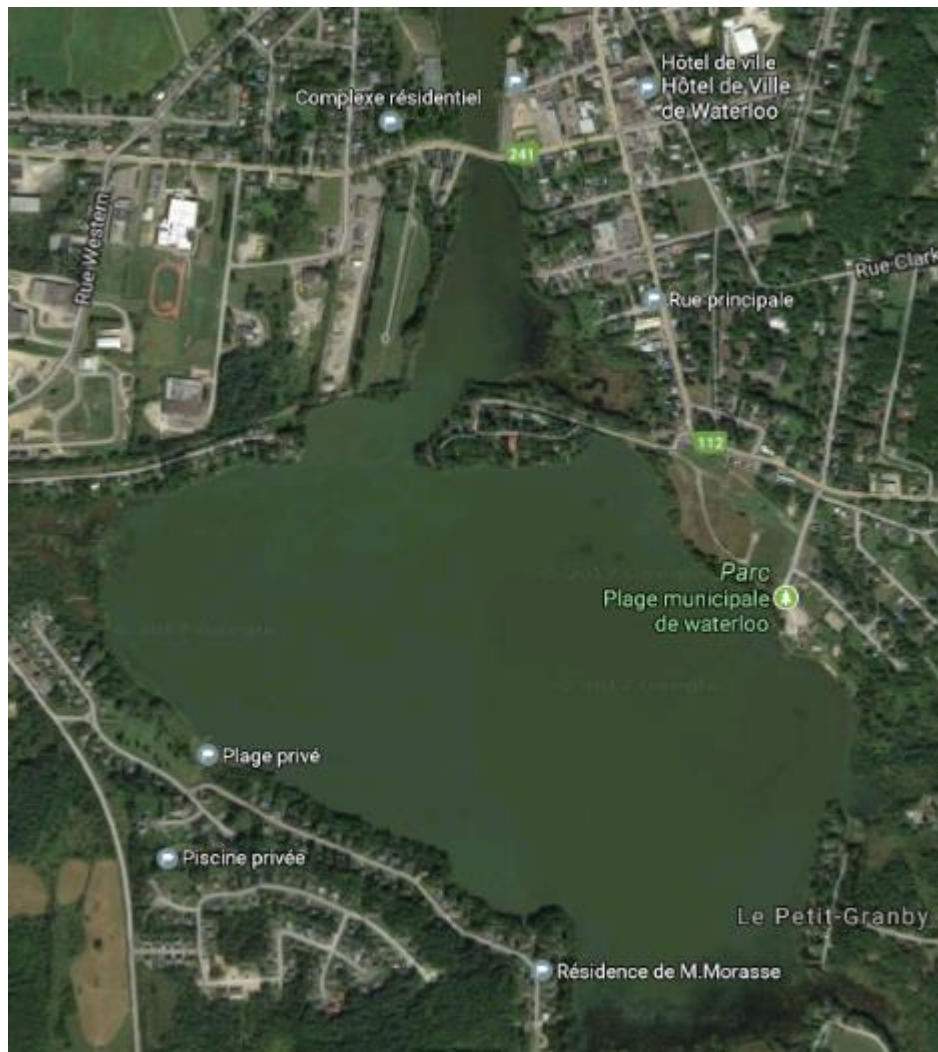
Notes: - La semaine commence le lundi. - Année: 2017.- Les sommes excluent les heures en classes

Item	Étapes du processus	Durée (h)	Août		Septembre					Octobre					Novembre				Décembre		
			28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	15	26		
3,0	Conception	326																			
3,1	Rencontre avec le coach	9																			
	Préparation	6																			
	Rendez-vous	3																			
3,2	L6- Présentation finale du projet	49,5																			
	Réalisation des supports visuels (réalité augmentée)	18																			
	L6-Réalisation de la présentation PowerPoint	30																			
	L6-Présentation orale de 18 min	1,5																			
3,3	L7- Rapport final du projet	53																			
	Explication en classe	3																			
	Mise à jour de la fiche de projet	5																			
	L7- Rédaction	48																			
3,4	Analyse des besoins	13																			
	Actualisation de la phase analyse	13																			
3,5	Élaboration du concept	5																			
	Résumé de la solution	5																			
3,6	Conception des plans pour commentaires	144																			
	Choix des matériaux	12																			
	Choix de la végétation	6																			
	Calcul du volume de rétention	20																			
	Calcul de l'impact sur phosphore	10																			
	Estimation diminution ruissellement	6																			
	Dimensionnement des AdR	30																			
	Réalisation des plans	60																			
3,7	Estimation des coûts	24																			
	Calculs finaux	24																			

B. COMPTE RENDU DE VISITE COMPLET

Date :	8 août 2017		
Lieu :	Environs du lac Waterloo, Québec		
Rédigé par :	Virginie Simard		
Révisé par :	Alice Boisvert		
Objet :	Visite de reconnaissance des lieux		
Membres présents :	Mmes	Alice Boisvert	Chargée de projet, <i>InnoVert Design</i>
		Justine Sirois	Responsable géotechnique, <i>InnoVert Design</i>
		Virginie Simard	Responsable environnement, <i>InnoVert Design</i>
	M.	Richard Morasse	Président, ABVLW

Cette carte illustre les principaux endroits visités lors de la visite du 8 août 2017



Présentation des membres

L'équipe *InnoVert Design* s'est rendue au domicile de M. Morasse pour la visite de reconnaissance. M. Morasse est le président de l'ABVLW et candidat pour la mairie de la ville de Waterloo. Pour Justine Sirois et Virginie Simard, il s'agissait du premier contact avec ce dernier. Alice Boisvert connaissait déjà M. Morasse, car elle avait effectué son 4^e stage au sein de l'ABVLW.

Visite des terrains riverains

M. Morasse a débuté en expliquant à l'équipe *InnoVert Design* la situation et les problèmes existants sur son terrain ainsi que sur ceux de ces voisins. Son objectif est de réaliser un aménagement exemple d'aires de biorétention qui permettrait éventuellement d'être reproduit sur d'autres terrains riverains. Effectivement, si les résultats obtenus par l'équipe sont concluants, M. Morasse ainsi que ces voisins sont prêts à réaliser le projet conjointement sur leurs terrains.

La résidence de M. Morasse est située dans une pente menant au lac Waterloo, il y a donc des problèmes importants d'érosion causés par du ruissellement abondant. Une grande quantité d'eau arrive de la rue et des terrains situés en amont du lac. La photo 1 illustre la pente considérable du terrain. Il est à noter que la photo a été prise en direction de la rue en amont.



Photo 1 : Stationnement de la résidence de M. Morasse

M. Morasse a aménagé son terrain de manière à réduire le ruissellement et l'érosion. Il a fait des jardins, planté des arbres et construit des murets de pierres. La photo 2 est un exemple du travail accompli. Au fil des années, M. Morasse a mentionné que la végétation spontanée était plus résistante et avait une meilleure croissance. Il s'agit d'un aspect important pour la conception des aires de biorétention. Également, sur la photo 2 il est possible de constater la présence de la ligne de ruissellement.



Photo 2 : Aménagement paysager et présence de la ligne de ruissellement

Par la suite, M. Morasse a fait visiter le terrain de son voisin (photo 3) aux membres de l'équipe *InnoVert Design* et a expliqué brièvement la réglementation des bandes riveraines. Pour la suite de la conception, il serait important de se familiariser davantage avec cette réglementation.



Photo 3 : Bande riveraine du premier voisin de droite de M. Morasse

Sur les 3 terrains visités, l'équipe *InnoVert Design* a noté la présence de tuyaux qui acheminent l'eau en amont du terrain vers des endroits plus propices au drainage avant de se rendre jusqu'au lac. La photo 4 montre le tuyau présent sur le terrain du premier voisin de M. Morasse. Les sorties de ces tuyaux seraient un bon endroit pour aménager de futures aires de biorétention.



Photo 4 : Tuyau de drainage à proximité du lac

L'équipe s'est ensuite rendue sur le troisième terrain. Ce voisin n'a pas réalisé d'aménagement près du lac, il s'agit donc de l'état naturel du pourtour du lac (photo 5). De plus, il est possible de constater que le sol est relativement pauvre et la végétation est plus clairsemée. Au toucher, le sol semble sablonneux. Puis, simplement quelques petites plantes indigènes sont présentes.



Photo 5 : Bande riveraine du deuxième voisin de droit de M. Morasse

En ce qui concerne la composition du sol dans ce secteur, la réponse est assez simple à obtenir; il suffit de regarder le décor environnant pour constater qu'il s'agit de roc tel qu'illustré sur la photo 6. M. Morasse a confirmé l'absence d'un faible couvert de sol organique et de la proximité du roc en surface. Cet aspect est un élément critique à considérer pour la conception.



Photo 6 : Composition du sol, massif de roc

Puis, l'équipe s'est dirigée vers la rue pour analyser le quartier en amont du lac. La photo 7 est une vue d'ensemble de la rue. Il y a des fortes pentes dans tous les sens. Aussi, il y a un problème avec le dévers de la route, l'inclinaison n'est pas suffisante. Cette situation fait en sorte que l'eau ne se rend pas aux puisards, elle coule donc sur les terrains de M. Morasse et de ses voisins. Il est possible de remarquer que les surfaces sont assez imperméables et qu'il y a peu de végétation. Aussi, il n'y a pas de bordures de rues, ce qui nuit à l'acheminement adéquat de l'eau dans les puisards.



Photo 7 : Vue d'ensemble de la rue en amont

Dans l'allée de son stationnement, M. Morasse a construit des drains de chaque côté pour réduire le ruissellement et l'érosion (photo 8). Pour la conception, il a fait appel à des ingénieurs, car les drains sont constitués de 3 types de pierres ayant des diamètres différents. M. Morasse possède toujours les plans et il est prêt à les partager avec l'équipe *InnoVert Design*.



Photo 8 : Drains dans l’allée de stationnement

Visite de la plage privée

Le quartier où M. Morasse habite possède une plage privée (photo 9). Le terrain de la plage est adjacent à 4 autres terrains qui possèdent des problèmes de drainages. Ces terrains appartiennent à un promoteur immobilier qui tente de les vendre, mais sans succès dû au surplus d’eau présent. Pour le drainage de ces terrains, un accord a été conclu avec le conseil du quartier ; l’eau peut être acheminée vers le terrain de la plage privée en échange que le promoteur paye les frais de la conception d’une aire de biorétention sur la plage. Les plans de ce projet ont été réalisés et M. Morasse sera en mesure de les fournir à l’équipe *InnoVert Design*.



Photo 9 : Vue générale de la plage privée

Visite de la piscine privée

Ce quartier possède également une piscine privée, l'équipe s'y est rendue. M. Morasse souhaiterait y ajouter une aire de biorétention afin de réduire le ruissellement urbain vers le lac. La photo 10 illustre la possibilité d'en construire une. M. Morasse considère qu'il faut commencer par construire des aires de biorétention dans les espaces communs afin d'inspirer les résidents à faire de même sur leurs propres terrains. Cependant, cet aménagement ne fait pas partie du mandat d'*InnoVert Design*



Photo 10 : Piscine privée du quartier

Visite du complexe résidentiel

M. Morasse a discuté avec M. Walter Verhoer, entrepreneur dans la construction et vente de maison neuve pour y construire une aire de biorétention sur un nouveau projet résidentiel à ses frais. L'entrepreneur est en accord avec cette idée. L'équipe s'est rendue sur le projet qui est situé à proximité du parc Robinson. La photo 11 présente le projet en cours et une vue du terrain qui pourrait accueillir la future aire de biorétention.



Photo 11 : Vue du complexe résidentiel réalisé par Walter Verhoer

Comme le projet est construit sur le dessus d'une colline et que le sol est relativement imperméable, de grosses crevasses se sont formées dans l'entrée du stationnement. Il est possible de constater ce phénomène sur la photo 12. L'idée des drains présents chez M. Morasse pourrait sans doute être reproduite ici. M. Morasse a suggéré à l'équipe de faire des recherches pour savoir ce qui se fait dans les autres municipalités telles que Granby et Cowansville.



Photo 12 : Crevasses présentes dans l'entrée du stationnement du complexe résidentiel

Visite de la cour de l'école primaire Notre- Dame

M. Morasse a voulu montrer à l'équipe l'emplacement d'un futur projet d'aménagement puisqu'il a à cœur l'amélioration et l'embellissement de sa municipalité. M. Morasse et l'équipe *InnoVert Design* ont marché le terrain. Actuellement, les plans d'urbanisme de la cour sont réalisés, il ne manque que le financement pour mener à terme ce projet. M. Morasse peut encore une fois fournir les plans à *InnoVert Design* pour que l'équipe puisse avoir des guides. La photo 14 est une vue d'ensemble de la cour.



Photo 13 : Vue d'ensemble de la cour de l'école Notre-Dame

Pour le moment, aucun plan n’a été fait pour le stationnement des autobus qui est adjacent à la cour et à la rivière Yamaska, car ce terrain appartient à la commission scolaire. La photo 15 présente ce stationnement.



Photo 14 : Stationnement des autobus de l’école Notre-Dame

Autres endroits de Waterloo

Par la suite, sans la présence de M. Morasse, l’équipe *InnoVert Design* s’est rendue sur la rue principale afin d’analyser la possibilité d’ajouter des aires de biorétention le long des trottoirs. La photo 16 représente une vue de la rue principale de Waterloo.



Photo 15 : Vue sur la rue principale de Waterloo

InnoVert Design avait également mis à son agenda la visite des bâtiments municipaux pour voir s’il était possible d’ajouter des aires de biorétention. La photo 17 est la façade de l’hôtel de ville de Waterloo. Comme l’endroit est déjà bien végétalisé, l’équipe ne développera pas de solutions pour ces bâtiments. Cependant, les conseils pour les plantes ayant une meilleure rétention des eaux pourront être éventuellement introduits dans l’aménagement des bâtiments municipaux de la ville.



Photo 16 : Façade de l'hôtel de ville de Waterloo

Conclusion

Cette rencontre a permis à l'équipe de se familiariser et de clarifier les besoins et le mandat du client. De plus, l'équipe possède désormais une bonne vision des lieux visités. Elle est également consciente des défis à relever et des tâches à accomplir pour la réalisation de ce projet.

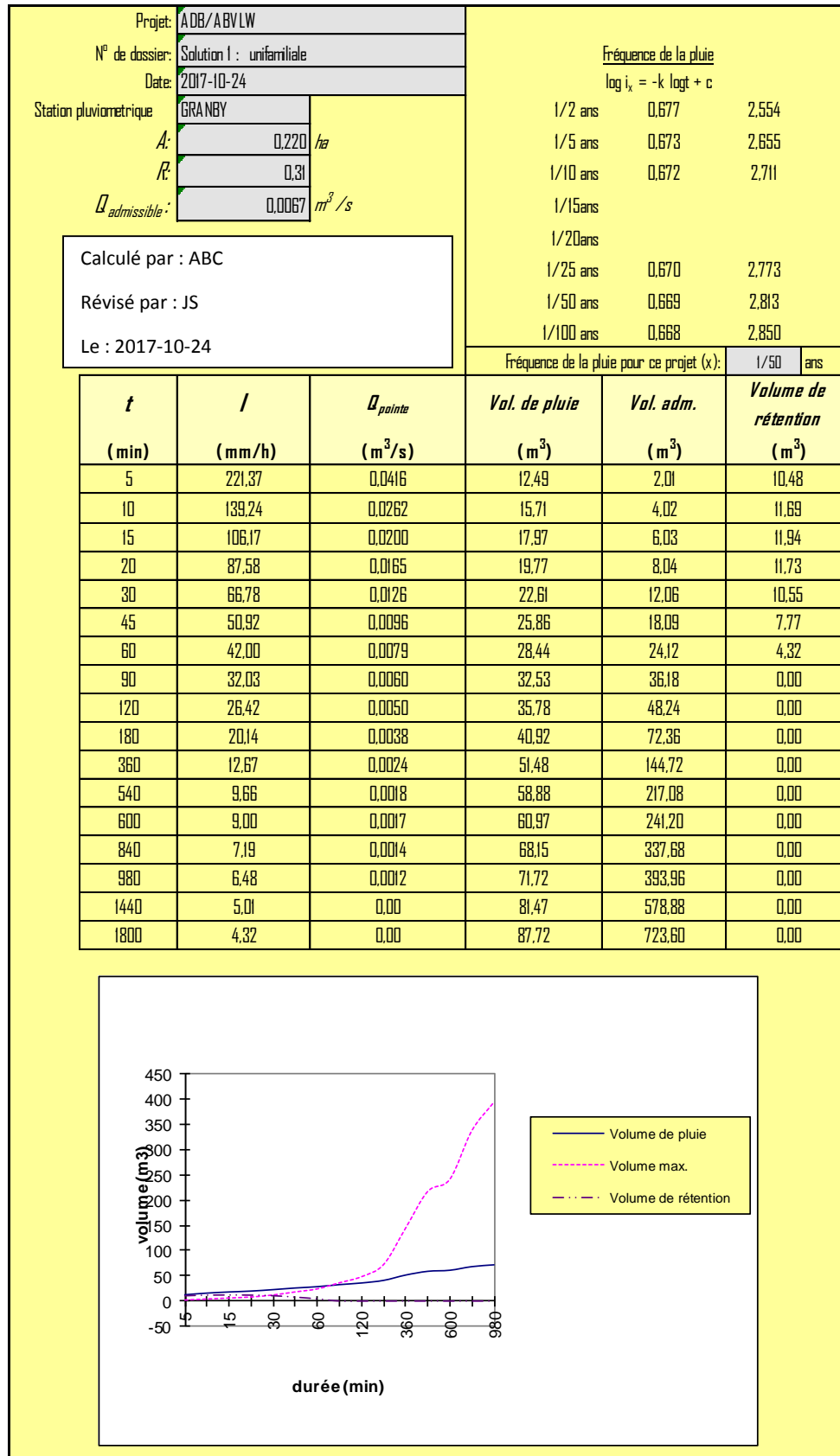
Voici un sommaire des actions à prendre suite à cet entretien :

- Pour la conception des aires de biorétention, il serait important d'utiliser une végétation spontanée (espèces indigènes) pour assurer la pérennité du projet;
- Lire la réglementation sur les bandes riveraines pour savoir ce qui est présentement nécessaire et travailler à partir de ce point-là;
- Analyser les plans pour les drains de l'entrée de M. Morasse afin de s'en inspirer pour la conception;
- Analyser les plans réalisés pour l'aire de biorétention sur la plage privée pour s'en inspirer;
- Réaliser des recherches pour savoir ce qui se fait dans les autres municipalités en matière d'aires de biorétention;
- Analyser les plans de la cour de l'école primaire.

C. DÉTAILS – ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE (SÉPARÉ)

SOLUTION 1 : ADB UNIFAMILIALE

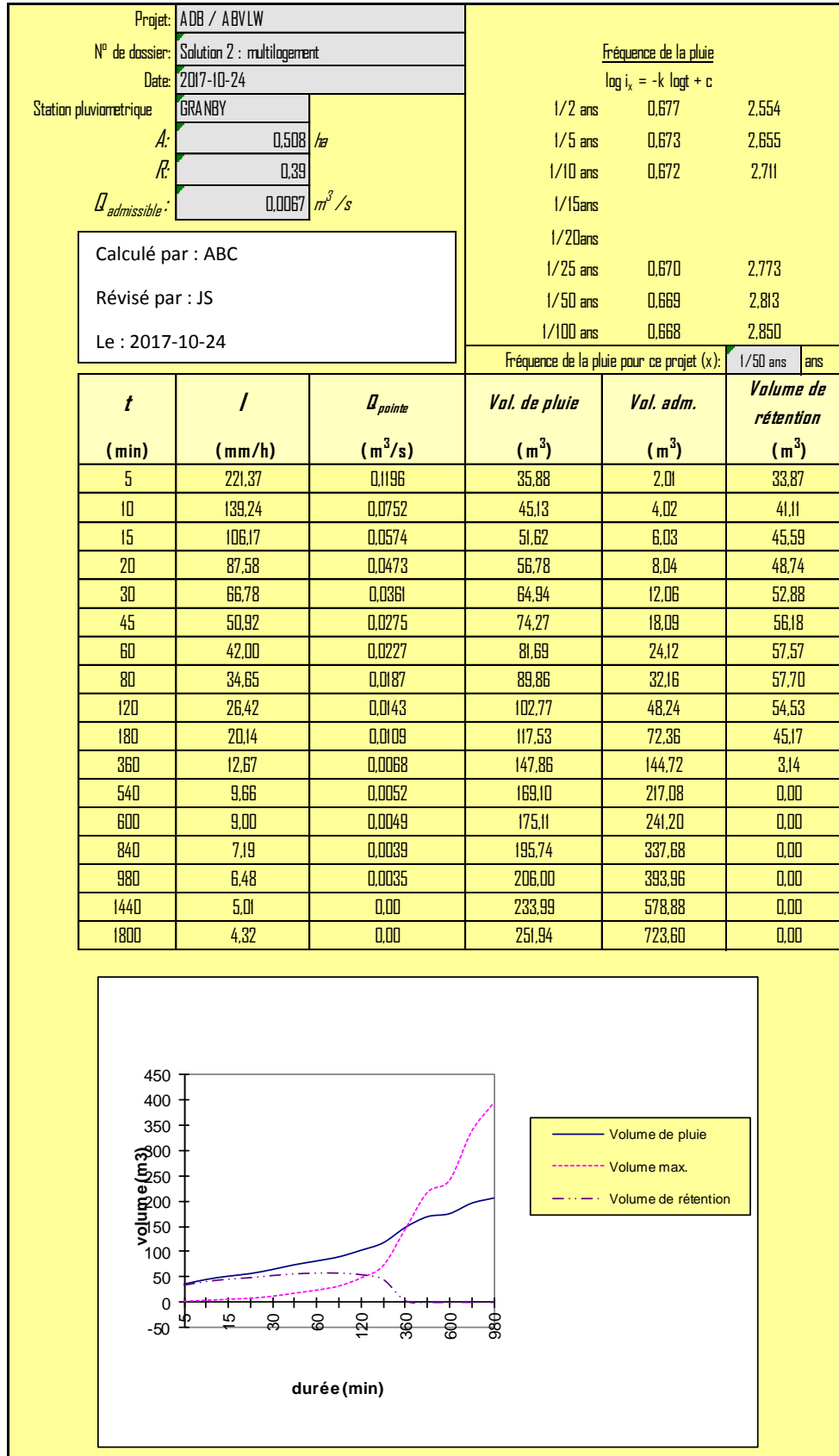
		PROJET	Projet ADB avec ABVLW	
		SUJET:	Drainage	
		No. de dossier	Solution 1 : unifamiliale	
FEUILLE DE CALCULS		Calculé par	ABC	Page:
		Révisé par :	JS	1 de 1
		Date:	2017-10-24	
Résumé des calculs pour le drainage et la rétention des eaux de ruissellement				
Champs à remplir		XXX	unité	
Ville de projet		GRANBY		
Nature des surfaces totales				
- Asphalte	: A =	120	m ² →	0,012 ha
- Béton	: A =	0	m ² →	0,000 ha
- Végétalisé	: A =	1600	m ² →	0,160 ha
- Toits	: A =	180	m ² →	0,018 ha
- Gravier	: A =	300	m ² →	0,030 ha
- Surface totale	: A _t =	2200	m ² →	0,220 ha
- Coeff. de ruiss. moyen	: R _{moy} =	0,31	Ü	$\frac{\sum R_i \times A_i}{A_t}$
Coefficient de ruissellement (R)				
- Stationnements pavés	: R =	0,90		
- Béton	: R =	0,95		
- Gazon	: R =	0,15		
- Toits directement drainés	: R =	0,95		
- Autre : préciser	: R =	0,55		
Débits de pointe générés et volumes de rétention requis				
<i>Débit admissible à l'égout:</i>				
- Total	:	0,0067	m ³ /sec	
→ Récurrence de la pluie	:	1/50 ans		mettre la recurrence de la pluie
- Procédure de calculs	→	Il faut procéder par itérations pour trouver le débit de pointe et la durée de la pluie qui génèrent le plus grand volume de rétention, en considérant le débit admissible à l'égout pluvial		
Résultats				
Site complet				
- Volume de rétention maximal requis	:	11,94	m ³	
- Durée correspondante	:	15	min	
- Débit de pointe correspondant	:	0,02	m ³ /s	
- Débit de pointe pour 15 min	:	11,9	m ³	
OK - Le volume total de rétention requis est de	:	13	m ³	



