



Institut de recherche
en biologie végétale

**IMPACT DU MODE DE GESTION DES BANDES VÉGÉTALISÉES
DE BORDS DE ROUTE SUR LA QUALITÉ ET LE VOLUME DES
EAUX DE RUISSELLEMENT**

Projet de recherche R820.1



Rapport final

Présenté au
Ministère des Transports du Québec

Institut de recherche en biologie végétale
4101, rue Sherbrooke Est
Montréal, QC H1X 2B2

Mai 2021

**Impact du mode de gestion des bandes végétalisées de bords de route sur la
qualité et le volume des eaux de ruissellement**

R820.1

Rapport final

Chargé de projet

Guy Bédard, Architecte paysagiste
Coordonnateur architecture de paysage et environnement
Direction générale de la Planification et de la gestion des infrastructures
Direction générale principale de la région métropolitaine de Montréal
Ministère des Transports

Téléphone : (450) 677-8974, poste 39434
Courriel : guy.bedard@transport.gouv.qc.ca

Chercheurs principaux

Danielle Dagenais, Professeure titulaire
École d'urbanisme et d'architecture de paysage, Institut de recherche en biologie
végétale, Faculté de l'aménagement, Université de Montréal
Téléphone : 514-343-6164
Courriel : danielle.dagenais@umontreal.ca

Margit Kõiv-Vainik, Professeure associée
Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal
Département de Géographie, Université de Tartu (Estonie)
Courriel : margit.koiv.vainik@ut.ee

Jacques Brisson, Professeur titulaire
Institut de recherche en biologie végétale, Faculté des Arts et Sciences
Université de Montréal
Téléphone : 514-343-2116
Courriel : jacques.brisson@umontreal.ca



Institut de recherche
en biologie végétale

Institut de recherche en biologie végétale

L'Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) est un centre de formation supérieure dont la mission porte sur la biologie des plantes dans tous ses aspects : fonctionnement, développement, évolution, écologie, etc. Issu d'un partenariat entre l'Université de Montréal et la Ville de Montréal, l'IRBV occupe des locaux modernes sur le site du Jardin botanique de Montréal. Il regroupe une vingtaine de chercheurs autonomes (professeurs au Département de sciences biologiques de l'Université de Montréal ou chercheurs à la Division de la recherche et du développement scientifique du Jardin botanique de Montréal) sans compter les nombreux assistants et chargés de recherche, étudiants à la maîtrise et au doctorat et chercheurs post-doctoraux. S'ajoute à cette fructueuse relation, le Centre sur la biodiversité qui vise également les plus hauts standards en recherche et en formation, ainsi que la sensibilisation du grand public aux enjeux majeurs liés à la biodiversité. Les recherches à l'IRBV sont de nature fondamentale et appliquée. Les chercheurs ont à leur disposition des laboratoires et des équipements scientifiques de pointe, en plus de serres expérimentales, de chambres de croissance, d'équipement de microscopie électronique, de l'herbier Marie-Victorin (700 000 spécimens).

Équipe de travail

DANIELLE DAGENAI (Agr., Ph. D. Aménagement)	Professeure titulaire Université de Montréal, IRBV, École d'urbanisme et d'architecture de paysage
JACQUES BRISSON (Ph.D. Écologie)	Professeur titulaire Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)
MARGIT KÕIV-VANIC (Ph. D., Université de Tartu)	Professeure associée Université de Montréal, Université de Tartu
PATRICK BOVIN (M.Sc. Appliquées)	Professionnel de recherche Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)
BENOIT ST-GEORGES (DEC Horticulture)	Auxiliaire de recherche Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)
FANY MARCHAND (Bac en biologie)	Stagiaire (UQAM) Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)
VIRAJ SHETE (M.Sc. Bioresource Eng.)	Stagiaire Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) Université de Montréal, IRBV

Pour fins de citation :

Boivin, P., M. Kõiv-Vainik, V. Shete, J. Brisson et D. Dagenais. 2021. Impact du mode de gestion des bandes végétalisées de bords de route sur la qualité et le volume des eaux de ruissellement. Rapport final présenté au Ministère des Transports du Québec. Institut de recherche en biologie végétale, Montréal. 59 pages et annexes.

Résumé

La présente étude vise (1) à mesurer la performance des bandes végétalisées existantes en bordure d'autoroute sur la réduction des volumes et l'amélioration de la qualité des eaux de ruissellement avant leur entrée dans le système de drainage autoroutier, (2) mesurer l'effet de l'entretien de la végétation sur la performance des bandes végétalisées et (3) proposer des critères de design et d'entretien des abords de route qui optimisent leur performance en matière de gestion des eaux de ruissellement tout en respectant les contraintes de sécurité. À cette fin, un dispositif de 11 parcelles expérimentales a été mis en place le long d'un talus végétalisé situé au sud de l'autoroute 20, près du kilomètre 103, à Sainte-Julie. Sur les pentes de ce talus, des gouttières ont été implantées dans le sol à 0, 3 et 6 mètres de la chaussée afin de collecter les eaux de ruissellement d'évènements de pluie majeurs en 2019 et 2020. Ces eaux sont emmagasinées dans 33 citernes indépendantes en pied du talus pour être analysées. Sur les bandes végétalisées qui bordent les gouttières à 3 et 6 mètres, trois types de tonte sont appliqués au cours de la saison estivale : traitement standard (3 m à partir de la chaussée), traitement minimum (2 m à partir de la chaussée) et traitement maximum (tonte complète de la bande).

Nous avons constaté que le ruissellement était réduit de 88% et 93% à respectivement 3m et 6 m de distance de la chaussée. Toutefois, la réduction du volume de ruissellement en bordure de route n'a pas été influencée de manière significative par les traitements de gestion de la végétation étudiés. Les polluants qui proviennent du ruissellement des autoroutes ont été considérablement réduits à partir de 3 m de bande végétalisée. Nous avons observé une élimination importante et significative par rapport à la distance de prélèvement des matières en suspension (MES), les taux de réduction à 3 m et 6 m se situant respectivement à 50% et 73% (traitement minimum), ou de 39% et 79% (traitement maximum). En regard de cette situation, il n'est pas étonnant d'observer un excellent enlèvement des métaux (>88%) et des hydrocarbures (>97%) en termes de charges polluantes, ces derniers étant généralement présents sous forme particulaire. Au contraire, la concentration des polluants tels que K, NO₃, OPO₄, TKN augmente généralement à mesure que l'on s'éloigne de la chaussée. Les opérations de coupe sur les pentes, qui accentuent la quantité de matière organique (COT) et de nutriments transportés vers les gouttières et les citernes, semblent responsables de ce phénomène.

La composition floristique varie beaucoup le long de la pente du talus autoroutier, en réponse au niveau de perturbation et de changement dans l'humidité du sol. Ainsi, en haut de talus, nous avons principalement des espèces bien adaptées à des milieux perturbés au sol compact et graveleux, comme la luzerne lupuline, la petite herbe à poux, le chiendent commun et la potentille ansérine. Le milieu du talus est largement dominé par des espèces graminoides comme la fétuque rouge et le brome inerme. Le bas talus est plutôt colonisé par des espèces de milieux humides comme le jonc de Gérard, la renoncule cymbalaire et le roseau commun. Les traitements sur la végétation en réduisent la biomasse, la hauteur et la densité. Le traitement maximum affecte plus particulièrement la hauteur et la densité des plantes.

En résumé, les bandes végétalisées peuvent être considérées des pratiques de gestion optimale (PGO). Les modes d'entretien doivent être déterminés par d'autres critères (sécurité, esthétique, biodiversité, allergènes, etc.) que la gestion des pluviales puisqu'ils n'ont pas d'impact sur cette dernière. Le ruissellement autoroutier contribue sans doute peu à la charge polluante des eaux des fossés qui les bordent. D'autres études seraient nécessaires afin de déterminer la source de cette charge. Un suivi des eaux de ruissellement d'autoroute et des polluants qu'elle contient dans le sol et les eaux souterraines permettrait de mieux comprendre le devenir de ceux-ci dans l'environnement.

Table des matières

Équipe de travail	3
Résumé	4
Table des matières	6
Liste des tableaux	8
Liste des figures	8
Introduction	11
1. Méthodologie	13
1.1 Identification des traitements selon le type de gestion de la végétation	14
1.2 Description du système de collecte d'eau de ruissellement	14
1.3 Évaluation des volumes et l'analyse de l'eau	15
1.5 Caractérisation de la végétation	18
1.5.1 Végétation et biomasse	20
1.5.2 Diversité végétale	22
1.4 Traitement et analyse des données	23
2. Résultats	24
2.1 Portrait des conditions météorologiques 2019-2020 et du type d'évènement de pluie récolté.	24
2.2 Caractérisation végétale de la pente du talus autoroutier.	28
2.2.1 Distribution de composition floristique sur le talus autoroutier	28
2.2.2 Caractérisation de la végétation selon la densité, la hauteur et la biomasse	32
2.3 Caractérisation de la végétation des bandes filtrantes de 3 m et 6 m	33
2.3.1 Biodiversité floristique	33
2.3.2 Caractérisation de la hauteur et de la densité	36
2.4 Évaluation de l'effet des traitements sur les volumes et la qualité de l'eau	39
2.4.1 Influence des bandes filtrantes sur la réduction des volumes	39

2.4.2 Modifications sur la qualité de l'eau _____	41
3. Discussion _____	52
Conclusion _____	55
Références _____	57
Annexe 1 : Activités réalisées et transfert des connaissances _____	60
Annexe 2 : Caractérisation physique de la zone d'étude (Centa, M. 2018) _____	63
Annexe 3 : Activités en images _____	67
Annexe 4 : Volumes d'eau récoltés en 2019 et 2020 _____	73
Annexe 5 : Liste des espèces observées lors des suivis 2019-2020 _____	74
Annexe 6 : Graphiques des valeurs moyennes observées annuellement _____	75
Annexe 7 : Critères de qualité de l'eau de surface _____	81
Annexe 8 : Valeurs moyennes 2019-2020 des paramètres de la qualité de l'eau provenant du fossé (station F12) _____	82
Annexe 9 : Publication de conférence, Kõiv-Vainik, M. and al. 2020 _____	83
Annexe 10 : Liste des matériaux utilisés pour la stabilisation de certains polluants _____	86

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Description des traitements appliqués sur les sites de récolte d'eau	14
Tableau 2 :	Sources consultées pour prévoir le passage des évènements de pluie majeurs ...	17
Tableau 3 :	Procédure à suivre avant l'échantillonnage des eaux de ruissellement lié à un évènement de pluie majeur	17
Tableau 4 :	Codification des 34 stations d'échantillonnage d'eau	18
Tableau 5 :	Niveau et effort d'échantillonnage de la végétation	19
Tableau 6 :	Localisation des points d'échantillonnage de la végétation et de sa biomasse le long de la pente à partir de l'accotement	20
Tableau 7 :	Dates d'échantillonnage, périodes de pluie associées et quantités de précipitation enregistrées par la station météorologique de l'IRBV localisée sur le toit de chez Novatec.....	24
Tableau 8 :	Densité, hauteur et biomasse moyennes observées 2019-2020 le long de la pente du talus.....	32
Tableau 9 :	Abondance moyenne d'espèces observée en juin et septembre 2019-2020 selon le traitement.....	33
Tableau 10 :	Description des paramètres chimiques analysés au sein des eaux de ruissellement	41
Tableau 11 :	Concentration moyenne et écart type des polluants contenus dans les eaux de ruissellement autoroutier (0m), et dans celles collectées à 3 m et 6 m le long des pentes végétalisées selon un entretien minimum et maximum.....	42
Tableau 12 :	Calcul de la réduction des concentrations moyennes (%) des paramètres analysés en 2019 et 2020 entre les gouttières G0-G3, G0-G6 et G3-G6 selon un entretien minimum et maximum de la végétation.	50
Tableau 13 :	Valeurs de réduction de masse moyenne à 3m et 6 m pour les paramètres analysés en 2019 et 2020 selon un entretien minimum et maximum de la végétation.	51

Liste des figures

Figure 1 :	Total de 11 sites de récolte d'eau de ruissellement routier avec des gouttières et des réservoirs de collecte d'eau, et une vue d'une gouttière de 3 mètres de long implantée sur la pente.....	13
Figure 2 :	Position des 11 sites de surveillance avec leurs gouttières et citernes responsables de la récolte d'eau de ruissellement à 0, 3 et 6 m sur l'autoroute Jean Lesage en direction Est.....	15
Figure 3 :	Principales caractéristiques du système de collecte d'eau.....	16
Figure 4 :	Zone préservée pour l'échantillonnage de la végétation et la récolte de biomasse le long de la pente du talus.....	19
Figure 5 :	Position des quadrats de végétation liée à l'échantillonnage de biomasse et de la biodiversité végétale	21
Figure 6 :	Mise en place des quadrats pour l'échantillonnage de la biodiversité végétale.....	22

Liste des figures (suite)

Figure 7 :	Situation météorologique du 11 novembre 2020 illustrant le passage d'un orage venant de l'Ouest qui diverge de sa trajectoire et contourne ainsi le site d'étude.....	25
Figure 8 :	Comparaison des températures moyennes et précipitations mensuelles observées dans la région de Montréal au cours de la saison estivale de 2020 par rapport aux moyennes établies sur 30 ans (Gouvernement du Canada, 2021).....	26
Figure 9 :	Distribution des volumes récoltés en 2019 et 2020 à 0 m, 3 m et 6 m de la chaussée pour des événements sans analyse (Rain) et avec analyses (Event).	27
Figure 10 :	Distribution moyenne des espèces observées le long de la pente du talus autoroutier en juin et septembre 2019-2020 pour les stations associées aux traitements d'entretien minimum (n=5) et maximum (n=5).....	30
Figure 11 :	Distribution moyenne des espèces observées le long de la pente du talus autoroutier en juin et septembre 2019-2020 pour les stations associées aux traitements d'entretien habituel (n=1).....	31
Figure 12 :	Recouvrement des principales espèces observées en juin et septembre 2019-2020 au sein des bandes filtrantes de 3 m et 6 m pour les stations associées aux 3 types de traitements.....	34
Figure 13 :	Recouvrements moyens des divers groupes fonctionnels observés en juin et septembre 2019-2020 au sein des bandes filtrantes de 3 m et 6 m pour les stations associées aux 3 types de traitements.....	35
Figure 14 :	Hauteurs de la végétation observées en juin et septembre 2019-2020 sur les bandes filtrantes de 3 m et 6 m pour les stations associées aux traitements minimum et maximum.....	37
Figure 15 :	Densités de la végétation observées en juillet et septembre 2020 sur les bandes filtrantes de 3 m et 6 m pour les stations associées aux traitements minimum et maximum.....	38
Figure 16 :	Comparaison des quantités de précipitations (mm) avec les volumes de ruissellement moyens des jours d'évènements pluvieux sur les stations avec entretien minimum et maximum : 0m - ruissellement autoroutier ; 3m - ruissellement collecté à 3 mètres sur la bande filtrante végétalisée ; 6m - ruissellement collecté à 6 mètres sur la bande filtrante végétalisée.....	39
Figure 17 :	Comparaison du volume moyen de ruissellement autoroutier (0 m) et du ruissellement collecté au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.....	40
Figure 18 :	Comparaison du pH et de la conductivité électrique moyens (2019-2020) liés à l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.....	43
Figure 19 :	Conductivité électrique (EC) moyenne observée en 2020 pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.....	43

Liste des figures (suite)

Figure 20 :	La quantité de matières en suspension (TSS) moyenne (2019-2020) pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.....	44
Figure 21 :	Comparaison des valeurs moyennes des polluants organiques (2019-2020) pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.....	45
Figure 22 :	Comparaison des valeurs moyennes des polluants métalliques (2019-2020) pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.....	46
Figure 23 :	Comparaison des valeurs moyennes des paramètres associés aux sels de déglacage de 2020 pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.....	47
Figure 24 :	Comparaison des valeurs moyennes (2019-2020) des paramètres associés aux nutriments pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.	49

Introduction

La problématique de la qualité de l'eau de ruissellement provenant des routes sur l'environnement s'est aggravée avec l'augmentation de l'urbanisation. Pour la gestion durable des eaux pluviales, l'utilisation de certaines pratiques de gestion optimale (PGO) est aujourd'hui préconisée pour les bordures d'autoroutes (Higgins et coll., 2016). Les méthodes phytotechnologiques de gestion et de traitement des eaux de ruissellement des routes sont les marais filtrants et les bassins de rétention, ou de contrôle à la source comme les bandes filtrantes ou les noues (Boger et coll., 2018; Higgins et coll., 2016; Leroy et coll., 2016; Stagge et coll., 2012). Cependant, seul un faible pourcentage des routes à travers le monde est équipé de ces systèmes spéciaux de gestion du ruissellement. Au Québec, certaines pratiques de gestion optimales des eaux pluviales sont aujourd'hui préconisées pour les bordures d'autoroutes. Il peut s'agir de PGO de contrôle en réseau et à la sortie des émissaires comme les marais filtrants et les bassins de rétention ou de contrôle à la source comme les bandes filtrantes. Toutefois, des mesures précises de l'impact de l'implantation de ces PGO en bordure d'autoroute sur la qualité de l'eau ne sont pas disponibles pour le Québec ou exigeraient des études additionnelles.

Au Canada comme ailleurs, les routes sont typiquement bordées de talus et de fossés végétalisés. Une étude de l'Université de la Virginie pour le compte du Département du Transport de cet état a démontré les bénéfices apportés par cette bande de végétation comprise entre la chaussée et le fossé, avec ou sans entretien (Henderson et coll., 2016). Selon cette étude, ces bandes de végétation agissent comme des PGO et la gestion de la végétation des bords de route a un impact significatif sur la réduction du débit de pointe et l'élimination des polluants. Cependant, sous nos latitudes, le rôle de la bande végétalisée dans la gestion du ruissellement et l'atténuation de la pollution, ainsi que les approches pour améliorer leurs performances, demeurent peu connus.

Le Ministère des Transports du Québec a octroyé une subvention de recherche à l'IRBV pour mieux documenter ce phénomène, en accord avec la Stratégie gouvernementale de développement durable visant une réduction des impacts sur les communautés en périphérie des emprises routières et les milieux naturels. Le projet de recherche actuel vise à: (1) mesurer l'effet des bandes végétalisées existantes en bordure d'autoroute sur la réduction des volumes et la qualité des eaux de ruissellement (performances) avant leur entrée dans le système de drainage autoroutier; (2) mesurer l'effet de l'entretien de la végétation sur la performance des bandes

végétalisées et (3) proposer des pratiques d'entretien et de gestion durable des routes en conditions climatiques froides.

Le présent rapport décrit d'abord la méthodologie appliquée dans le cadre de la caractérisation de la végétation et l'échantillonnage de l'eau de ruissellement au cours des saisons estivales 2019 et 2020. Par la suite, il fait état des résultats obtenus à l'égard du type de végétation qui caractérise les bandes végétalisées ainsi que la qualité et les volumes d'eau récoltés lors d'évènements de pluies observées. Ces résultats sont ensuite discutés en fonction des trois objectifs de recherche. Enfin, des pratiques d'entretien et de gestion durable des routes en conditions climatiques froides sont proposées.

Après une brève conclusion, le rapport présente une série d'annexes concernant des informations comme la liste d'activités réalisées, avec photos, des résultats additionnels non présentés dans le corps du rapport, une liste des activités de transfert de connaissance, etc.

1. Méthodologie

Au printemps 2019, 11 structures de collecte des eaux de ruissellement ont été construites sur un talus végétalisé localisé au sud de l'autoroute Jean-Lesage (A20), près du kilomètre 103, dans le secteur de Sainte-Julie (**Figure 1**). Le profil de ce segment de tronçon est relativement représentatif de la majorité des autoroutes du Québec. Le trafic annuel moyen sur ce tronçon est de 91 000 véhicules par jour. La conception et le dimensionnement des systèmes de collecte ont été fondés sur les conditions du site d'étude (**Annexe 2**), les précipitations locales moyennes et les volumes présumés de ruissellement provenant des différentes composantes autoroutières, c'est-à-dire de la route pavée et du talus végétalisé (Centa, 2018; Shete et coll., 2019).

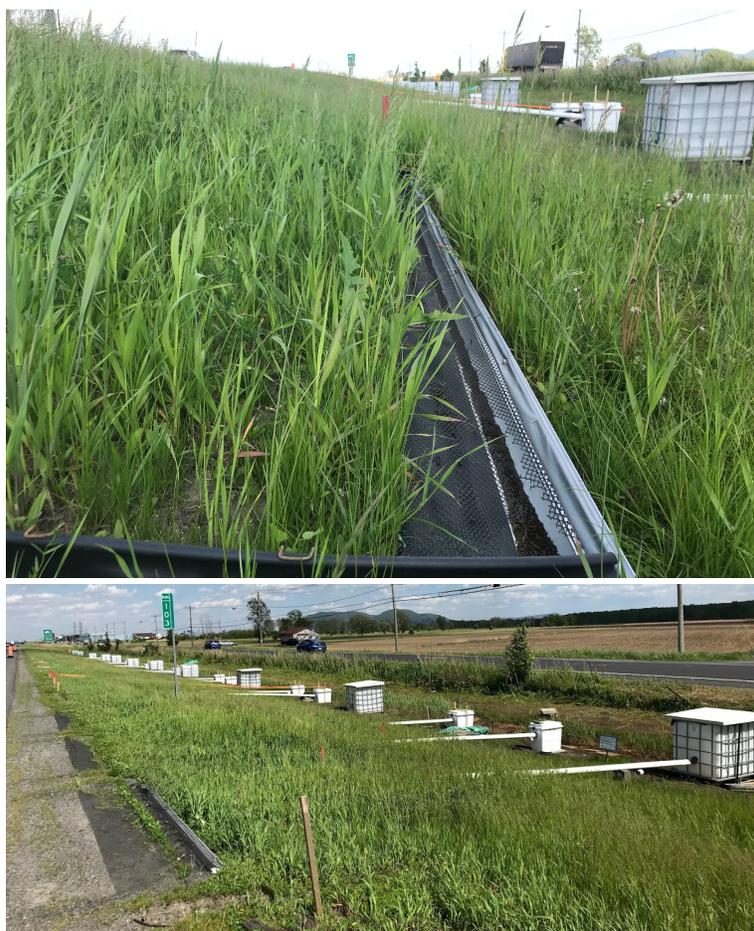


Figure 1. Total de 11 sites de récolte d'eau de ruissellement routier avec des gouttières et des réservoirs de collecte d'eau, et une vue d'une gouttière de 3 mètres de long implantée sur la pente.

1.1 Identification des traitements selon le type de gestion de la végétation

Sur les 11 sites de récolte d'eau (Figure 2), divers modes de gestion de la végétation ou traitements sont appliqués (Tableau 1) selon un calendrier d'interventions qui suit celui du Ministère des Transports. En 2019 et 2020, les trois coupes effectuées hors dispositif par le MTQ ont généralement été réalisées à la fin mai, début juillet et à la fin septembre. En raison de la mise en place de notre dispositif en 2019, nos interventions de coupe au moyen d'une tondeuse ont été légèrement décalées en début de saison. Les deux principaux traitements (minimum et maximum) comportent 5 réplicats chacun et ont été attribués aléatoirement entre les sites S2 à S11. La hauteur de la végétation a été gérée selon des pratiques de gestion réelles qui se traduisent par une coupe à 10 cm de hauteur du sol du couvert végétal, et les débris végétaux ont été laissés sur les pentes.

Tableau 1 : Description des traitements appliqués sur les sites de récolte d'eau

Zone échantillonnage ¹	Traitement	Description du type de gestion de la végétation	Sites ²
Bande filtrante	Entretien minimum	3 tontes par année sur une bande de 2 m du bord de la chaussée pour les gouttières situées à 3 m et 6 m	S2, S5, S7, S8, S11
	Entretien maximum	3 tontes par année sur une bande complète du bord de la chaussée jusqu'aux gouttières situées à 3 m et 6 m	S3, S4, S6, S9, S10
	Entretien habituel	3 tontes par année sur bande de 3 m du bord de la chaussée pour les gouttières situées à 3 m et 6 m	S1
Pente complète (talus)	Entretien minimum	3 tontes par année sur une bande de 2 m à partir du bord de la chaussée	S2, S5, S7, S8, S11
	Entretien maximum	3 tontes par année sur une bande complète du bord de la chaussée jusqu'au fossé	S3, S4, S6, S9, S10
	Entretien habituel	3 tontes par année sur bande de 3 m du bord de la chaussée	S1

¹ La localisation des quadrats d'échantillonnage est représentée à la figure 5.

² Nombre de réplicats pour chacun des traitements.

1.2 Description du système de collecte d'eau de ruissellement

Chaque site de récolte comprend trois systèmes de collecte avec gouttières, qui sont constituées de tuyaux PVC de 10 cm de diamètre et de 3 m de long, destinés à capter les eaux de ruissellement dans trois réservoirs. Ces réservoirs sont pourvus d'un dispositif anti-refoulement afin d'éviter le reflux des eaux de ruissellement vers les gouttières lorsque les réservoirs sont pleins. Les gouttières sont placées à un mètre d'intervalle et à trois hauteurs différentes sur les

pententes de la route végétalisée, soit 0 m, 3 m et 6 m à partir du bord de l'accotement (**Figure 3**). Pour s'assurer qu'elles captent un volume d'eau sur un segment de 3 mètres et qu'elles n'interfèrent pas les unes avec les autres, de petits monticules de gravier fin ont été mis en place à chaque extrémité de la zone de captation. De plus, le ruissellement des inter-zones de l'accotement a été redirigé avec de petites tranchées sur la pente à l'extérieur des sections de gouttière de 3 mètres de large. Des tests préliminaires sur le site pilote en 2018 ont fourni les informations nécessaires pour le dimensionnement des réservoirs de collecte afin de recevoir un maximum de 670 L à partir de 0 m, et 165 L à partir de gouttières de 3 m et 6 m. Des réservoirs ayant une capacité maximale de 1000 L ont été connectés aux gouttières à 0 m alors que celles à 3 m et 6 m ont été connectés à des réservoirs ayant une capacité volumique de 180 L.

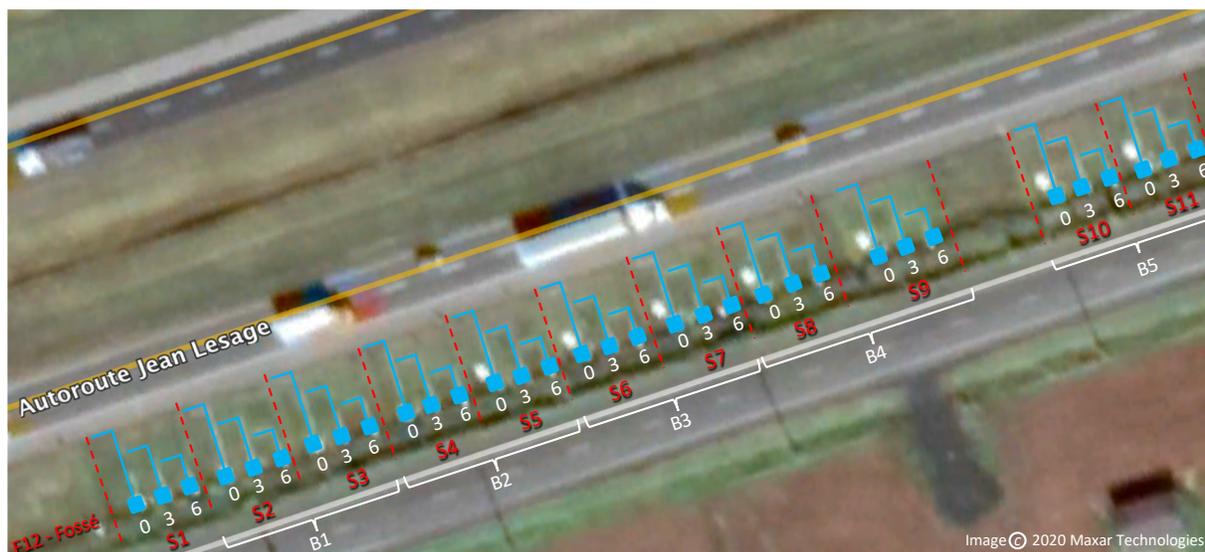


Figure 2. Position des 11 sites de surveillance avec leurs gouttières et citernes responsables de la récolte d'eau de ruissellement à 0, 3 et 6 m sur l'autoroute Jean Lesage en direction Est.

1.3 Évaluation des volumes et l'analyse de l'eau

Les tests préliminaires ont permis de constater que seuls des évènements majeurs de pluie permettent d'obtenir un volume d'eau suffisant pour l'analyse à 6m de distance de la chaussée. Un évènement de pluie majeur réfère à des précipitations importantes qui se déroulent sur une courte période de temps (plus de 20 mm/heure). Cette intensité élevée de précipitation est aussi nécessaire puisqu'elle permet le lessivage des polluants s'étant accumulés sur la chaussée et sur la bande végétalisée qui borde les gouttières.

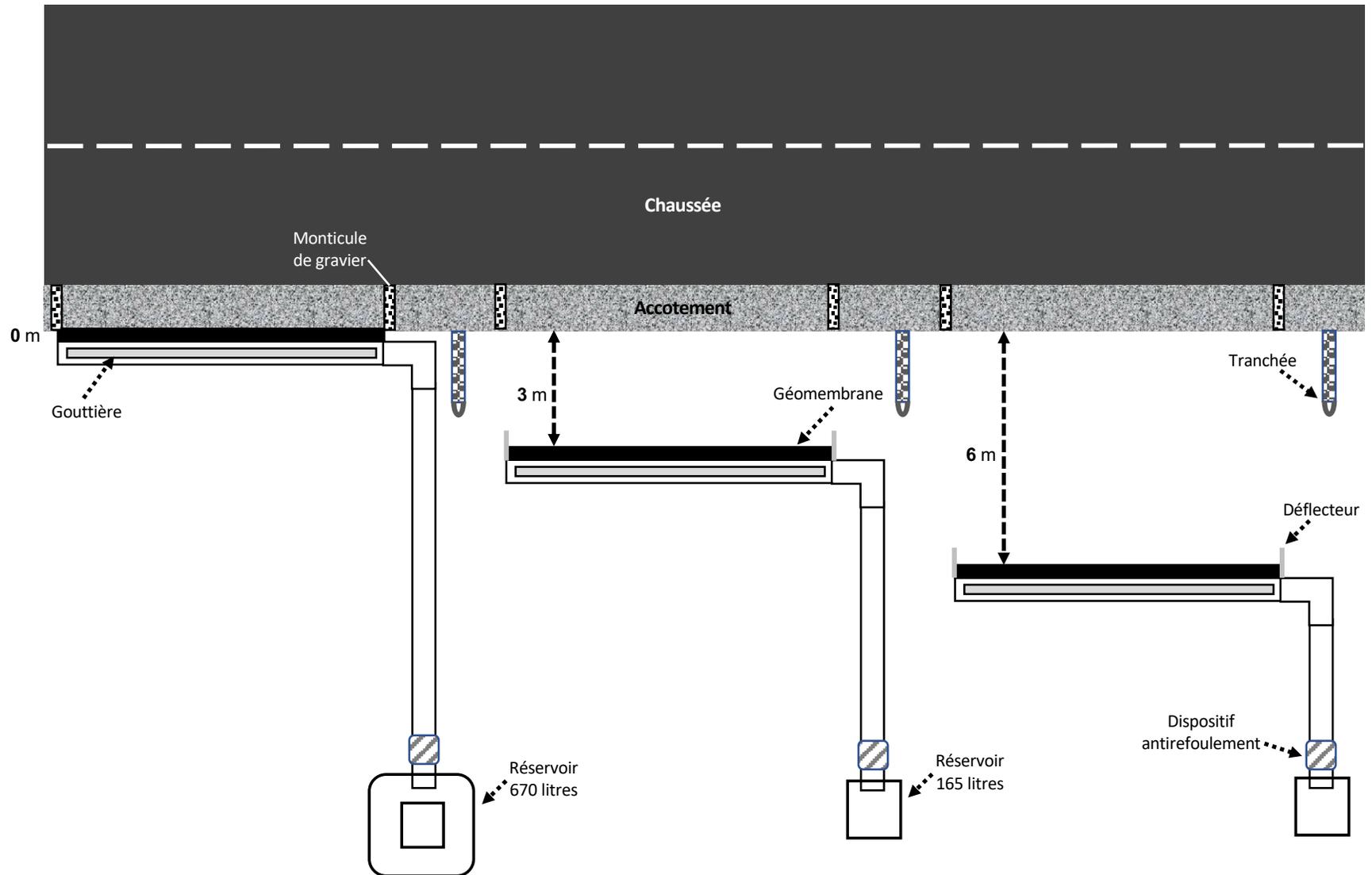


Figure 3. Principales caractéristiques du système de collecte d'eau.

Pour prévoir le passage de précipitations d'un niveau d'intensité élevé, nous consultons diverses sources d'information de façon régulière (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Sources consultées pour prévoir le passage des évènements de pluie majeurs

Source	Types
Météo Média	- Utilisation de l'alarme pour cellulaire pour les villes situées au NO du site - Analyse du déplacement des systèmes à l'aide de la fonction : Radar Météo
Environnement Canada	- Examen des prévisions météorologiques
Station météo Phytozone	- Utilisation des données météorologiques de la station et des alarmes

Avant de procéder à l'échantillonnage, plusieurs étapes doivent être réalisées afin de s'assurer de l'uniformité de la collecte d'eau entre les sites (**Annexe 3**). La plupart de ces étapes doivent être effectuées avant le début de l'évènement de pluie (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Procédure suivie avant l'échantillonnage des eaux de ruissellement lié à un évènement de pluie majeur

Étapes	Description des activités
1.	Effectuer les tontes selon le calendrier de gestion de la végétation prévu pour les différents traitements. Au moment de la tonte, s'assurer de couvrir les gouttières d'un contre-plaqué pour limiter l'apport de brins d'herbe dans les gouttières;
2.	Nettoyer les 33 gouttières afin de retirer la poussière, les brins d'herbe et le gravier;
3.	Au niveau de l'accotement, refaire les monticules de part et d'autre de la zone de collecte d'eau, et ce pour chaque gouttière;
4.	Maintenir les petites tranchées qui assurent le drainage vers la pente des zones intersites et limitent l'érosion des monticules;
5.	S'assurer que chacune des citernes est bien propre et que les valves pour vidanger les gros réservoirs sont fermées;
6.	Mettre le dispositif d'anti-refoulement vers le bas et retirer le grillage pour éviter toute accumulation d'eau dans les réservoirs avant la prochaine collecte dédiée à un évènement de pluie majeur;
7.	Analyser les prédictions météorologiques et les données de la station météo afin de déterminer le moment opportun pour remettre en fonction les valves anti-refoulement vers le haut pour permettre la collecte d'eau. Il est important que les valves soient placées selon un angle qui limite le refoulement vers la gouttière;
8.	Avant l'évènement de pluie, avoir au moins une série de bouteilles déjà identifiées selon la codification présentée au tableau 2.

Suite à un évènement intense de pluie, nous procédons à l'échantillonnage de l'eau. Les bouteilles d'échantillonnage fournies par le laboratoire agréé doivent être commandées 72 heures à l'avance

et être préalablement identifiées par rapport aux différentes stations d'échantillonnage (**Tableau 4**). Les échantillons d'eau sont recueillis à partir des 33 réservoirs dont le contenu a préalablement été mélangé et homogénéisé à l'aide d'une hélice à malaxer actionnée par une « perceuse » portable. Un 34^e échantillon d'eau (F12) est recueilli au sein du fossé à l'ouest du site (**Figure 3**). Ces échantillons doivent être conservés au froid dans neuf glacières avec des sachets réfrigérants (ice-packs), puis acheminés rapidement au laboratoire agréé, soit en moins de 4 heures à partir du début du processus d'échantillonnage. Pour respecter la période d'échantillonnage, 3 à 4 personnes sont nécessaires pour effectuer la tâche.

Tableau 4 : Codification des 34 stations d'échantillonnage d'eau

Bloc	Traitement	Site	Stations de collecte d'eau		
B1	Entretien habituel	S1	S1-0	S1-3	S1-6
	Entretien minimum	S2	S2-0	S2-3	S2-6
	Entretien maximum	S3	S3-0	S3-3	S3-6
B2	Entretien maximum	S4	S4-0	S4-3	S4-6
	Entretien minimum	S5	S5-0	S5-3	S5-6
B3	Entretien maximum	S6	S6-0	S6-3	S6-6
	Entretien minimum	S7	S7-0	S7-3	S7-6
B4	Entretien minimum	S8	S8-0	S8-3	S8-6
	Entretien maximum	S9	S9-0	S9-3	S9-6
B5	Entretien maximum	S10	S10-0	S10-3	S10-6
	Entretien minimum	S11	S11-0	S11-3	S11-6
		Fossé ¹	F12		

¹ Les données récoltées à la station F12 ne font pas partie de l'analyse de l'impact des traitements mais ont été collectées à titre indicatif pour connaître la qualité de l'eau du fossé (Annexe 8).

Les analyses d'eau sont effectuées dans un laboratoire agréé pour les paramètres suivants : pH, conductivité électrique (CE), matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), carbone organique total (COT), nitrates (NO₃-N), azote Kjeldahl total (TKN), phosphore total (TP), orthophosphates (PO₄-P), huiles et graisses totales et minérales, hydrocarbures (C10-C50), chlorures, Na, K, Ca, Zn, Ni, Cu, Cr, Co, Mn, Pb, Sn, Ag, As, Ba, Mo, Cd.

1.5 Caractérisation de la végétation

La caractérisation de la végétation vise à déterminer les caractéristiques de la bande végétalisée qui borde chacune des gouttières ainsi que sur la pente complète (talus). Cette information permet

d'évaluer l'influence de ces caractéristiques sur la capacité filtrante des bandes végétalisées selon le traitement (modes de gestion de la végétation). Pour effectuer cette caractérisation, nous avons établi deux types d'échantillonnage (**Figure 5**) : un premier type lié à la végétation et à la biomasse qui se distribue sur toute la pente du talus autoroutier, puis un second type lié à la biodiversité végétale qui se distribue le long de la bande filtrante à 3 m et 6 m à partir de la gouttière jusqu'à l'accotement en haut de pente (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Niveau et effort d'échantillonnage de la végétation

Type d'échantillonnage	Longueur du transect	Nb de quadrat (m)	Période échantillonnage
1. Végétation et biomasse	13 m	8	Avant 1 ^{ère} et 2 ^e tonte
2. Biodiversité végétale	3 m	2	Avant 1 ^{ère} et 2 ^e tonte
	6 m	4	Avant 1 ^{ère} et 2 ^e tonte

Les échantillonnages sont réalisés en début et en fin de saison, et ce, avant l'application de la première et la dernière tonte. Pour 2019 et 2020, l'échantillonnage et la récolte de la végétation ont été effectués avant l'application de la seconde coupe puisque la mise en place de l'ensemble du dispositif n'était pas encore complétée à la fin du mois de mai. Les deux types d'échantillonnage ont été effectués au sein de quadrats (25 cm x 25 cm) distribués le long de la pente (**Figure 4**).



Figure 4. Zone préservée pour l'échantillonnage de la végétation et la récolte de biomasse le long de la pente du talus.

1.5.1 Végétation et biomasse

Les différentes variables notées pour ce type d'échantillonnage permettent de caractériser les principales espèces de la biomasse récoltée (**Tableau 6**). Pour les espèces relevées et qui seront suivies, nous déterminons le recouvrement selon les classes suivantes : 0 : 0%, 1 : 1-5%, 2 : 6-10%, 3 : 11-15%, 4 : 15-25%, 5 : 26-50%, 6 : 51-75% et 7 : 76-100%. Nous déterminons également le nombre de tiges pour chacune des espèces relevées (**Figure 4**). Pour déterminer la physionomie de la strate herbacée selon la composition en espèces, nous déterminons la hauteur moyenne des espèces qui dominent la strate à partir de valeurs notées sur le terrain. À l'intérieur des limites de cette surface circonscrite par le quadrat, la biomasse du couvert herbacé est récoltée à l'aide d'un sécateur puis déposée dans un sac de papier identifiant le code du point d'échantillonnage.

Tableau 6 : Localisation des points d'échantillonnage de la végétation et de sa biomasse le long de la pente à partir de l'accotement.

Quadrat (m)	Espèce	Recouvrement (%)	Nb de tige ¹	Hauteur ² (cm)	Biomasse fraîche ³ (g)	Biomasse sèche ⁴ (g)
0,5	X	X	X	X	X	
2,5	X	X	X	X	X	X
4,5	X	X	X	X	X	
5,5	X	X	X	X	X	X
6,5	X	X	X	X	X	
8,5	X	X	X	X	X	
10,5	X	X	X	X	X	X
12,5	X	X	X	X	X	

¹ Nombre de tiges de toutes les espèces relevées.

² Hauteur moyenne des espèces les plus représentatives de la physionomie de la végétation.

³ Biomasse fraîche pesée directement sur le terrain.

⁴ La biomasse de certains échantillons est séchée dans un séchoir à l'IRBV afin d'estimer la biomasse sèche des autres quadrats.

La biomasse fraîche de chaque surface d'échantillonnage (0,0625 m²) est pesée sur le terrain. Un sous-échantillon de cette biomasse récolté à 2,5 m; 5,5 m et 10,5 m est ramené au laboratoire de recherche pour être séché. Les valeurs de ces échantillons de biomasse sèche sont ensuite utilisées afin d'estimer les autres échantillons.

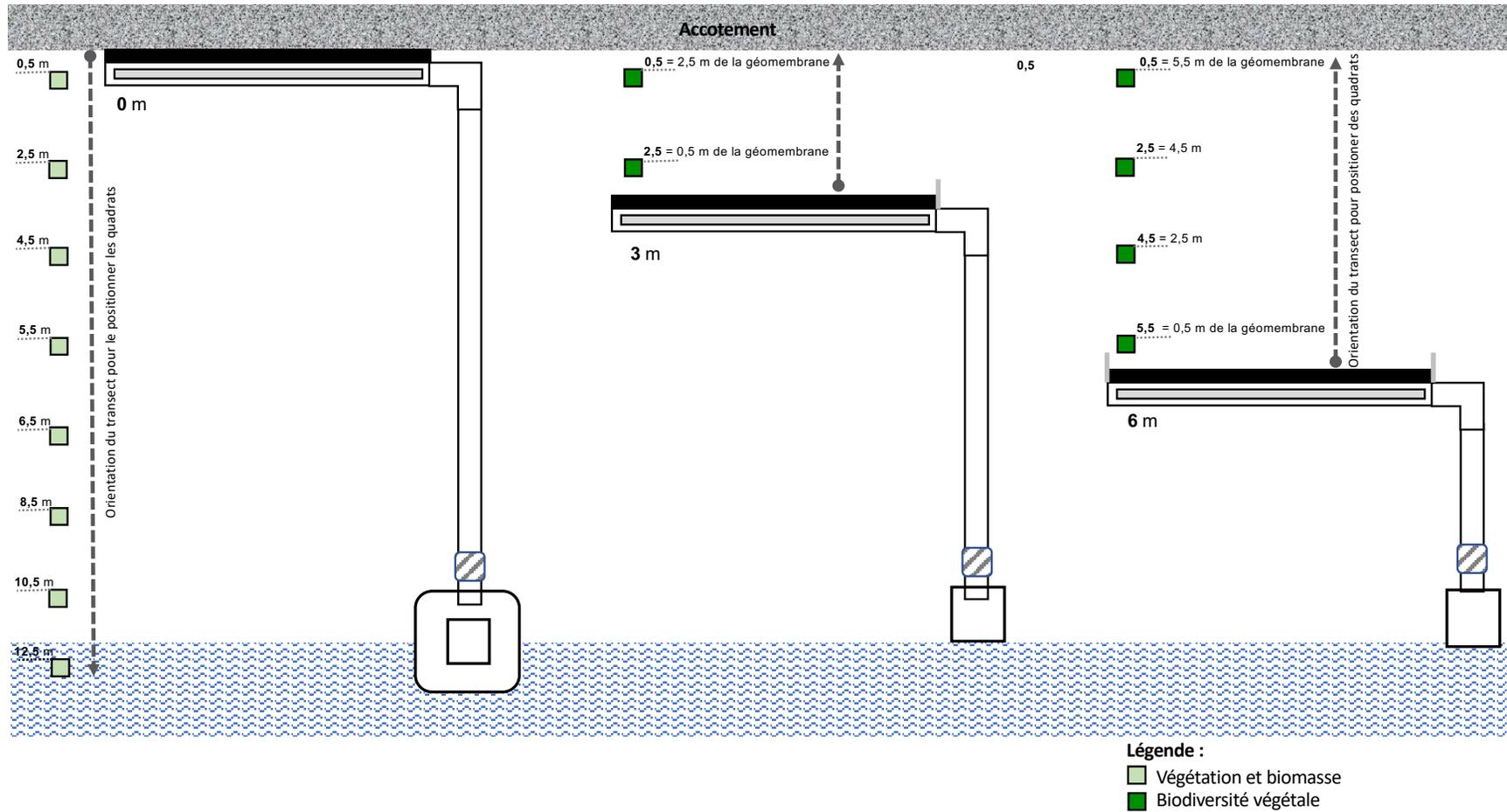


Figure 5. Position des quadrats pour l'échantillonnage de la biomasse et de la biodiversité végétale.

1.5.2 Diversité végétale

Les différentes variables notées pour ce type d'échantillonnage sont similaires à celles de la section précédente à l'exception de la récolte de la biomasse. Toutefois, le relevé des espèces présentes est exhaustif afin de déterminer la diversité des espèces observées au sein de la bande filtrante. Les tiges sont dénombrées pour la totalité des espèces notées, mais l'estimation de la hauteur moyenne se limite aux quelques espèces qui dominent le couvert herbacé. Soulignons que, pour ce type d'échantillonnage, le transect d'échantillonnage de la végétation est orienté vers le haut de la pente en allant de la géomembrane jusqu'à l'accotement afin d'uniformiser la distance des quadrats par rapport aux gouttières ([Figure 5 et 6](#)).