SOLUTION 2 : ADB MULTIOGEMENT

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">PROJET</td> <td>ADB/ABVLW</td> </tr> <tr> <td>SUJET:</td> <td>Drainage</td> </tr> <tr> <td>No. de dossier</td> <td>Solution 2 : multilogement</td> </tr> </table>	PROJET	ADB/ABVLW	SUJET:	Drainage	No. de dossier	Solution 2 : multilogement
PROJET	ADB/ABVLW						
SUJET:	Drainage						
No. de dossier	Solution 2 : multilogement						
FEUILLE DE CALCULS	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Calculé par ABC</td> <td>Page:</td> </tr> <tr> <td>Révisé par : JS</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Date: 2017-10-24</td> <td>1 de 1</td> </tr> </table>	Calculé par ABC	Page:	Révisé par : JS		Date: 2017-10-24	1 de 1
Calculé par ABC	Page:						
Révisé par : JS							
Date: 2017-10-24	1 de 1						
Résumé des calculs pour le drainage et la rétention des eaux de ruissellement							
Champs à remplir	XXX unité						
Ville de projet	GRANBY						
Nature des surfaces totales							
- Asphalte	: A = 830 m ² → 0,083 ha						
- Béton	: A = 0 m ² → 0,000 ha						
- Végétalisé	: A = 3450 m ² → 0,345 ha						
- Toits	: A = 650 m ² → 0,065 ha						
- Gravier	: A = 150 m ² → 0,015 ha						
- Surface totale	: A _t = 5080 m ² → 0,508 ha						
- Coeff. de ruiss. moyen	: R _{moy} = 0,39 $\ddot{U} \frac{\sum R_i \times A_i}{A_t}$						
Coefficient de ruissellement (R)							
- Stationnements pavés	: R = 0,90						
- Béton	: R = 0,95						
- Gazon	: R = 0,15						
- Toits directement drainés	: R = 0,95						
- Autre : préciser	: R = 0,55						
Débits de pointe générés et volumes de rétention requis							
<i>Débit admissible à l'égout:</i>							
- Total	: 0,0067 m ³ /sec						
→ Réurrence de la pluie	: 1/50 ans						
- Procédure de calculs	→ Il faut procéder par itérations pour trouver le débit de pointe et la durée de la pluie qui génèrent le plus grand volume de rétention, en considérant le débit admissible à l'égout pluvial						
Résultats							
Site complet							
- Volume de rétention maximal requis	: 57,70 m ³						
- Durée correspondante	: 80 min						
- Débit de pointe correspondant	: 0,0187 m ³ /s						
- Débit de pointe pour 80 min	: 57,7 m ³						
OK - Le volume total de rétention requis est de	: 63 m ³						

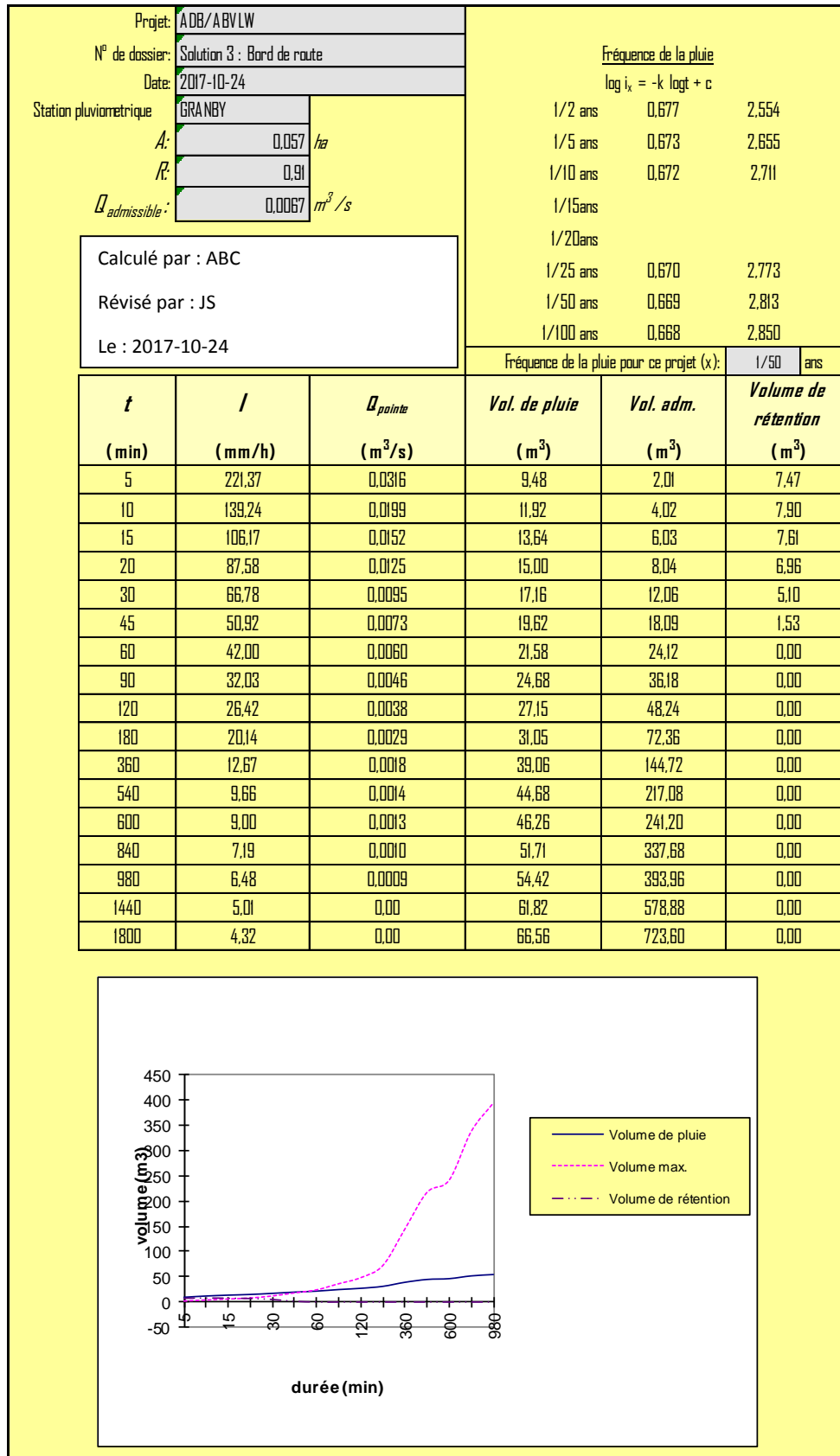
mettre la recurrence de la pluie



SOLUTION 3 : ADB BORDURE DE ROUTE

	PROJET ADB/ABVLW	
	SUJET:	
	No. de dossier Solution 3 : Bord de route	
FEUILLE DE CALCULS		Calculé par ABC Révisé par : JS Date: 2017-10-24
		Page: 1 de 1
Résumé des calculs pour le drainage et la rétention des eaux de ruissellement		
Champs à remplir	XXX	unité
Ville de projet	GRANBY	
Nature des surfaces totales		
- Asphalte	: A = 450	m ² → 0,045 ha
- Béton	: A = 120	m ² → 0,012 ha
- Végétalisé	: A = 0	m ² → 0,000 ha
- Toits	: A = 0	m ² → 0,000 ha
- Gravier	: A = 0	m ² → 0,000 ha
- Surface totale	: A _t = 570	m ² → 0,057 ha
- Coeff. de ruiss. moyen	: R _{moy} = 0,91	Ü $\frac{\sum R_i \times A_i}{A_{t1}}$
Coefficient de ruissellement (R)		
- Stationnements pavés	: R = 0,90	
- Béton	: R = 0,95	
- Gazon	: R = 0,15	
- Toits directement drainés	: R = 0,95	
- Autre : préciser	: R = 0,55	
Débits de pointe générés et volumes de rétention requis		
<i>Débit admissible à l'égout:</i>		
- Total	: 0,0067	m ³ /sec
→ Récurrence de la pluie	: 1/50 ans	
Procédure de calculs → Il faut procéder par itérations pour trouver le débit de pointe et la durée de la pluie qui génèrent le plus grand volume de rétention, en considérant le débit admissible à l'égout pluvial		
Résultats		
Site complet		
- Volume de rétention maximal requis	: 7,90	m ³
- Durée correspondante	: 10	min
- Débit de pointe correspondant	: 0,0199	m ³ /s
- Débit de pointe pour 10 min	: 7,9	m ³
OK - Le volume total de rétention requis est de	: 9	m ³

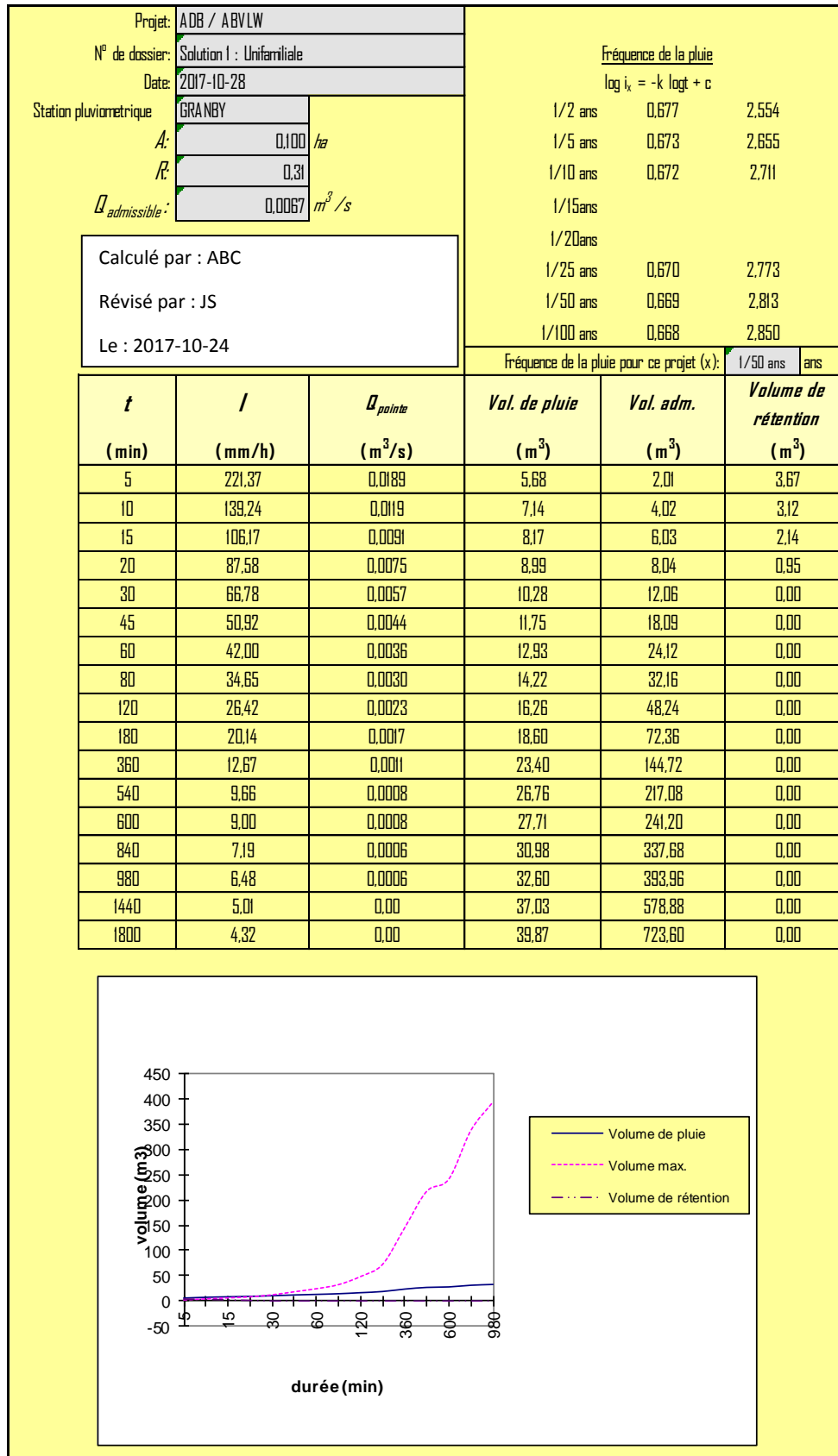
mettre la recurrence de la pluie



D. DÉTAILS – ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE (DÉNOMINATEUR COMMUN)

SOLUTION 1 : ADB UNIFAMILIALE

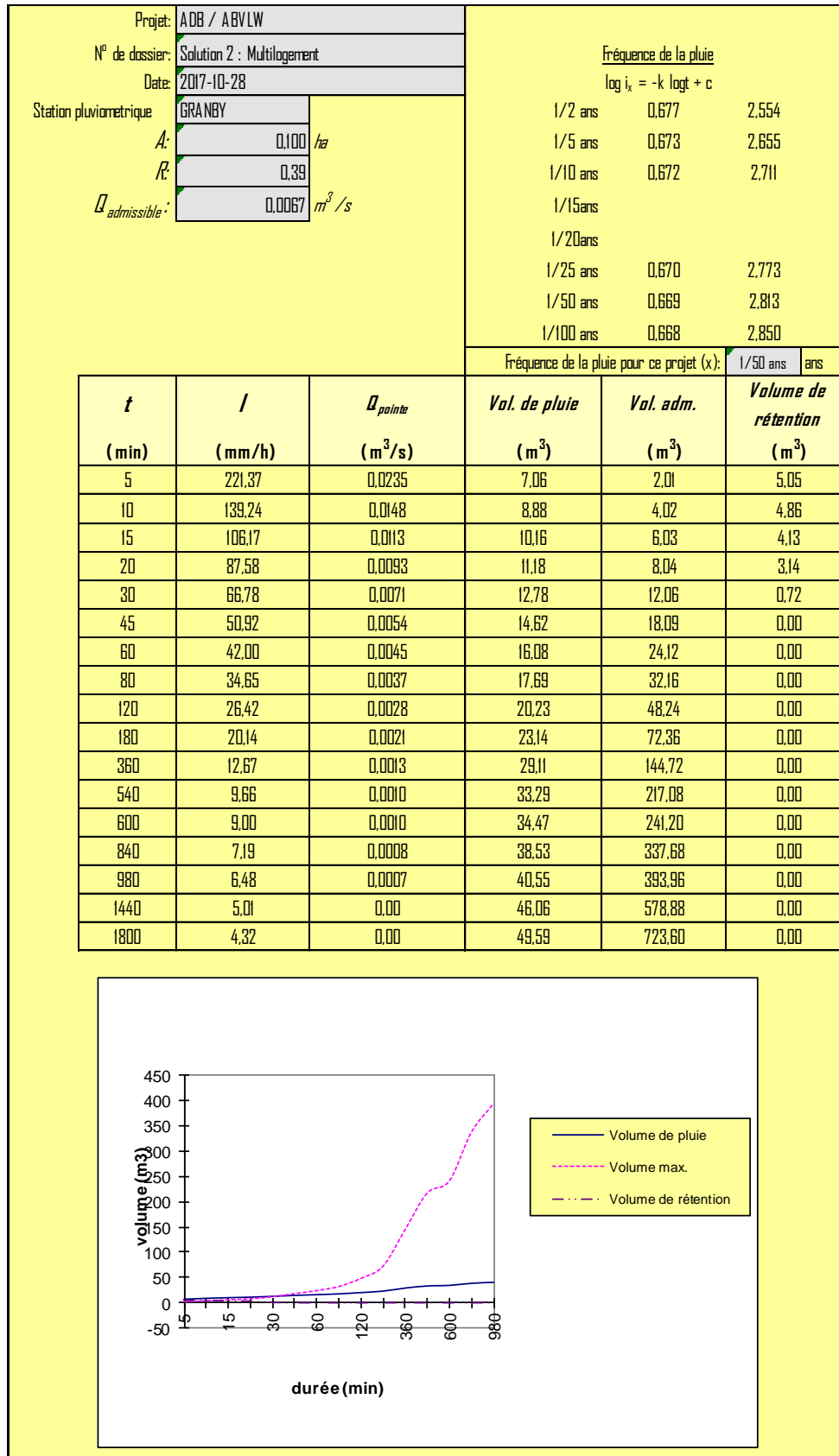
		PROJET	ADB/ABVLW
		SUJET:	
		No. de dossier	Solution 1 : Unifamiliale
FEUILLE DE CALCULS		Calculé par	ABC
		Révisé par	JS
		Date:	2017-10-28
		Page:	1 de 1
Résumé des calculs pour le drainage et la rétention des eaux de ruissellement			
Champs à remplir		XXX	unité
Ville de projet		GRANBY	
Nature des surfaces totales			
- Asphalte	: A =	54,54	m ² → 0,005 ha
- Béton	: A =	0	m ² → 0,000 ha
- Végétalisé	: A =	727,27	m ² → 0,073 ha
- Toits	: A =	81,82	m ² → 0,008 ha
- Gravier	: A =	136,36	m ² → 0,014 ha
- Surface totale	: A _t =	1000	m ² → 0,100 ha
- Coeff. de ruiss. moyen	: R _{moy} =	0,31	Ü $\frac{\sum R_i \times A_i}{A_t}$
Coefficient de ruissellement (R)			
- Stationnements pavés	: R =	0,90	
- Béton	: R =	0,95	
- Gazon	: R =	0,15	
- Toits directement drainés	: R =	0,95	
- Autre : préciser	: R =	0,55	
Débits de pointe générés et volumes de rétention requis			
<i>Débit admissible à l'égout:</i>			
- Total	:	0,0067	m ³ /sec
→ Réurrence de la pluie	:	1/50 ans	
			mettre la recurrence de la pluie
- Procédure de calculs	→	Il faut procéder par itérations pour trouver le débit de pointe et la durée de la pluie qui génèrent le plus grand volume de rétention, en considérant le débit admissible à l'égout pluvial	
Résultats			
Site complet			
- Volume de rétention maximal requis	:	3,67	m ³
- Durée correspondante	:	5	min
- Débit de pointe correspondant	:	0,019	m ³ /s
- Débit de pointe pour	5 min	:	3,7 m ³
OK - Le volume total de rétention requis est de	:	4	m ³



SOLUTION 2 : ADB MULTIOGEMENT

		PROJET	ADB/ABVLW
		SUJET:	
		No. de dossier	Solution 2 : Multilogement
FEUILLE DE CALCULS		Calculé par ABC Révisé par : JS Date: 2017-10-28	Page: 1 de 1
Résumé des calculs pour le drainage et la rétention des eaux de ruissellement			
Champs à remplir		XXX	unité
Ville de projet		GRANBY	
Nature des surfaces totales			
- Asphalte	: A =	163,39	m ² → 0,016 ha
- Béton	: A =	0	m ² → 0,000 ha
- Végétalisé	: A =	679,13	m ² → 0,068 ha
- Toits	: A =	127,95	m ² → 0,013 ha
- Gravier	: A =	29,53	m ² → 0,003 ha
- Surface totale	: A _t =	1000	m ² → 0,100 ha
- Coeff. de ruiss. moyen	: R _{moy} =	0,39	Ü $\frac{\sum R_i \times A_i}{A_t}$
Coefficient de ruissellement (R)			
- Stationnements pavés	: R =	0,90	
- Béton	: R =	0,95	
- Gazon	: R =	0,15	
- Toits directement drainés	: R =	0,95	
- Autre : préciser	: R =	0,55	
Débits de pointe générés et volumes de rétention requis			
<i>Débit admissible à l'égout:</i>			
- Total	:	0,0067	m ³ /sec
→ Récurrence de la pluie	:	1/50 ans	
mettre la recurrence de la pluie			
- Procédure de calculs	→ Il faut procéder par itérations pour trouver le débit de pointe et la durée de la pluie qui génèrent le plus grand volume de rétention, en considérant le débit admissible à l'égout pluvial		
Résultats			
Site complet			
- Volume de rétention maximal requis	:	5,05	m ³
- Durée correspondante	:	5	min
- Débit de pointe correspondant	:	0,024	m ³ /s
- Débit de pointe pour 5 min	:	5,1	m ³
OK - Le volume total de rétention requis est de	:	6	m ³

SOLUTION 3 : ADB BORDURE DE ROUTE



		PROJET	ADB/ABVLW
		SUJET:	
		No. de dossier	Solution 3 : Bord de route
FEUILLE DE CALCULS		Calculé par ABC Révisé par : JS Date: 2017-10-28	Page: 1 de 1
Résumé des calculs pour le drainage et la rétention des eaux de ruissellement			
Champs à remplir		XXX	unité
Ville de projet		GRANBY	
Nature des surfaces totales			
- Asphalte	: A =	789,47	m ² → 0,079 ha
- Béton	: A =	210,53	m ² → 0,021 ha
- Végétalisé	: A =	0	m ² → 0,000 ha
- Toits	: A =	0	m ² → 0,000 ha
- Gravier	: A =	0	m ² → 0,000 ha
- Surface totale	: A _t =	1000	m ² → 0,100 ha
- Coeff. de ruiss. moyen	: R _{moy} =	0,91	Ü $\frac{\sum R_i \times A_i}{A_t}$
Coefficient de ruissellement (R)			
- Stationnements pavés	: R =	0,90	
- Béton	: R =	0,95	
- Gazon	: R =	0,15	
- Toits directement drainés	: R =	0,95	
- Autre : préciser	: R =	0,55	
Débits de pointe générés et volumes de rétention requis			
<i>Débit admissible à l'égout:</i>			
- Total	:	0,0067	m ³ /sec
→ Récurrence de la pluie	:	1/50 ans	
- Procédure de calculs	→	Il faut procéder par itérations pour trouver le débit de pointe et la durée de la pluie qui génèrent le plus grand volume de rétention, en considérant le débit admissible à l'égout pluvial	
Résultats			
Site complet			
- Volume de rétention maximal requis	:	18,28	m ³
- Durée correspondante	:	20	min
- Débit de pointe correspondant	:	0,022	m ³ /s
- Débit de pointe pour 20 min	:	18,3	m ³
OK - Le volume total de rétention requis est de	:	20	m ³

mettre la recurrence de la pluie

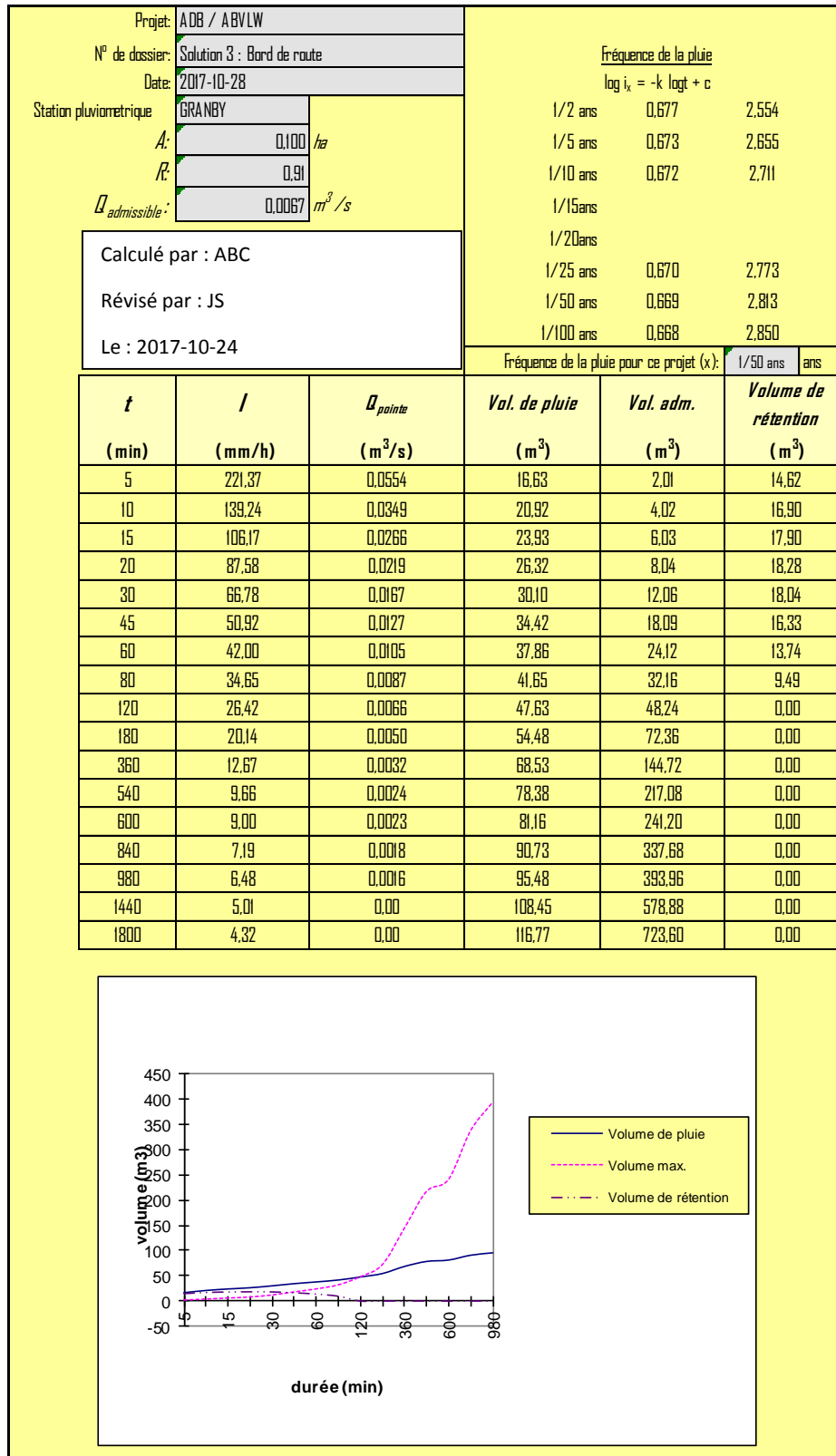




Figure 50 : Légende 1 – carte pédologique
(Source : IRDA, 2008)