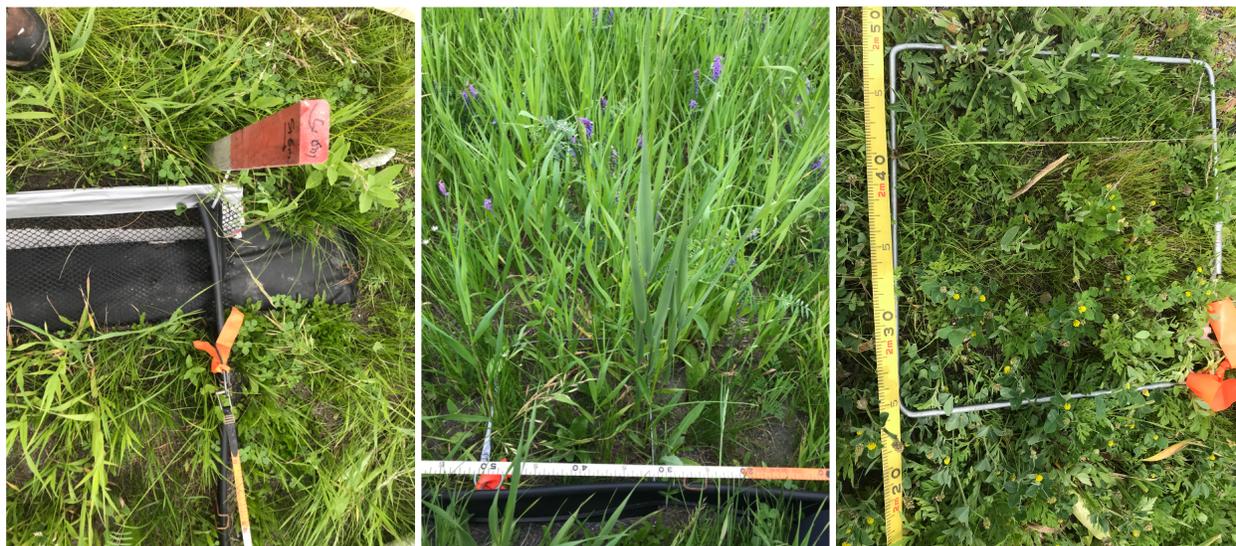


Figure 6. Mise en place des quadrats pour l'échantillonnage de la diversité végétale.

1.4 Traitement et analyse des données

Les données de végétation ont été traitées de manière à tracer un portrait de la composition et des caractéristiques de la végétation qui colonise le talus autoroutier selon les stations associées aux divers traitements. Ces résultats sont des valeurs moyennes obtenues à partir des données récoltées pour l'année 2019 et 2020 pour chaque période d'échantillonnage réalisée avant les tontes de juin et septembre.

Pour les données relatives à la qualité de l'eau, des analyses statistiques ont été effectuées dans R 3.6.2 avec « *nlme package* » (3.1-142) à partir des résultats obtenus en 2019 et 2020. Un modèle mixte linéaire a été utilisé pour déterminer les différences de réduction du volume et d'élimination de la pollution. Les effets fixes étaient le type de gestion, l'emplacement de la gouttière, le nombre d'évènements et la quantité de précipitations. Les données ont été imbriquées par site, puis par gouttière (interceptions aléatoires). Nous avons également testé si une autocorrélation entre les évènements d'échantillonnage était présente. Dans le cas où les résidus du modèle n'étaient pas normalement distribués, le modèle a été revérifié avec le package « *robustlmm* » (2.3) qui montrait une bonne concordance avec le résultat du modèle paramétrique précédent.

2. Résultats

Cette section des résultats se divise en 4 grandes sous-sections. Une première trace un portrait des conditions météorologiques des saisons 2019 et 2020 ainsi que des volumes d'eau récoltés. Une seconde présente une caractérisation de la végétation suite aux échantillonnages de la végétation et de la biomasse sur toute la pente du talus entre 2019 et 2020. La troisième section vise à décrire plus spécifiquement la bande végétalisée filtrante qui borde les gouttières, alors que la quatrième section trace un bref portrait de l'effet des traitements sur la qualité de l'eau.

2.1 Portrait des conditions météorologiques 2019-2020 et du type d'évènement de pluie récolté.

Le site à l'étude est localisé au sud de l'autoroute 20 au niveau du kilomètre 103 sur le territoire de la Ville de Ste-Julie. La mise en place des 33 réservoirs a été complétée vers la mi-juillet 2019, ce qui explique que la récolte de pluie d'intensité élevée a débuté au mois d'août 2019 ([Tableau 7](#)). L'analyse du déplacement des systèmes orageux, qui proviennent des images radars d'Environnement Canada, nous a emmenés à nous déplacer à plusieurs reprises sur le site d'étude pour ouvrir les réservoirs afin de récolter de l'eau.

Tableau 7 : Dates d'échantillonnage, périodes de pluie associée et quantité de précipitation enregistrée par la station météorologique de l'IRBV localisée sur le toit de chez Novatec.

Saison 2019	Rain A	Rain B	Event 1	Event 2	Event 3	Event 4	Event 5
Date d'échantillonnage	29.08.19	11.09.19	07.10.19	18.10.19	23.10.19	28.10.19	01.11.19
Volumes	x	x	x	x	x	x	x
Analyses chimiques			x	x	x	x	x
Période de pluie	28/08/19 12:34 à 20:38	10/09/19 18:18 to 11/09/19 05:04	07/10/19 04:32 to 11:30	16/10/19 20:18 to 17/10/19 23:48	22/10/19 18:46 to 23/10/19 06:06	27/10/19 12:24 to 22:23	31/10/19 14:23 to 01/11/19 05:30
Précipitation station météo-IRBV (mm)	10,0	2,6	9,6	43,0	20,4	17,0	51,2

Saison 2020	Rain A	Rain B	Rain C	Event 1	Event 2	Event 3
Date d'échantillonnage	29-06-2020	17-07-2020	24-08-2020	03-08-2020	30-08-2020	01-12-2020
Mesures Volumes	x	x	x	x	x	x
Mesures Analyses chimiques				x	x	x
Période de pluie	28/06/2020 21:11 à 21:39	17/07/2020 6:00 à 6:34 et 7:00 à 9:25	24/08/2020 6:40 à 9:09 et 9:27 à 10:02	02/08/2020 20:43 à 21:48 et 22:09 à 23:03	29/08/2020 8:16 à 10:59 11:09 à 13:36 13:51 à 14:29 16:18 à 17:53 19:57 à 20:34 21:14 à 21:44	30/11/2020 15:30 à 17:56 01/12/2020 00:13 à 00:48
Précipitation station météo-IRBV (mm)	4,8	27,2	9,6	33,2	29,6	14,6

Toutefois, pour des raisons inconnues plusieurs systèmes orageux provenant de l'Ouest ont divergé de leur trajectoire pour passer au sud du Mont Saint-Bruno ([Figure 7](#)), qui est situé à moins de 3 km de notre site d'étude. Pour ces raisons, nous n'avons pu récolter que 7 évènements

de pluie en 2019 dont 5 ont été analysés alors que pour 2020, 6 évènements ont été récoltés dont seuls 3 évènements présentaient suffisamment d'eau pour procéder aux analyses de qualité de l'eau ([Annexe 4](#)).



Figure 7 : Situation météorologique du 11 novembre 2020 illustrant le passage d'un orage venant de l'ouest qui diverge de sa trajectoire et contourne ainsi le site d'étude.

Les accumulations de pluie enregistrées par la station météorologique ont varié selon les évènements ([Tableau 7](#)). L'intensité de la pluie soit sa hauteur, mais aussi sa durée semble le facteur le plus déterminant pour accumuler de l'eau au sein des réservoirs. La période de sécheresse du mois de mai et juin 2020 n'a pas permis de récolter de l'eau au printemps ([Figure 8](#)).

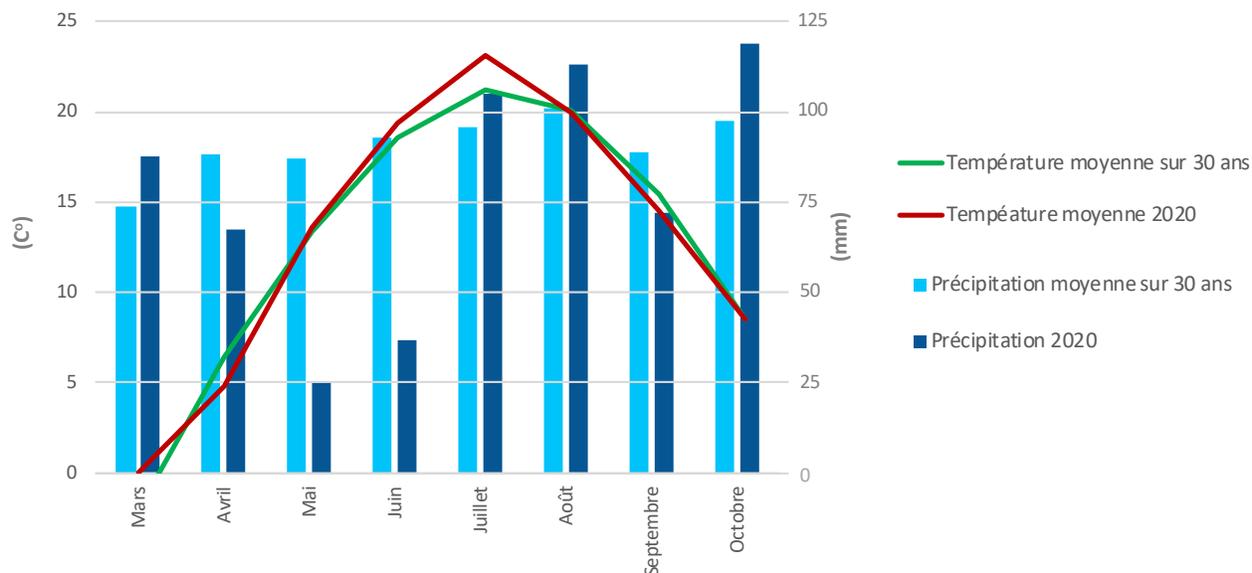


Figure 8 : Comparaison des températures moyennes et précipitations mensuelles observées dans la région de Montréal au cours de la saison estivale de 2020 par rapport aux moyennes établies sur 30 ans (Gouvernement du Canada, 2021).

La figure 9 indique que des faibles volumes de précipitations (Rain, A, B ou C) provenant de la chaussée (0 m) ne permettent pas d'accumuler suffisamment d'eau au sein des réservoirs liés aux bandes filtrantes localisées à 3 m et 6 m en raison de la faible intensité de la pluie, laquelle occasionne l'infiltration de l'eau dans le sol, et ce, indépendamment du traitement. Rappelons que indépendamment des volumes récoltés, l'eau analysée (Event, 1, 2, 3, 4 ou 5) provient d'évènements d'intensité élevée de précipitation puisqu'ils permettent le lessivage des polluants s'étant accumulés sur la chaussée et sur la bande végétalisée qui borde les gouttières.

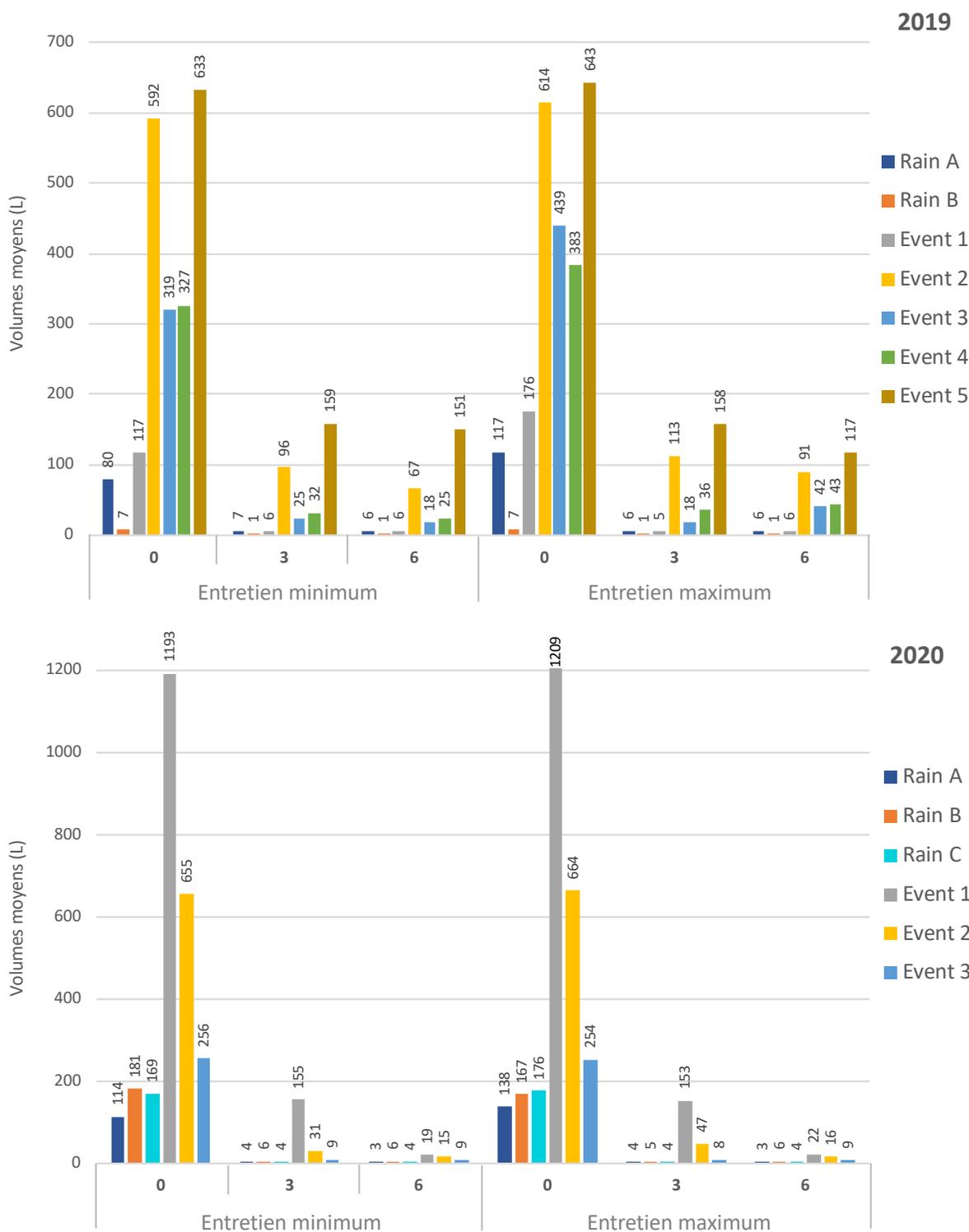


Figure 9 : Distribution des volumes récoltés en 2019 et 2020 à 0 m, 3 m et 6 m de la chaussée pour des évènements sans analyse (Rain) et avec analyses (Event).

2.2 Caractérisation végétale de la pente du talus autoroutier.

Cette première sous-section vise principalement à décrire les caractéristiques de la végétation qui colonise le talus autoroutier sur une longueur de 12,5 m à partir de la chaussée jusqu'au fossé (**Figure 10 et 11**). Une caractérisation physique sommaire de la zone d'étude nous indique que la pente autoroutière est en moyenne d'une longueur de 11,9 m avec une inclinaison $8,7^{\circ}$ (**Annexe 2**). La profondeur moyenne du sol arable (terre meuble) en haut de pente (1 à 4 m), à mi-pente (5 à 8 m) et en bas de pente (9 à 12 m) se situe respectivement à 12,2 cm, 19,1 cm, 19,3 cm et plus. La présence de gravier est généralement plus abondante en haut de pente alors qu'à partir de la mi-pente le gravier est généralement plus grossier et se retrouve plus en profondeur.

2.2.1 Distribution de composition floristique sur le talus autoroutier

De façon générale, la composition en espèce du talus regroupe environ une cinquantaine d'espèces (**Annexe 5**) et leur distribution varie le long de la pente du talus (haut, milieu, bas). Le niveau de perturbation, la pierrosité et l'humidité du sol (proximité du fossé) semblent être les principaux facteurs qui influencent leur distribution.

La végétation en haut de talus (0,5 m), qui est juxtaposée à la zone graveleuse de l'accotement, est différente du reste de la pente. Soumise aux épandages de sel et de gravier en période hivernale, cette portion du talus semble se caractériser par un sol graveleux, compact, faible en matière organique, peu fertile et riche en calcaire (lié au gravier). Sur ce milieu perturbé, nous retrouvons fréquemment des espèces bien adaptées à ce type de conditions édaphiques comme la luzerne lupuline (*Medicago lupulina*), la petite herbe à poux (*Ambrosia artemisifolia*), le chiendent commun (*Elymus repens*) et la potentille ansérine (*Potentilla anserina*). La carotte sauvage (*Daucus carota*) et la renouée des oiseaux (*Polygonum aviculare*) sont également d'autres espèces susceptibles d'être observées sur cette portion perturbée du talus (Debost et coll. 2013). En fin de saison, certaines annuelles comme la sétaire glauque (*Setaria glauca*), coloniseront également ce type de milieu perturbé, notamment pour le traitement maximum.

Le milieu de la pente (2,5 m à 6,5 m) est dominé par les graminées qui cumulent généralement plus de 50% de la couverture sur ce segment de pente. Les espèces les plus abondantes et les plus fréquemment observées sont la fétuque rouge (*Festuca rubra*) et le brome inerme (*Bromus*

inermis). Quoique beaucoup moins abondants, le chiendent commun et le genre *Poa* (pâturin) sont aussi observés sur ce segment du talus. L'application d'un entretien minimum, qui est limité au haut de talus, semble favoriser la progression du couvert de graminées.

Le bas de la pente, qui est localisé entre 8,5 m et 12,5 m de la bordure de la chaussée, se caractérise par un sol plus humide et saturé en eau à 12,5 m (fossé). Ce segment de la pente est largement colonisé par des espèces de milieux humides comme le jonc de Gérard (*Juncus gerardi*), la renoncule cymbalaire (*Halerpestes cymbalaria*) et le roseau commun (*Phragmites australis*). Le roseau commun se retrouve généralement plus associé au fossé et la progression de sa couverture au sein du fossé et vers le haut du talus est plus importante sur les stations soumises à un entretien minimum. D'autres espèces comme la petite-centaurée délicate (*Centaureum pulchellum*), la salicaire commune (*Lythrum salicaria*), l'agrostide stolonifère (*Agrostis stolonifera*) et du genre *Juncus* (joncs) sont fréquemment observées, mais contribuent plus faiblement à la couverture de cette section du talus.

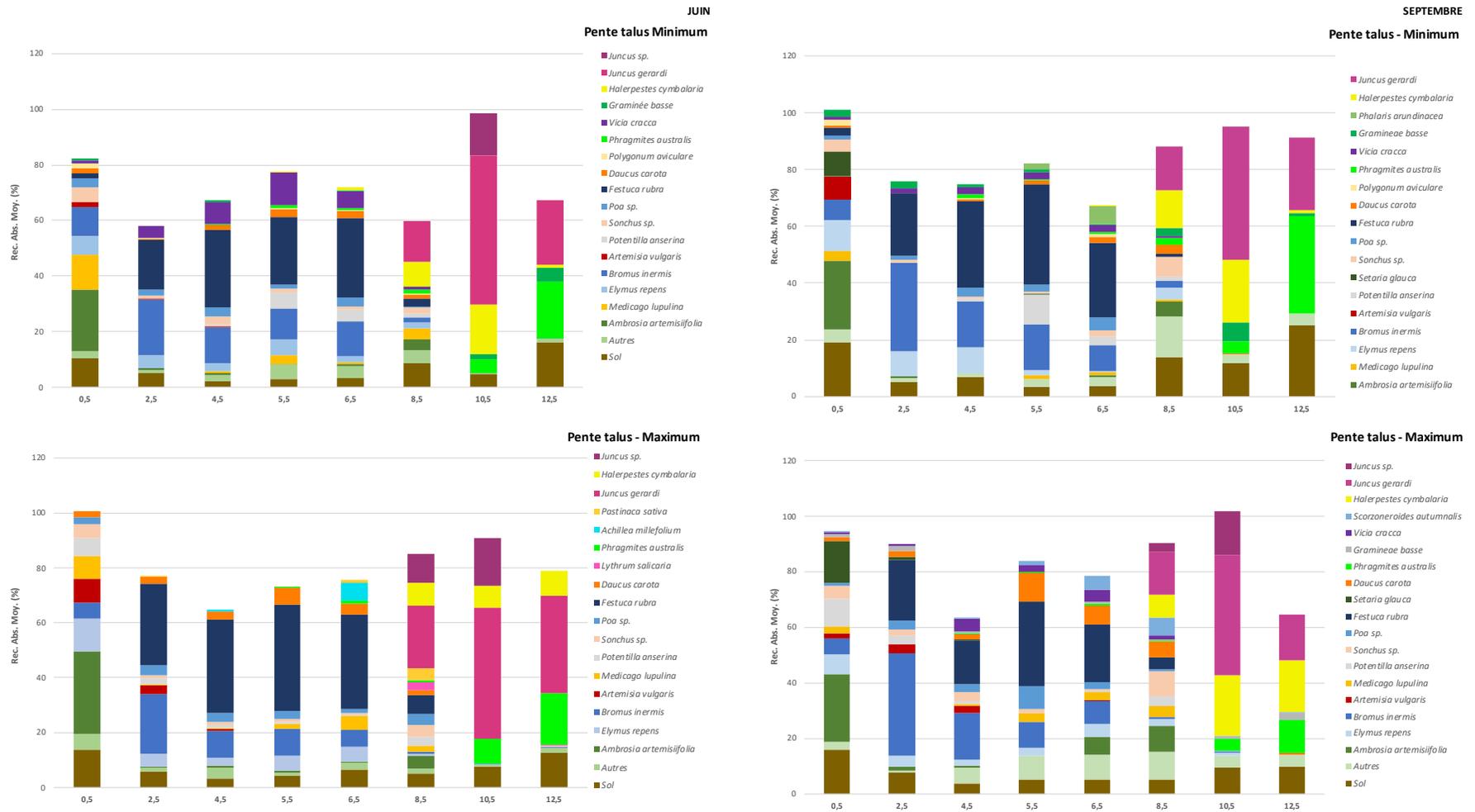


Figure 10. Distribution moyenne des espèces observées le long de la pente du talus autoroutier en juin et septembre 2019-2020 pour les stations associées aux traitements d'entretien minimum (n=5) et maximum (n=5).

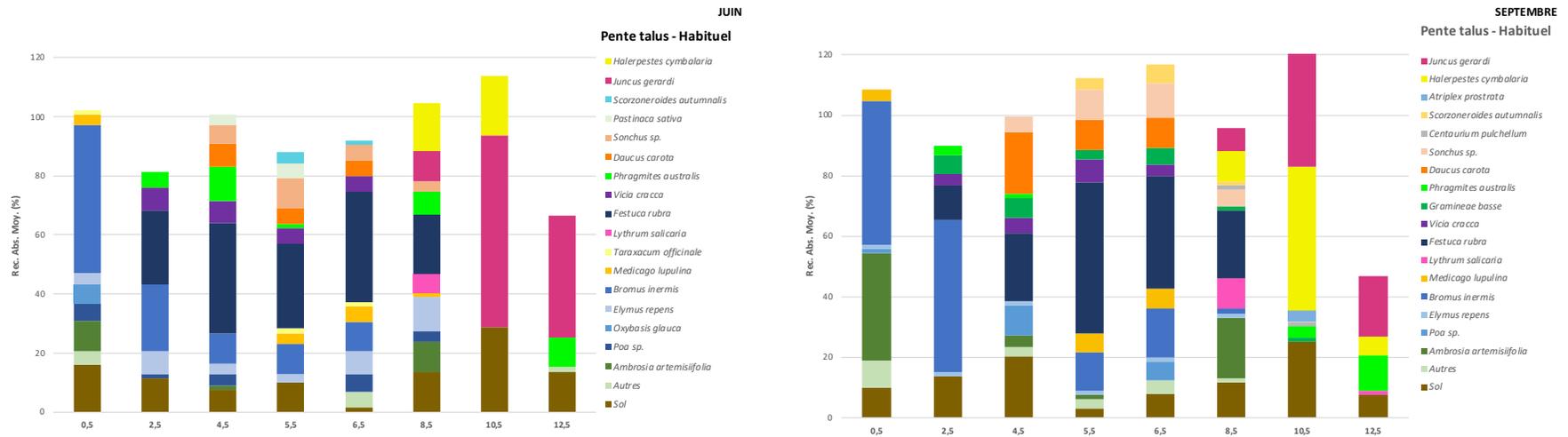


Figure 11. Distribution moyenne des espèces observées le long de la pente du talus autoroutier en juin et septembre 2019-2020 pour les stations associées au traitement d'entretien habituel (n=1).

2.2.2 Caractérisation de la végétation selon la densité, la hauteur et la biomasse

Les caractéristiques échantillonnées à diverses positions le long de la pente nous indiquent, tout d'abord, que la densité moyenne de tiges, à l'exception du haut de talus, semble généralement augmenter après l'application des différents traitements de fauche (**Tableau 8**). Cette augmentation de la densité de tiges pourrait être expliquée par la présence d'espèces graminoides comme la fétuque rouge qui tolèrent bien la tonte. Il n'est pas étonnant d'observer que la tonte complète de la pente avec l'application du traitement « maximum » réduisent en moyenne 41% de la hauteur et 31% de la biomasse des espèces du talus. La diminution de cette biomasse est plus importante au niveau du fossé en raison de la présence du roseau.

Tableau 8 : Densité, hauteur et biomasse moyennes observées le long de la pente du talus entre 2019 et 2020.

Traitement	Position	Recouvrement moyen (%)		Densité moyenne (tiges/m ²)		Hauteur moyenne (cm)		Biomasse moyenne (g)	
		Juin	Septembre	Juin	Septembre	Juin	Septembre	Juin	Septembre
Entretien habituel n=1	0,5	86,0	98,5	1112,0	912,0	27,8	16,6	18,5	14,0
	2,5	69,8	76,0	936,0	880,0	40,8	17,0	22,9	6,9
	4,5	93,3	79,3	1888,0	1544,0	32,6	13,8	21,2	11,3
	5,5	78,0	109,3	1768,0	2544,0	21,9	19,3	14,4	15,4
	6,5	90,5	109,0	1704,0	2144,0	9,0	19,9	14,5	17,5
	8,5	90,8	84,3	1960,0	2248,0	20,4	14,6	15,5	14,1
	10,5	85,0	95,5	2184,0	2656,0	17,4	19,0	19,0	10,9
	12,5	52,8	39,3	1136,0	1632,0	35,4	38,6	18,6	16,8
	Moyenne	80,8	86,4	1586,0	1820,0	25,7	19,8	18,1	13,3
Entretien minimum n=5	0,5	71,9	81,7	1676,8	1318,4	23,9	21,8	16,6	20,2
	2,5	52,8	70,7	1422,4	1648,0	43,4	34,1	26,1	23,4
	4,5	65,3	67,7	1731,2	2043,2	42,5	33,1	23,3	22,5
	5,5	74,6	78,8	2030,4	2224	39,7	34,0	23,8	27,5
	6,5	68,6	63,6	1928,0	2230,4	38,8	30,0	18,3	27,9
	8,5	51,0	74,2	2132,8	2497,6	19,9	23,5	13,4	18,8
	10,5	94,0	83,4	3020,8	2777,6	34,3	31,5	32,4	27,2
	12,5	51,0	66,3	1316,8	1388,8	60,3	72,7	36,3	41,7
	Moyenne	66,1	73,3	1907,4	2016,0	37,8	35,1	23,8	26,2
Entretien maximum n=5	0,5	87,8	78,6	1536,0	1131,2	22,6	17,3	16,5	16,3
	2,5	74,2	82,4	1617,6	1596,8	37,8	18,2	23,8	17,1
	4,5	70,2	59,7	1920,0	1764,8	33,2	16,1	21,2	14,8
	5,5	83,3	78,5	1804,0	2249,6	32,3	17,5	22,7	17,9
	6,5	75,9	73,1	1750,4	2020,8	32,1	16,4	20,9	16,6
	8,5	82,2	85,2	1964,8	2587,2	20,2	12,7	18,5	18,3
	10,5	83,3	92,1	2270,4	2870,4	28,8	21,1	30,0	16,3
	12,5	66,5	54,9	1572,8	1496,0	50,9	33,3	39,9	16,8
	Moyenne	77,9	75,5	1804,5	1964,6	32,2	19,1	24,2	16,8

Le traitement « minimum » a un plus faible impact sur la hauteur de la végétation puisque la tonte s'applique seulement aux deux premiers mètres de végétation. Pour ce traitement, on observe généralement une légère progression de la biomasse en septembre.

2.3 Caractérisation de la végétation des bandes filtrantes de 3 m et 6 m

2.3.1 Biodiversité floristique

Le relevé de la biodiversité au sein des bandes filtrantes de 3 m et 6 m nous indique que le nombre moyen d'espèces observées est généralement comparable entre les deux périodes d'échantillonnage, et ce, indépendamment du traitement ([Tableau 9](#)). Pour la bande filtrante de 6 m où l'on se limite à couper à 2 m de la chaussée pour un minimum d'entretien, l'abondance en espèces est légèrement inférieure avec un nombre d'espèces inférieur à 6.

Tableau 9 : Abondance moyenne d'espèces observée en juillet et septembre 2019-2020 selon le traitement.

Traitement	Bande	Abondance moyenne (nb)	
		Juin	Septembre
Entretien minimum	3 m	6,6	6,6
	6 m	5,8	5,4
Entretien maximum	3 m	6,2	6,1
	6 m	7,2	6,0
Entretien habituel	3 m	6,8	6,8
	6 m	7,1	7,3

Bien que le nombre d'espèces demeure relativement similaire pour les différents traitements, la dominance de leur recouvrement varie selon la largeur de la bande filtrante considérée et la période d'échantillonnage. Tout comme pour l'analyse de la distribution de la végétation le long du talus vue précédemment, la bande filtrante de 3 m, qui est plus associée au haut du talus, renferme majoritairement des espèces de milieux perturbés telles que la luzerne lupuline (*Medicago lupulina*), la petite herbe à poux (*Ambrosia artemisifolia*), le chiendent commun (*Elymus repens*) et la renouée des oiseaux (*Polygonum aviculare*) ([Figure 12](#)).

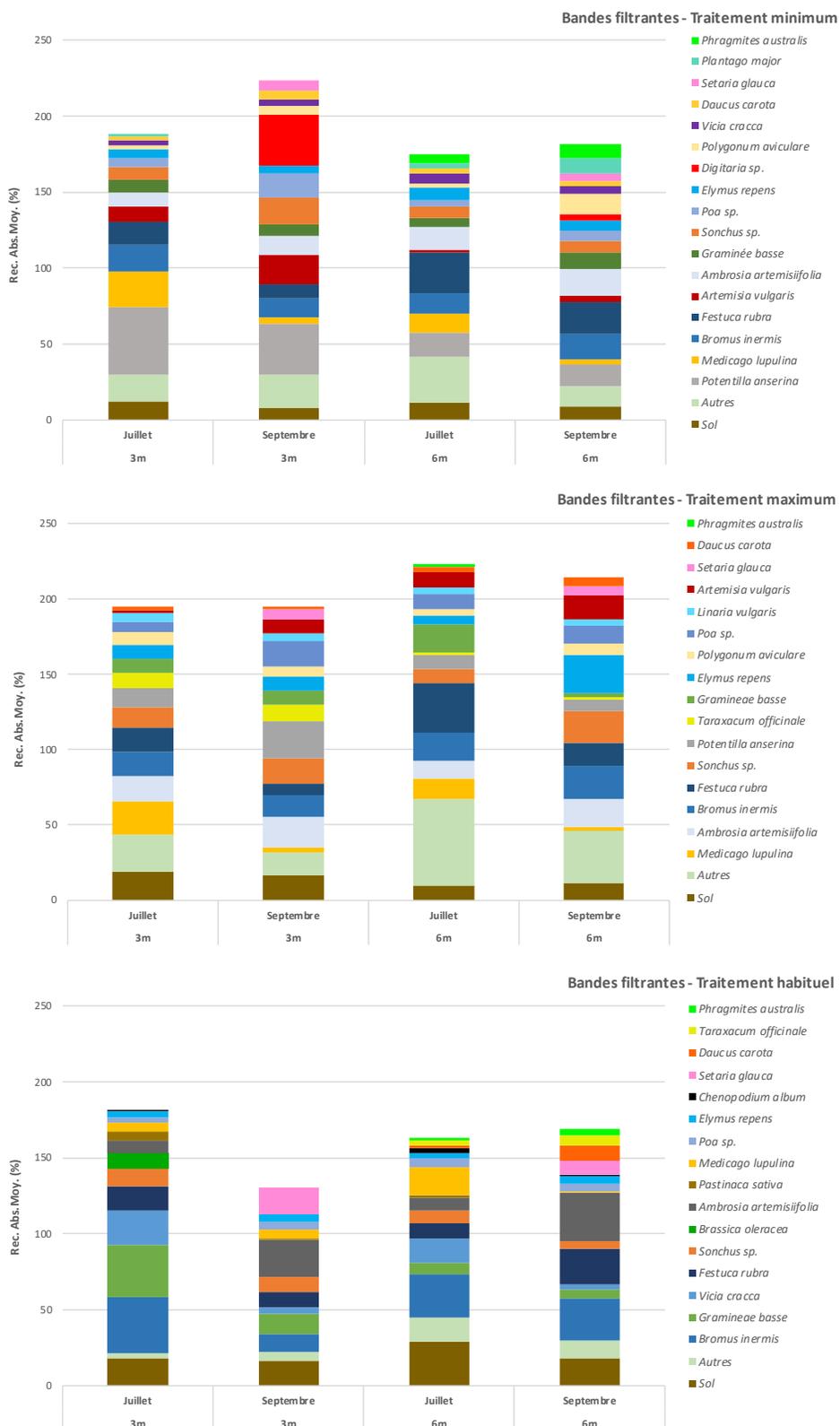


Figure 12. Recouvrement moyen des principales espèces observées en juin et septembre 2019-2020 au sein des bandes filtrantes de 3 m et 6 m pour les stations associées aux 3 types de traitements.

Bien que la bande filtrante de 6 m renferme également ces espèces, celle-ci est dominée par certaines graminées comme la fétuque rouge (*Festuca rubra*) et le brome inerme (*Bromus inermis*). Suite à l'application des différents traitements, nous remarquons que les recouvrements absolus moyens cumulés à 3m et à 6m diminuent.

Lorsque nous regroupons les espèces décrites précédemment sous forme de groupes fonctionnels, nous constatons que les recouvrements des graminoides sont beaucoup plus importants que les autres groupes et ce, indépendamment des traitements. Pour les traitements minimum et maximum, il semble que les graminoides sont généralement plus abondantes au sein de la bande filtrante de 6 m. Pour ces mêmes traitements, les espèces liées aux groupes des annuelles et des légumineuses sont toutefois mieux représentées au sein de la bande filtrante de 3 m. Le niveau de perturbation de cette première portion de la pente explique probablement cette situation.

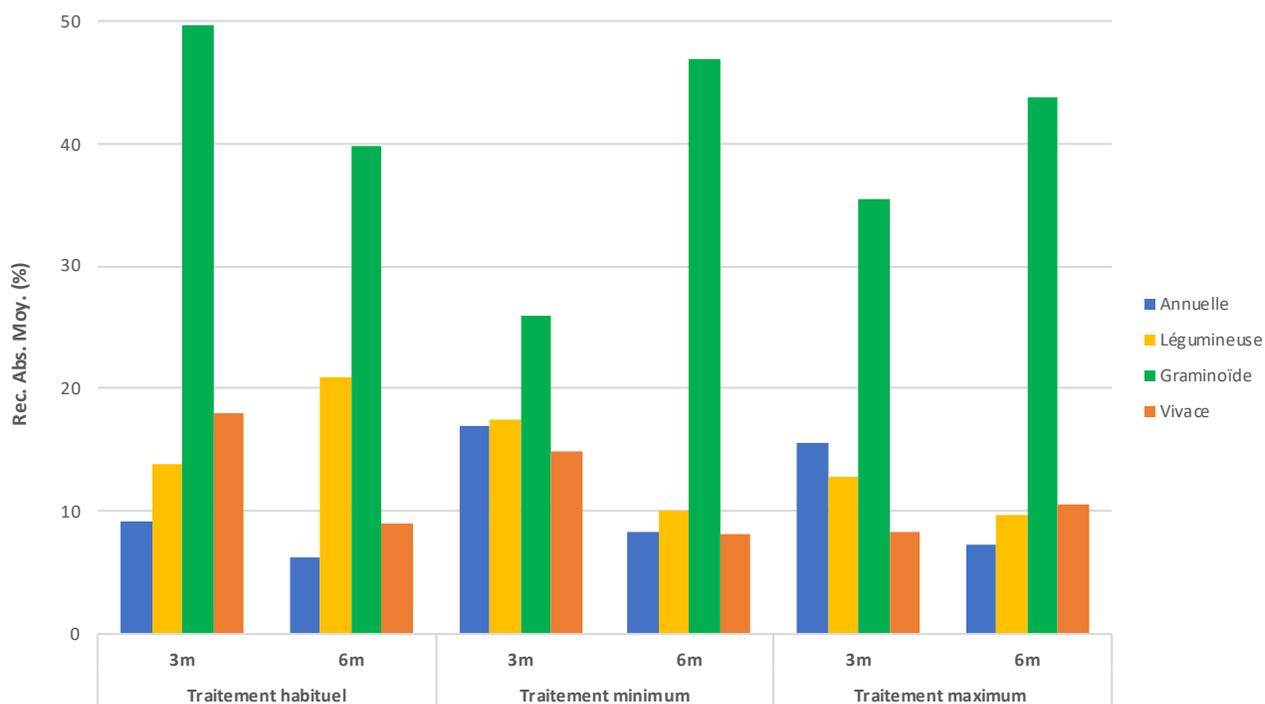


Figure 13 : Recouvrements moyens des divers groupes fonctionnels observés en juin et septembre 2019-2020 au sein des bandes filtrantes de 3 m et 6 m pour les stations associées aux 3 types de traitements.

2.3.2 Caractérisation de la hauteur et de la densité

La caractérisation de hauteur avant l'application des traitements de fauche nous indique généralement que la hauteur moyenne de la végétation est inférieure au sein des bandes filtrantes de 3 m (**Figure 14**). En dépit d'une période de croissance de 7 semaines suite à l'application des traitements à la fin juin, nous observons une réduction moyenne de 24 % de la hauteur de la végétation pour les stations avec un traitement minimum alors que pour celles avec un traitement maximum, cette réduction de la hauteur du couvert est légèrement supérieure avec 27 %.

Tout comme pour la hauteur de la végétation l'application des traitements en juin a entraîné une réduction de la densité de tiges pour la majorité des sites (**Figure 15**). Cette réduction est toutefois trois fois plus importante pour le traitement maximum (33%) comparativement au traitement minimum (11%).

Il semble que la réalisation des activités de tonte vers la fin juin, qui est associée au début d'une période plus sèche, ait eu un impact sur la régénération de végétation en général. Cependant, cet impact est plus important avec un entretien maximum de la bande filtrante puisque nous observons généralement une diminution du couvert végétal, de la biomasse, de la hauteur et de la densité de tiges au sein des bandes filtrantes (3m et 6m).

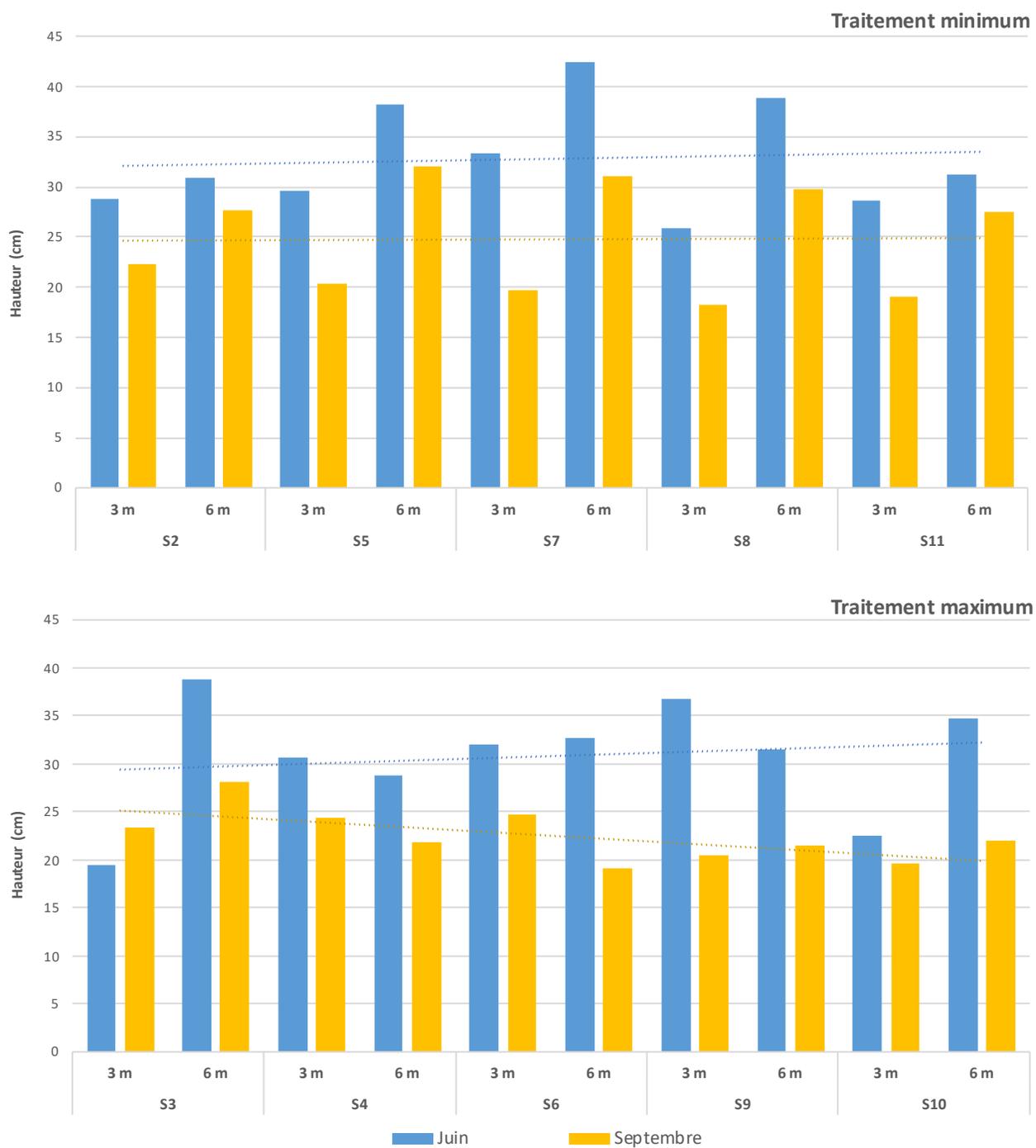


Figure 14. Hauteurs de la végétation observées en juillet et septembre 2019-2020 sur les bandes filtrantes de 3 m et 6 m pour les stations associées aux traitements minimum et maximum.

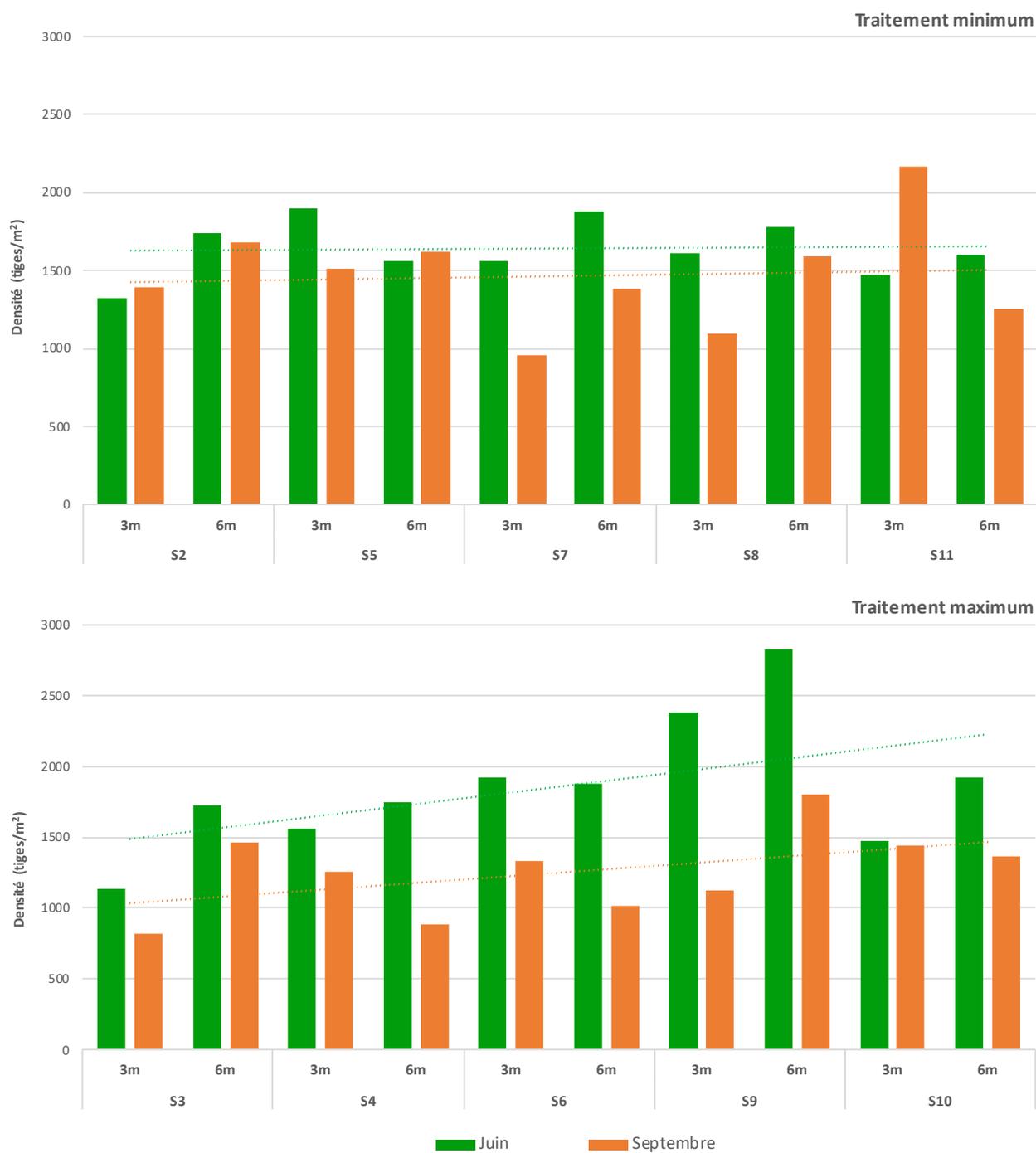


Figure 15. Densités de la végétation observées en juin et septembre 2019-2020 sur les bandes filtrantes de 3 m et 6 m pour les stations associées aux traitements minimum et maximum.