Signification des couleurs des cartes pédologiques

Matériaux du sol	Variation de l'état de drainage		
	EXCESSIF	À	TRÈS MAUVAIS
Tills	brun pâle	à	brun foncé
Graviers	rose	à	rouge foncé
Sables	jaune très pâle	à	jaune brun
Limons	vert pâle	à	vert olive
Argiles	bleu pâle	à	bleu très foncé
Terres noires	gris pâle		
Tourbes	gris noirâtre		
Alluvions non différenciées	rose gris		
Affleurements rocheux	magenta		

Figure 51 : Légende 2 – carte pédologique
(Source : IRDA, 2008)

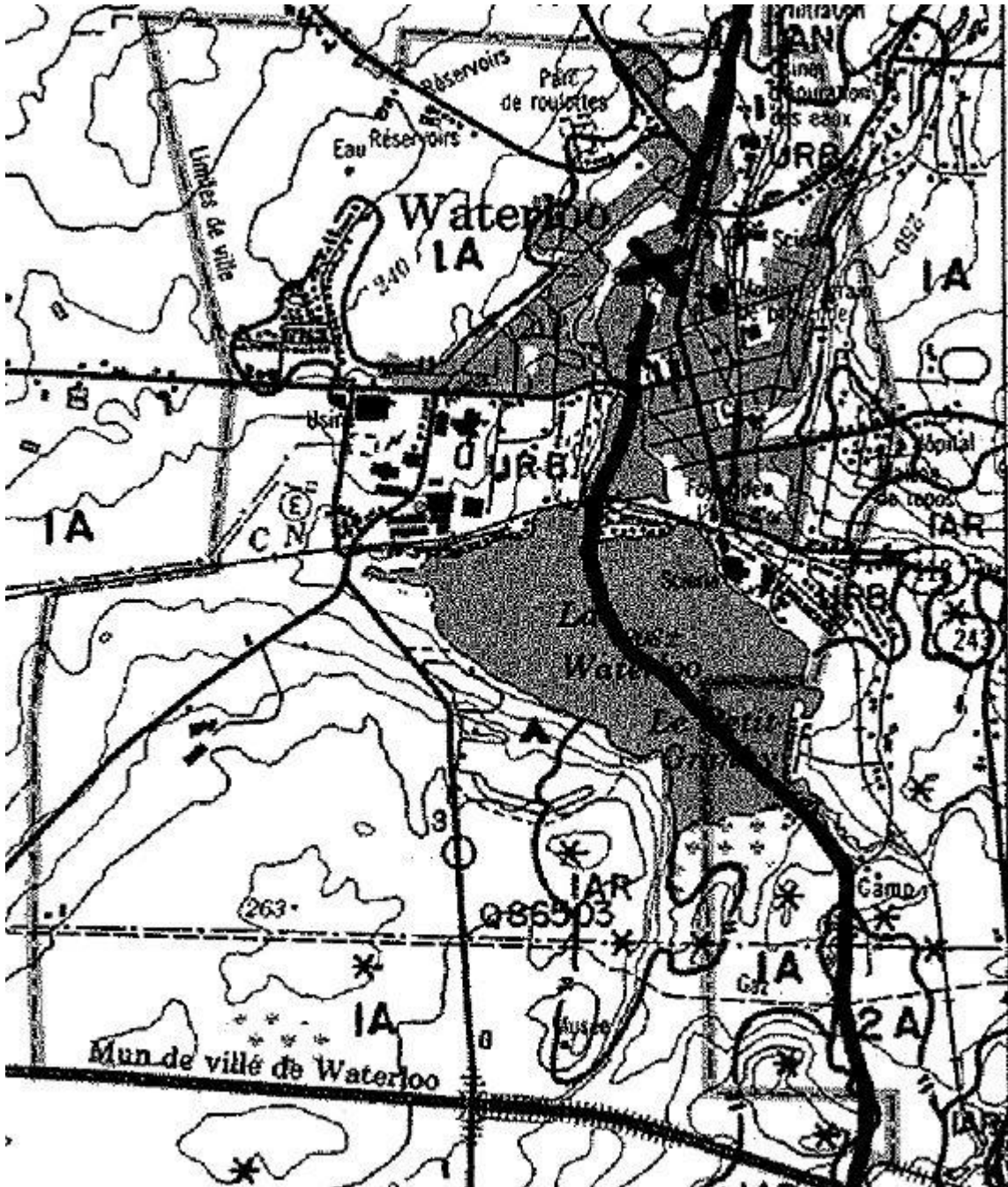


Figure 52 : Carte des dépôts de surface et de leur profondeur pour la municipalité de Waterloo
(Source : Ministère des Forêts du QC, 1995)

- Till indifférencié | A Idem. L'épaisseur moyenne est supérieure à 1 m.
- Till indifférencié mince | AR Idem. L'épaisseur moyenne se situe entre 25 cm et 1 m.
- SUBSTRATUM ROCHEUX** R Affleurement rocheux pouvant être recouvert de matériel meuble d'une épaisseur moyenne inférieure à 25 cm.

Figure 53 : Légende – Carte des dépôts de surface et de leur profondeur pour la municipalité de Waterloo
(Source : Ministère des Forêts du QC, 1995)

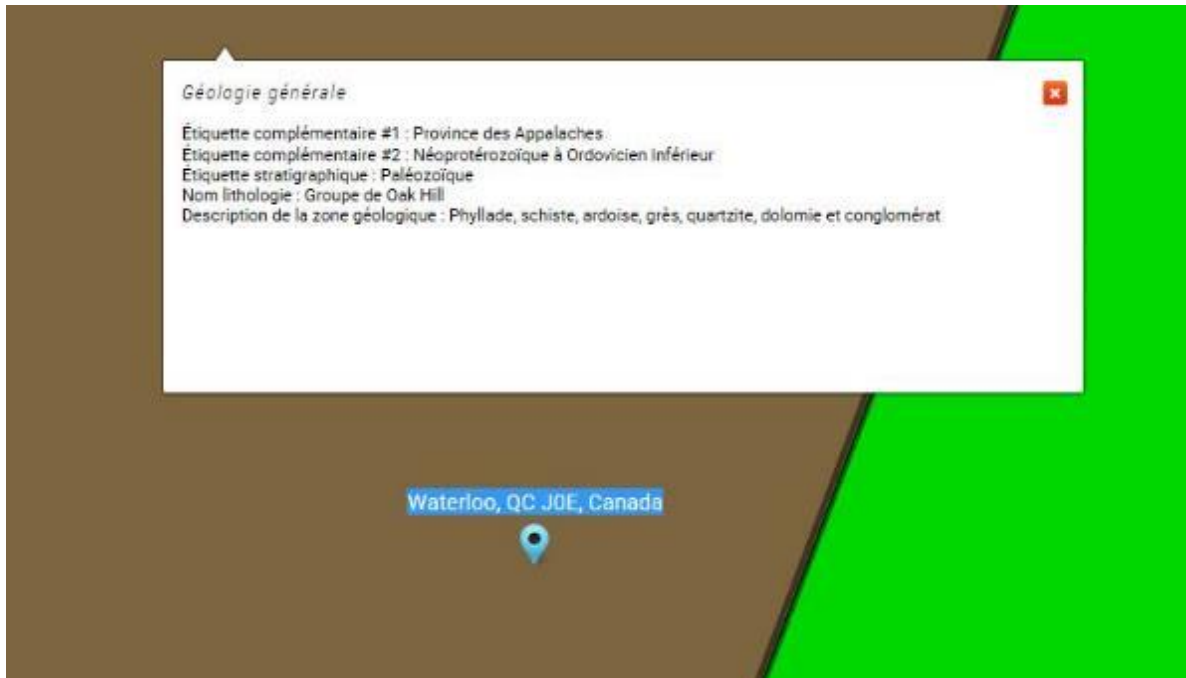


Figure 54 : Description de la géologie générale de la région de Waterloo
(Source : SIGÉOM, 2017)

IDENFIANT DU PUIT (?)	NIVEAU D'EAU À LA FIN DES TRAVAUX (mètres)
1984-100-31307175	-3.05
2004-150-64900010	-4.88
2013-150-18700641	-2.13
2006-150-18700224	Inconnu
2007-150-16700008	-3.35
2007-150-64900065	-6.1
1986-100-15901423	-1.83
2008-150-52010010	-0.92
2004-120-60213865	-6.1
2004-120-60213864	-6.1
1978-100-19616730	-5.49
2002-110-60203490	-3.05
2000-110-60208173	-6.1
2013-150-18700675	-4.57
1978-300-10045382	Inconnu
2005-150-15900129	-3.05
1984-100-31307176	-3.05
2010-150-51400214	-0.12
1978-100-15916741	-3.05
1992-120-52004313	Inconnu
1983-100-37900365	-6.1
1978-300-10045448	Inconnu
2004-120-60213763	-3.66
2004-120-60213926	-4.57
1978-200-10130469	-3.47
1978-300-10045449	Inconnu
1984-100-31307173	-4.57
2009-150-13006464	-10.06
1978-100-15916715	-1.83
1982-100-15910946	-1.22
1978-100-31216739	-6.1
2014-150-63500019	-4.57

Solution 2 : multilogement

Moyenne des autres puits : - 4 mètres

Figure 55 : Hauteur du niveau de la nappe phréatique autour du lac Waterloo
(Source : Système d'information hydrogéologique du MDDELCC, 2017)

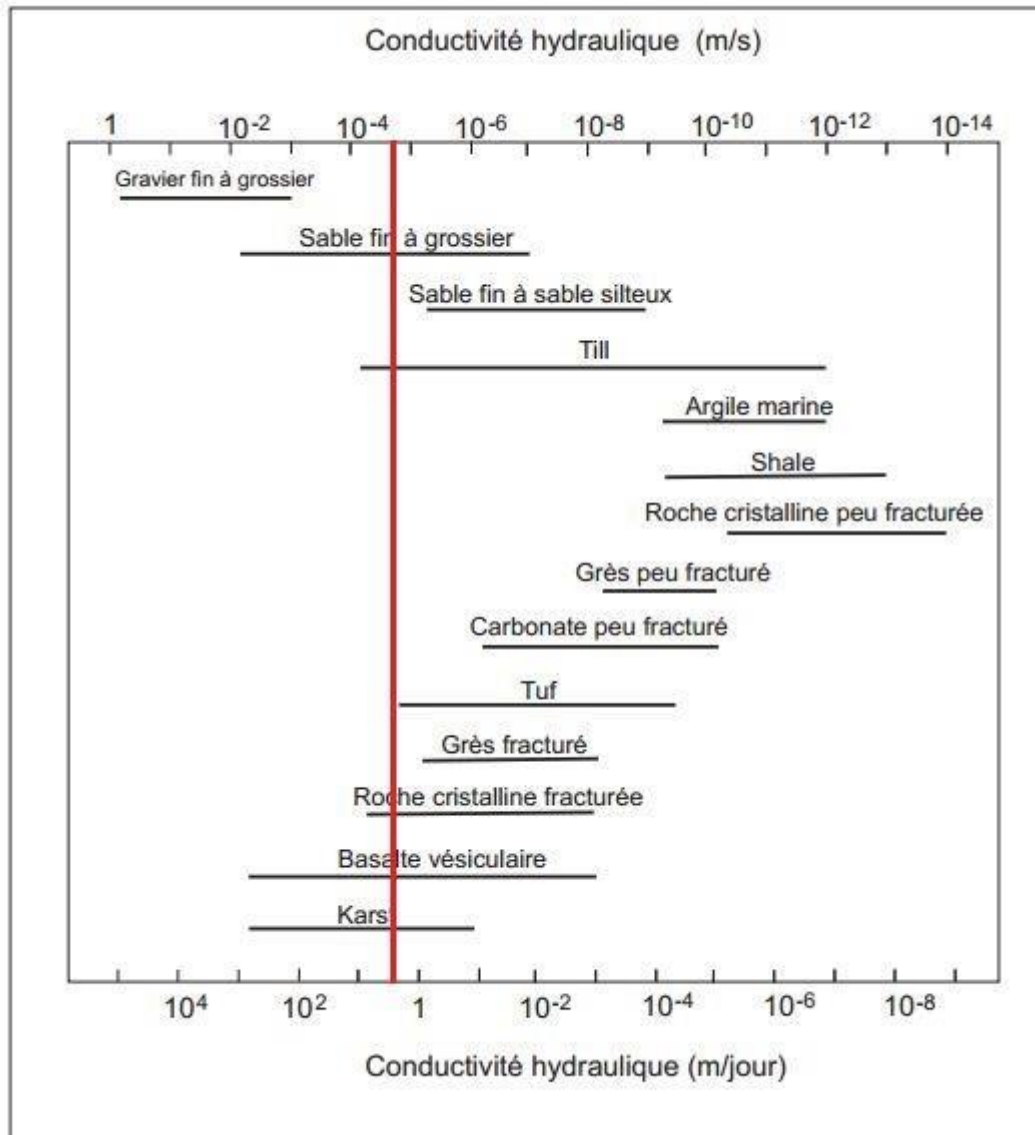


Figure 56 : Valeur typique de la conductivité hydraulique des sols
(Source : MDDELCC, 2015)

F. DÉTAILS – ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

F-1

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

Tableau 2.1

Comparaison de la qualité des eaux de débordement des réseaux unitaires, des eaux pluviales et des effluents des stations d'épuration (adapté de Brouillette – 2001).

Paramètres	Unités	Surverses de réseaux unitaires ^{1,2}	Eaux pluviales ²	Eaux usées traitées ³
Coliformes fécaux	(UFC/100 mL)	200 000 – 1 000 000	1 000 – 21 000	≥ 500
Matières en suspension	(mg/L)	270 – 550	67 – 101	15 – 30
DBO5	(mg/L O ₂)	60 – 220	8 – 10	15 – 30
Phosphore total	(mg/L P)	1,20 – 2,80	0,67 – 1,66	0,40 – 1,00
Cuivre	(mg/L)	0,102	0,027 – 0,033	0,032
Plomb	(mg/L)	0,140 – 0,600	0,030 – 0,144	0,046
Zinc	(mg/L)	0,348	0,135 – 0,226	0,410

¹ U.S. EPA (1983) ² Metcalf & Eddy (2003) ³ OMOE (1987)

F-2

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

Runoff and rainfall inflow : Arrivée de l'eau de ruissellement et l'eau de pluie

Sedimentation : Sédimentation

Precipitation : Précipitation

Dissolution : Dissolution

Vegetative uptake : Absorption par les végétaux

Biomass P : Biomasse du phosphore

Sorption : Sorption

Desorption : Désorption

Immobilization : Immobilisation

Mineralization : Minéralisation

Litter fall : Chute des feuilles

Bioretention soil : Biorétention du sol

Filtration : Filtration

Mobilization : Mobilisation

Overflow : Débordement

PP : Particulate phosphorus: Phosphore particulaire

PIP : Particulate inorganic phosphorus : Phosphore inorganique particulaire

POP : Particulate organic phosphorus : Phosphore organique particulaire

TP : Total phosphorus : Phosphore total

SIP : Soluble inorganic phosphorus : Phosphore inorganique soluble

SOP: Soluble inorganic phosphorus : Phosphore organique soluble

F-3

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

Tableau 8.17

Pourcentages d'enlèvement médians des polluants pour différentes PGO.

Paramètres	Bandes filtrantes	Fossés de rue sans aménagement	Fossés engazonnés	Noues engazonnées (dry swale)	Bassin de rétention sec avec retenue prolongée	Bassin avec retenue permanente	Marais artificiel	Biorétention	Pratiques avec infiltration
MES	60 ⁴	30 ¹	50 ⁶	80 ^{1,3}	60 ¹	80 ^{1,3}	70 ^{1,1}	80 ⁴	89 ¹
Phosphore total	20 ⁴	0 ¹	30 ⁶	34 ¹	20 ^{1,3}	52 ^{2,3}	45 ^{1,3}	40 ⁵	65 ³
Nitrates totaux	N/D	20 ¹	N/D	31 ¹	0 ¹	31 ^{1,3}	65 ^{2,3}	40 ^{2,3}	0 ³
Azote total Kjeldahl	N/D	0 ¹	N/D	34 ¹	30 ¹	24 ^{1,2}	30 ¹	28 ²	N/D
Cuivre total	N/D	10 ¹	N/D	50 ¹	30 ^{1,3}	57 ^{1,3}	40 ^{1,2}	75 ^{2,1}	86 ³
Zinc total	N/D	10 ¹	N/D	70 ¹	30 ^{1,3}	64 ^{1,3}	40 ^{1,2,3}	80 ^{1,1}	66 ¹
Plomb total	N/D	10 ¹	N/D	70 ¹	50 ¹	60 ¹	45 ¹	70 ²	N/D
Bactéries	N/D	10 ¹	N/D	60 ¹	40 ¹	65 ^{1,3}	60 ¹	N/D	N/D

Références : ¹Guide pour la Ville de Toronto (2006); ²Geosyntec (2007); ³CWP, (2007); ⁴ASCE BMP DATABASE (2011); ⁵Virginie (2010), ⁶Pennsylvanie (2006).

Notes :

- Les polluants pour lesquels il est recommandé de faire un contrôle sont les MES et le phosphore total.
- Les séparateurs avec technologies brevetées (à vortex ou avec d'autres mécanismes), ne sont pas inclus au tableau puisqu'ils offrent un pourcentage d'enlèvement variable en fonction des critères de conception retenus.

F-4

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

87

Tableau 8.18

Pourcentages comparatifs d'enlèvement du phosphore pour différentes PGO (Minnesota, 2005).

Catégorie	Type de PGO	Taux moyen d'enlèvement du phosphore total	Taux maximum d'enlèvement du phosphore total	Taux moyen d'enlèvement du phosphore dissous
Biorétention	Avec conduite perforée	50 %	65 %	60 %
	Infiltration	60 %	75 %	70 %
Filtration	Filtre granulaire	50 %	60 %	0 %
	Végétation	65 %	75 %	70 %
Infiltration	Tranchée	65 %	90 %	80 %
	Bassin	65 %	90 %	80 %
Bassins	Avec retenue permanente	50 %	65 %	70 %
	Bassins multiples	60 %	75 %	75 %
Marais artificiels	Marais peu profond	45 %	65 %	50 %
	Bassin/Marais	55 %	75 %	65 %

Note : Pour l'évaluation des performances attendues, il est recommandé d'utiliser les taux moyen d'enlèvement du phosphore total.

G. DÉTAILS – ANALYSE DES ÉLÉMENTS TECHNIQUES DES ADB

G-1

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

Tableau 11.4

Composantes pouvant servir de prétraitement (adapté de CIRIA, 2007).

Composante pour prétraitement	Description
Bandes filtrantes	Bandes de gazon ou de végétation sur lesquelles le ruissellement peut s'écouler lentement avant d'atteindre la PGO. L'écoulement doit dans ce cas atteindre la bande en nappe (et non pas être concentré à un endroit); des répartiteurs de débit pourront être utilisés pour maintenir ce type d'écoulement.
Fossé engazonné	Canaux engazonnés où les débits peuvent être traités avec de faibles vitesses; l'efficacité peut être accentuée en utilisant de petits seuils.
Bassin de rétention (cellule de prétraitement)	Dans certains cas, par exemple, pour des bassins ou des marais artificiels, le prétraitement peut s'effectuer à l'intérieur d'une cellule spécifique située en amont, ce qui permet de réduire les vitesses d'apport à l'ouvrage principal et de concentrer les sédiments à un endroit pour faciliter l'entretien.
Trappe à sédiments	Ce type de structure maintient une retenue permanente d'eau, réduit les vitesses et vise spécifiquement à faire décanter les particules de plus grandes dimensions.
Séparateurs à vortex	Ces structures favorisent la décantation ainsi que la collecte des sédiments et de certains polluants. L'entretien est très important à maintenir sur une base régulière pour assurer un fonctionnement adéquat.
Systèmes de filtration commerciaux	Ces systèmes filtrent les eaux de ruissellement à travers divers matériaux. L'entretien est très important à maintenir sur une base régulière pour assurer un fonctionnement adéquat.
Systèmes de captation dans les puisards	Ces systèmes peuvent être insérés dans les puisards et peuvent contribuer à un pourcentage d'enlèvement limité des sédiments, des débris et des huiles et graisses provenant du ruissellement des rues.
Séparateurs d'huile et de sédiments	Ces systèmes sont applicables pour les zones où des produits associés aux hydrocarbures sont présents (zones d'entreposage, stations-services, garages municipaux, aires de stationnement, aéroports, etc.).

G-2

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

Tableau 11.15

Recommandations pour le dimensionnement des bandes filtrantes comme prétraitement (adapté de MCPA, 2005).

Paramètre	Zones imperméables				Zones gazonnées			
	10	25	25	50	≤ 2%	> 2%	≤ 2%	> 2%
Longueur maximale d'approche (m)								
Pente de la bande filtrante	≤ 2%	> 2%	≤ 2%	> 2%	≤ 2%	> 2%	≤ 2%	> 2%
Longueur minimum de la bande filtrante	3 m	4,5 m	6 m	7,5 m	3 m	3,6 m	4,5 m	5,5 m

G-3

Source : (Ville de Sherbrooke, n.d.)

Mélange pour les zones humides (0-2 ans)

Nom français	Nom latin	Pourcentage dans le mélange
Pâturin du Canada	<i>Poa compressa</i>	25 %
Arrostide blanche	<i>Argrostis alba</i>	20 %
Phléole des prés	<i>Phleum pratense</i>	20 %
Calamagrostide du Canada	<i>Calamagrostis canadensis</i> ou <i>melitotus alba</i>	15 %
Lotier corniculé	<i>Lotus corniculatus</i>	15 %
Carex	<i>Carex</i>	5 %

Mélange pour les zones inondables (2-100 ans)

Nom français	Nom latin	Pourcentage dans le mélange
Ivraie vivace (ray-grass)	<i>Lolium perenne</i>	30 %
Fétuque rouge traçante	<i>Festuca rubra</i>	25 %
Fétuque (élevée)	<i>Festuca acrundinacea</i>	25 %
Mélilot blanc	<i>Melilotus alba</i>	10 %
Trèfle blanc	<i>Trifolium repens</i>	10 %

G-4

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

Tableau A-1

Végétaux pour climat froid avec tolérance reconnue aux sels de déglçage (adapté de MPCA, 2005).

Nom	Humidité du sol	Tolérance aux sels dans le sol	Type de végétaux	Notes pour l'utilisation
Orme américain (Ulmus Americana)	Toujours mouillé / fréquemment saturé	Moyenne/basse	Arbre	
Frêne de Pennsylvanie (Fraxinus pennsylvanica)	Toujours mouillé	Moyenne	Arbre	
Seigle canadien sauvage (Elymus canadensis)	Fréquemment saturé	Moyenne	Herbacée	
Vulpin des prés (Alopecurus pratensis)	Fréquemment saturé	Basse	Herbacée	
Frêne d'Amérique (Fraxinus americana)	Fréquemment saturé / Drainé	Élevée	Arbre	
Peuplier (Populus spp.)	Fréquemment saturé / Drainé	Moyenne	Arbre	Inclut peuplier faux-tremble, peuplier deltoïde, peuplier à feuille noire et argentée; croissance rapide; bonne stabilisation des berges; très tolérant à l'épandage de sels
Micocoulier américain (Celtis occidentalis)	Fréquemment saturé / Drainé	Moyenne	Arbre	
Pin gris (Pinus banksiana)	Drainé	Élevée	Arbre	
Sumac vinaigrier (Rhus typhina et Rhus trilobata)	Drainé	Élevée	Arbuste	
Fruit du rosier (Rosa rugosa)	Drainé	Basse	Arbuste	
Ray-grass anglais (Lolium perenne)	Drainé	Moyenne	Herbacée	
Schizachyrium à balai (Schizachyrium scoparium)	Drainé	Élevée	Herbacée	
Alkali grass (Puccinella distans)	Drainé	Élevée	Herbacée	

G-5

Source : (Dugué, 2010)

Tableau 5. 5: liste des arbustes implantés pour le projet pilote

<i>Cornus stolonifera 'Kelsey'</i>	Cornouiller de Kelsey;
<i>Diervilla splendens (x)</i>	Diervillée élégant;
<i>Hypericum kalmianum</i>	Millepertuis de Kalm;
<i>Spireae latifolia</i>	Spirée à larges feuilles.