2.4 Évaluation de l'effet des traitements sur les volumes et la qualité de l'eau

2.4.1 Influence des bandes filtrantes sur la réduction des volumes

L'examen des volumes d'eau de ruissellement obtenus au cours de 2019 et 2020 confirme que la conception du dispositif était efficace pour récolter de l'eau au niveau des 33 gouttières ([Annexe 4](#)). La quantité d'eau récoltée était fortement influencée par l'intensité des précipitations, notamment pour les gouttières associées aux bandes filtrantes à 3 m et 6 m ([Figure 16](#)). L'accumulation moyenne enregistrée par la station météo lors des 8 évènements de pluie échantillonnée était de 27,3 mm.



Figure 16 : Comparaison des quantités de précipitations (mm) avec les volumes de ruissellement moyens des jours d'évènements pluvieux sur les stations avec entretien minimum et maximum : 0m - ruissellement autoroutier ; 3m - ruissellement collecté à 3 mètres sur la bande filtrante végétalisée ; 6m - ruissellement collecté à 6 mètres sur la bande filtrante végétalisée.

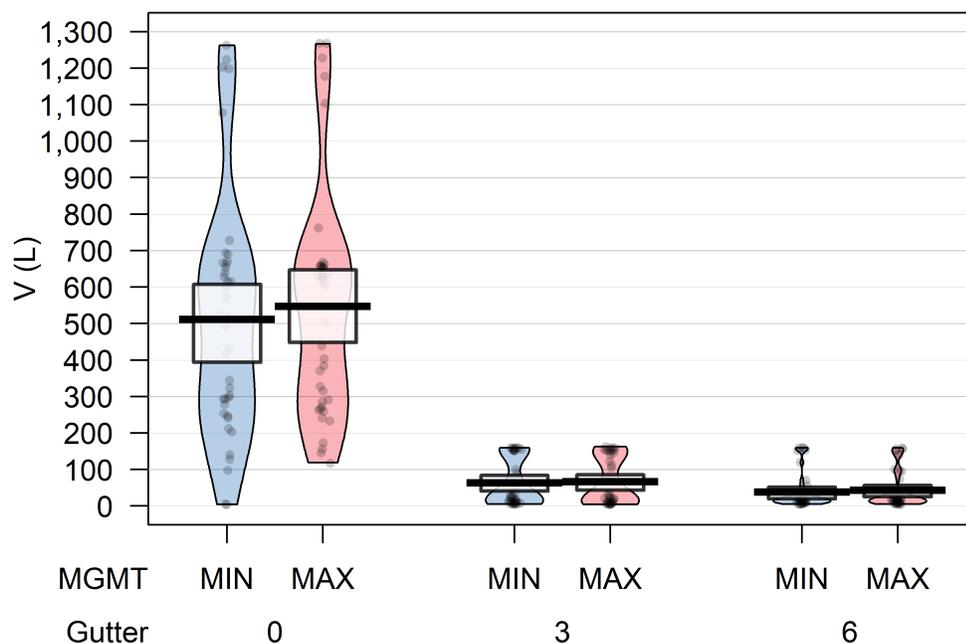


Figure 17 : Comparaison du volume moyen de ruissellement autoroutier (0 m) et du ruissellement collecté au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

Les volumes moyens de ruissellement récoltés avec les gouttières à 0 m étaient significativement plus élevés ($p < 0.001$) par rapport aux autres gouttières à 3 m et 6 m (Figure 17). Nous avons observé une réduction importante des volumes à 3 m et 6 m avec respectivement 88 % et 93%. Bien que les pentes végétalisées aient eu un impact significatif sur les volumes de ruissellement, nous n'avons constaté aucune différence entre les traitements.

2.4.2 Modifications sur la qualité de l'eau

2.4.2.1 Variation des concentrations des paramètres chimiques analysés

Plus d'une trentaine de paramètres chimiques ont été analysés dans les eaux de ruissellement (**Tableau 10**). Parmi ces éléments analysés, plusieurs proviennent de diverses sources liées à la pollution routière telles que la combustion de carburants, l'usure des pneus et des freins, de la chaussée et de l'entretien des routes en période hivernale (Branchu et coll. 2013).

Tableau 10 : Description des paramètres chimiques analysés au sein des eaux de ruissellement

Métaux :	Ag	Argent	Polluants organiques :	COD	Demande chimique en oxygène
	As	Arsenic		TOC	Carbone organique total
	Ba	Baryum		HC	Hydrocarbures (C10-C50)
	Ca	Calcium		TOG	Graisse et huile total
	Cd	Cadmium		MOG	Huile minérale et graisse
	Cl	Chlorure			
	Co	Cobalt	Nutriments :	K	Potassium
	Cr	Chrome		NO3	Nitrate
	Cu	Cuivre		TKN	Total Kjeldahl nitrogen
	Mn	Manganèse		PO4	Orthophosphates
	Mo	Molybdène	TP	Phosphore total	
	Na	Sodium			
	Ni	Nickel	Physico-chimiques :	TSS	Matière en suspension
	Pb	Plomb		pH	pH
	Sn	Étain		EC	Conductivité électrique
	Zn	Zinc			

Le site d'étude, qui se situe à limite du parc industriel de Ste-Julie, est entouré de terres agricoles dominées par les grandes cultures. Il est donc susceptible de recevoir des particules provenant de l'érosion des sols avoisinants. Le **tableau 11** présente les concentrations moyennes des polluants observées entre 2019 et 2020 au sein des eaux de ruissellement récoltées à différentes distances à partir de la chaussée. Les valeurs moyennes par année figurent sous forme de graphique à l'annexe 6 pour la majorité des paramètres chimiques.

Tableau 11 : Concentration moyenne et écart type des polluants contenus dans les eaux de ruissellement autoroutier (0m), et dans celles collectées à 3 m et 6 m le long des pentes végétalisées selon un entretien minimum et maximum.

Traitement	0 m		3 m		6 m	
	Moyenne (mg/L)	Écart type	Moyenne (mg/L)	Écart type	Moyenne (mg/L)	Écart type
Minimum						
Ag	0,005	0	0,005	0	0,005	0
As	0,004	0,003	0,003	0	0,003	0
Ba	0,087	0,039	0,050	0	0,050	0
Ca	15,289	6,793	8,911	3,280	8,297	4,303
Cd	0,003	0,005	0,002	0	0,002	0
Cl	9,043	9,116	6,247	7,4299	5,453	6,090
Co	0,050	0	0,050	0	0,050	0
COD	44,780	27,837	60,660	61,393	40,513	26,840
Cr	0,050	0,001	0,050	0	0,050	0
Cu	0,023	0,012	0,009	0,003	0,009	0,005
EC	87,797	46,149	82,573	47,466	85,293	58,082
HC	1,676	0,855	0,317	0,209	0,209	0,102
K	1,445	0,557	4,327	1,873	4,470	3,102
Mn	0,066	0,039	0,020	0,008	0,019	0,022
Mo	0,050	0	0,050	0	0,050	0
MOG	5,400	0,828	6,607	3,854	5,033	0,129
Na	7,306	6,736	5,055	5,882	6,971	7,124
Ni	0,013	0,012	0,005	0,001	0,005	0,001
NO3	0,093	0,025	0,146	0,166	0,115	0,085
Pb	0,012	0,005	0,010	0,001	0,012	0,009
pH	7,522	0,217	7,240	0,198	7,133	0,336
PO4	0,058	0,047	0,231	0,110	0,182	0,213
Sn	0,050	0	0,050	0	0,050	0
TKN	1,296	1,301	1,326	0,708	1,696	2,263
TOC	7,065	3,460	8,934	3,759	9,157	3,797
TOG	6,322	1,792	8,214	5,856	5,333	0,617
TP	0,136	0,087	0,392	0,132	0,324	0,240
TSS	70,871	42,785	44,140	33,036	21,007	25,924
Zn	0,145	0,134	0,057	0,059	0,037	0,024
Maximum						
Ag	0,005	0	0,005	0	0,005	0
As	0,003	0	0,003	0	0,003	0
Ba	0,085	0,036	0,050	0	0,050	0
Ca	14,625	7,680	9,194	3,598	7,222	3,825
Cd	0,002	0	0,002	0	0,002	0
Cl	9,047	9,130	5,947	7,853	4,860	7,158
Co	0,050	0	0,050	0	0,050	0
COD	39,840	26,291	46,280	42,153	33,587	20,486
Cr	0,047	0,007	0,047	0,007	0,047	0,007
Cu	0,021	0,009	0,010	0,005	0,008	0,003
EC	88,720	47,542	77,327	43,966	76,260	55,837
HC	1,630	0,895	0,397	0,253	0,172	0,092
K	1,331	0,545	3,141	1,700	3,673	3,294
Mn	0,062	0,037	0,019	0,009	0,014	0,005
Mo	0,050	0	0,050	0	0,050	0
MOG	5,167	0,244	5,300	1,032	5,767	1,613
Na	7,289	6,957	4,483	5,041	5,509	6,829
Ni	0,009	0,008	0,008	0,010	0,005	0,001
NO3	0,096	0,033	0,124	0,116	0,111	0,047
Pb	0,012	0,004	0,010	0,0002	0,010	0
pH	7,448	0,281	7,182	0,260	7,108	0,302
PO4	0,046	0,005	0,173	0,085	0,180	0,192
Sn	0,050	0	0,050	0	0,050	0
TKN	1,087	0,660	1,211	0,512	1,379	0,955
TOC	6,740	3,271	6,786	2,279	9,660	6,741
TOG	5,840	1,062	5,867	1,407	7,367	5,051
TP	0,364	0,965	0,541	0,956	0,563	0,996
TSS	66,533	45,049	49,353	46,974	14,867	13,356
Zn	0,115	0,057	0,053	0,043	0,033	0,017

Éléments physico-chimique

L'analyse des valeurs moyennes liées au pH entre 2019 et 2020 nous indique qu'il y a une très légère diminution du pH entre 0 et 6 m et que ces valeurs sont presque identiques pour les 2 traitements (**Figure 18**). Aucune tendance n'est observée pour la conductivité électrique lorsqu'on analyse les données 2019-2020.

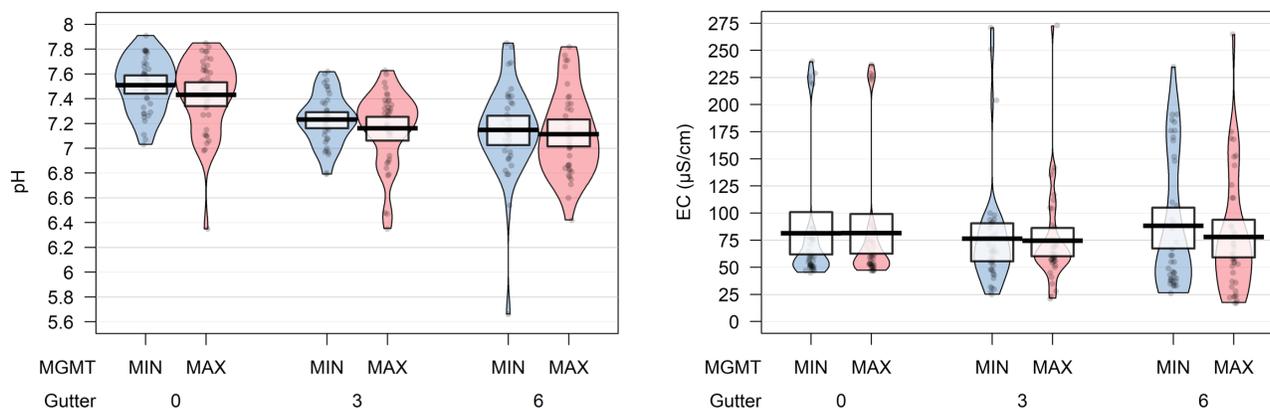


Figure 18 : Comparaison du pH et de la conductivité électrique moyens (2019-2020) liés à l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

Toutefois, une diminution de la conductivité électrique sur la pente est observée si l'on considère les données de 2020 seulement (**Figure 19**). De façon générale, les traitements ont peu d'effet. Comme nous le verrons à la section des polluants liés aux sels de déglacage, la collecte d'évènements plus hâtif et tardif en 2020 semble responsable de cette diminution.

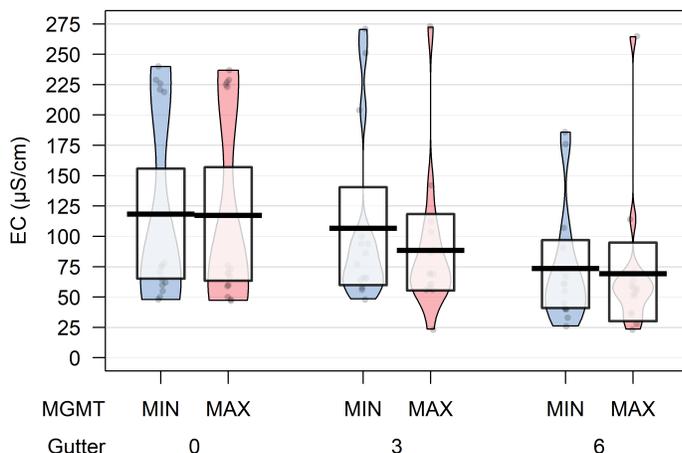


Figure 19 : Conductivité électrique (EC) moyenne observée en 2020 pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

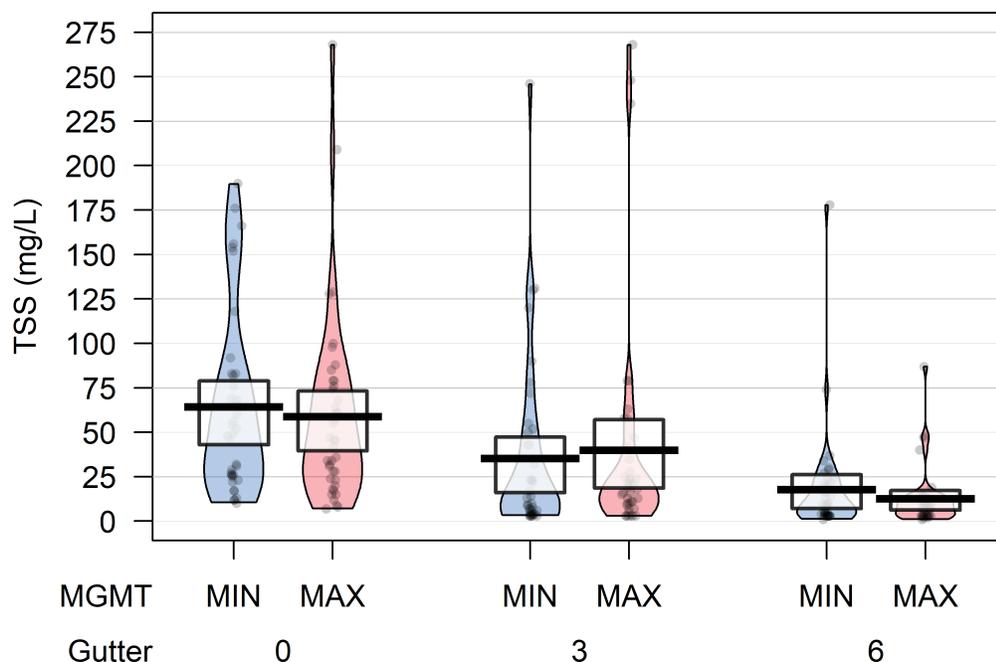


Figure 20 : La quantité de matières en suspension (TSS) moyenne (2019-2020) pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

Au niveau des matières en suspension (MES), il n'y a pas eu de différence significative sur l'amélioration de la qualité de l'eau de ruissellement selon le type de gestion de l'entretien de la végétation (Figure 20). Nos taux moyens d'élimination de matière en suspension à 3 m et 6 m qui se situent respectivement à 50% et 73% (traitement minimum) puis de 39% et 79% (traitement maximum) (Tableau 12 voir page 50).

Polluants organiques

Nous observons une nette réduction des concentrations d'hydrocarbures (C10-C50) sur les bandes végétalisées, et ce, indépendamment des traitements (Figure 21). Le carbone organique total (TOC) témoigne d'une augmentation plutôt qu'une réduction en concentration le long de la pente, mais cette situation pourrait être plutôt associée à la décomposition de la végétation de la pente elle-même plutôt qu'à la pollution provenant de la route.

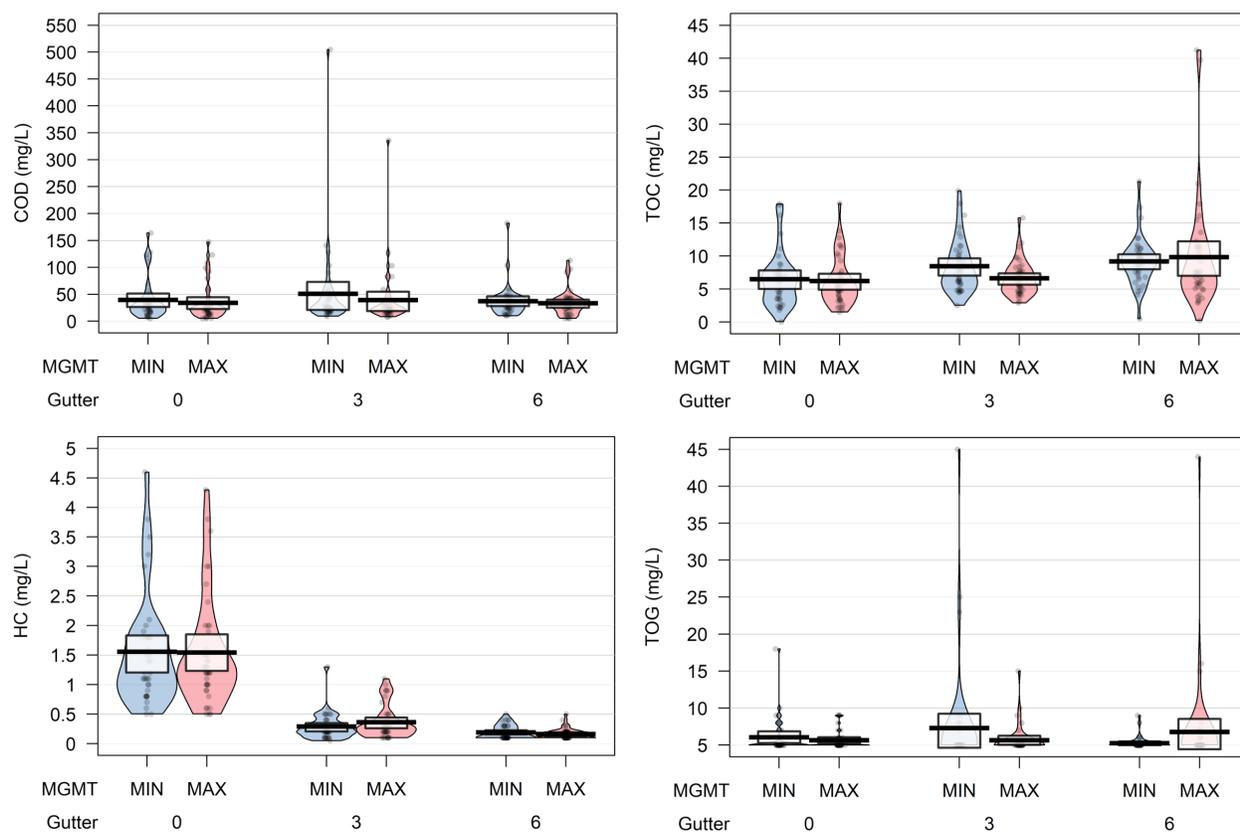


Figure 21 : Comparaison des valeurs moyennes des polluants organiques (2019-2020) pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

Sélection de polluants métalliques

Les métaux lourds observés dans les eaux de ruissellement proviennent généralement de la combustion du carburant (Pb, Mn) et de l'usure des freins (Cu, Zn, Pb) et des pneumatiques (Zn, Ba), mais aussi l'usure de la chaussée, la déposition atmosphérique, les opérations d'entretien de la route de même que les débris et les déversements (Kearfot et coll., 2005). L'analyse des concentrations de ces métaux au cours des saisons 2019 et 2020, nous indique que leur présence était parfois sous la limite de détection, notamment pour les eaux de ruissellement autoroutier captées à 3 m et 6 m sur la pente végétalisée (Figure 22). Cependant, nous avons toujours mesuré une réduction importante des concentrations de Cu et du Mn et ce, indépendamment du traitement (Tableau 12, voir page 50). Étant donné la réduction importante des volumes, la réduction de la charge polluante des métaux traces s'élevait dans tous les cas à plus de 88% (Tableau 13,

voir p. 51). En dépit de cette réduction, le cuivre, et le zinc demeurent au-dessus des critères de qualité de l'eau de surface CVAC (Critère de qualité pour la Vie Aquatique – effet Chronique) présentés à l'annexe 7.