Tableau 5. 6: Liste des vivaces choisies pour le projet pilote

<i>Calamagrostis acutiflora "overdam"</i>	
<i>Carex plantaginea</i>	Carex plantain;
<i>Hemerocallis Bonanza;</i>	
<i>Iris versicolor</i>	Iris versicolore;
<i>Onoclea sensibilis</i>	Onoclée sensible;
<i>Physostegia virginiana</i>	Physostegia de virginie blanc;
<i>Tradescantia x andersoniana 'Bilberry Ice'</i>	Tradescantia 'Bilberry ice'

G-6

Source : (Ville de Laval, n.d.)

Listes de végétaux recommandés pour stabiliser une rive

Vous désirez effectuer une plantation sur votre berge? Il est important de bien choisir vos végétaux en fonction de leur adaptation aux conditions riveraines. Voici une liste d'arbres et d'arbustes **indigènes** qui sont recommandés pour une plantation en rive.

Arbustes plutôt adaptés aux terrains humides



● Aronie noire
Aronia melanocarpa



● Aulne rugueux
Alnus rugosa



● Cornouiller
stolonifère
Cornus stolonifera



● Houx verticillé
Ilex verticillata



● Myrique baumier
Myrica gale



Saules de
types arbustifs
Salix spp.



Spirée à larges feuilles
Spiraea latifolia



● Sureau du Canada
Sambucus canadensis



● Viorne trilobée
Viburnum trilobum

AUTRES RÉFÉRENCES INTÉRESSANTES SUR LES VÉGÉTAUX :

Liste officielle de la FIHOQ en collaboration avec le MDDEP : www.fihq.qc.ca/html/recherche.php

Organisme RAPPEL : <http://www.rappel.qc.ca/IMG/pdf/listedesvegetaux2006-3.pdf> (7 avril 2008)

Arbustes plutôt adaptés aux terrains secs



● Amélanchier du Canada
Amelanchier canadensis



● ● Chalef argenté
Elaeagnus commutata



Genévrier commun
Juniperus communis



● ● Vigne vierge
Parthenocissus quinquefolia



Physocarpus à feuilles d'aubier
Physocarpus folius



Potentille frutescente
Potentilla fruticosa



● Églantier
Rosa rubiginosa



Shépherdie du Canada
Shepherdia canadensis

- Espèce idéale pour la stabilisation puisqu'elle se reproduit rapidement. Elle nécessite toutefois un minimum d'entretien pour limiter son expansion.
- Espèce attirant les oiseaux.

Lors de l'achat de végétaux, renseignez-vous sur le type de sol, d'ensoleillement et de soins requis, ainsi que sur la taille que peut atteindre le plant à l'âge adulte.



● Sumac vinaigrier
Rhus typhina



Vigne des rivages
Vitis riparia

Arbres plutôt adaptés aux terrains humides



Bouleau jaune
Betula alleghaniensis



Caryer cordiforme
Carya cordiformis



Érable argenté
Acer saccharinum



Érable rouge
Acer rubrum



Frêne noir ou rouge
Fraxinus pennsylvanica ou
nigra



Saule blanc ou noir
Salix alba ou *nigra*



Thuya occidental
Thuja occidentalis

Arbres plutôt adaptés aux terrains secs



Bouleau à papier
Betula papyrifera



Épinette blanche
Picea glauca



Mélèze laricin
Larix laricina



Tilleul d'Amérique
Tilia americana

Plantes pour bas de talus, sous la ligne des hautes eaux, dans un milieu vaseux et calme



Iris versicolore
Iris versicolor



Joncs
Juncus spp.



Pontédérie à feuille
en cœur
Pontederia cordata



Sagittaire
à larges feuilles
Sagittaria latifolia



Scirpe des étangs
Scirpus lacustris



Spartine pectinée
Spartina pectinata

G-7

Source : (Corporation d'actions et de gestion environnementale de Québec, 2010)

Tableau 1 : Plantes filtrantes indigènes

Nom Nom latin	Type de plante	Commentaires
Glycérie aquatique ² <i>Glyceria aquatica</i>	<u>Milieu humide</u> Profondeur tolérée : 0 à 50 cm.	- Plante épuratrice et oxygénante pour l'eau.
Iris sibirica ² <i>Iris sibirica</i> * Non indigène	<u>Milieu humide</u>	- Détruit les germes. - Colonise les prairies détrempées, les marécages et les bords des cours d'eau. - Stabilise bien les sol. - * Non indigène mais non envahissant.
Iris versicolore ² <i>Iris versicolor</i>	<u>Milieu humide</u> Profondeur tolérée : 0 à 25 cm.	- Préférence pour les sols bien drainés. - Plante ignorée des cerfs. ¹ - Efficace pour réduire la charge en métaux lourds.
Lentille d'eau ⁴ <i>Lemna minor</i>	<u>Flottante</u>	- Très efficace pour absorber les éléments azotés et phosphorés. - Vie en eaux stagnantes et se multiplie rapidement.
Nymphéas ⁴ <i>Nympha tuberosa</i>	<u>Feuilles flottantes</u>	- Plante oxygénante pour le substrat.
Faux lotus ⁴ <i>Nymphoides peltata</i>	<u>Feuilles flottantes</u>	- Très efficace pour oxygéner le substrat. - Se reproduit très rapidement.
Sagittaire latifolia ² <i>Sagittaria latifolia</i>	<u>Milieu humide</u> Profondeur tolérée : 10 à 30 cm. Peut être immergée.	- Préférence pour les sols fertiles et détrempés et un rivage en eau calme. - Efficace pour absorber le phosphate. - Tolère la pollution de l'eau. ¹
Scirpe aigu ¹ <i>Schoenoplectus acutus</i> Syn. : <i>Scirpus acutus</i>	<u>Milieu humide</u> Profondeur tolérée : 0 à 30 cm.	- Efficace pour transférer l'oxygène de l'atmosphère au biofiltre, même en température froide ³ . - Supporte les fluctuations du niveau de l'eau jusqu'à une profondeur de 30 cm.
Scirpe d'Amérique Linné ² <i>Schoenoplectus lacustris</i>	<u>Milieu humide</u> Peut être immergée.	-Efficace pour transférer l'oxygène de l'atmosphère au biofiltre et éliminer la salmonella. - S'installe à la limite de l'eau et de la terre.
Quenouille (à feuilles larges) ² <i>Typha latifolia</i>	<u>Milieu humide</u> Profondeur tolérée : 5 à 50 cm.	- Capacité de rétention élevée en sodium, manganèse, phosphore et autres métaux. - Pousent en colonies denses (réseau de rhizomes).

 1. FIHOQ (2008); 2. Mbende (2007); 3. Faulwetter *et al.* (2009) 4. Bilodeau et Lapalme

Tableau 2 : Plantes indigènes pour milieux humides

Nom latin	Humidité du sol	Type de sol	Localisation sur le talus	Commentaires
Cornouiller stolonifère ¹ <i>Cornus stolonifera</i>	Faible à élevée	Tout type de sol	Bas, Milieu, Replat	Tolère les sols compacts. Plante drageonnante. Plante ignorée des cerfs. Excellent pour stabiliser les talus abruptes.
Églantier ¹ <i>Rosa rubiginosa</i> Syn: <i>Rosa eglanteria</i>	Moyenne à faible	Tout type de sol	Milieu, Replat	Plante drageonnante. Tolère les sols alcalins.
Myrique baumier ¹ <i>Myrica gale</i>	Élevée	Loameux	Bas	Préférence pour les sols acides et tourbeux. Tolère les sols pauvres et détrempés. Plante drageonnante. Contrôle l'érosion.
Physocarpe à feuilles d'obier ¹ <i>Physocarpus opulifolius</i>	Faible à élevée	Tout type de sol	Bas, Milieu, Replat	Tolère les sols compacts et les conditions de sécheresse. Éviter les sols détrempés.
Saule rigide ¹ <i>Salix eriocephala</i>	Moyenne à élevée	Tout type de sol	Bas	Préférence pour les sols organiques. Peut subir une immersion prolongée.
Spirée à larges feuilles ¹ <i>Spirae latifolia</i>	Moyenne	Tout type de sol	Bas, Milieu, Replat	Préférence pour les sols loameux et humides.
Sumac aromatique ¹ <i>Rhus aromatica</i>	Faible à moyenne	Tout type de sol	Milieu, Replat	Préférence pour les sols acides et bien drainés. Plante qui tend à drageonner. Couvre-sol. Contrôle l'érosion.
Sureau du Canada ¹ <i>Sambucus canadensis</i>	Faible à élevée	Tout type de sol	Bas, Milieu, Replat	Préférence pour les sols humides. Plante ignorée des cerfs. Racines drageonnantes.
Viorne cassinoïde ¹ <i>Viburnum cassinoides</i>	Faible à élevée	Loameux	Bas, Milieu, Replat	Préférence pour les sols organiques. Plante ignorée des cerfs.

1. FIHOQ (2008)

Tableau 3 : Arbres indigènes recommandés près des milieux humides

Nom l'om latin	Tolérance à l'humidité	Type de sol	Localisation sur le talus	Commentaires
Bouleau à papier ¹ <i>Betula papyrifera</i>	Moyenne à élevée	Sableux à loameux	Replat	Préférence pour les sols acides. Intolérance au compactage du sol. Bonne capacité de captation du phosphore dans le sol. Sensible à la pollution urbaine.
Bouleau jaune ¹ <i>Betula alleghaniensis</i>	Moyenne à élevée	Tout type de sol	Milieu, replat	Préférence pour les sols fertiles, profonds. Intolérance au compactage. Port difforme en milieu ouvert.
Chêne à gros fruits ¹ <i>Quercus macrocarpa</i>	Moyenne	Tout type de sol	Bas, Replat	Préférence pour les sols frais et profonds. Tolère la pollution.
Érable rouge ¹ <i>Acer rubrum</i>	Moyenne à élevée	Tout type de sol	Bas, Milieu	Préférence pour les sols acides. Tolère les sols compacts. Éviter les sols calcaires.
Tilleul d'Amérique ¹ <i>Tilia americana</i>	Moyenne	Loameux	Replat	Préférence pour les sols fertiles et profonds. Intolérance au compactage. Tolère la pollution.

1. FIHOQ (2008)

H. DÉTAILS – ANALYSE DE L'IMPACT DES SAISONS

H-1

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

Tableau 11.5

Défis posés par le froid pour les PGO des eaux pluviales
(adapté de CWP, 1997).

Conditions climatiques	Défis sur le plan de la conception
Température froide	<ul style="list-style-type: none"> • Gel des conduites • Gel permanent de l'eau des bassins • Réduction de l'activité biologique • Réduction de la teneur en oxygène en présence du couvert de glace • Réduction de la vitesse de sédimentation
Sols gelés	<ul style="list-style-type: none"> • Soulèvement par le gel • Réduction de l'infiltration dans le sol • Gel des conduites
Saison de croissance	<ul style="list-style-type: none"> • Courte période d'établissement de la végétation • Différentes espèces végétales adaptées aux climats froids
Chute de neige	<ul style="list-style-type: none"> • Volumes élevés des eaux de ruissellement lors de la fonte des neiges et lorsqu'il pleut sur la neige • Charges de polluants élevées durant la fonte printanière • La gestion de la neige peut avoir une incidence sur l'emménagement dans le cadre des PGO

H-2

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

Tableau 2.6

Principales sources des contaminants présents dans la neige (MDDEP, 2003).

Contaminants	Sources
Déchets	Abrasifs, ordures, gazon, papiers, plastiques, sols
Matières en suspension (MES)	Abrasifs, cendres, particules provenant de la corrosion et de l'usure de véhicules et de structures
Huiles et graisses	Lubrifiants provenant des véhicules
Ions: chlorures (Cl ⁻), sodium (Na ⁺), calcium (Ca ⁺⁺)	Fondants
Métaux: plomb (Pb), manganèse (Mn), fer (Fe), chrome (Cr)	Corrosion et usure de véhicules et de structures (routes, bâtiments), gaz d'échappement

H-3

Source : (Gouvernement du Québec, 2014)

Tableau 2.8

Concentration de contaminants dans les neiges usées (MDDEP, 2003).

Contaminant	Neiges usées				Égout unitaire	Égout pluvial	Norme pluviale ³
	Zinger ¹ 1985	Leduc ¹ 1987	Lapointe ¹ 1991	Paradis ² 1993	Purenne ¹ 1994	Leduc ¹ 1987	
Débris (mg/L)	5 888 (93) ⁴	nd	110 000 ⁵ (2)	nd	86 ⁶	nd	nd ⁷
MES (mg/L)	1 209 (108)	213 (479)	2 057 (609)	497 (299)	107 (680)	125 (190)	30
Huiles & Graisses (mg/L)	105 (30)	16 (86)	29 (523)	13 (33)	12 (165)	9 (188)	15
Cl- (mg/L)	3851 (98)	1442 (479)	2021 (574)	2073 (299)	nd	30 (190)	1500
Fe (mg/L)	913 (93)	5 (158)	29 (608)	nd	1 (177)	5 (190)	17
Pb (mg/L)	85 (93)	0,3 (158)	0,7 (608)	0,1 (299)	nd	0,2 (190)	0,1
Cr (mg/L)	6,7 (93)	0,04 (158)	0,1 (608)	nd	nd	0,03 (190)	5

¹Secteur mixte. ²Secteur résidentiel. ³Règlement relatif aux rejets dans les réseaux d'égout de municipalité.

⁴Les valeurs entre parenthèses indiquent le nombre d'analyses effectuées. ⁵Moyenne de deux mesures pour du gravier.

⁶Résultat d'un calcul effectué sur des résidus de grille et de sable retenus. ⁷Il n'y a pas de norme en concentration, mais une interdiction de déverser.

I. DÉTAILS – ANALYSE FONCTIONNELLE

INTÉRACTEURS

Le tableau 43 présente une liste des intéreacteurs et de leurs fonctions dans le projet. Cette liste est une étape préliminaire et un aide à l'élaboration des fonctions principales du projet.

Tableau 43 : Listes des intéreacteurs

Intéreacteurs	Descriptions	Fonctions d'adaptation
Organisations		
L'ABVLW	Organisme à but non lucratif visant la réhabilitation du lac Waterloo et la valorisation de son bassin versant.	<input type="checkbox"/> Obtenir une visibilité quant aux bonnes actions à prendre pour la santé du lac <input type="checkbox"/> Améliorer le statut écologique du lac <input type="checkbox"/> Viser le développement durable et environnemental du bassin versant du lac Waterloo
Entrepreneur	Organisateur et exécuter des travaux de construction	<input type="checkbox"/> Exécuter les plans et devis <input type="checkbox"/> Respecter les normes CNBC et autres
Ville de Waterloo	Municipalité impliquée	<input type="checkbox"/> Incorporer les ADB au plan d'urbanisme de la ville <input type="checkbox"/> Possibilité d'utiliser le projet ADB comme projet pilote pour reproduction multiple du projet
Université de Sherbrooke	Institution universitaire mentor du projet	<input type="checkbox"/> Offre un soutien technique à l'aide de mentorat
<i>InnoVert Design</i>	Firme étudiante de génie-conseil	<input type="checkbox"/> Orienter les compétences de l'équipe à l'étude des ADB dans le cas du lac Waterloo
Citoyens		
Tous les résidents du bassin versant du lac Waterloo	Résidents de la ville de Waterloo, du canton de Shefford et de Stukely	<input type="checkbox"/> Viser l'acceptation sociale du projet des citoyens <input type="checkbox"/> Recevoir une image favorable de l'ABVLW et des projets de réhabilitation
Résidents récepteurs du projet	Résidents qui planteront potentiellement un ADB sur leur propre terrain	<input type="checkbox"/> Viser la participation des citoyens

Intérateurs	Descriptions	Fonctions d'adaptation
Éléments externes à considérer		
Couts	Budget	<input type="checkbox"/> Limite les possibilités de conception
Temps	Durée de vie, délais, échéancier, climat, saison	<input type="checkbox"/> Diminution de l'efficacité en fonction du temps si mauvais entretien <input type="checkbox"/> Effet des saisons sur l'efficacité
Eau	Eau pluviale et de ruissellement	<input type="checkbox"/> Modification du réseau hydrique par les ADB
Entretien	Activités d'entretien	<input type="checkbox"/> Décolmatage des filtres si accumulation de sédiments trop importante
Faune et flore	Biodiversité	<input type="checkbox"/> Création d'un nouvel écosystème <input type="checkbox"/> Choix des plantes qui permettent une rétention du phosphore <input type="checkbox"/> Protéger le milieu récepteur (lac Waterloo)
Sécurité	Sécurité des personnes et des biens	<input type="checkbox"/> S'assurer que les profondeurs des bassins soient sécuritaires pour le public <input type="checkbox"/> Assurer la sécurité de la faune (grille adéquate s'il y a lieu) <input type="checkbox"/> Éviter tout impact majeur sur les infrastructures en place et permanente
Sol	Qualité de sol en place	<input type="checkbox"/> Influence l'importance des couches filtrantes, la vitesse de perméabilité et le temps de rétention des eaux de ruissellement intercepter dans ADB
Changements climatiques	Intensité des précipitations	<input type="checkbox"/> Augmente l'intensité des précipitations <input type="checkbox"/> Influence les débits de conception
Normes		
MDDELCC	Chapitre 11 du guide de gestion des eaux pluviales	<input type="checkbox"/> Respecter les normes et procédures exigées
Municipalité de Waterloo	Réglementation d'urbanisme	<input type="checkbox"/> Respecter les normes et procédures exigées

Intérateurs	Descriptions	Fonctions d'adaptation
Infrastructures existantes		
Terrain d'accueil des ADB	Terrain du client Richard Morasse sis au 94, rue des Flandres à Waterloo	<input type="checkbox"/> Intégrer de façon harmonieuse à l'aménagement en place <input type="checkbox"/> Réduire l'érosion générée par les eaux de ruissellement
Routes réceptrices du projet	Rue Foster	<input type="checkbox"/> Respecter les normes routières et l'intégrité structurale
Réseau d'égout pluvial et/ou combiné	Agent récepteur des eaux de pluie avant-projet	<input type="checkbox"/> Diminuer les eaux de ruissellement atteignant le réseau
Lac Waterloo	Lac Waterloo et ses bandes riveraines	<input type="checkbox"/> Respecter les distances minimales avec le lac et la bande riveraine

ARBRE FONCTIONNEL

L'arbre fonctionnel ci-dessous permet d'ordonner les fonctions qu'auront les aires de biorétention envisagées et de les regrouper par domaines et niveaux d'importance. Les fonctions sont réparties dans 6 grands groupes et sont détaillées selon divers éléments.

Tableau 44 : Arbre fonctionnel du stationnement multiétages

Groupes fonctionnels	Fonctions	Éléments	Détails
1. Assurer la sécurité des personnes et des biens	1.1	Assurer la protection des citoyens en contact avec les ADB	Avertissement si la profondeur du bassin est importante Écriteau clair et permanent
	1.2	Assurer un drainage adéquat des routes à proximité	Volume de rétention et trop-plein À voir dans la phase conception
	1.3	Assurer l'intégrité de la structure routière	Éléments protecteurs entre la structure de chaussée et les ADB Protection par membranes ou par couches filtrantes
	1.4	Assurer la protection du lac Waterloo lors des travaux	Barrière anti sédiment À voir dans la phase conception
	1.5	Permettre aux usagers de circuler de manière sécuritaire	Réseau de trottoir en périphérie des ADB en bordure de route Standards de la ville de Waterloo

Groupes fonctionnels		Fonctions	Éléments	Détails
2. Assurer l'acceptabilité sociale du projet	2.1	Assurer l'intégration esthétique des ADB à l'environnement présent	Matériaux, végétaux et formes	Critère d'esthétisme élevé
	2.2	Assurer l'optimisation économique du projet	Technologies/matériaux régionales, bonne planification/gestion pour éviter les coûts supplémentaires	Sentiment d'un bon investissement
	2.3	Mettre de l'avant les méthodes utilisées par l'ABVLW pour la diminution de l'eutrophisation du lac Waterloo	Explications données par l'ABVLW ou la ville de Waterloo	Affiche explicative, brochures distribuées, informations sur le site web
3. Permettre un entretien efficace	3.1	Assurer le nettoyage adéquat des ADB	Nettoyage par les citoyens ou par la ville de Waterloo	Bandes filtrantes
	3.2	Permettre le déneigement pour ce qui est des solutions en bordure de route	Résistance à l'accumulation importante de neige sur les ADB	Résistances aux sels de déglçage
	3.3	Assurer la propreté des lieux	Poubelles, grilles anti-vermines	Lorsque l'ADB est public
4. Assurer la pérennité du projet	4.1	Assurer la possibilité d'un agrandissement des ADB	Section d'ADB permettant la prolongation de la section (bordure route)	Conception normalisée
	4.2	Assurer la possibilité de duplication des ADB	Élaboration d'une méthodologie simple permettant la reproduction du projet	Conception normalisée
	4.3	Assurer la régénération naturelle des ADB	Plantes vivaces et résistantes Arbres résistants en milieu avec un haut taux d'humidité	Voir dans le guide du MDDELCC
5. Assurer une réduction de la charge en phosphore au lac	5.1	Permettre la rétention des eaux de ruissellement	Volume de rétention Exutoire adéquat Perméabilité du sol	Voir à la phase conception
	5.2	Permettre l'implantation des ADB à court terme	Lieux de mise en place	Pourrait être mis en place dans les 3 prochaines années
	5.3	Assurer la rétention adéquate du phosphore	Choix des végétaux et des filtres	Voir à la phase conception

Groupes fonctionnels		Fonctions	Éléments	Détails
6. Assurer le respect du principe de développement durable dans le projet	6.1	Minimiser le transport nécessaire à l'élaboration des ADB	Choix de matériaux locaux, choix du lieu d'implantation	Voir ACV
	6.2	Minimiser l'impact environnemental de la naissance au tombeau	Obtenir un bon rendement à l'analyse du cycle de vie simplifié	Voir ACV

TABLEAU FONCTIONNEL

Le tableau fonctionnel ci-dessous présente les fonctions principales des aires de biorétention ainsi que les critères, les niveaux et la flexibilité qui s'y rattache. Pour ce qui est de la classe de flexibilité, les niveaux suivants ont été utilisés :

- F0 : flexibilité nulle, niveau impératif
- F1 : flexibilité faible, niveau peu négociable
- F2 : flexibilité bonne, niveau négociable si contre partie
- F3 : flexibilité forte, niveau négociable

Tableau 45 : Tableau fonctionnel des aires de biorétention

No	Fonction	Critères	Niveaux	Flexibilité	Classe de flexibilité
F1	Assurer l'intégration ou la bonification esthétique des ADB à l'environnement présent	C1 : Acceptabilité sociale	Une majorité de personnes	Nulle	F0
F2	Mettre de l'avant les méthodes utilisées par l'ABVLW pour la diminution de l'eutrophisation du lac Waterloo	C2 : Solution pouvant être utilisée comme exemple et comme source de sensibilisation	Aux moins 3 moyens de communication pour la sensibilisation	Faible	F1
F3	Permettre la possibilité de duplication des ADB	C3 : Conception qui pourrait se dupliquer facilement par un stagiaire	Conception d'une méthodologie normalisée	Élevée	F2
F4	Assurer une diminution de l'intensité des eaux de ruissellement urbain et une diminution du volume qui atteindra le lac et les conduites d'égout pluvial ou combiné	C4 : Volume de rétention (m ³)	À voir avec la conception (guide du MDDELCC)	Nulle	F0
		C5 : Positionnement des ADB adéquat	En amont du réseau pluvial	Élevée	F3

No	Fonction	Critères	Niveaux	Flexibilité	Classe de flexibilité
F5	Assurer un nettoyage adéquat des ADB	C6 : Couche filtrante permettant un nettoyage C7 : Nettoyage assuré lorsque nécessaire	Nettoyage à chaque année Nettoyage par la municipalité ou par une compagnie d'entretien	Faible	F1
F6	Permettre l'intégration des ADB à court terme	C8 : Accessibilité du terrain d'accueil à court terme (année)	Maximum 3 ans	Moyenne	F2
F7	Optimiser l'aspect économique du projet	C9 : Possibilité de financement par la municipalité	Subvention 50/50	Moyenne	F2
F8	Minimiser le transport nécessaire à l'élaboration des ADB	C11 : Optimisation des déplacements des machineries et matériaux nécessaires	Implantation groupée de plusieurs ADB	Élevé	F3

ÉVALUATION FONCTIONNELLE ET PRISE DE DÉCISION : Objectifs

Tout d'abord, les deux objectifs choisis répondent aux exigences établies par l'ABVLW. Le premier objectif est que les aires de biorétention doivent **diminuer le ruissellement urbain et la charge externe en phosphore en optimisant les ressources**. Le second objectif est que les ADB puissent **renforcer la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain**. En d'autres termes, les ADB doivent être acceptés socialement et être une vitrine de sensibilisation pour l'ABVLW.