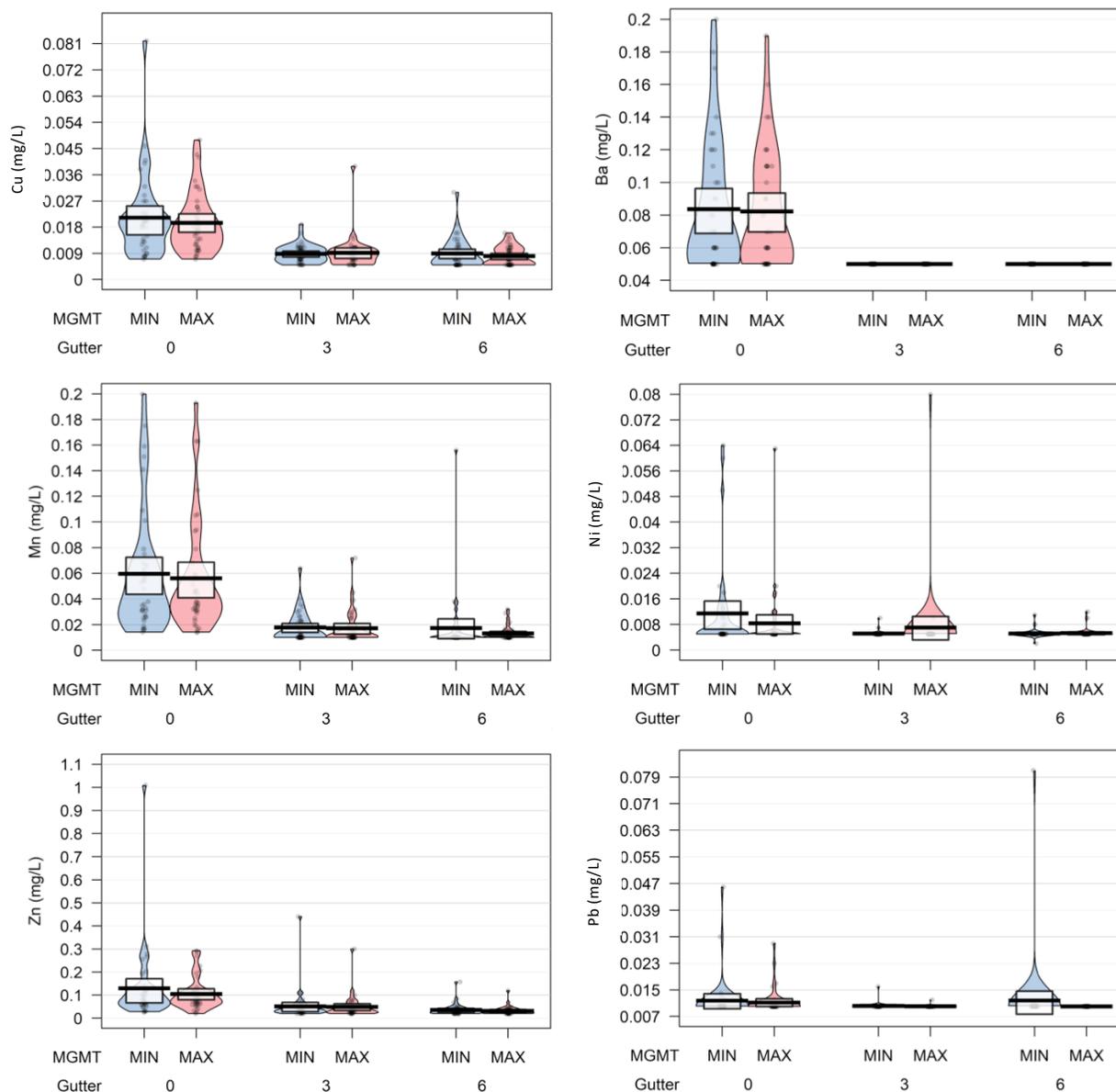


Figure 22 : Comparaison des valeurs moyennes des polluants métalliques (2019-2020) pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celle collectée le long des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

Polluants liés à l'entretien hivernal des routes

D'autres polluants métalliques comme le Na, le Ca et le Cl proviennent de l'entretien hivernal des routes en raison de l'utilisation de sels de déglacage tels que le chlorure de sodium et le chlorure de calcium (Forget, 2005). L'analyse des données de 2020 à la figure 23, qui sont associés à des moments de récolte plus hâtifs (juin) et tardifs (décembre), nous indique que la concentration de ces polluants provenant de la route (0 m) diminue généralement progressivement le long de la pente et que le mode d'entretien n'influence pas ce phénomène. Le graphique de la conductivité électrique observée reflète bien la distribution de l'abondance de ces ions contenus dans ces eaux de ruissellement de 2020.

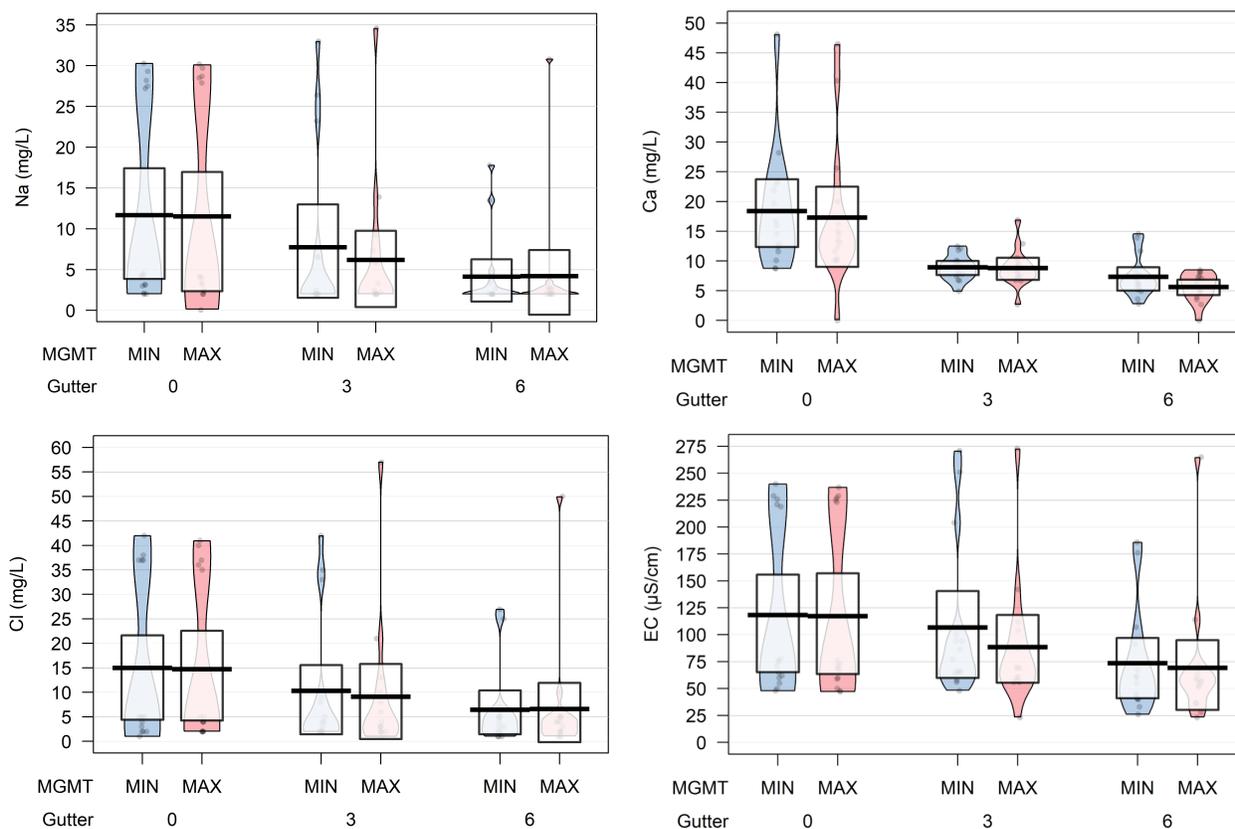


Figure 23 : Comparaison des valeurs moyennes des paramètres associés aux sels de déglacage de 2020 pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées le long des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

Au tableau 12, les valeurs négatives associées au Na et Cl, qui témoignent d'une augmentation de ces polluants, nous indiquent que la combinaison des données de 2019 et 2020 vient effectivement modifier l'effet réel des sels de déglacage observé en 2020.

Paramètres associés aux nutriments

Ce phénomène de réduction des concentrations de certains polluants observés précédemment au niveau des bandes filtrantes à 3 m et 6 m ne semble pas s'appliquer aux nutriments analysés. Nous observons généralement des valeurs légèrement inférieures au sein des eaux de ruissellement autoroutier (0 m) comparativement celles observées sur la pente ([Figure 24](#)).

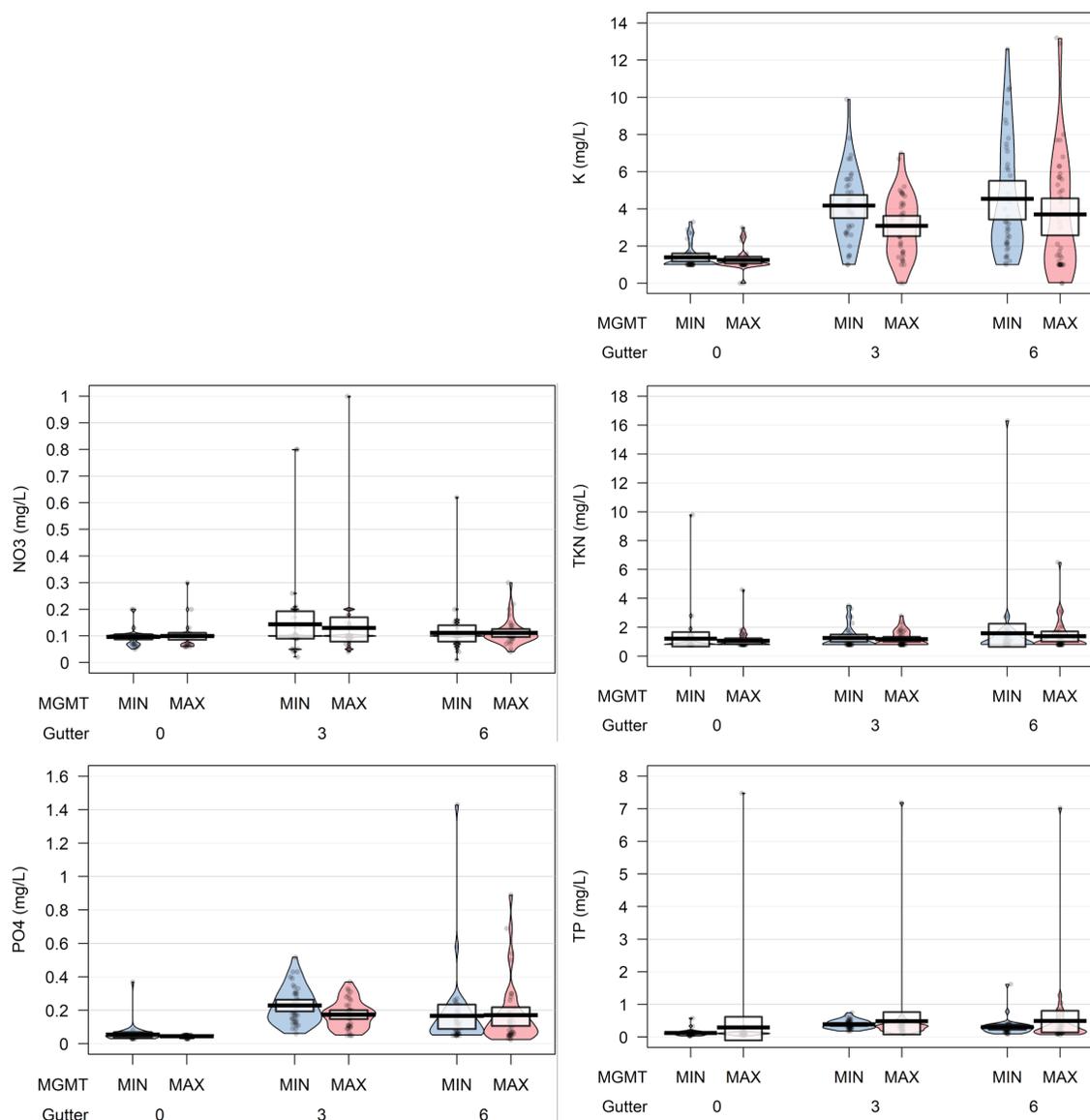


Figure 24 : Comparaison des valeurs moyennes (2019-2020) des paramètres associés aux nutriments pour l'eau de ruissellement autoroutier (0 m) et celles collectées au pied des bandes filtrantes végétalisées localisées à 3 m et 6 m sur les pentes selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

Le calcul du pourcentage de réduction des concentrations au tableau 12, présente cette augmentation des concentrations de nutriments à 3m et 6 m par des valeurs négatives pour le NO₃, le OPO₄, le TKN, le TP ainsi que pour le K. Cette situation s'explique par les opérations de coupe sur les pentes où les débris de végétation sont laisser sur place, ce qui accentue la quantité de matière organique (TOC) et de nutriments transportés vers les gouttières et les citernes, et se retrouvant dans les eaux échantillonnées. Cependant, il faut noter que la charge polluante de tous les polluants (masse) diminue (Tableau 13).

Tableau 12 : Calcul de la réduction des concentrations¹ moyennes (%) des paramètres analysés en 2019 et 2020 entre les gouttières G0-G3, G0-G6 et G3-G6 selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

Traitement	Type de polluants	Paramètres	G0-G3	G0-G6	G3-G6		G0-G3	G0-G6	G3-G6
			Reduction Concentration (%)	Reduction Concentration (%)	Reduction Concentration (%)		Reduction Concentration (%)	Reduction Concentration (%)	Reduction Concentration (%)
MINIMUM	Métaux	Ag	0	0	0	MAXIMUM	Ag	0	0
		As	17	17	0		As	0	0
		Ba	41	41	0		Ba	40	40
		Ca	39	42	7		Ca	34	47
		Cd	28	28	0		Cd	0	0
		Cl	31	7	-34		Cl	28	31
		Co	0	0	0		Co	0	0
		Cr	0	0	0		Cr	0	0
		Cu	57	55	1		Cu	53	58
		Mn	69	70	2		Mn	69	76
		Mo	0	0	0		Mo	0	0
		Na	26	-85	-134		Na	28	-30
		Ni	41	41	0		Ni	15	38
		Pb	14	-1	-21		Pb	12	12
	Sn	0	0	0	Sn	0	0		
	Zn	59	68	25	Zn	53	69		
	Organiques	COD	-26	-8	9	COD	-12	-21	
		HC	81	88	35	HC	76	89	
		TOC	-37	-52	-7	TOC	-9	-63	
		TOG	-25	13	25	TOG	0	-23	
		MOG	-21	6	19	MOG	-3	-11	
	Nutriments	K	-202	-226	-7	K	-145	-193	
		NO3	-63	-30	22	NO3	-30	-19	
		TKN	-5	-31	-26	TKN	-11	-28	
		PO4	-322	-209	21	PO4	-276	-285	
		TP	-207	-142	17	TP	-130	-120	
Physico-chimiques	TSS	50	73	32	TSS	39	79		
	pH	4	5	2	pH	4	5		
	EC	4	-16	-18	EC	7	1		

¹ Les valeurs négatives témoignent d'une augmentation des concentrations.

Tableau 13 : Valeurs de réduction de masse moyenne à 3m et 6 m pour les paramètres analysés en 2019 et 2020 selon un entretien minimum et maximum de la végétation.

Traitement	Type de polluants	Paramètres	3 m	6 m	MAXIMUM	3 m	6 m
			Réduction de masse ¹ (%)	Réduction de masse (%)		Réduction de masse (%)	Réduction de masse (%)
MINIMUM	Métaux	Ag	88	94	MAXIMUM	88	94
		As	91	95		88	94
		Ba	94	97		93	96
		Ca	94	97		93	97
		Cd	94	97		88	94
		Cl	93	97		93	98
		Co	88	94		88	94
		Cr	88	94		88	94
		Cu	96	98		95	98
		Mn	97	99		97	99
		Mo	88	94		88	94
		Na	93	94		94	95
		Ni	96	98		90	96
		Pb	91	95		90	94
		Sn	88	94		88	94
		Zn	96	99		95	98
	Organiques	COD	86	96		88	95
		HC	98	99		97	99
		TOC	87	93		89	91
		TOG	86	95		89	94
		MOG	86	94		88	93
	Nutriments	K	67	81		74	83
		NO3	81	93		84	92
		TKN	89	94		87	92
		PO4	56	85		57	78
		TP	68	88		85	94
	Physico-chimiques	TSS	93	99		92	99
		pH	89	94		89	94
		EC	90	94		90	95

¹ Unité de masse correspond à des mg/gouttière

3. Discussion

Nous avons comparé nos résultats avec ceux d'étude portant sur les bandes filtrantes (PGO) et en concordance avec le premier objectif de cette étude.

Réduction des volumes

La réduction des volumes par les bandes filtrantes dépend de l'infiltration et de l'évapotranspiration selon une récente revue de littérature sur le sujet (Gavric et coll., 2019). La première se produit après la pluie et la seconde contribue à l'assèchement du sol entre les pluies et donc à « restaurer la capacité d'infiltration du sol » (Gavric et coll., 2019, p. 433). Le taux d'infiltration dépend du type de sol, de la pente, de la largeur de la bande, de la couverture végétale (coefficient de rugosité) et des conditions climatiques. Le coefficient de rugosité varie notamment selon la hauteur de la végétation. Par conséquent, on distingue en effet deux sous-régimes d'écoulement le long de la pente: soit écoulement non submergé lorsque les tiges des végétaux sont plus hautes que la hauteur de l'eau ruisselant, et l'écoulement submergé dans lequel la hauteur de la pluie dépasse la hauteur des végétaux. La densité des végétaux aurait aussi un impact. (Gavric et coll., 2019; Garcia Serrana et coll., 2016).

Lorsque nous comparons nos résultats avec une étude similaire menée en Virginie par Henderson et coll. (2016), nous constatons que nos stations avec entretien maximum (Max sur la [Figure 17](#)) ont réduit le volume de ruissellement de manière plus importante que les stations d'Henderson et coll. (2016). Par exemple, nous avons obtenu une réduction de volume de 88,3% sur une bande végétalisée de 3m (n = 8 évènements, 5 sites; accumulation moyenne des précipitations = 27 mm) alors que la réduction documentée pour la Virginie a été de 76% pour une bande végétalisée de 5,5 m (n = 16 évènements, 1 site; et ce même avec une accumulation moyenne des précipitations = 22 mm soit plus faible). De tels résultats se comparent avantageusement à ceux d'une étude similaire conduite avec alimentation contrôlée au Minnesota (Garcia-Serrana et coll., 2016) dans laquelle des réductions de volumes de 47% (volumes de ruissellement élevés) à 69% (volumes faibles) étaient obtenues. La saison avait également un impact sur la réduction des volumes passant de 85% en automne à 70% au printemps pour des volumes de ruissellement considérés moyens. Comme dans le cas de notre expérience, l'écoulement était de type non submergé. En effet, la végétation avait été coupée à environ 10 cm de hauteur. Malgré tout, la hauteur de l'écoulement était plus faible que cette hauteur dans l'expérience. En résumé, les

résultats obtenus dans notre étude montrent une infiltration comparable, voire supérieure à celle d'études similaires. Il faut cependant souligner qu'une infiltration rapide peut avoir un impact négatif sur le traitement de certains polluants particuliers plus fins ou dissous qui requerrait des temps de rétention plus élevés (Roger et coll, 2018). Cependant cela ne semble pas être le cas de notre étude.

Enlèvement des polluants

Les auteurs ne s'entendent pas sur l'importance de différents facteurs sur les niveaux concentrations de polluants retrouvées dans les eaux de ruissellement autoroutières. Les facteurs évoqués dans le rapport de Kearfot et coll. datant de 2005 vont de l'intensité de la pluie pendant l'évènement et de la pluie précédant l'évènement (une pluie plus intense déloge ou aurait délogé plus de polluant), le nombre de jours sans pluie avant la pluie, le volume de trafic autoroutier avant l'évènement et pendant l'évènement. Quant à la charge polluante, le volume d'eaux de ruissellement aura un impact important sur cette dernière.

Nos taux moyens d'élimination de MES à 3 m et 6 m se situent respectivement à 50% et 73% (traitement minimum) puis de 39% et 79% (traitement maximum) (**Tableau 12** voir page 50). Des études sur les bandes filtrantes rapportent des réductions de volumes de 28 à 85% (Garcia Serrana et coll., 2018; Hunt et coll., 2010; Walsh et coll., 1997) dans ce dernier cas, pour des précipitations excèdent 40mm.

Nous avons observé un excellent enlèvement des métaux (>88%) et des hydrocarbures (>97%) en termes de charge polluante. Considérant que la majorité de ces polluants sont présents sous forme particulaire et prenant en compte l'excellent enlèvement des matières en suspension, de tels résultats ne sont pas étonnants (Kearfot et coll., 2005). Les connaissances sur le comportement des polluants dissous dans des systèmes tels que les bandes filtrantes restent par contre plus fragmentaires (Gavrić et coll., 2019).

Les enlèvements de métaux et d'HC observés sembleraient indiquer que la contamination de l'eau des fossés par ces polluants si c'est le cas aurait une autre source que le ruissellement de l'autoroute. Un suivi de la quantité et de la qualité de l'eau dans les fossés de drainage serait important pour identifier les sources de contamination et améliorer la qualité de l'eau des cours d'eau récepteurs. Il conviendrait également de suivre ce qu'il advient des métaux et autres polluants dans le sol et dans les eaux souterraines. En effet, d'autres études ont démontré une

contamination des sols en bordure d'autoroute et des eaux souterraines pour d'autres systèmes de gestion à la source des eaux pluviales (Burgis et coll., 2020, Tedoldi et coll., 2016).

La distribution des polluants observée ici qui diminue en fonction de l'éloignement de la source d'alimentation en eau (dans ce cas du haut au bas de la pente) a aussi été observée dans d'autres systèmes de contrôle à la source des eaux pluviales (Tedoldi et coll., 2017).

L'augmentation des concentrations de TKN ou de TOC a été observée dans d'autres études rapportées par Roger et coll., 2018 et dans Barrett et coll., 2004 pour le TOC. Comme dans notre étude, les auteurs émettent l'hypothèse que ces niveaux plus élevés d'azote sont dus à l'entretien des pentes gazonnées et à la présence des résidus de tonte par la suite. Bouchard et coll., (2016) indiquent en contrepartie que le maintien des résidus de tonte dans les bandes filtrantes augmente la séquestration du carbone dans ces dernières et réduit les besoins d'ajout de fertilisant. De fait, l'augmentation de concentration de TKN et de TOC est plus importante dans les stations sujettes à l'entretien maximum.

Autrement, nous n'avons pas trouvé de différence entre les traitements bien que la hauteur de végétation dans les 3 premiers mètres diffère entre ceux-ci. Ces résultats contrastent avec ceux d'Henderson et coll. (2016) mais aussi avec l'effet de la hauteur des végétaux supposé par Gavrić et coll. (2019). Il semble que vu les hauteurs de végétation enregistrées dans notre étude que celles-ci, même après la tonte, aient toujours dépassé la hauteur de l'eau entrant dans la bande filtrante. La hauteur de la végétation n'était pas mentionnée dans Henderson et coll. (2016).