ÉVALUATION FONCTIONNELLE ET PRISE DE DÉCISION : Fonctions

Par la suite, l'élaboration de l'arbre fonctionnel a permis d'obtenir les fonctions qui permettront de discriminer les solutions à comparer. Les huit fonctions retenues, telles que présentées dans le chapitre 11.3, sont :

Tableau 46 : Fonctions du projet d'ADB

No	Fonctions
F1	Assurer l'intégration ou la bonification esthétique des ADB à l'environnement présent
F2	Mettre de l'avant les méthodes utilisées par l'ABVLW pour la diminution de l'eutrophisation du lac Waterloo
F3	Permettre la possibilité de duplication des ADB
F4	Assurer une diminution de l'intensité des eaux de ruissellement urbain et une diminution du volume qui atteindra le lac et les conduites d'égout pluvial ou combiné

No	Fonctions
F5	Permettre le nettoyage adéquat des ADB
F6	Permettre l'implantation des ADB à court terme
F7	Optimiser l'aspect économique du projet
F8	Minimiser le transport nécessaire à l'élaboration des ADB

Il est important de mentionner que les fonctions retenues sont distinctes pour les différentes solutions proposées. Bref, les objectifs choisis vont permettre la détermination des facteurs de pondération (K) essentiels pour la prise de décision.

ÉVALUATION FONCTIONNELLE ET PRISE DE DÉCISION : Tri croisé

La méthode de comparaison des fonctions utilisée dans le cadre de cette analyse d'aide à la prise de décision est celle du tri croisé. Effectivement, cette méthode permet d'attribuer une pondération à des fonctions en relation avec les objectifs déterminés. Autrement dit, il faut comparer les fonctions entre elles selon les objectifs définis et les pondérer selon leur importance. Les notes de pondérations sont : 1 pour peu supérieure, 2 pour supérieure et 3 pour très supérieure. Le détail de la méthode du tri croisé est présenté aux tableaux 47 et 48.

Tableau 47 : Méthode du tri croisé
Diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources

F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
F2 1	F3 3	F4 3	F5 3	F6 3	F7 3	F8 3
	F3 2	F4 3	F5 3	F6 3	F7 2	F8 2
		F4 2	F3 2	F3 1	F3 1	F3 2
			F4 3	F4 3	F4 2	F4 3
				F5 1	F5 2	F5 2
					F6 1	F6 2
						F7 2

Tableau 48 : Méthode du tri croisé
Renforcer la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain

F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
F2 1	F3 2	F1 3	F1 3	F6 1	F1 3	F1 3
	F2 2	F2 3	F2 3	F2 2	F2 2	F2 3
		F3 3	F3 3	F3 1	F3 1	F3 3
			F4 2	F6 2	F4 2	F4 3
				F6 3	F7 3	F5 1
					F7 2	F6 3
						F7 2

Une fois les tableaux remplis, il est possible de faire la somme des points et d'établir des facteurs de pondération en fonction des objectifs et des fonctions. Il est important de noter que la somme des facteurs de pondération doit être égale à 1. Les tableaux 49 et 50 présentent la pondération attribuée à chaque fonction pour chacun des objectifs.

Tableau 49 : Facteur de pondération
Diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources

	Valeur	Pourcentage	K
F1	0	0,0%	0,000
F2	1	1,6%	0,016
F3	11	17,5%	0,175
F4	19	30,2%	0,302
F5	11	17,5%	0,175
F6	9	14,3%	0,143
F7	7	11,1%	0,111
F8	5	7,9%	0,079
Total	63	100,00%	1,000

Tableau 50 : Facteur de pondération
Renforcer la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain

	Valeur	Pourcentage	K
F1	12	18,5%	0,185
F2	16	24,6%	0,246
F3	13	20,0%	0,200
F4	7	10,8%	0,108
F5	1	1,5%	0,015
F6	9	13,8%	0,138
F7	7	10,8%	0,108
F8	0	0,0%	0,000
Total	65	100,0%	1,000

Pour l'objectif **diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources**, la fonction ayant obtenu le pourcentage le plus élevé est *Assurer une diminution de l'intensité des eaux de ruissellement urbain et du volume qui atteindra le lac et le réseau pluvial*. Cette fonction a obtenu la valeur de 30,2%. Les fonctions *assurer la possibilité de reproduction des ADB et assurer le nettoyage adéquat des ADB* ont obtenus les deuxièmes valeurs les plus élevées, soit 17,5%. Ces 3 fonctions qui ressortent de la méthode du tri croisé sont cohérentes avec l'objectif.

Pour le second objectif, soit **renforcer la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain**, les fonctions prédominantes dans l'analyse des facteurs de pondération *mettre de l'avant les méthodes utilisées par l'ABVLW pour la diminution de l'eutrophisation du lac Waterloo et assurer la possibilité de reproduction des ADB*. Le pourcentage obtenu par chacune des fonctions sont respectivement 24,6% et 20,0%. La troisième fonction qui acquière le plus haut pourcentage est *Assurer l'intégration ou la bonification esthétique des ADB à l'environnement présent* avec la valeur de 18,5%. Ces 3 fonctions sont également cohérentes avec l'objectif.

ÉVALUATION FONCTIONNELLE ET PRISE DE DÉCISION : Matrice de décision

Afin de sélectionner la meilleure solution selon les objectifs et les fonctions pondérées, il importe d'effectuer une matrice décisionnelle. Les 2 objectifs choisis pour comparer les solutions sont ceux trouvés dans la section précédente, soit **diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources** et **renforcer la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain**. L'échelle utilisée afin d'établir une pondération claire et discriminante est présentée ci-dessous :

Corrélation forte :	9
Corrélation moyenne :	3
Corrélation faible :	1
Corrélation nulle :	0

Les tableaux 51 et 52 présentent les corrélations entre les fonctions et les solutions proposées.

Tableau 51 : Matrice décisionnelle
Diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources

Fonction	K	Solution 1		Solution 2		Solution 3	
		N	NK	N	NK	N	NK
F1	0,000	3	0,000	3	0,000	9	0,000
F2	0,016	9	0,144	1	0,016	9	0,144
F3	0,175	9	1,575	1	0,175	3	0,525
F4	0,302	9	2,718	1	0,302	5	1,510
F5	0,175	9	1,575	3	0,525	1	0,175
F6	0,143	9	1,287	9	1,287	1	0,143
F7	0,111	3	0,333	3	0,333	9	0,999
F8	0,079	1	0,079	3	0,237	9	0,711
Total	1.000		7,711		2,875		4,207

Tableau 52 : Matrice décisionnelle
Renforcer la sensibilisation et l'engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain

Fonction	K	Solution 1		Solution 2		Solution 3	
		N	NK	N	NK	N	NK
F1	0,185	3	0,555	3	0,555	9	1,665
F2	0,246	9	2,214	1	0,246	9	2,214
F3	0,200	9	1,800	1	0,200	3	0,600
F4	0,108	9	0,972	1	0,108	5	0,540
F5	0,015	9	0,135	3	0,045	1	0,015
F6	0,138	9	1,242	9	1,242	1	0,138
F7	0,108	3	0,324	3	0,324	9	0,972
F8	0,000	1	0,000	3	0,000	9	0,000
Total	1.000		7,242		2,720		6,144

La matrice décisionnelle analysée selon l'objectif **diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources** permet de retenir, sans hésitation, la solution des aires de biorétention unifamiliale reproductible avec un résultat de 52%. C'est la solution qui répond le mieux aux fonctions établies par l'équipe. Il est possible de remarquer que les deux autres solutions ont des pourcentages nettement inférieurs. Ainsi, ces dernières sont moins adaptées pour cet objectif.

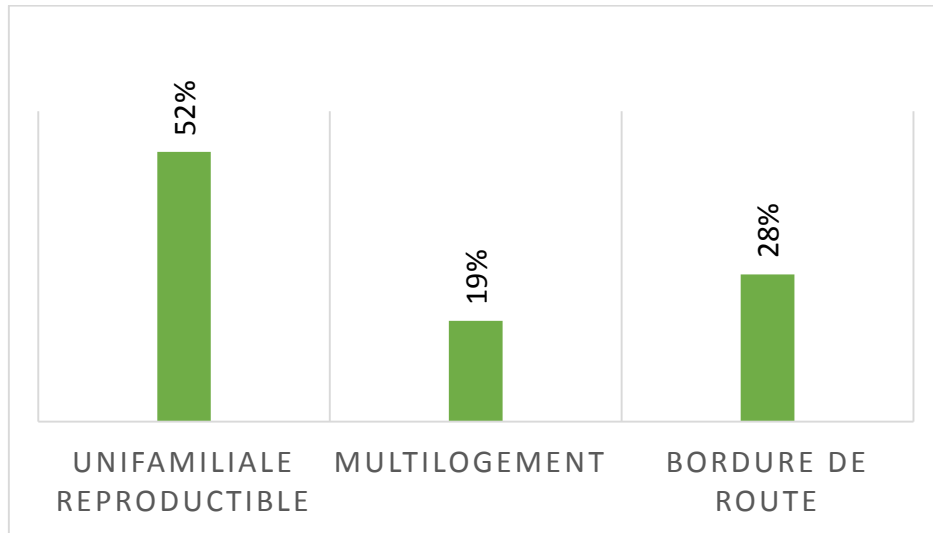


Figure 57 : Matrice décisionnelle
Diminuer le ruissellement urbain et la charge en phosphore en optimisant les ressources

La matrice décisionnelle analysée selon l’objectif **renforcer la sensibilisation et l’engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain** permet de retenir la solution des aires de biorétention unifamiliale avec 45%. Toutefois, la solution des aires de biorétention en bordure de route n’est pas loin derrière avec un pourcentage de 38%. Ainsi, l’équipe *InnoVert Design* considère qu’un choix entre ces deux solutions est envisageable et discutable en vertu de cet objectif.

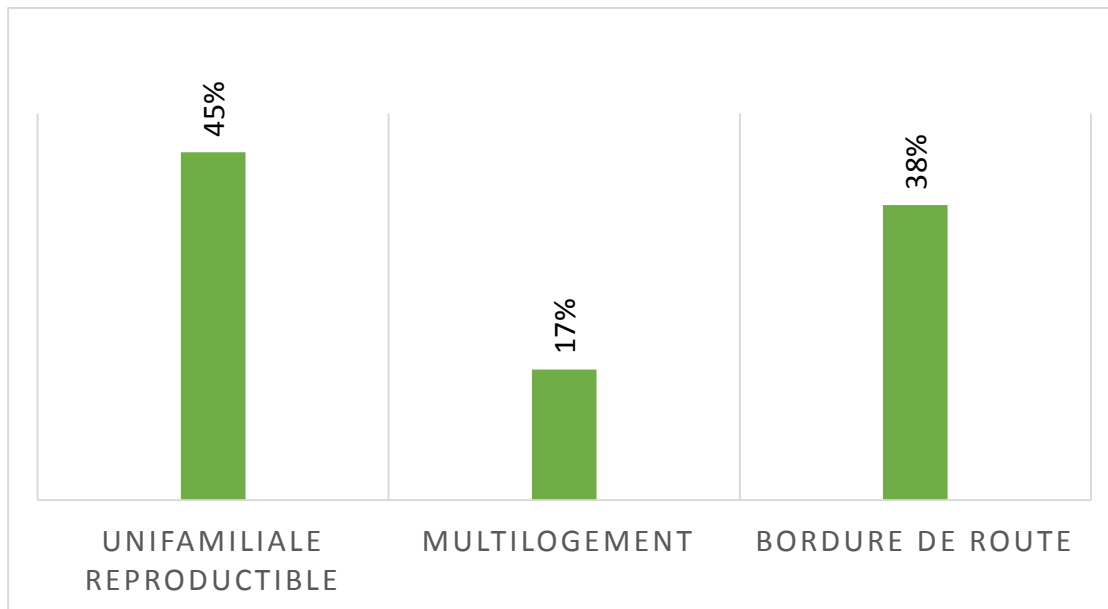


Figure 58 : Matrice décisionnelle
Renforcer la sensibilisation et l’engagement des citoyens vis-à-vis la réduction du ruissellement urbain

ÉVALUATION FONCTIONNELLE ET PRISE DE DÉCISION : Conclusion

Selon les résultats obtenus avec l'analyse fonctionnelle, une solution semble émerger, et ce, peu importe les fonctions et les objectifs visés. En effet, la solution qui propose des aires de biorétention pour des propriétés unifamiliales et reproductibles est supérieure, tant au niveau de la diminution optimale du ruissellement urbain tant au niveau de la sensibilisation et de l'engagement social des citoyens. Les autres solutions comportent des éléments intéressants qui pourraient éventuellement être intégrés à l'implantation d'un réseau d'aires de biorétention plus étendu. Cependant, pour ce qui est de la solution en bordure de route, elle implique une mobilisation de ressources plus importantes ce qui pourrait retarder le projet. Aussi, pour ce qui est de la solution pour multi logement, sa duplication serait moins à grande échelle et efficace en plus d'engager moins de citoyens dans la démarche. Ces solutions alternatives ne permettent pas de répondre aisément à l'ensemble des fonctions et des objectifs nécessaires.

Dans cette optique et selon les résultats de l'analyse fonctionnelle, l'équipe *InnoVert Design* recommande la solution des aires de biorétention pour propriété unifamiliale et de conception normative pour passer en phase conception.

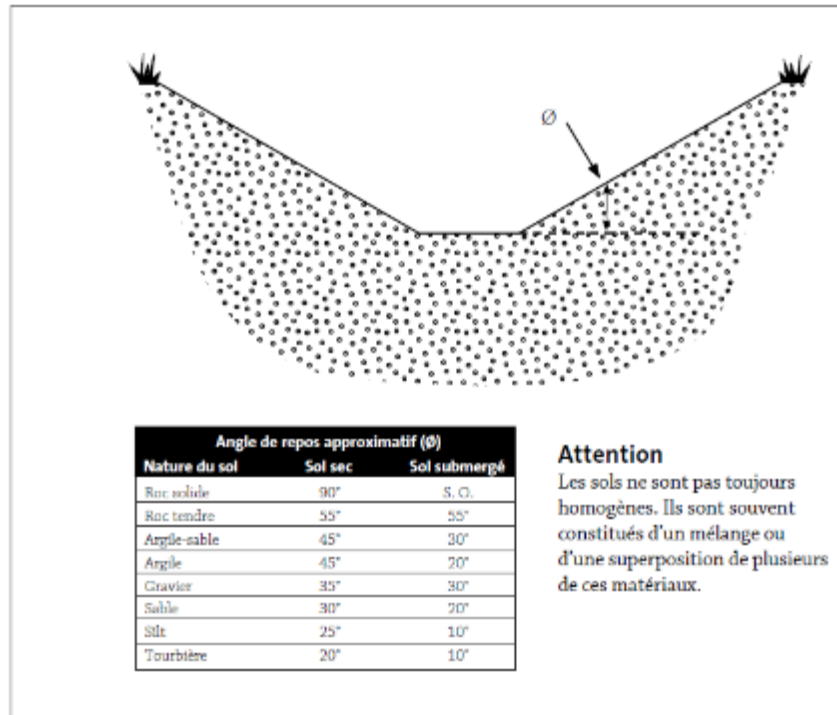
J. DÉTAILS – ANALYSE ÉCONOMIQUE PRÉLIMINAIRE (DÉNOMINATEUR COMMUN ET INDIVIDUEL)

Estimation préliminaire			Équipe 10				GCI 900-905-906	
		Réalisé par : Justine Sirois			Date: 31/10/2017			
		Révisé par : Alice Boisvert-Chapdelaine			Date: 31/10/2017			
DÉNOMINATEUR COMMUN								
Description	Unité	Prix unitaire	Unifamiliale		Multilogement		Bordure de route	
			Quantité	Prix	Quantité	Prix	Quantité	Prix
Excavation et disposition hors du site	m ³	18,00 \$	12	216,00 \$	18	324,00 \$	60	1 080,00 \$
Matériau granulaire	m ³	10,00 \$	8	80,00 \$	12	120,00 \$	40	400,00 \$
Dynamitage	m ³	13,00 \$	12	156,00 \$	18	234,00 \$	0	0,00 \$
Régulateur de débit à plaques/vortex	unitaire	1 500,00 \$	1	1 500,00 \$	1	1 500,00 \$	1	1 500,00 \$
Conduite PVC 200 mm	m.l.	150,00 \$	1,5	225,00 \$	1,5	225,00 \$	1,5	225,00 \$
Conduite perforée 200mm	m.l.	150,00 \$	3	450,00 \$	3,5	525,00 \$	27	4 050,00 \$
Géotextile	m ²	3,00 \$	2	6,00 \$	2,5	7,50 \$	17	51,00 \$
		Sous-total :		2 633,00 \$		2 935,50 \$		7 306,00 \$
		Frais généraux (15%) :	15,00%	394,95 \$		440,33 \$		1 095,90 \$
		Imprévus (25%) :	25%	658,25 \$		733,88 \$		1 826,50 \$
		Frais afférents (25%) :	25%	658,25 \$		733,88 \$		1 826,50 \$
		Taxes (14,975%) :	14,975%	394,29 \$		439,59 \$		1 094,07 \$
		Total		4 738,74 \$		5 283,17 \$		13 148,97 \$

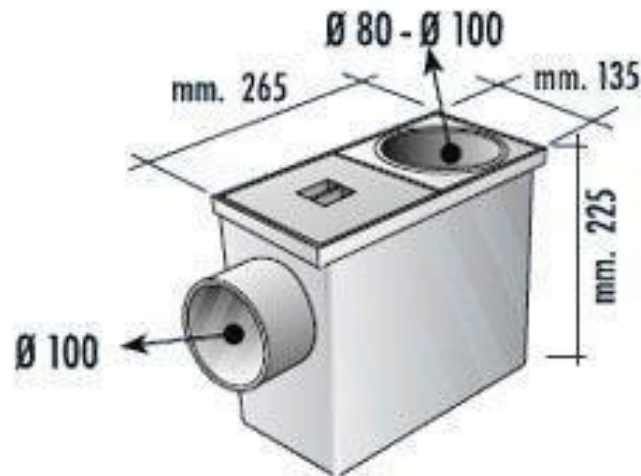
Estimation préliminaire			Équipe 10				GCI 900-905-906	
	Réalisé par : Justine Sirois			Date: 31/10/2017				
	Révisé par : Alice Boisvert-Chapdelaine			Date: 31/10/2017				
PRIX INDIVIDUELS								
Description	Unité	Prix unitaire	Unifamiliale		Multilogement		Bordure de route	
			Quantité	Prix	Quantité	Prix	Quantité	Prix
Excavation et disposition hors du site	m ³	18,00 \$	39	702,00 \$	189	3 402,00 \$	27	486,00 \$
Matériau granulaire	m ³	10,00 \$	26	260,00 \$	126	1 260,00 \$	18	180,00 \$
Dynamitage	m ³	13,00 \$	39	507,00 \$	189	2 457,00 \$	0	0,00 \$
Régulateur de débit à plaques/vortex	unitaire	1 500,00 \$	1	1 500,00 \$	1	1 500,00 \$	1	1 500,00 \$
Conduite PVC 200 mm	m.l.	150,00 \$	1,5	225,00 \$	1,5	225,00 \$	1,5	225,00 \$
Conduite perforée 200mm	m.l.	150,00 \$	5	750,00 \$	11	1 650,00 \$	12	1 800,00 \$
Géotextile	m ²	3,00 \$	3,5	10,50 \$	7	21,00 \$	7,5	22,50 \$
		Sous-total :		3 954,50 \$		10 515,00 \$		4 213,50 \$
		Frais généraux (15%) :	15,00%	593,18 \$		1 577,25 \$		632,03 \$
		Imprévus (25%) :	25%	988,63 \$		2 628,75 \$		1 053,38 \$
		Frais afférents (25%) :	25%	988,63 \$		2 628,75 \$		1 053,38 \$
		Taxes (14,975%) :	14,975%	592,19 \$		1 574,62 \$		630,97 \$
		Total		7 117,11 \$		18 924,37 \$		7 583,25 \$

K. DÉTAILS – ANALYSE DE CYCLE DE VIE SIMPLIFIÉE

Exemple de pente suivant l'angle de repos et la nature du terrain (Source : CSST, 2013)



Dimension du regard de descente pour eaux pluviales (Source : Distriartisan, n.d.)



Paramètres	Source	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB en bordure de route
Données pertinentes				
Adresse	-	97 Rue Des Flandres, Waterloo QC	110 Rue Lewis O, Waterloo Qc	Partie de la rue Foster
Surface de rétention selon le dénominateur commun	-	8 m ²	12 m ²	40 m ²
Hypothèses préliminaires				
Production				
Tranchée de pierre	-	L'équipe <i>InnoVert Design</i> a choisi comme zone de prétraitement, comme elle considère que c'est la plus simple à ajouter au système des ADB.		
	Dugué, 2010	Selon le mémoire de Marie Dugué, le diamètre du gravier varie entre 75 et 125 mm.		
	Wikipédia	La masse volumique des pierres est de 2 000 kg/m ³ .		
	-	Selon les analyses réalisées, aucune spécification sur les dimensions des tranchées de pierre n'est disponible, dont l'équipe <i>InnoVert Design</i> a choisi que la profondeur soit de 300 mm pour une largeur de 400 mm . En ce qui concerne la longueur de la tranchée de pierre, elle est égale à celle des ADB.		
Forme	-	Pour simplifier la conception, les dimensions des ADB sont carrées et arrondies à l'entier supérieur.	La largeur en bordure de route est de 1,5m .	
Épaisseur totale des ADB	Gouvernement du Québec, 2014	Le guide de gestion des eaux suggère une épaisseur totale variant entre 450 et 1200 mm. L'équipe <i>InnoVert Design</i> a choisi une épaisseur totale de 1200 mm pour répondre aux exigences du Ministère de l'Environnement en matière de conduite pluviale.		
Épaisseur de la zone saturée	-	L'épaisseur de cette couche est de 860 mm pour permettre l'installation du drain et de la pierre. (diamètre du drain : 200 mm, pierre nette : 30 mm, sol au-dessus et au-dessous du drain : 300 mm)		
	Dugué, 2010	Selon le mémoire de Marie Dugué, la composition est de 17g de papier journal pour 1kg de sable . Autrement dit, le papier journal occupe 3,57% du volume.		
	Wikipédia	La masse volumique du sable sec est de 1600 kg/m ³ .		
	Wikipédia	La masse volumique du papier est de 734 kg/m ³ .		

Paramètres	Source	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB en bordure de route
Épaisseur de la couche de paillis	Hodgson, 2007 et Dugué, 2010	Selon les données fournies dans un article de la pression et le mémoire de Marie Dugué, l'épaisseur du paillis choisie par l'équipe <i>InnoVert Design</i> est de 50 mm .		
	Wikipédia	La masse volumique du bois est de 450 kg/m ³ . L'hypothèse est que le paillis est fait de sapin.		
Wikipédia	La masse volumique du sable est de 1600 kg/m ³ .	Le bioentention manual du Maryland stipule que le substrat doit rencontrer les spécifications suivantes : <ul style="list-style-type: none"> • moins que 5 % d'argile ; • 50-60 % de sable ; • 20 -30 % de compost de feuilles ou paillis de feuilles mûri ; • 20 -30 % de terre végétale de haute qualité. Les valeurs en gras sont celles retenues par l'équipe <i>InnoVert Design</i> .		
	Wikipédia	La masse volumique du sable est de 1600 kg/m ³ .		
	Wikipédia	La masse volumique du compost est de 600 kg/m ³ .		
	Wikipédia	La masse volumique de la terre végétale est de 1200 kg/m ³ .		
Pente	CSST, 2013	L'équipe <i>InnoVert Design</i> fait l'hypothèse que la pente de l'excavation sera de 45° , car les dépôts meubles sont du till et la CSST suggère ce degré.		
Drain	Gouvernement du Québec, 2014	Selon la guide du gouvernement de gestion des eaux pluviales, le diamètre du drain perforé est de 200 mm.		
	Dugué, 2010	Selon le mémoire de Marie Dugué, le drain est perforé, entouré de pierres nettes. Puis, un géotextile est installé entre la pierre et le substrat pour éviter le colmatage du système		
	Fransbonhomme, n.d.	Le drain est fait de PVC, la compagnie française Fransbonhomme.		
	-	L'équipe <i>InnoVert Design</i> suppose que le drain sera enrobé de 30 mm de gravier ayant un diamètre de 5 mm.		
	-	L'équipe <i>InnoVert Design</i> suppose que les dimensions sont suffisantes pour enrober le drain et la couche de gravier l'entourant.		

Paramètres	Source	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB en bordure de route
	-	L'équipe <i>InnoVert Design</i> suppose que les distances entre la base de l'ADB et le réseau sont de :		
		10m	15m	3 m Cette valeur est plus petite, car elles sont construites à proximité du réseau.
	-	La longueur du drain dans les ADB est de 1m.		
	-	L'épaisseur des parois du drain perforée est de 10 mm.		
	Wikipédia	La masse volumique de PVC est de 1380 kg/m ³ .		
Trop-plein	Departement of Environmental Resources, 2007	Selon le Biorention Manual, le trop-plein est installé en surface à une hauteur variant entre 0 et 600 mm au-dessus du point bas de l'ADB. La valeur choisie par l'équipe <i>InnoVert Design</i> est de 300 mm .		
	-	Les distances entre la base de l'ADB et le réseau sont les mêmes que pour le drain.		
	-	Le trop-plein a fait d'un tuyau de PVC ayant également un diamètre de 8 pouces.		
	-	L'épaisseur des parois du drain perforée est de 10 mm .		
	Wikipédia	La masse volumique de PVC est de 1380 kg/m ³ .		
Connexion	-	Le nombre de connexions est le suivant :		
		1	1	un connecteur aux 5 m, ce qui correspond à un nombre de 5
	-	La connexion sera faite à l'aide d'un restricteur.		
	-	La connexion est faite de PVC.		
	-	La masse d'un connecteur est basée sur les dimensions du regard de descente pour eaux pluviales présentées précédemment. La masse volumique du PVC est de 1380 kg/m ³ , donc la masse est d'environ 2 kg .		
Transport	-	Le sable et le gravier (pierres concassées) proviennent de la carrière d'Acton Vale . L'adresse est la suivante : 525, route 116 Est, Acton Vale, QC, J0H 1A0.		

Paramètres	Source	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB en bordure de route
	-	Les tuyaux proviennent du Rona le plus près de Waterloo, soit celui de Bromont. 25 Rue John-Savage, Bromont, QC J2L 0A5		
	-	L'hypothèse que les végétaux et le paillis proviennent des Jardins Du Roy situé au 6440, rue Foster, Waterloo QC J0E 2N0.		
		Le type de voiture est utilisé est différent :		
		Voiture de passager	Camion	Camion
Utilisation				
	-	En qui concerne la gestion de l'entretien, elle sera réalisée selon la suivante distribution :		
Gestion de l'entretien	-	Chaque résident est responsable du nettoyage du système au même titre que son terrain.	L'entretien peut être réalisé par une firme d'entretien paysagiste. Il est réalisé par les Jardins Du Roy.	L'entretien est sous la responsabilité de la municipalité. L'employé part de l'hôtel de ville, 417 Rue de la Cour, Waterloo, QC J0E 2N0.
	-	-	Donc, un employé doit se déplacer quotidiennement durant la saison estivale.	
Ajout du paillis	-	Le paillis à ajouter chaque année est acheté aux Jardins Du Roy .		
	-	La nouvelle couche aura aussi une épaisseur de 50 mm.		
Débris et accumulations de sédiments	-	Les débris et les accumulations de sédiments récupérés seront mis aux rebuts.		
	-	Les déchets sont envoyés au site d'enfouissement de Service Matrec Inc Div. Estrie de Granby (140 Rue Martin, Granby, QC J2G 8B4).		
	-	Les quantités de débris et d'accumulation de sédiments sont variables selon la proximité avec la route et la grosseur de superficie. Ils sont calculés annuellement.		
	-	3 kg	8 kg	13 kg
	-	Les mauvaises herbes et les végétaux morts récupérés seront mis aux rebuts.		

Paramètres	Source	ADB unifamiliale	ADB multilogement	ADB en bordure de route
Mauvaises herbes et végétaux morts		L'équipe <i>InnoVert Design</i> suppose l'absence de compost dans la municipalité de Waterloo.		
	-	Les déchets sont envoyés au site d'enfouissement de Service Matrec Inc Div. Estrie de Granby (140 Rue Martin, Granby, QC J2G 8B4).		
	-	La quantité de mauvaises herbes et de végétaux de base est de 1 kg par m ² de superficie. Il s'agit d'une quantité annuelle.		
	-	8 kg	12 kg	40 kg
Fin de vie				
Étape de fin de vie	-	Rien à faire.		Démolition
	-			Excavation et disposition du drain et du trop-plein

Estimation préliminaire

Estimations préliminaires		Unité	unifamiliale	multilogement	bordure de route
Aire de B (Surface de rétention selon le dénominateur commun)		m ²	8,00	12,00	40,00
Hauteur des ADB	Hypothèse	m	1,20	1,20	1,20
Dimension supérieure	Racine de l'aire pour unifamiliale et multi logement. Pour bordure de route =40/1.5	m	2,83	3,46	26,67
					1.50
Dimension inférieure	=Dimension supérieure - hauteur *2	m	0,43	1,06	24,27
Aire de la base	Carré de la dimension inférieure pour unifamiliale et multilogement. Pour bordure de route = dimension inférieure *1.5m	m ²	0,18	1,13	36,40

Estimations préliminaires		Unité	unifamiliale	multilogement	bordure de route
Volume total des ADB	Équation de la pyramide tronquée	m ³	3,76	6,73	45,82
Production					
Volume de gravier des tranchées de pierre	=0.3*0.4*Dimension	m ³	0,34	0,42	3,20
Masse du gravier	Masse volumique de 2000 kg/m ³	kg	678,82	831,38	6400,00
Longueur du drain	Hypothèse	m	10,00	15,00	3,00
Volume de gravier au pourtour du drain	$= \frac{\pi}{4} * longueur\ du\ drain * (D^2 - d^2)$	m ³	0,22	0,33	0,07
Masse du gravier	Masse volumique de 2000 kg/m ³	kg	433,54	650,31	130,06
Dimension de la base supérieure de la zone saturée	= Dimension inférieure des ADB+ 0.86*2	m	2,15	2,78	25,99
Aire de la base supérieure de la zone saturée	Carré de la dimension inférieure pour unifamiliale et multilogement. Pour bordure de route = dimension inférieure *1.5m	m ²	4,62	7,75	38,98
Volume du gravier avec le drain dans l'ADB	$= \frac{\pi}{4} * 1 * 0.26$	m ³	0,20	0,20	0,20
Volume de la zone saturée	Équation de la pyramide tronquée (h : 860 mm)	m ³	1,01	1,60	21,60
Volume de la zone saturée sans le drain	= volume de la zone saturée- volume de gravier avec le drain	m ³	0,81	1,39	21,40
Quantité de sable	96.43%	m ³	0,78	1,34	20,64
Masse du sable	Masse volumique 1600 kg/m ³	kg	1249,00	2148,25	33018,42

Estimations préliminaires		Unité	unifamiliale	multilogement	bordure de route
Quantité de papier journal	3,57%	m ³	0,03	0,05	0,76
Masse du papier journal	734	kg	21,21	36,49	560,77
Dimension de la base inférieure du paillis	=base des ADB -0.05*2	m	2,73	3,36	26,57
Aire de la base inférieure du paillis	Carré de la dimension inférieure pour unifamiliale et multilogement. Pour bordure de route = dimension inférieure *1.5m	m ²	7,44	11,32	39,85
Volume de paillis	Équation de la pyramide tronquée (h : 50 mm)	m ³	0,39	0,58	2,00
Volume du substrat	= volume total - volume paillis - volume de la zone saturée	m ³	2,36	4,55	22,22
Quantité sable	50%	m ³	1,18	2,27	11,1
Masse du sable	Masse volumique 2000 kg/m ³	kg	1886,70	3638,38	17777,65
Quantité de compost	30%	m ³	0,71	1,36	6,67
Masse du compost	Masse volumique 600 kg/m ³	kg	424,51	818,64	3999,97
Quantité de la terre végétale	20%	m ³	0,47	0,91	4,44
Masse de la terre végétale	Masse volumique 1250 kg/m ³	kg	589,59	1136,99	5555,22
Longueur du drain	Hypothèse	m	10,00	15,00	3,00
Diamètre extérieur	Hypothèse	m	0,20	0,20	0,20
Épaisseur	Hypothèse		0,01	0,01	0,01
Volume	$= \frac{\pi}{4} * \text{longueur du drain} * (D^2 - d^2)$	m ³	0,03	0,05	0,01
Masse du drain	Masse volumique 1380 kg/m ³	kg	42,27	63,41	12,68

Estimations préliminaires		Unité	unifamiliale	multilogement	bordure de route
Longueur totale	=1 200 + 300 =1,5 m	m	1,50	1,50	1,50
Diamètre extérieur	Hypothèse	m	0,20	0,20	0,20
Épaisseur	Hypothèse	m	0,01	0,01	0,01
Volume	$= \frac{\pi}{4} * longueur\ du\ drain * (D^2 - d^2)$	m ³	0,005	0,005	0,005
Masse du trop-plein	Masse volumique 1380 kg/m ³	kg	6,34	6,34	6,34
Nombre de connecteurs		-	1,00	1,00	5,00
Masse d'un connecteur	2 kg par connecteur	kg	2,00	2,00	10,00
Distance entre la carrière et la solution (aller-retour)	Google map	km	80,40	74,80	73,00
Distance entre le Rona et la solution (aller-retour)	Google map	km	26,40	22,60	24,40
Distance le magasin d'aménagement paysager et la solution (aller-retour)	Google map	km	9,00	3,40	1,00
Utilisation					
Gestion de l'entretien	Hypothèse		-	1,70	1,00
Ajout de paillis	Hypothèse	m ³	0,39	0,58	2,00
Distance le magasin d'aménagement paysager et la solution (aller-retour)	Google map	km	9,00	3,40	1,00
Débris et accumulations de sédiments	Hypothèse	kg	3,00	8,00	13,00
Distance entre le site d'enfouissement et la solution	Google map	km	28,90	23,40	23,00
Mauvaises herbes et végétaux morts	Hypothèse	kg	8,00	12,00	40,00

Estimations préliminaires		Unité	unifamiliale	multilogement	bordure de route
Distance entre le site d'enfouissement et la solution	Google map	km	28,90	23,40	23,00
Fin de vie					
Élimination du drain	Volume installation à l'étape de production	kg	-	-	12,68
Élimination du trop-plein	Volume installation à l'étape de production	kg	-	-	6,34
Distance entre le site d'enfouissement et la solution	Google map	km			23,00

Résumé des quantités

Éléments	Unité	unifamiliale	multilogement	bordure de route
Production				
Gravier	kg	1112,36	1481,69	6530,06
Sable	kg	3135,70	5786,63	50796,07
Papier journal	kg	21,21	36,49	560,77
Compost	kg	424,51	818,64	3999,97
Paillis	m3	0,39	0,58	2,00
PVC	kg	50,61	71,75	29,02
Distance entre la carrière et la solution (aller-retour)	km	80,40	74,80	73,00
Distance entre les magasins (aller-retour)	km	35,40	26,00	25,40
Utilisation				
Ajout de paillis pour 50 ans	m ³	19,50	29,00	100,00
Distance à parcourir pour réaliser l'entretien pour 50 ans	km	-	85,00	50,00
Distance entre le magasin d'aménagement paysager et la solution pour 50 ans	km	450,00	170,00	50,00
Tonne*kilomètres pour les débris, les accumulations de sédiments, les mauvaises herbes et les végétaux morts pour 50 ans	tkm	1011,50	1638,00	3795,00
Fin de vie				
Élimination PVC	kg	-	-	19,02
Tonne*kilomètres pour l'élimination du PVC	tkm	-	-	437,46

L. PONDÉRATION DES ANALYSES

La méthode utilisée est similaire à celle de l'analyse fonctionnelle présente en annexe I. Pour plus de précision, bien vouloir s'y référer. La figure 59 suivante présente les résultats de la pondération.

Permettre la diminution des apports en phosphore et l'engagement des citoyens

	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1- Analyse fonctionnelle	A1 3	A1 3	A1 2	A1 1	A1 3	A7 2	A1 1	A1 2	A1 1
A2- Analyse des risques préliminaires		A3 2	A4 1	A2 1	A6 2	A7 3	A8 1	A9 1	A10 3
A3- Estimation préliminaire			A3 2	A3 1	A6 1	A7 3	A3 2	A9 2	A10 2
A4- Cycle de vie simplifiée				A4 2	A6 2	A7 3	A4 1	A9 1	A10 2
A5- Hydraulique Hydrologique préliminaire					A6 2	A7 3	A5 1	A9 1	A10 3
A6- Géotechnique						A7 1	A6 3	A6 1	A10 2
A7- Environnementale							A7 3	A7 3	A7 2
A8- Éléments techniques								A9 1	A10 2
A9- Impacts des saisons									A10 2
A10- Impacts sociaux									

	Pts	%	k
A1	16	18,6%	0,186
A2	1	1,2%	0,012
A3	7	8,1%	0,081
A4	4	4,7%	0,047
A5	1	1,2%	0,012
A6	11	12,8%	0,128
A7	23	26,7%	0,267
A8	1	1,2%	0,012
A9	6	7,0%	0,070
A10	16	18,6%	0,186
Total	86	100,00%	1,000

Figure 59 : Résultats de la pondération des analyses (valeurs de K)

Les valeurs de N correspondent au rang de recommandation de chacune des analyses

Premier rang : 5
 Deuxième rang : 3
 Troisième rang : 1

Tableau 53 : Résultats de la pondération des analyses

	K	Unifamiliale		Multilogement		Bordure de route	
		N	Nk	N	Nk	N	Nk
A1- Analyse fonctionnelle	0,186	5	0,93	1	0,19	3	0,56
A2- Analyse risques préliminaires	0,012	1	0,01	3	0,03	5	0,06
A3- Estimation préliminaire	0,081	5	0,41	3	0,24	1	0,08
A4- Cycle de vie simplifiée	0,047	1	0,05	3	0,14	5	0,23
A5- Hydraulique Hydrologique	0,012	3	0,03	1	0,01	5	0,06
A6- Géotechnique	0,128	3	0,38	1	0,13	5	0,64
A7- Environnementale	0,267	5	1,34	1	0,27	3	0,80
A8- Éléments techniques	0,012	1	0,01	3	0,03	5	0,06
A9- Impacts des saisons Entretien	0,070	5	0,35	5	0,35	1	0,07
A10- Impacts sociaux	0,186	5	0,93	1	0,19	3	0,56
Total			4,44		1,58		3,12
%			49%		17%		34%

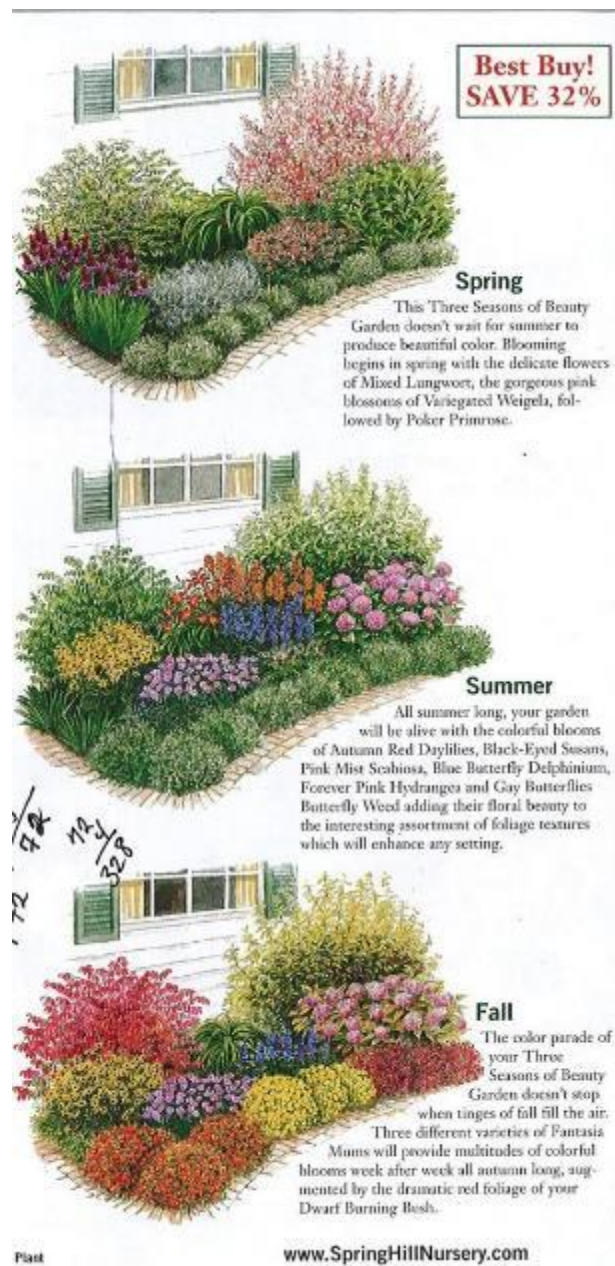


Figure 60 : Fleuraison selon les saisons

(Source : <https://www.pinterest.fr/pin/433823376598170027/>)

Tableau 54 : Propriétés des végétaux pouvant être utilisés dans les ADB

Source	Nom	Nom latin	Humidité du sol	Tolérance aux sels	Fiche des végétaux*
Arbre					
FIHOQ	Bouleau à papier	<i>Betula papyrifera</i>	Moyenne/Élevée	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=10
FIHOQ	Bouleau gris	<i>Betula populifolia</i>	Moyenne/Élevée	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=14
Gouvernement du Québec, 2014	Frêne de Pennsylvanie	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Toujours mouillé	Oui	n.d.
Gouvernement du Québec, 2014	Frêne d'Amérique	<i>Fraxinus americana</i>	Fréquemment saturé / Drainé	Oui	n.d.
MRC Brome-Missisquoi, 2015	Mélèze laricin	<i>Larix laricina</i>	Moyenne/Élevée	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=31
Gouvernement du Québec, 2014	Orme américain	<i>Ulmus Americana</i>	Toujours mouillé/fréquemment saturé	Oui	n.d.
Gouvernement du Québec, 2014	Peuplier à feuilles deltoïdes 'Siouxland'	<i>Populus deltoides 'Siouxland'</i>	Moyenne/Élevé	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=39
Gouvernement du Québec, 2014	Pin blanc	<i>Pinus strobus</i>	Faible	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=36
FIHOQ	Saule à feuilles de pêcher	<i>Salix amygdaloides</i>	Moyenne/Élevée	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=44
Arbuste					
Dugué, 2010	Céphalanthé occidentale	<i>Cephalanthus occidentalis</i>	Élevée	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=69
MRC Brome-Missisquoi, 2015	Cornouiller stolonifère	<i>Cornus stolonifera</i>	Faible à élevée	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=77
Dugué, 2010	Diervillée élégant	<i>Diervilla splendens (x)</i>	Faible à moyenne	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=81
Gouvernement du Québec, 2014	Fruit du rosier	<i>Rosa rugosa</i>	Faible	Non	n.d.
Dugué, 2010	Spirée à larges feuilles	<i>Spireae latifolia</i>	Moyenne	Non	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=129

Source	Nom	Nom latin	Humidité du sol	Tolérance aux sels	Fiche des végétaux*
Gouvernement du Québec, 2014	Sumac vinaigrier	<i>Rhus typhina et Rhus trilobata</i>	Faible	Modérée	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=107
Herbacée					
Gouvernement du Québec, 2014	Alkali grass	<i>Puccinella distans</i>	Faible	Oui	n.d.
Gouvernement du Québec, 2014	Ray-grass anglais	<i>Lolium perenne</i>	Faible	Modérée	n.d.
Gouvernement du Québec, 2014	Schizachyrium à balai	<i>Schizachyrim scoparium</i>	Faible	Oui	n.d.
Gouvernement du Québec, 2014	Seigle canadien sauvage	<i>Elymus canadensis</i>	Fréquemment saturé	Modérée	n.d.
Gouvernement du Québec, 2014	Vulpin des prés	<i>Alopecurus protensis</i>	Fréquemment saturé/Drainé	Oui	n.d.
Vivaces					
FIHOQ	Sanguisorbe du Canada	<i>Sanguisorba canadensis</i>	Faible à moyenne	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=175
FIHOQ	Verge d'or du Canada 'Sweety'	<i>Solidago x 'Sweety'</i>	Faible à moyenne	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=181
MRC Brome-Missisquoi, 2015	Iris versicolore	<i>Iris versicolor</i>	Élevée à très élevée	Modérée	n.d.
Dugué, 2010	Panic clandestin	<i>Dichanthelium clandestinum</i>	Faible à moyenne	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=213
Dugué, 2010	Physostébie de virginie blanc	<i>Physostegia virginiana</i>	Moyenne/Élevée	Non	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=172
MRC Brome-Missisquoi, 2015	Rudbeckie laciniée	<i>Rudbeckia lacinata</i>	Moyenne/Élevée	Non	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=172
MRC Brome-Missisquoi, 2015	Spartine pectinée	<i>Spactina pectina</i>	Moyenne/Élevée	Oui	http://vegetaux.fihq.com/vegetaux_recommandes.php?id=228

* La validation du choix des matériaux peut être faite en utilisant le site web <http://vegetaux.fihq.com/> qui est une base de données pour les plantes recommandées pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec.

N. ÉVALUATION DE LA DIMINUTION DU RUISSELLEMENT

Numéro de la station : 7022800

Nombre d'années disponibles :33

Nom de la station : GRANBY

Hauteur de pluie par période de retour (mm) avec intervalle de confiance de 95% (entre crochets)


Durée	Temps de retour					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
10 minutes	12.5	16.5	19.1	21.6	24.8	27.2
	[11.2,14.1]	[14.7,18.5]	[17.0,21.5]	[19.1,24.3]	[21.8,27.9]	[23.7,30.6]
15 minutes	15.7	20.8	24.3	27.6	32.1	35.5
	[13.9,17.7]	[18.4,23.4]	[21.4,27.3]	[24.3,31.1]	[28.0,36.1]	[30.7,39.9]
30 minutes	21.1	28.2	33.1	37.8	43.9	48.6
	[18.7,23.9]	[25.0,32.0]	[29.1,37.4]	[33.1,42.7]	[38.3,49.6]	[42.1,55.0]
1 heure	25.3	34.0	40.0	45.9	53.8	60.0
	[22.4,28.7]	[30.0,38.6]	[35.1,45.4]	[40.1,52.0]	[46.7,60.9]	[51.7,67.9]
2 heures	31.1	41.2	48.4	55.6	65.5	73.4
	[27.8,35.2]	[36.7,46.7]	[42.9,54.8]	[49.1,62.8]	[57.3,73.9]	[63.5,82.7]
6 heures	39.5	52.2	61.1	70.0	82.3	92.0
	[35.3,44.7]	[46.5,59.0]	[54.1,69.0]	[61.7,78.9]	[71.7,92.7]	[79.4,103.7]
12 heures	48.6	63.8	74.4	85.0	99.3	110.5
	[43.4,54.9]	[56.9,72.1]	[66.0,84.1]	[74.9,95.9]	[86.6,111.7]	[95.5,124.4]
24 heures	55.5	72.3	83.3	93.9	107.6	117.8
	[49.7,62.3]	[64.6,81.0]	[74.2,93.5]	[83.3,105.3]	[94.6,120.9]	[102.8,132.6]

Intensité de pluie par période de retour (mm/heure) avec intervalle de confiance de 95% (entre crochets)

Durée	Temps de retour					
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
10 minutes	75.2	99.2	114.9	129.8	148.9	163.0
	[67.1,84.3]	[88.4,111.2]	[102.0,128.8]	[114.9,145.5]	[130.8,167.4]	[142.1,183.7]
15 minutes	62.7	83.2	97.0	110.5	128.3	141.9
	[55.7,70.8]	[73.8,93.8]	[85.8,109.3]	[97.3,124.4]	[112.0,144.4]	[122.8,159.7]
30 minutes	42.2	56.5	66.1	75.5	87.9	97.3
	[37.4,47.9]	[49.9,64.0]	[58.2,74.8]	[66.2,85.4]	[76.5,99.2]	[84.1,109.9]
1 heure	25.3	34.0	40.0	45.9	53.8	60.0
	[22.4,28.7]	[30.0,38.6]	[35.1,45.4]	[40.1,52.0]	[46.7,60.9]	[51.7,67.9]
2 heures	15.5	20.6	24.2	27.8	32.8	36.7
	[13.9,17.6]	[18.4,23.4]	[21.5,27.4]	[24.5,31.4]	[28.6,36.9]	[31.8,41.3]
6 heures	6.6	8.7	10.2	11.7	13.7	15.3
	[5.9,7.5]	[7.8,9.8]	[9.0,11.5]	[10.3,13.2]	[12.0,15.5]	[13.2,17.3]
12 heures	4.0	5.3	6.2	7.1	8.3	9.2
	[3.6,4.6]	[4.7,6.0]	[5.5,7.0]	[6.2,8.0]	[7.2,9.3]	[8.0,10.4]
24 heures	2.3	3.0	3.5	3.9	4.5	4.9
	[2.1,2.6]	[2.7,3.4]	[3.1,3.9]	[3.5,4.4]	[3.9,5.0]	[4.3,5.5]

Note : Les cases vides indiquent que les séries de données pour cette durée ne rencontrent pas les standards

Préparé par :

 Alain Mailhot et Guillaume Talbot (INRS-ETE) 

En partenariat avec :



Les données météorologiques ayant servi à l'élaboration des courbes IDF proviennent des stations du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec et d'Environnement Canada.