Conclusion

Le présent rapport nous a permis de constater que la composition floristique varie beaucoup le long de la pente du talus autoroutier. L'application des traitements de gestion de la végétation semble avoir un effet sur certaines caractéristiques de la végétation, notamment en réduisant sa biomasse, sa hauteur et sa densité lorsque l'on applique un traitement avec un entretien maximum. Nous avons également constaté que les bords de route végétalisés peuvent réduire efficacement le ruissellement. Toutefois, la réduction du volume de ruissellement en bordure de route n'a pas été influencée par les traitements de gestion de la végétation étudiés. Les polluants qui proviennent du ruissellement des autoroutes ont été considérablement réduits à partir de 3 m de bande végétalisée. Nous pouvons considérer que les pentes végétalisées fonctionnent comme des bandes filtrantes/PGO quel que soit le mode d'entretien. Cette conclusion est en accord avec celle d'autres études mentionnées dans ce rapport.

Suite à cette étude nous émettons les recommandations suivantes.

1. Même si les bandes végétalisées sont efficaces pour réduire les volumes et les charges polluantes des eaux de ruissellement, ceux-ci ne disparaissent pas pour autant. Il serait important de faire le suivi du cheminement de l'eau de ruissellement et des polluants dans le sol et les eaux souterraines.
2. De même, une étude de la source des polluants retrouvés dans les fossés bordant les autoroutes permettrait également d'identifier la source des polluants qu'on y retrouve et possiblement de réduire leur apport dans les cours d'eau récepteurs.
3. Bien que notre étude n'ait pas démontré que le mode d'entretien de la végétation avait une influence sur la réduction des volumes et l'enlèvement des polluants, nous jugeons que les caractéristiques liées, entre autres, à l'importance du couvert herbacée, de la densité de tiges et de la diversité constituent des variables qui participent à la capacité de filtration de la matrice étudiée. Ainsi, nous présumons que l'absence d'entretien le long des autoroutes est susceptible de modifier cette matrice (rugosité) dominée par une diversité de graminoides basses au profit du roseau commun qui aura vite fait de dominer les pentes pour former probablement une matrice moins diversifiée et moins dense (Boivin et coll., 2017a, Boivin et coll., 2017b). Pour des

considérations économiques, nous recommandons donc qu'un minimum de 3 coupes sur une bande de 2,5 m soient réalisées.

4. En raison de la réduction importante des volumes de pluie observée au niveau des bandes filtrantes et des possibilités d'infiltration des polluants dans le sol, nous recommandons également :

4.1 d'évaluer l'efficacité actuelle des matériaux granulaires et organiques utilisés lors de la confection des pentes au niveau du captage (stabilisation) des contaminants puis

4.2 d'examiner l'efficacité de différents types de matériaux reconnus pour stabiliser certains polluants comme par exemple le biochar, la zéolite, les granules de charbon activé, les billes de verre, les granules d'oxyde de fer et d'aluminium, la fibre de coco et les granules d'olivine (**Annexe 10**).

Références

- Barette, M. E., J. F. Malina, R.J. Charbeneau. 1997. Ude ef vegetation controls for treatment of highway runoff. Center for research in water resources. Bureau of Engineering Research. The University of Texas at Austin. 114 pages.
- Barette, M., A. Lantin, S. Austrheim-Smith. 2004. Storm Water Pollutant Removal in Roadside Vegetated Buffer Strips. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1890, 129-140.
- Boger, A. R., et al. 2018. Effectiveness of roadside vegetated filter strips and swales at treating roadway runoff: A tutorial review. Environmental Science: Water Research & Technology 4(4): 478-486.
- Boivin, P et J. Brisson. 2017a. Maîtrise intégrée de la végétation. Volet I : suivi écologique – Plantes exotiques envahissantes. Dynamique de l’envahissement du roseau au sein des milieux humides. Projet d’évaluation des impacts des EVEC suite à la construction de la nouvelle ligne biterne à 120 kV reliant les postes Chaudière et St-Agapit. Maîtrise des espèces végétales envahissantes au sein des emprises. Projet de traitements expérimentaux des EVEC sur la ligne Hertel-des-Cantons, secteur Carignan et Laprairie. Volet III : Traitement de souches. Traitement de rejets de souches de bouleau gris dans la région de Roxton Pond. Rapport final préparé pour Hydro-Québec TransÉnergie. Institut de recherche en biologie végétale, Montréal. 66 pages et annexes.
- Boivin, P. et J. Brisson. 2017b. Prévenir et contrôler l’envahissement des autoroutes par le roseau commun (*Phragmites australis*) : volet intervention et suivi (R538-4). Rapport final préparé pour le ministère des Transports du Québec. Institut de recherche en biologie végétale – Université de Montréal, Montréal. 60 pages et annexes.
- Boivin, P., M. Kõiv-Vainik, V. Shete, D. Dagenais et J. Brisson. 2020. Impact de la végétation en abords de route comme pratique de gestion optimale à la source végétalisée (PGOSV) des eaux pluviales. Rapport d’étape 2. Institut de recherche en biologie végétale, Montréal. 38 pages et annexes.
- Boivin, P., M., Kõiv-Vainik, V., Shete, D. Dagenais et J. Brisson 2020. Impact de la végétation en abords de route comme pratique de gestion optimale à la source végétalisée (PGOSV) des eaux pluviales. Portrait des activités réalisées et à venir. Rapport d’étape 1. Institut de recherche en biologie végétale. 6 pages et annexes.
- Burgis C. R., G.M. Hayes, D. A. Henderson, W. Zhang. 2020. Green stormwater infrastructure redirects deicing salt from surface water to groundwater”. Science of the Total Environment 729.
- Branchu, P., A.-L. Badin, B. Bechet, L. Eiseniohr, T. Le Priol, F. Marseille et E. Trielli. 2013. Pollution d’origine routière et environnement de proximité. Vertigo. Hors-série 15 / février 2013. <https://doi.org/10.4000/vertigo.12775>
- Bouchard, N.R., D.L. Osmond, R.J. Winston, W.F. Hunt. 2013. The capacity of roadside vegetated filter strips and swales to requester carbon. Ecological Engineering 54 (2013) 227-232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.018>

- Centa, M., 2018. Impact of Management of Highway Vegetated Buffer Strips on Stormwater Quality. Internship report. 27 pages.
- Debost, I., D. Cloutier et M. Leblanc. 2013. Les plantes indicatrices. Outils de diagnostic des sols. Association pour l'amélioration des cultures biologiques. Édition OCIA Rive-Nord. 4 pages.
- Duncan, H.P., 1999. Urban stormwater quality: a statistical overview. Coop. Res. Cent. Catchment Hydrol. Report 99/3.
- Forget, N. 2005. Distribution et rétention des sels de déglacement dans les sols en bordure d'une autoroute. Mémoire de maîtrise. Département de géographie. Université de Montréal. 114 pages.
- Garcia-Serrana M., J.S. Gulluver, J.L. Neiber. 2017. Infiltration capacity of roadside filter strips with non-uniform overland flow. *Journal of Hydrology* 545, 451-462. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.031>
- Gavrić S., G. Leonhardt, J. Marsalek, M. Viklander. 2019. Processes improving urban stormwater quality in grass swales and filter strips: A review of research findings. *Science of Total Environment* 669, 431-447. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.072>
- Henderson, D., Smith, J.A., Fitch, G.M., 2016. Impact of Vegetation Management on Vegetated Roadsides and Their Performance as a Low-Impact Development Practice for Linear Transportation Infrastructure. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2588, 172–180. <https://doi.org/10.3141/2588-19>
- Kearfott, P.J., M. E. Barrett, J. F. Malina. 2005. Stormwater Quality Documentation of Roadside Shoulders Borrow Ditches. Center for research in water resources. The University of Texas at Austin. 136 pages.
- Knight, W.F., W.F. Hunt, R.J. Winston. 2013. Side-by-side evaluation of four level spreader-vegetated filter strips and a swale in eastern North Carolina. *Journal of Soil and Water Conservation* 68 (1) : 60-72. <https://doi:10.2489/jswc.68.1.60>
- Leroy, M.-C., Portet-Koltalo, F., Legras, M., Lederf, F., Moncond'huy, V., Polaert, I., Marcotte, S., 2016. Performance of vegetated swales for improving road runoff quality in a moderate traffic urban area. *Sci. Total Environ.* 566–567, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.027>
- Roger, A.R., L. Ahiablame, E. Mosase, D. Beck. 2018. Effectiveness of roadside vegetated filter strips and swales at treating roadway runoff: a tutorial review. *Environmental Science Water Research & Technology*, 4, 478-486. <https://doi.org/10.1039/c7ew00230k>
- Shete, V., M. Kõiv-Vainik, M. Centa, D. Dagenais, G. Bédard, J. Brisson. 2019. Effect of roadside vegetation management on the quantity and quality of highway stormwater in cold climate conditions: a pilot study. Internship Report. 14 pages.
- Stagge, J.H., Davis, A.P., Jamil, E., Kim, H. 2012. Performance of grass swales for improving water quality from highway runoff. *Water Res.* 46, 6731–6742. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.02.037>

- Tedoldi, D., Chebbo, G., Pierlot, D., Kovacs, Y., & Gromaire, M. C. 2016. Impact of runoff infiltration on contaminant accumulation and transport in the soil/filter media of Sustainable Urban Drainage Systems: A literature review. *Science of the Total Environment*, 569, 904-926.
- Tedoldi, D., Chebbo, G., Pierlot, D., Branchu, P., Kovacs, Y., & Gromaire, M. C. 2017. Spatial distribution of heavy metals in the surface soil of source-control stormwater infiltration devices—Inter-site comparison. *Science of the Total Environment*, 579, 881-892.
- Ville de Québec, 2021. Gestion des eaux pluviales. Bande filtrante. 4 pages.
https://www.ville.quebec.qc.ca/gens_affaires/implantation-projets-immobiliers/projets-residentiels/docs/fiches_gestion_eaux_pluviales/Bande_filtrente.pdf

Annexe 1 : Activités réalisées et transfert des connaissances

Activités réalisées :

Au cours de l'année 2020 et 2021 nous avons réalisés diverses activités afin de réaliser la dernière saison de récolte de données et procéder à leur analyse. Les principales activités réalisées ont été les suivantes :

- a) Remise en fonction du dispositif expérimental et nettoyage des équipements des 33 stations de collecte d'eau (mars-avril 2020);
- b) Vérification de l'étanchéité des citernes destinées à la collecte de l'eau à 0, 3 et 6 mètres (mai 2020);
- c) Caractérisation de la végétation de l'ensemble des stations d'échantillonnage avant et après l'application des traitements (juin et septembre 2020);
- d) Application du mode d'entretien de la végétation (coupe de l'herbe) selon les traitements (Juin, août, septembre 2020);
- e) Échantillonnage et analyse de la composition en polluants des événements de forte pluie pour la saison 2020;
- f) Évaluation des volumes des événements de forte pluie pour la saison 2020;
- g) Saisie des données recueillies pour la saison 2020;
- h) Traitement et analyses statistiques des données recueillies pour les saisons 2019-2020 (mars-avril 2021);
- i) Démantèlement du dispositif expérimental le long de l'autoroute 20 (mai 2021);
- j) Rédaction du rapport final afin de présenter et discuter des résultats obtenus (mai à juillet 2021);
- k) Faire une présentation en visioconférence auprès des responsables du MTQ afin de leur présenter les résultats de l'étude et les conclusions (à déterminer 2021);
- l) Suite à l'annulation de notre participation au «15th International Conference on Urban Drainage, Melbourne, Australie » en septembre 2020 en raison du Covid, nous avons resoumis une nouvelle proposition afin de présenter nos résultats (2021 ou 2022).

Transfert des connaissances :*Rapports*

Centa, M., 2018. Impact of Management of Highway Vegetated Buffer Strips on Stormwater Quality. Internship report. 27 pages.

Shete, V. M. Kõiv-Vainik, M. Centa, D. Dagenais, G. Bédard, J. Brisson 2019. Effect of roadside vegetation management on the quantity and quality of highway stormwater in cold climate conditions: a pilot study. Internship Report. 14 pages.

Shete, V. M. Kõiv-Vainik, M. Centa, D. Dagenais, G. Bédard, J. Brisson 2019. Effect of roadside vegetation management on the quantity and quality of highway stormwater in cold climate conditions: a pilot study. Novatech. 4 pages.

Boivin, P., M. Kõiv-Vainik, V. Shete, D. Dagenais et J. Brisson. 2020. Impact de la végétation en abords de route comme pratique de gestion optimale à la source végétalisée (PGOSV) des eaux pluviales. Rapport d'étape 2. Institut de recherche en biologie végétale, Montréal. 38 pages et annexes.

Conférence et affiches

Kõiv-Vainik, M., Shete, V., M. Centa, D. Dagenais, S. Domer, J. Brisson 2018. Let it rain! Deuxième Symposium de la Chaire industrielle CRSNG / Hydro-Québec en Phytotechnologie à Montréal le 19 novembre 2019.

Kõiv-Vainik, M., Shete, V., M. Centa, D. Dagenais, G. Bédard, J. Brisson 2020. Effect of roadside vegetation management on the quantity and quality of highway stormwater in cold climate conditions. Présentation d'une conférence au 15th International Conference on Urban Drainage, Melbourne, Australie. September 2020 (Conférence reportée en raison du Covid).

Kõiv-Vainik, M., Shete, V., M. Centa, D. Dagenais, G. Bédard, J. Brisson. Soumis 2021. Effect of roadside vegetation management on the quantity and quality of highway stormwater in cold climate conditions. Présentation d'une conférence au 15th International Conference on Urban Drainage, Melbourne, Australie. September 2021.

Shete, V., M. Kõiv-Vainik, M. Centa, D. Dagenais, G. Bédard, J. Brisson 2019. Effect of roadside vegetation management on the quantity and quality of highway stormwater in cold climate conditions: a pilot study. 8th International Symposium on Wetland Pollutant Dynamics and Control. 17 au 21 juin 2019 at Aarhus University, Danemark.

Shete, V., M. Kõiv-Vainik, D. Dagenais, G. Bédard, J. Brisson 2019. Effect of roadside vegetation management on the quantity and quality of highway stormwater in cold climate conditions: a pilot study. Présentation d'une affiche au 29^e Symposium de sciences biologiques de l'Université de Montréal. 26 mars 2019. Montréal.

Shete, V., M. Kõiv-Vainik, M. Centa, D. Dagenais, G. Bédard, J. Brisson 2019. Effect of roadside vegetation management on the quantity and quality of highway stormwater in cold climate conditions: a pilot study. Présentation d'une affiche au 13e Colloque de la Société québécoise de phytotechnologie. 2 mai 2019 au Jardin botanique de Montréal.

Annexe 2 : Caractérisation physique de la zone d'étude (Centa, M. 2018)

Site : 102.985

Dénivelé : 1.75m à 12.2m

Pente : 9.4°

Date : 30/07/2018

Localité : Sainte-Julie-de-Verchères

Coordonnées GPS: 45°34'58.5" N, 073°18'32.9"W

Position du fossé : 12 m

Perturbation : Aucune.

Microtopographie : Uniforme.

Phragmites australis : Présent dans le fossé.

Pierrosité : Petites roches et gravier (section 1-4)

Section 1-4 : profondeur moyenne = 20 cm (20-20-20-20)

Section 5-8 : profondeur moyenne = 20 cm (20-20-20-20)

Section 9-12 : profondeur

moyenne = 20 cm (19-19-22-20)

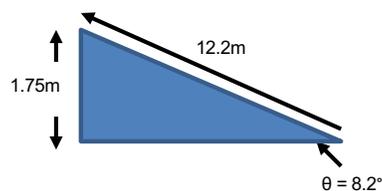


Photo du site 102.663



Photo prise sur la section 1-4 montrant la profondeur ainsi que le type de sol avec végétation



Photo du fossé

N.B. Numérotation du site est établie en fonction de la position en kilométrage le long de l'autoroute 20 i.e 102,985 km

Site : 103.105

Dénivelé : 1.75m à 11.5m

Pente : 11.3°

Date : 31/07/2018

Localité : Sainte-Julie-de-Verchères

Coordonnées GPS : 45°34'59.4" N, 073°18'27.5"W

Position du fossé : 12 m

Perturbation : Présence de roulière profonde dans le fossé.

Microtopographie : Uniforme.

***Phragmites australis* :** Présence épaisse dans le mi-talus.

Pierrosité : Présence de petites roches et de gravier (section 1-4), Présence de gravier en profondeur (sections 5-8 et 9-12).

Section 1-4 : profondeur moyenne = 11.25 cm (10-15-10-10)

Section 5-8 : profondeur moyenne = 18.8 cm (20-20-15-20)

Section 9-12 : profondeur moyenne = 20 cm (20-20-20-20)



Section 1-4m



Section 5-8m



Section 9-12m

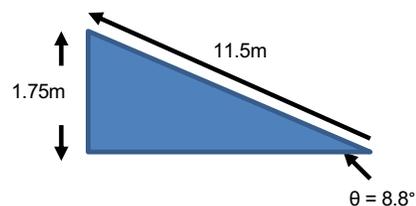


Photo du site 103.105



Photo du fossé

Site : 103.160

Dénivelé : 1.79m à 12m

Pente : 8.6°

Date : 01/08/2018

Localité: Sainte-Julie-de-Verchères

Coordonnées GPS: 45°34'59.8" N, 073°18'24.8"W

Position du fossé : 12 m

Perturbation : Aucune roulière présente dans le fossé.

Microtopographie : Uniforme.

Phragmites australis : Présence dans le fossé.

Pierrosité : Présence de petites roches et de gravier (section 1-4), Présence de gravier en profondeur (sections 5-8 et 9-12), Présence d'argile (sections 5-8).

Section 1-4 : profondeur moyenne = 12.5 cm (10-15-15-10)

Section 5-8 : profondeur moyenne = 18.8 cm (18-17-20-20)

Section 9-12 : profondeur moyenne = 17.3 cm (15-17-17-20)

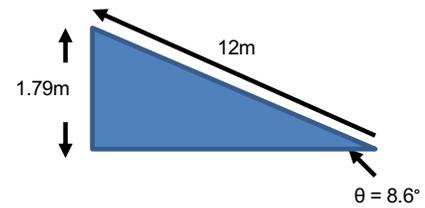


Photo du site 103.160



Section 1-4m



Section 5-8m



Section 9-12m

Site : 103.400

Dénivelé : 1.92m à 12m

Pente : 8.6°

Date : 31/07/2018

Localité: Sainte-Julie-de-Verchères

Coordonnées GPS: 45°35'01.7" N, 073°18'14.0"W

Position du fossé : 12 m

Perturbation : Roulière présente dans le fossé.

Présence d'une marée d'eau à l'ouest du segment. En face à une zone agricole.

Microtopographie : Uniforme.

Phragmites australis : Présence dans le fossé.

Pierrosité : Présence de petites roches et de gravier (section 1-4), Présence de gravier et argile en profondeur (section 5-8).

Section 1-4 : profondeur moyenne

= 5 cm (5-5-5-5)

Section 5-8 : profondeur

moyenne = 18.8 cm (15-20-20-20)

Section 9-12 : profondeur

moyenne = 20 cm (20-20-20-20)

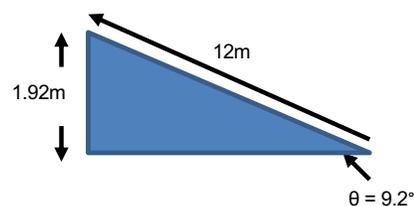


Photo du site 103.400



Section 1-4m



Section 5-8m



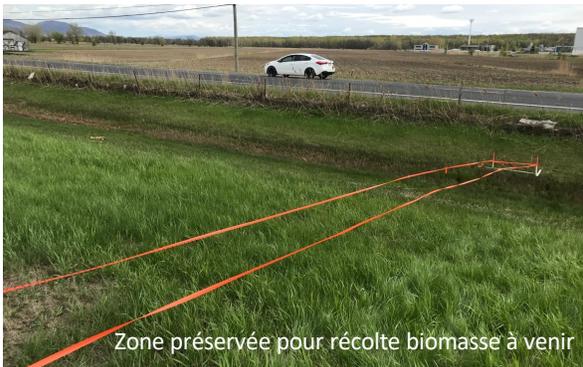
Section 9-12m



Photo du fossé

Annexe 3 : Activités en images

Construction des dispositifs



Annexe 3 (suite)

Construction des dispositifs



Annexe 3 (suite)

Échantillonnage biodiversité végétale



Échantillonnage végétation et biomasse

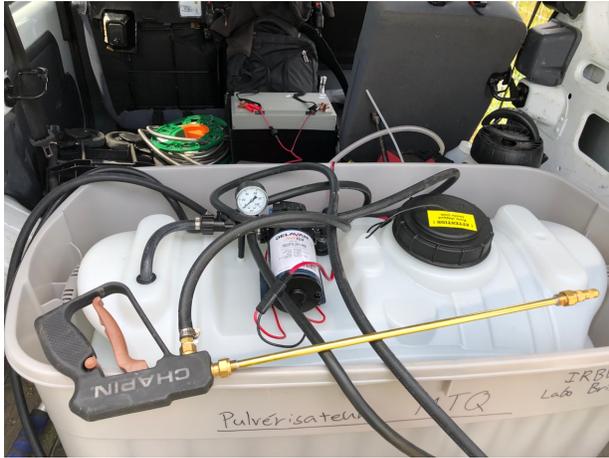


Nettoyage des gouttières et citernes



Annexe 3 (suite)

Nettoyage des gouttières et citernes



Mesure des volumes d'eau



Échantillonnage de l'eau



Annexe 3 (suite)

Échantillonnage le 1 décembre 2020



Annulation échantillonnage à partir du 09-12-2020



Application des traitements d'entretien de la végétation



Démantèlement du dispositif printemps 2021



Annexe 3 (suite)

Installation station météo



Pluie intense



Autres



Réparation liées aux rongeurs



Valve pour vidanger citerne

Annexe 4 : Volumes d'eau récoltés en 2019 et 2020

Tableau: Volumes d'eau récoltés au cours de la saison 2019 avec analyses (Event) et sans analyse (Rain)