Figure 61 : Intensité de pluie - Station Granby

Tableau 55 : Détails des 25 terrains évalués dans la zone à l'étude

Propriété résidentiel #	Superficie totale (m ²)	Superficie imperméable (m ²)	Superficie perméable (m ²)	% imperméable	% perméable
1	3821	366	3455	10	90
2	1128	136	992	12	88
3	1152	193	959	17	83
4	1280	295	985	23	77
5	749	173	576	23	77
6	820	194	626	24	76
7	668	160	508	24	76
8	565	155	410	27	73
9	941	261	680	28	72
10	1330	379	951	28	72
11	595	178	417	30	70
12	755	230	525	30	70
13	877	268	609	31	69
14	366	113	253	31	69
15	695	219	476	32	68
16	1073	341	732	32	68
17	1385	468	917	34	66
18	437	149	288	34	66
19	745	267	478	36	64
20	519	187	332	36	64
21	556	201	355	36	64
22	793	287	506	36	64
23	350	138	212	39	61
24	349	172	177	49	51
25	860	445	415	52	48
Moyenne	912			30	70

Tableau S6 : Résultats du ruissellement des simulations SWMM

Temps (min)	Ruissellement (litre/sec)											
	Sim 1	Sim 2	Sim 3	Sim 4	Sim 5	Sim 6	Sim 7	Sim 8	Sim 9	Sim 10	Sim 11	Sim 12
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.10	0.05	0.05
3	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.02	0.68	0.34	0.34	0.97	0.48	0.47
4	0.29	0.15	0.14	0.48	0.24	0.23	1.53	0.75	0.74	1.90	0.93	0.91
5	0.75	0.37	0.36	0.99	0.49	0.48	2.18	1.06	1.03	2.55	1.24	1.20
6	1.15	0.56	0.55	1.41	0.69	0.67	2.58	1.25	1.20	2.95	1.42	1.36
7	1.45	0.70	0.68	1.70	0.82	0.79	2.82	1.35	1.29	3.16	1.51	1.44
8	1.65	0.79	0.76	1.88	0.90	0.87	2.94	1.41	1.34	3.27	1.56	1.49
9	1.77	0.85	0.81	1.99	0.95	0.91	3.01	1.43	1.36	3.33	1.59	1.51
10	1.84	0.88	0.84	2.06	0.98	0.93	3.05	1.45	1.37	3.36	1.60	1.52
11	1.89	0.90	0.86	2.09	1.00	0.95	3.06	1.46	1.38	3.38	1.61	1.52
12	1.91	0.91	0.87	2.11	1.01	0.95	3.07	1.46	1.38	3.38	1.61	1.52
13	1.93	0.92	0.87	2.13	1.01	0.96	3.08	1.46	1.39	3.39	1.61	1.52
14	1.94	0.92	0.87	2.13	1.01	0.96	3.08	1.46	1.39	3.39	1.61	1.52
15	1.94	0.92	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.46	1.39	3.39	1.61	1.53
16	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.46	1.39	3.39	1.61	1.53
17	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.46	1.39	3.39	1.61	1.53
18	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.46	1.39	3.39	1.61	1.53
19	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
20	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
21	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
22	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
23	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
24	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
25	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
26	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
27	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
28	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
29	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
30	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
31	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
32	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
33	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
34	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.39	1.61	1.53
35	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.41	1.63	1.54
36	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.44	1.66	1.58
37	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.49	1.71	1.63

Temps (min)	Ruissellement (litre/sec)											
	Sim 1	Sim 2	Sim 3	Sim 4	Sim 5	Sim 6	Sim 7	Sim 8	Sim 9	Sim 10	Sim 11	Sim 12
38	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.56	1.78	1.69
39	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.08	1.47	1.39	3.64	1.86	1.77
40	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.10	1.48	1.40	3.73	1.95	1.86
41	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.13	1.51	1.43	3.83	2.04	1.96
42	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.18	1.56	1.48	3.93	2.15	2.06
43	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.23	1.61	1.54	4.04	2.26	2.17
44	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.30	1.68	1.60	4.16	2.38	2.29
45	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.37	1.75	1.67	4.28	2.50	2.41
46	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.45	1.83	1.75	4.41	2.62	2.53
47	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.54	1.92	1.84	4.54	2.75	2.66
48	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.63	2.01	1.93	4.67	2.88	2.79
49	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.73	2.11	2.03	4.81	3.02	2.91
50	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.83	2.21	2.13	4.94	3.15	3.04
51	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	3.94	2.31	2.23	5.08	3.28	3.17
52	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	4.04	2.42	2.33	5.21	3.41	3.30
53	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	4.15	2.53	2.44	5.35	3.54	3.43
54	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	4.26	2.64	2.55	5.48	3.67	3.56
55	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	4.38	2.75	2.65	5.61	3.80	3.68
56	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	4.49	2.86	2.76	5.74	3.93	3.80
57	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	4.60	2.97	2.87	5.87	4.05	3.92
58	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	4.71	3.07	2.97	6.00	4.17	4.04
59	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	4.82	3.18	3.08	6.12	4.29	4.15
60	1.95	0.93	0.88	2.14	1.02	0.96	4.93	3.29	3.18	6.24	4.41	4.26
61	1.19	0.56	0.52	1.28	0.60	0.56	3.42	2.48	2.40	4.49	3.45	3.32
62	0.79	0.36	0.34	0.84	0.39	0.36	2.64	2.04	1.97	3.58	2.91	2.80
63	0.55	0.25	0.23	0.58	0.27	0.25	2.16	1.74	1.68	3.01	2.54	2.45
64	0.40	0.19	0.17	0.42	0.19	0.18	1.83	1.53	1.47	2.61	2.27	2.18
65	0.31	0.14	0.13	0.32	0.15	0.13	1.59	1.36	1.31	2.31	2.04	1.96
66	0.24	0.11	0.10	0.25	0.11	0.10	1.40	1.21	1.17	2.07	1.85	1.77
67	0.19	0.09	0.08	0.20	0.09	0.08	1.24	1.09	1.04	1.86	1.68	1.61
68	0.15	0.07	0.06	0.16	0.07	0.07	1.10	0.97	0.94	1.69	1.53	1.46
69	0.13	0.06	0.05	0.13	0.06	0.05	0.98	0.88	0.84	1.53	1.39	1.33
70	0.11	0.05	0.04	0.11	0.05	0.04	0.88	0.78	0.75	1.39	1.27	1.21
71	0.09	0.04	0.04	0.09	0.04	0.04	0.78	0.70	0.67	1.26	1.15	1.09
72	0.08	0.03	0.03	0.08	0.04	0.03	0.70	0.63	0.60	1.15	1.05	0.99
73	0.07	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.62	0.56	0.53	1.04	0.95	0.90
74	0.06	0.03	0.02	0.06	0.03	0.02	0.55	0.49	0.46	0.94	0.86	0.81
75	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.49	0.43	0.41	0.85	0.78	0.73
76	0.05	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.43	0.38	0.35	0.77	0.70	0.65
77	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.37	0.33	0.30	0.69	0.62	0.58

Temps (min)	Ruissellement (litre/sec)											
	Sim 1	Sim 2	Sim 3	Sim 4	Sim 5	Sim 6	Sim 7	Sim 8	Sim 9	Sim 10	Sim 11	Sim 12
78	0.04	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.32	0.28	0.26	0.62	0.56	0.52
79	0.03	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.27	0.24	0.22	0.55	0.49	0.45
80	0.03	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.23	0.20	0.18	0.49	0.44	0.40
81	0.03	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.19	0.16	0.15	0.43	0.38	0.35
82	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.16	0.13	0.12	0.38	0.33	0.30
83	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.13	0.10	0.09	0.33	0.29	0.26
84	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.10	0.08	0.07	0.28	0.24	0.21
85	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.08	0.06	0.05	0.24	0.20	0.18
86	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.05	0.04	0.03	0.20	0.17	0.14
87	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.04	0.02	0.02	0.16	0.14	0.11
88	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.13	0.11	0.09
89	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.10	0.08	0.06
90	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.06	0.04
91	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.04	0.03
92	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01
93	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
94	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
95	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
96	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
97	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
98	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
99	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
100	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

Tableau 57 : Propriétés SWMM

Propriétés	Valeur	Sources
1. Subcatchment Uni.		
Area	0,0925 ha	n.a.
Width	10 m	n.a.
Slope	2 %	« Se former au logiciel SWMM »
Imperv	30 %	Voir chapitre 19.1
N-Imperv	0,011	« Se former au logiciel SWMM »
N-Perv	0,24	
Dstore-Imperv	1,25 mm	
Dstore-Perv	8,8 mm	
Zero-Imperv	0 %	
Subarea Routing	Outlet	
Infiltration Horton (pour un sol C)		
Max. Infil. Rate	76,2 mm/hr	« Se former au logiciel SWMM »
Min. Infil. Rate	12,7 mm/hr	
2. Rain Gage		
Station utilisée	Granby - 7022800	Figure 61
Type de pluie	1h, intensité constante	
3. ADB (LID Bioretention)		
3.1 Surface		
Berm Height	200 mm	Voir conception
Vegetation Volume Fraction	0,1	« Se former au logiciel SWMM »
Surface Roughness (Mannings n)	0,1	
Surface Slope	0%	5% du terrain type
Area of each unit (m ²)	46	
% of subcatchment	5	
Surface Width (m)	6,8	v46
% Initially Saturated	0	« Se former au logiciel SWMM »
% of Impervious Area treated	50	
3.2 Soil		
Thickness	200 mm	Voir conception
Porosity	0,5	« Se former au logiciel SWMM »
Field Capacity	0,2	
Wilting point	0,1	
Conductivity	150 mm/hr	
Conductivity Slope	10	
Suction Head	3,5 mm	
3.3 Storage		
Thickness	300 mm	Voir conception
Void Ratio	0,75	« Se former au logiciel SWMM »
Seepage Rate	0,5 mm/hr	

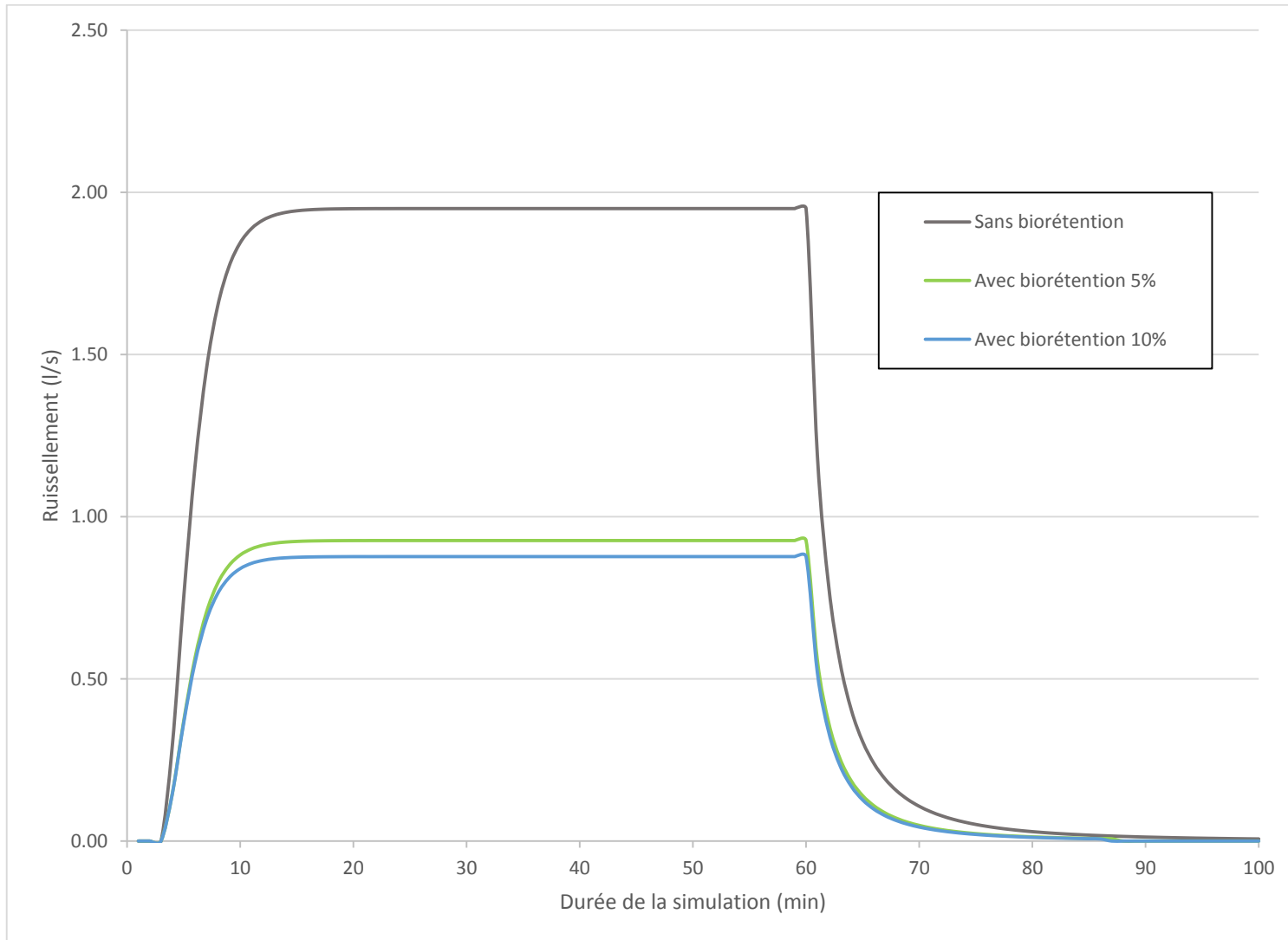


Figure 62 : Simulations 1 à 3, Ruisselement, Pluie de 25,3 mm/h (Durée : 1h et récurrence : 2 ans) Station de Granby

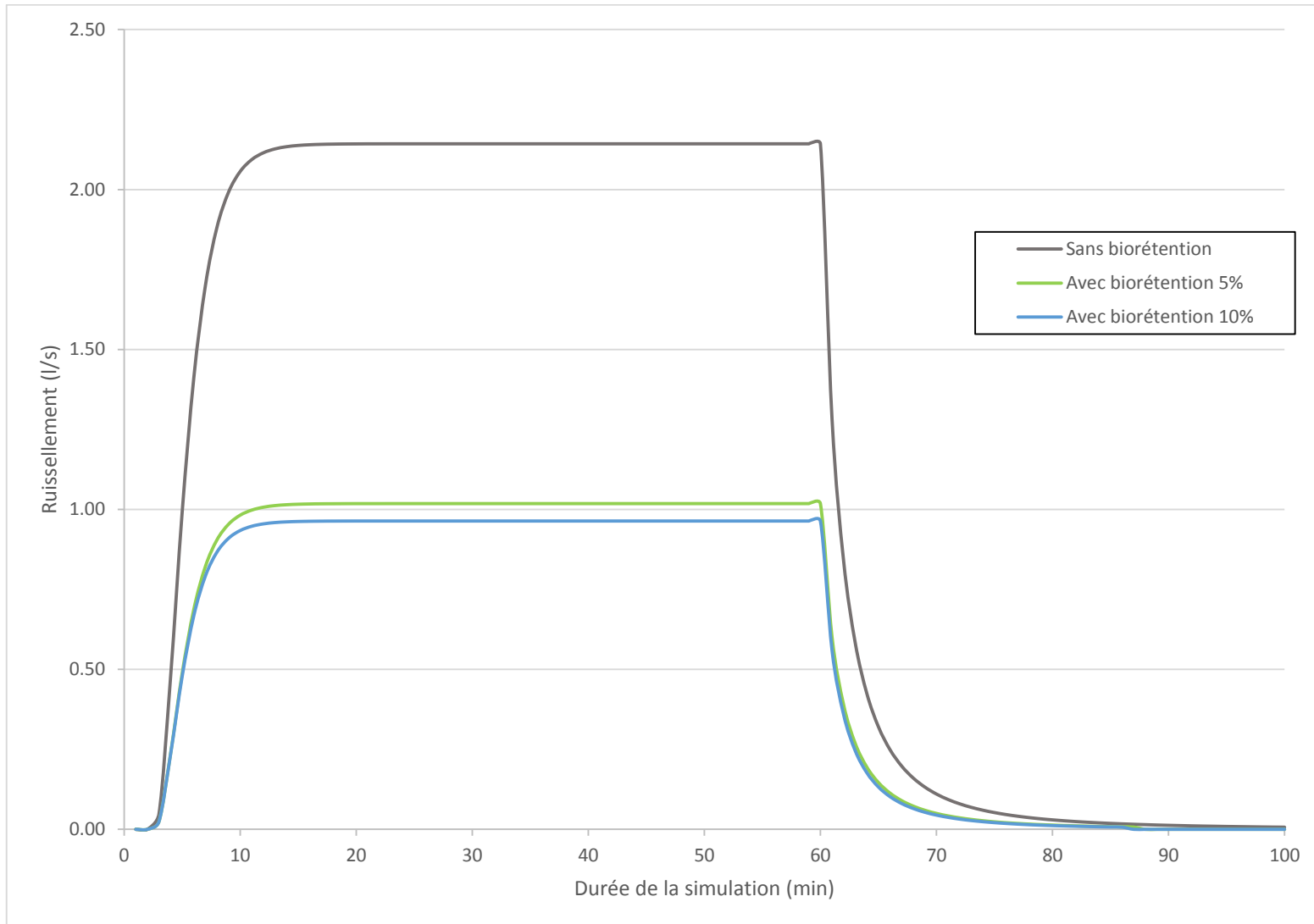


Figure 63 : Simulation 4 à 6, Pluie de 27,8 mm/h (Durée : 1h et récurrence : 2 ans, avec augmentation de 10% pour les changements climatiques) Station de Granby

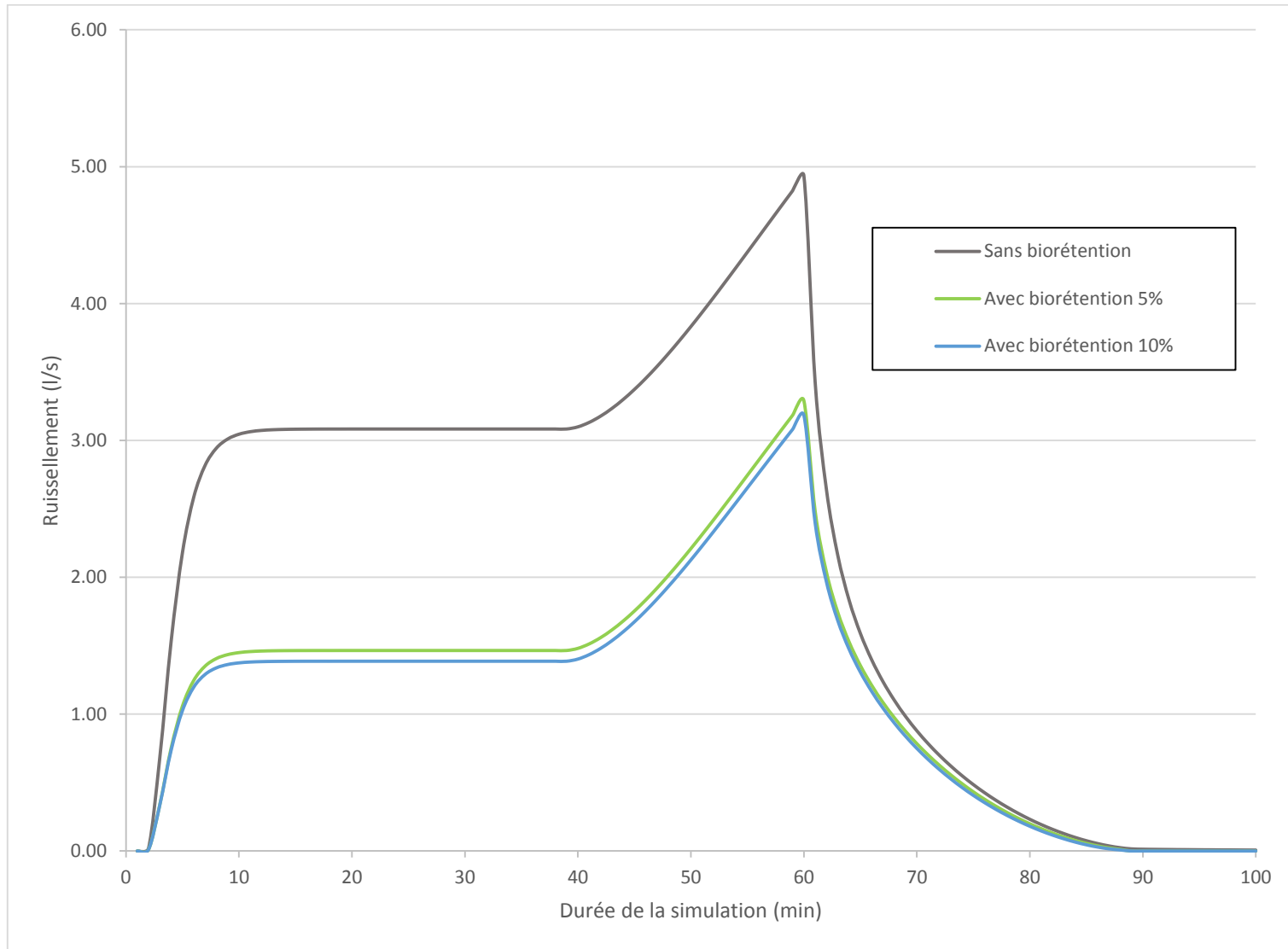


Figure 64 : Simulations 7 à 9, Pluie de 40,0 mm/h (Durée : 1h et récurrence : 10 ans)- Station Granby

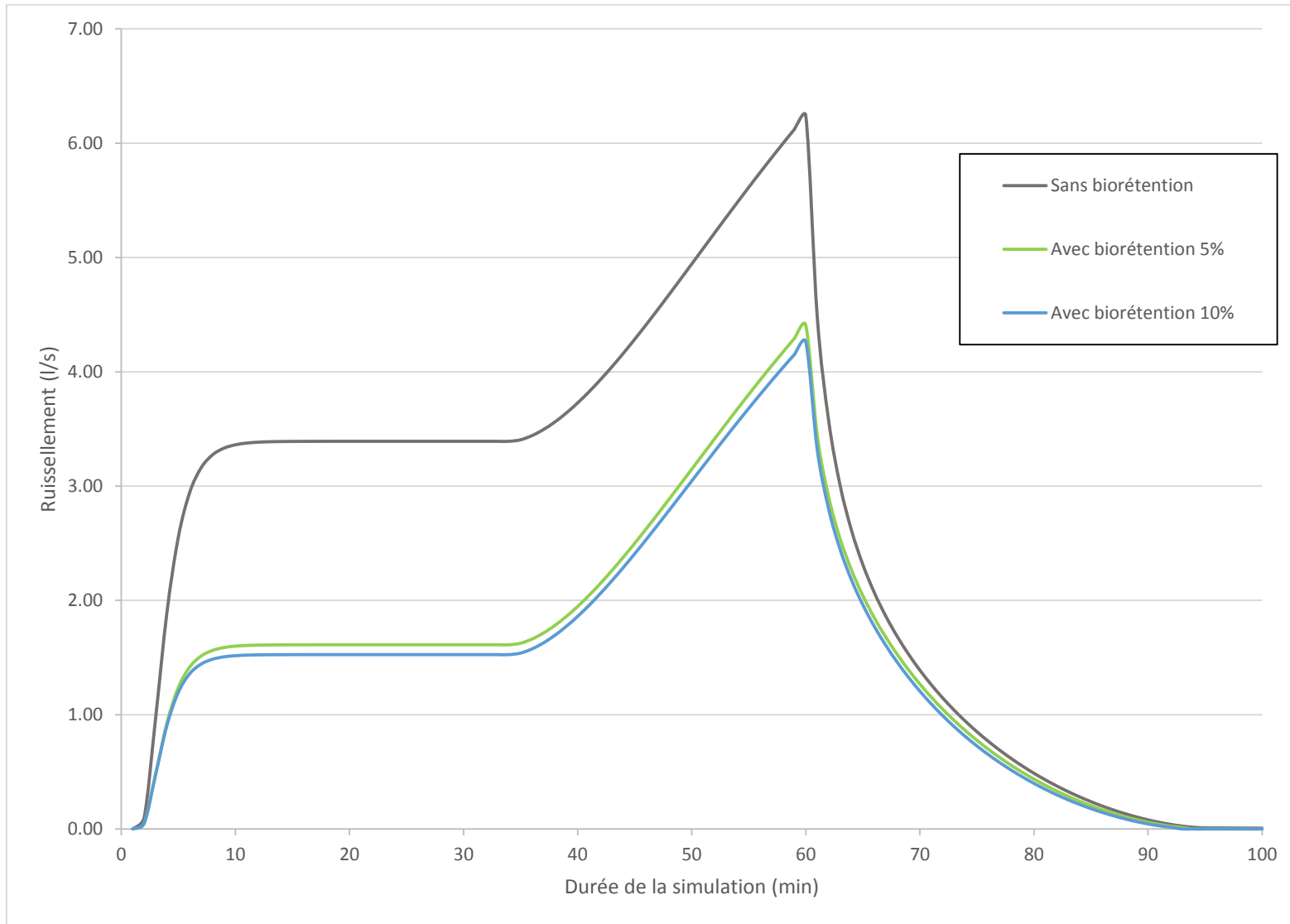


Figure 65 : Simulations 10 à 12, Pluie de 44,0 mm/h (Durée : 1h et récurrence : 10 ans, avec augmentation de 10% pour les changements climatiques)

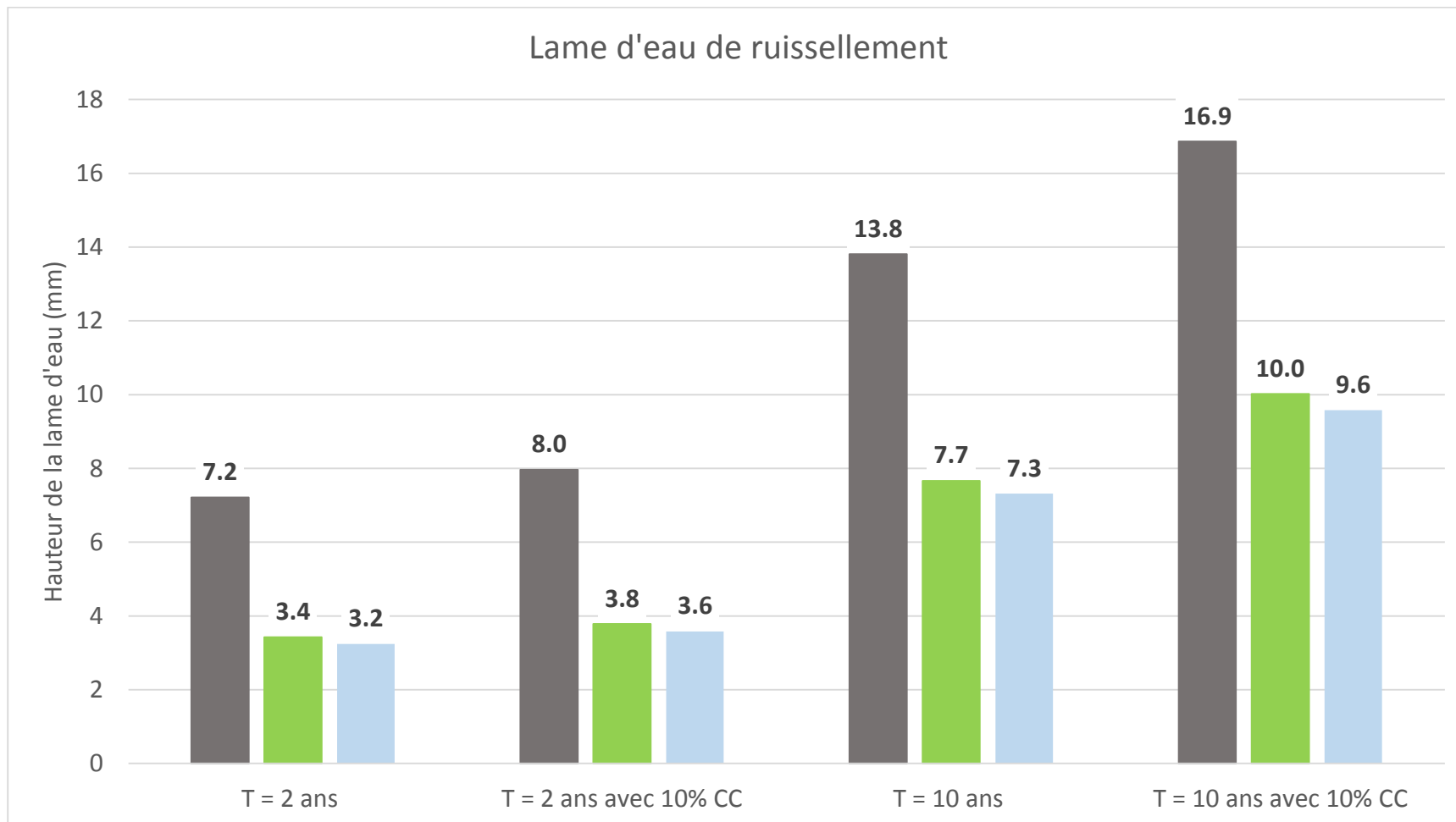


Figure 66 : hauteur de la lame de ruissellement selon les 12 simulations SWMM effectuées

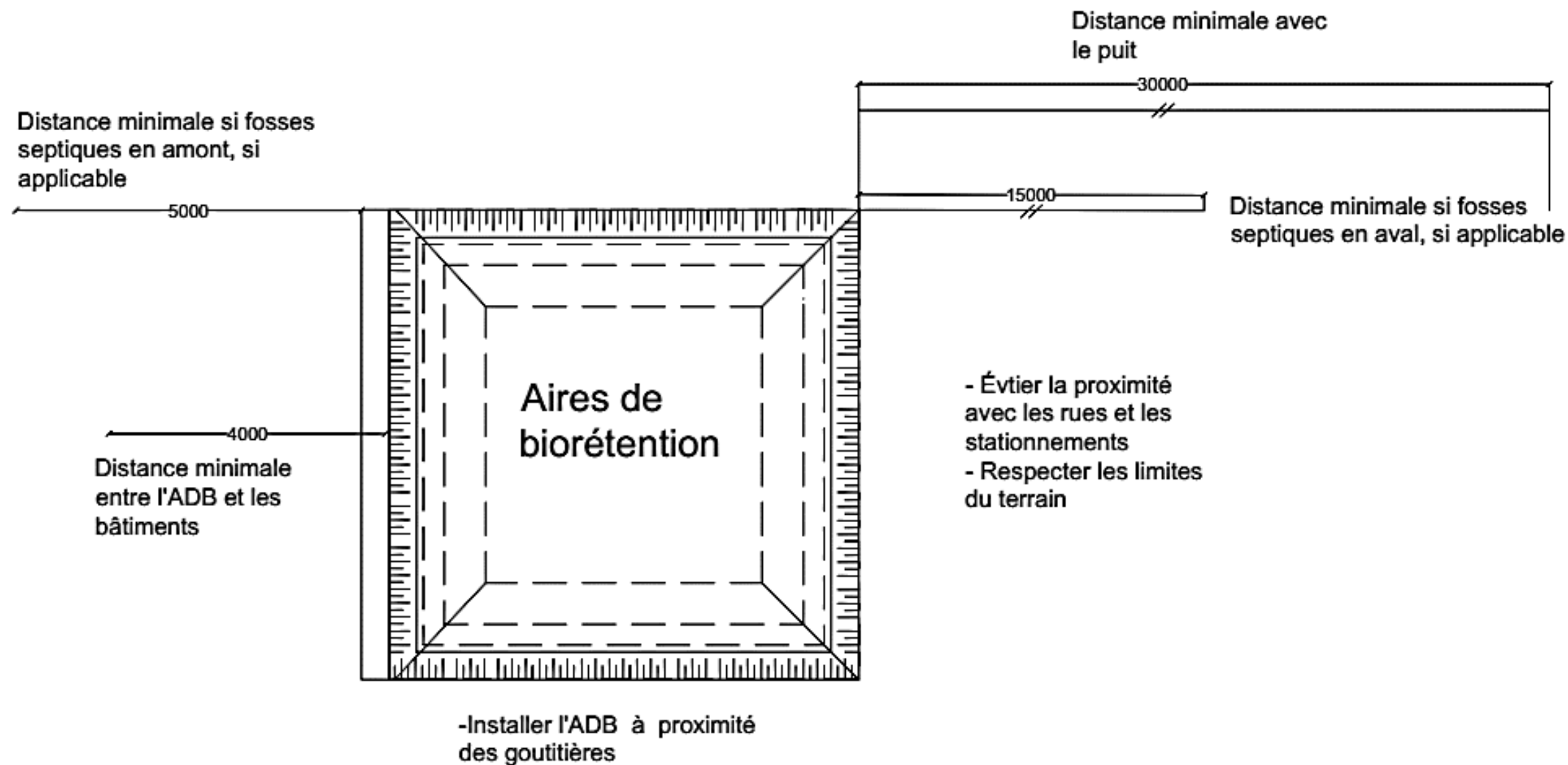
Tableau 4 : Coefficients d'exportation de P (kg/km²/an) retenus

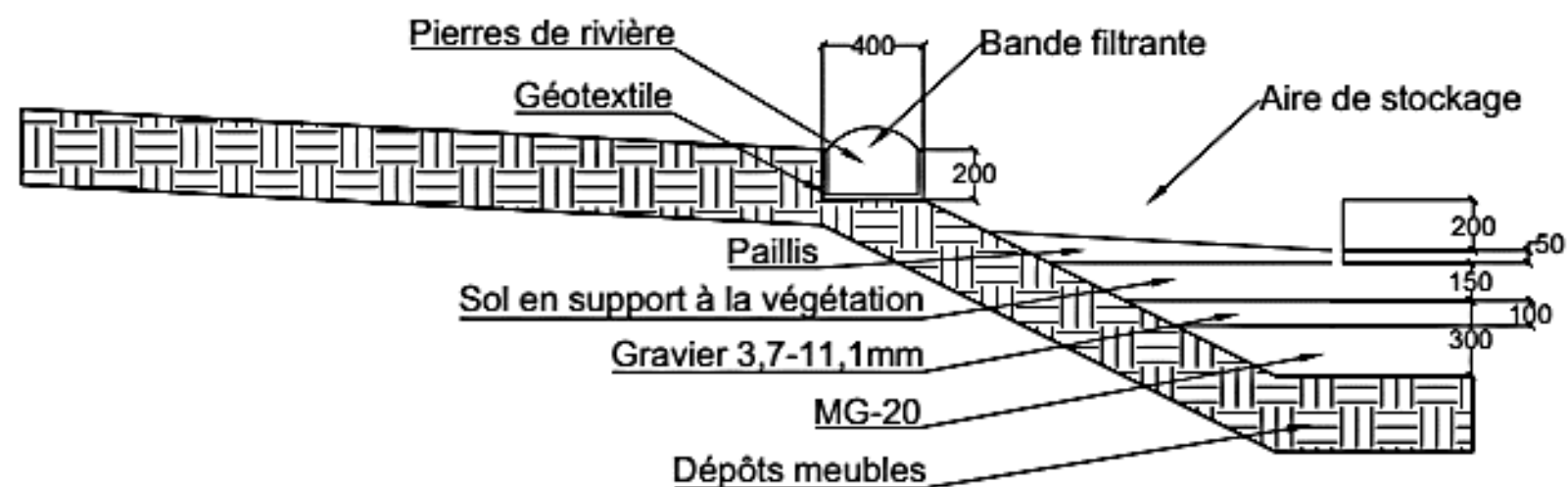
Unité spatiale d'utilisation du sol	Superficie (%)	CE1 (faible)	CE2 (moyen)	CE3 (élevé)
Carrière/Sablère/Gravière	0,2	305*	305*	305*
Centre de ski alpin	0,1	20*	20*	20*
Forêt	64,0	2 ¹	5 ²	7*
Friche	1,7	20 ³	20 ³	20 ³
Lacs (CAN)	0,6	3 ⁴	6 ⁴	9 ⁴
Lacs (USA)	7,9	3 ⁴	6 ⁴	9 ⁴
Zone développée mixte	0,3	305*	305*	305*
Milieu humide	3,7	125 ⁵	170*	214 ⁶
Prairie et pâturage	11,9	36 ¹	52 ⁶	56*
Résidentielle	2,3	50*	106*	195 ¹
Terrain de golf	0,2	105 ⁷	105 ⁷	105 ⁷
Terre en culture, groupe hydrologique de sol A	0,7	39 ¹	56 ¹	108 ¹
Terre en culture, groupe hydrologique de sol B	0,9	87 ¹	139 ¹	277 ¹
Terre en culture, groupe hydrologique de sol C	2,9	59 ¹	107 ¹	213 ¹
Terre en culture, groupe hydrologique de sol D	1,4	107 ¹	110 ¹	318 ¹
Total	98,8			

*Coefficient moyen calculé selon les valeurs recensées dans la littérature.

- 1) Michaud *et al.* 2006 : travaux de modélisation en Montérégie.
- 2) Carignan *et al.*, (en cours de publication): régression multiple entre les apports annuels et la superficie; mesuré en Estrie et dans les Laurentides ainsi que utilisé pour le sud de l'Ontario (Dillon *et al.* (1994) dans Carignan *et al.* (en cours de publication)).
- 3) Carignan (2003) dans Hemispheres (2008) : suivi limnologique du lac Heney et des lacs de son bassin; région similaire à l'Outaouais.
- 4) Carignan *et al.*, (en cours de publication).
- 5) Carignan *et al.*, (en cours de publication): adapté pour les Laurentides selon les données mesurées.
- 6) Carignan *et al.*, (en cours de publication): régression multiple entre apports annuels et superficie; mesuré en Estrie.
- 7) Néron et Corbeil (2002) dans Hemispheres (2008).

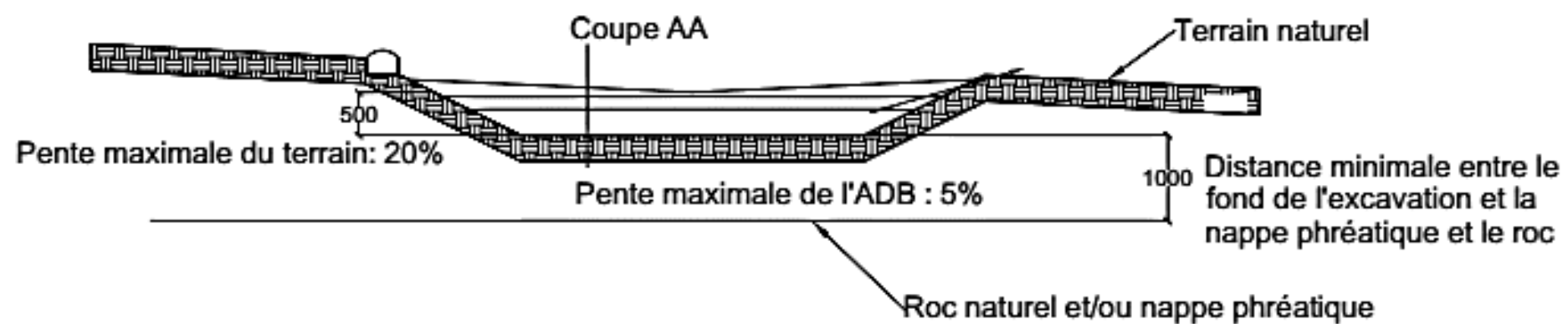
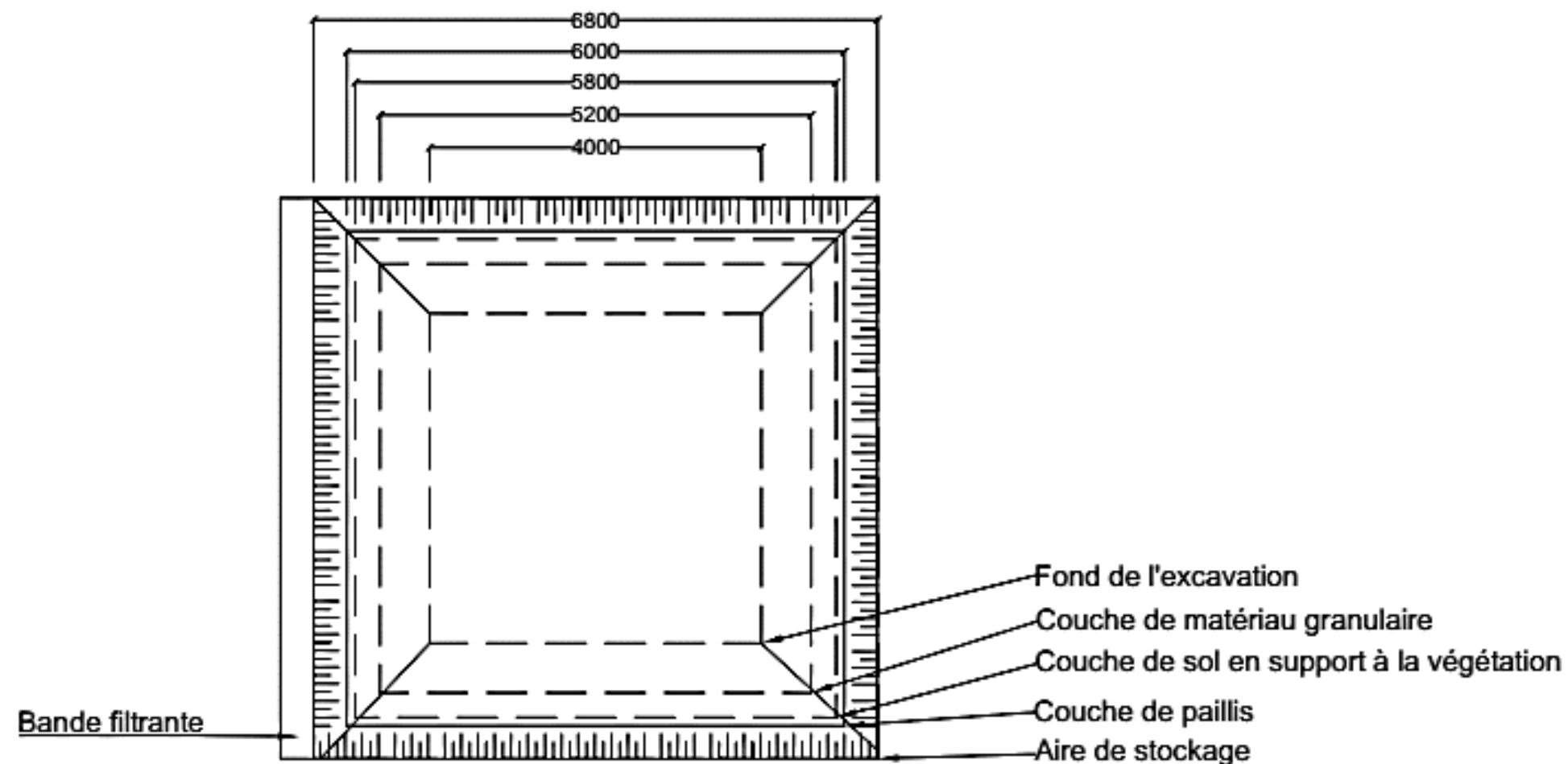
Figure 67 : Coefficient d'exportation de Phosphore (Smi, 2009)





Notes pour construction :

- 1-Éviter de compacter le futur site de l'ADB.
- 2-Prévoir des barrières pour les sédiments pour réduire les risques de colmatage.
- 3-Scarifier le sol en place et entre les couches de sols.
- 4-S'assurer que les matériaux soient propres, c'est-à-dire exempt de particules fines.
- 5-Ne pas utiliser des sols contaminés et/ou contenant des espèces envahissantes
- 6-Déposer les couches sans trop compacter.
- 7-Mélanger le compost avec le sable et la terre végétation ou le déposer à la surface en scarifiant.



P. ESTIMATION DÉTAILLÉE DE LA SOLUTION CONÇUE

Estimation des coûts des travaux de génie civil		Équipe 10		GCI900-905-906	
Réalisé par : Justine Sirois		Date : 14/12/2017			
Révisé par : Alice Boisvert-Chapdelaine		Date : 14/12/2017			
L'estimation des coûts des travaux de génie civil du projet de restauration du lac Waterloo par aires de biorétention évalue un terrain de 925 m ²					
Estimation - Solution d'aire de biorétention unifamiliale					
Description	Unité	Prix unitaire	Référence	Quantité	Prix
Excavation et disposition hors du site	m ³	18.00 \$	Dugué	22.05	396.90 \$
Cailloux de rivière	m ³	700.00 \$	Rona	0.50	350.00 \$
Géotextile	m ²	3.00 \$	Dugué	5.50	16.50 \$
Paillis	m ³	75.00 \$	Rona	1.81	135.90 \$
Sol en support à la végétation (sable)	m ³	500.00 \$	Rona	2.41	1 205.25 \$
Sol en support à la végétation (compost)	m ³	135.00 \$	Rona	0.96	130.17 \$
Sol en support à la végétation (terre)	m ³	90.00 \$	Rona	1.45	130.17 \$
Matériau granulaire	m ³	10.00 \$	Rona	7.11	71.08 \$
Sous-total :					2 435.96 \$
Frais généraux (15%) :					365.39 \$
Imprévus (10%) :					243.60 \$
Taxes (14,975%) :					364.79 \$
Total :					3 410 \$

Appel d'offres

No de l'appel d'offres : XXXXX

PROJET :

Implantation d'une aire de biorétention

**PROPRIÉTAIRE ET RESPONSABLE
DE L'INFORMATION**

Nom du propriétaire du terrain
0000, rue XXXX, Waterloo (Québec) XXX XXX
Téléphone : XXX-XXX-XXXX
Courriel : xxxxxxxxxxxx@xxxxxxx

Titre de l'avis :	Implantation d'une aire de biorétention (Waterloo)
Date de publication :	2017-12-15
Type de l'avis :	Avis d'appel d'offres
Règlement (Nature du contrat) :	Travaux de construction
Date limite de réception des offres :	2018-01-10 Avant 15h, Heure légale du Québec
Région(s) de livraison :	Waterloo
Durée prévue du contrat :	Moins d'une semaine

Monsieur/Madame XXXXXX, propriétaire du terrain sis au ADRESSE, demande des soumissions pour les travaux d'implantation d'une aire de biorétention sur sa propriété. Les travaux devront être effectués conformément aux plans et devis fournis et selon les règles de l'art afin de fournir au propriétaire une aire de biorétention efficace et durable. Une visite des lieux peut-être réalisée sur demande. Chaque soumission doit être déposée par courriel à l'adresse suivante xxxxxxxxxxxx@xxxxxx, d'ici le **XX XXXXXXXX 201X avant 15h**, le courriel doit être identifié : « **Soumission aire de biorétention** ». Le propriétaire ne s'engage à accepter aucune des soumissions reçues.

Le soumissionnaire est responsable des travaux suivants :

- Réalisation d'une aire de biorétention de **XX** m² et d'une bande filtrante de 400mm par **(largeur prévue de l'ADB)** m;
 - Excavation d'au moins 700mm de profondeur;
 - Achats et livraisons des matériaux nécessaires;
 - Mise en place des matériaux granulaires conformément aux plans et devis;
 - Mise en place du géotextile;
 - Plantation des végétaux selon la recommandation du devis;
- Remise en état du terrain endommagé par les travaux.

Advenant le cas où le soumissionnaire engageait des sous-traitants, le soumissionnaire est tenu responsable de leur gestion et de leur solvabilité. Pour tout renseignement supplémentaire concernant le présent appel d'offres, veuillez communiquer avec le propriétaire.

L'appel d'offres a été rendu public à Waterloo le **DATE DU JOUR**.