Traitement	Bande	Site	29.08.19	11.09.19	07.10.19	18.10.19	23.10.19	28.10.19	01.11.19
			Rain A	Rain B	Event 1	Event 2	Event 3	Event 4	Event 5
Habituel	0	S1-0	45,0	10,0	153,1	604,0	369,0	329,0	629,0
Habituel	3	S1-3	6,0	1,7	5,3	112,3	15,3	23,4	159,8
Habituel	6	S1-6	5,0	1,3	5,5	25,6	13,1	15,5	162,9
Minimum	0	S2-0	58,0	3,4	97,6	518,6	278,6	253,6	598,7
Minimum	3	S2-3	5,8	1,5	6,3	155,7	65,5	89,3	156,3
Minimum	6	S2-6	5,0	1,2	5,1	152,4	34,9	45,6	159,8
Maximum	0	S3-0	30,0	6,0	117,2	658,7	315,6	291,1	639,7
Maximum	3	S3-3	5,5	1,5	5,5	112,6	18,1	27,9	153,8
Maximum	6	S3-6	5,0	1,4	5,9	100,9	15,3	23,2	97,1
Maximum	0	S4-0	135,0	6,7	145,5	653,7	439,6	266,1	662,7
Maximum	3	S4-3	8,5	1,4	5,3	37,7	10,4	13,1	159,8
Maximum	6	S4-6	8,0	1,6	7,1	73,8	15,3	23,2	156,3
Minimum	0	S5-0	150,0	17,1	212,2	615,7	570,6	433,6	615,7
Minimum	3	S5-3	8,0	1,5	6,1	45,7	13,1	18,1	159,8
Minimum	6	S5-6	7,0	1,3	6,4	56,6	15,3	20,5	159,8
Maximum	0	S6-0	145,0	13,0	156,4	617,7	384,6	327,6	629,0
Maximum	3	S6-3	7,5	1,5	5,9	139,8	29,9	68,0	162,9
Maximum	6	S6-6	6,0	1,3	5,3	95,7	10,4	13,1	139,8
Minimum	0	S7-0	125,0	10,0	141,1	638,7	418,6	344,6	628,7
Minimum	3	S7-3	6,5	1,3	5,4	152,4	23,2	23,2	159,8
Minimum	6	S7-6	8,0	1,6	5,9	30,0	13,1	20,5	159,8
Minimum	0	S8-0	60,0	5,0	128,1	663,7	323,5	303,6	653,7
Minimum	3	S8-3	7,5	1,3	5,2	99,8	10,4	15,1	159,8
Minimum	6	S8-6	6,5	1,5	6,5	71,1	18,1	23,2	119,8
Maximum	0	S9-0	157,0	10,0	173,1	633,7	403,6	370,6	628,6
Maximum	3	S9-3	5,5	1,2	4,6	151,1	20,5	20,5	151,8
Maximum	6	S9-6	5,0	0,6	4,7	152,8	156,2	141,0	159,8
Maximum	0	S10-0	120,0	0,7	286,1	503,7	652,6	658,6	653,6
Maximum	3	S10-3	5,0	1,2	4,2	122,9	10,4	50,8	159,8
Maximum	6	S10-6	5,0	0,6	5,2	30,0	10,4	15,3	32,5
Minimum	0	S11-0	6,0	0,7	3,5	523,7	5,0	297,6	666,6
Minimum	3	S11-3	5,5	1,1	4,9	28,0	10,4	13,1	159,8
Minimum	6	S11-6	5,0	1,0	5,0	25,5	10,4	13,1	153,8

Tableau: Volumes d'eau récoltés au cours de la saison 2020 avec analyses (Event) et sans analyse (Rain)

Traitement	Bande	Site	29-06-2020	17-07-2020	24-08-2020	03-08-2020	30-08-2020	01-12-2020
			Rain A	Rain B	Rain C	Event 1	Event 2	Event 3
Habituel	0	S1-0	110	170,7	160	1318,1	597,1	281,2
Habituel	3	S1-3	7,3	7,3	7,3	155,6	42,8	9,7
Habituel	6	S1-6	2,8	7,3	7,3	73,1	13,1	9,4
Minimum	0	S2-0	80	104,0	130	1078,1	494,1	203,1
Minimum	3	S2-3	7,3	7,3	7,3	158,9	50,8	12,7
Minimum	6	S2-6	2,8	4,6	4,6	20,1	18,1	9
Maximum	0	S3-0	140	164,7	190	1268,1	606,1	233,1
Maximum	3	S3-3	4,6	4,6	4,6	155,6	23,1	8,5
Maximum	6	S3-6	2,8	4,6	4,6	20,1	15,3	8,5
Maximum	0	S4-0	150	164,7	130	1228,1	762,1	272
Maximum	3	S4-3	4,6	4,6	4,6	145,8	20,5	8,2
Maximum	6	S4-6	4,6	4,6	4,6	26,8	18,1	9,7
Minimum	0	S5-0	110	186,7	200	1203,1	671,1	242,1
Minimum	3	S5-3	2,8	7,3	4,6	158,9	24,6	8,4
Minimum	6	S5-6	2,8	7,3	4,6	20,1	15,3	9,7
Maximum	0	S6-0	140	196,0	210	1178,1	657,1	241,1
Maximum	3	S6-3	2,8	7,3	4,6	158,9	71	9,3
Maximum	6	S6-6	2,8	7,3	4,6	20,1	14,5	8,2
Minimum	0	S7-0	110	173,3	200	1198,1	689,1	293,1
Minimum	3	S7-3	2,8	7,3	4,6	152,3	29,9	7,6
Minimum	6	S7-6	2,8	7,3	2,8	17,4	15,3	8,5
Minimum	0	S8-0	150	146,7	200	1223,1	693,1	247,1
Minimum	3	S8-3	2,8	4,6	2,8	152,3	34,9	9,9
Minimum	6	S8-6	2,8	7,3	2,8	22,3	13,1	8,1
Maximum	0	S9-0	120	152,0	190	1268,1	627,1	263,1
Maximum	3	S9-3	2,8	2,8	2,8	152,3	14,5	7,4
Maximum	6	S9-6	2,8	7,3	2,8	22,3	15,3	8,1
Maximum	0	S10-0	140	160,0	160	1103,1	668,1	260,1
Maximum	3	S10-3	4,6	7,3	4,6	152,3	105,2	5,7
Maximum	6	S10-6	2,8	7,3	4,6	20,1	17,7	8,7
Minimum	0	S11-0	120	292,7	115	1263,1	728,1	293,1
Minimum	3	S11-3	2,8	4,6	2,8	152,3	13,1	7,5
Minimum	6	S11-6	2,8	4,6	4,6	17,4	14,5	7,5

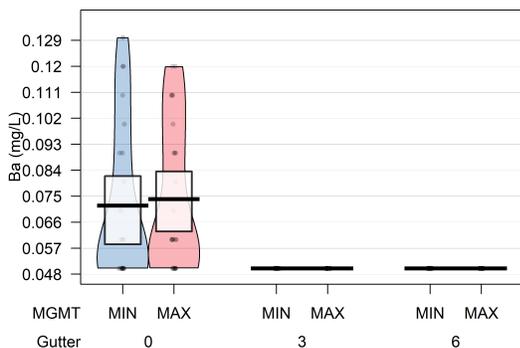
Annexe 5 : Liste des espèces observées lors des suivis 2019-2020

Nom latin	Nom commun
<i>Achillea millefolium</i>	Achillée millefeuille
<i>Agrostis stolonifera</i>	Agrostide stolonifère
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Petite herbe à poux
<i>Artemisia vulgaris</i>	Armoise vulgaire
<i>Asclepias syriaca</i>	Asclépiade commune
<i>Aster</i> sp.	Aster sp.
<i>Atriplex prostrata</i>	Arroche hastée
<i>Betulaceae</i>	Bouleau
<i>Bidens cernua</i>	Bident penché
<i>Bromus inermis</i>	Brome inerme
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Bourse-à-pasteur
<i>Centaurium pulchellum</i>	Petite-centaurée délicate
<i>Chenopodium album</i>	Chénopode blanc
<i>Cirsium</i> sp.	Chardon sp.
<i>Convolvulus</i> sp.	Liseron sp.
<i>Daucus carota</i>	Carotte sauvage
<i>Digitaria ischaemum</i>	Digitaire astringente
<i>Digitaria sanguina</i>	Digitaire sanguine
<i>Digitaria</i> sp.	Digitaire sp.
<i>Elymus repens</i>	Chiendent commun
<i>Equisetum arvense</i>	Prêle des champs
<i>Erigeron</i> sp.	Vergerette sp.
<i>Fallopia convolvulus</i>	Renouée liseron
<i>Festuca rubra</i>	Fétuque rouge
<i>Gallium</i> sp.	Gaillet sp.
<i>Gramineae</i>	Graminée
<i>Halerpestes cymbalaria</i>	Renoncule cymbalaire
<i>Hordeum jubatum</i>	Orge queue-d'écureuil
<i>Juncus gerardi</i>	Jonc de Gérard
<i>Juncus</i> sp.	Jonc sp.
<i>Linaria vulgaris</i>	Linaire vulgaire
<i>Lolium perenne</i>	Lvraie vivace
<i>Lythrum salicaria</i>	Salicaire commune
<i>Medicago lupulina</i>	Luzerne lupuline
<i>Oxybasis glauca</i>	Chénopode glauque
<i>Panicum capillare</i>	Panic capillaire
<i>Pastinaca sativa</i>	Panais sauvage
<i>Phalaris arundinacea</i>	Alpiste roseau
<i>Phragmites australis</i>	Roseau commun
<i>Plantago major</i>	Plantain majeur
<i>Poa compressa</i>	Pâturin comprimé
<i>Poa nemoralis</i>	Pâturin des bois
<i>Poa pratensis</i>	Pâturin des prés
<i>Poa</i> sp.	Pâturin sp.
<i>Polygonum aviculare</i>	Renouée des oiseaux
<i>Potentilla anserina</i>	Potentille ansérine
<i>Prunella vulgaris</i>	Brunelle vulgaire
<i>Scorzoneroïdes autumnalis</i>	Liondent d'automne
<i>Setaria glauca</i>	Sétaire glauque
<i>Solidago rugosa</i>	Verge d'or rugueuse
<i>Solidago</i> sp.	Verge d'or sp.
<i>Sonchus arvensis</i>	Laiteron des champs
<i>Sonchus oleraceus</i>	Laiteron des champs
<i>Sonchus</i> sp.	Laiteron sp.
<i>Stellaria graminea</i>	Stellaire à feuilles de graminée
<i>Symphyotrichum novae-angliae</i>	Aster de Nouvelle-Angleterre
<i>Symphyotrichum lanceolatum</i>	Aster lancéolé
<i>Taraxacum officinale</i>	Pissenlit officinal
<i>Typha angustifolia</i>	Quenouille à feuilles étroites
<i>Valeriana officinalis</i>	Valériane officinale
<i>Vicia cracca</i>	Vesce jargeau

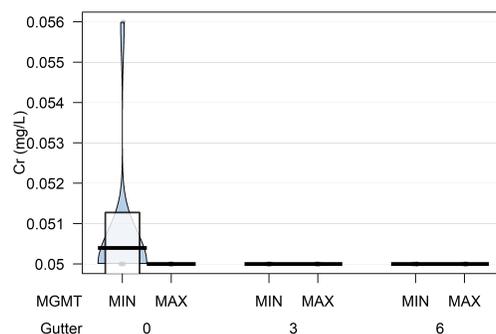
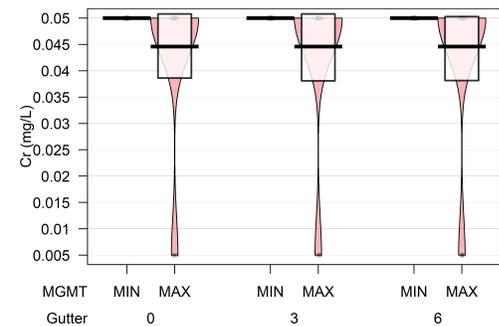
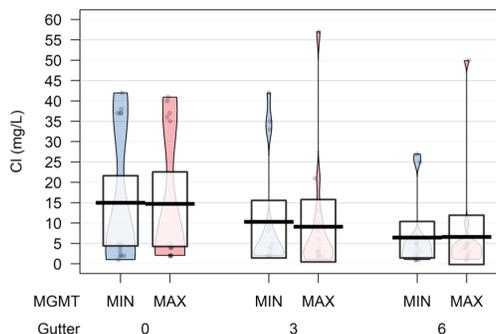
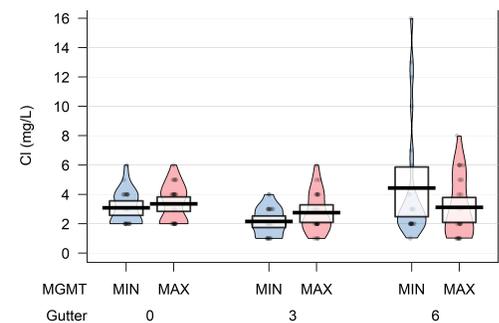
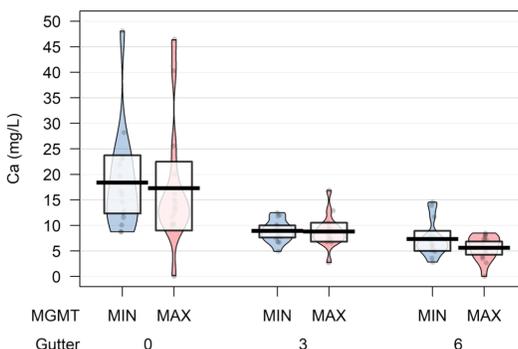
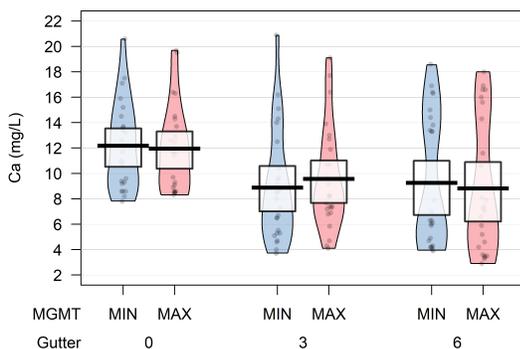
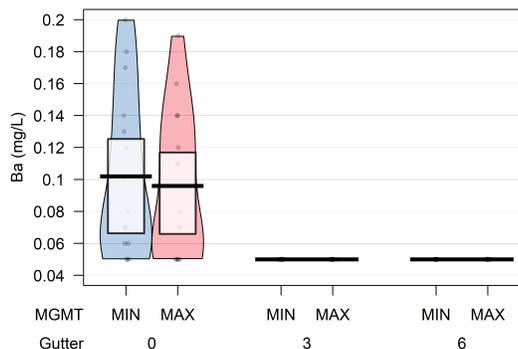
Annexe 6 : Graphiques des valeurs moyennes observées annuellement

Analyse des paramètres chimiques liés aux métaux :

Données de 2019

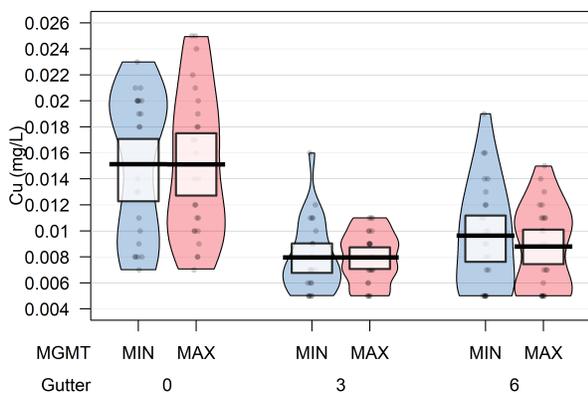


Données de 2020

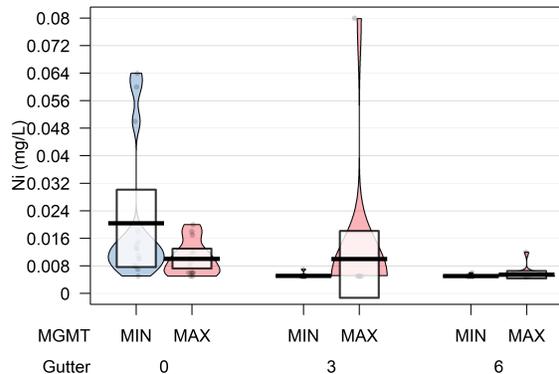
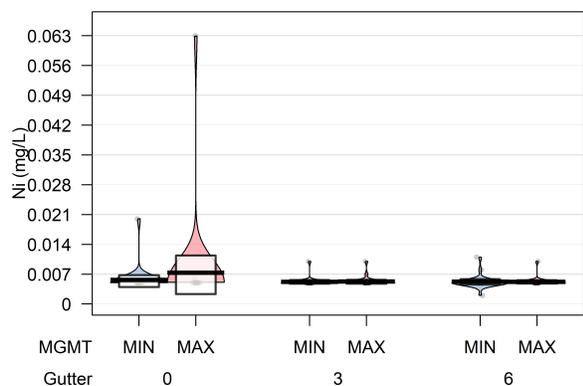
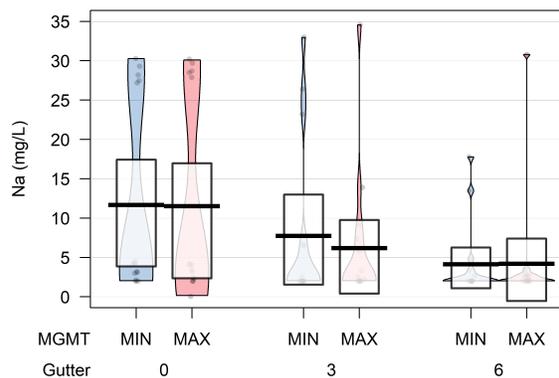
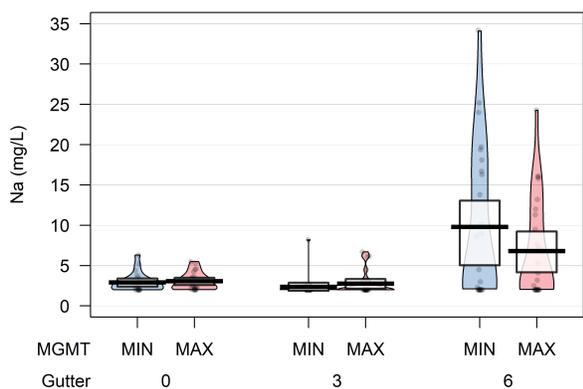
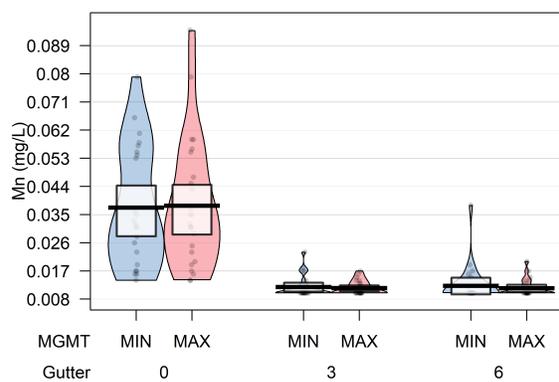
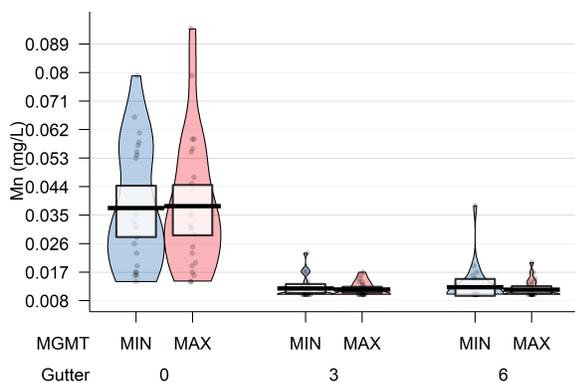
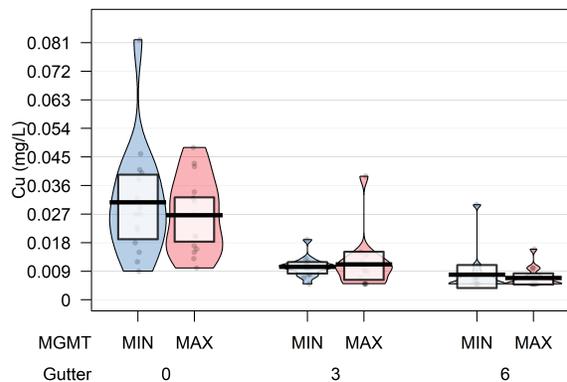


Analyse des paramètres chimiques liés aux métaux (suite) :

Données de 2019

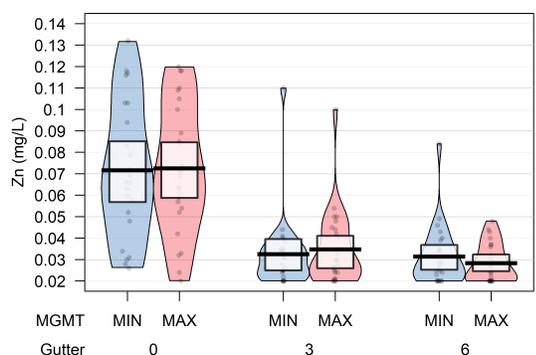
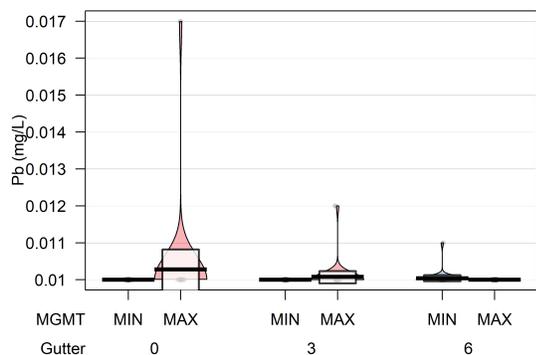


Données de 2020

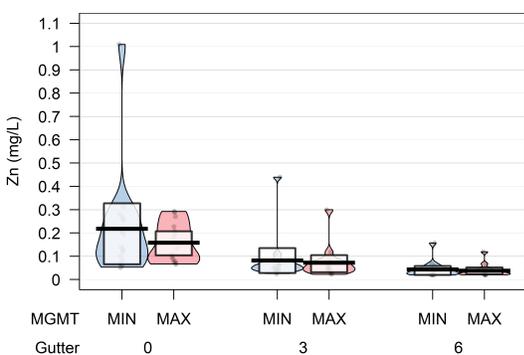
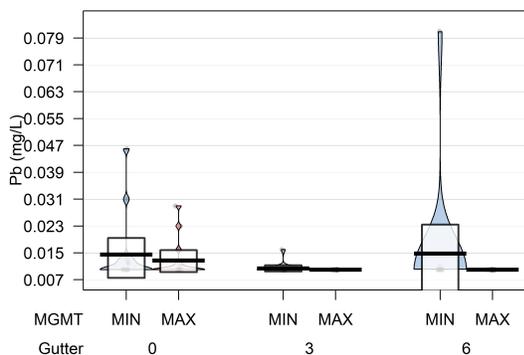


Analyse des paramètres chimiques liés aux métaux (suite) :

Données de 2019

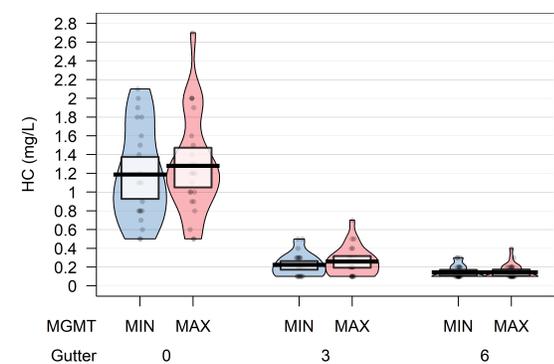
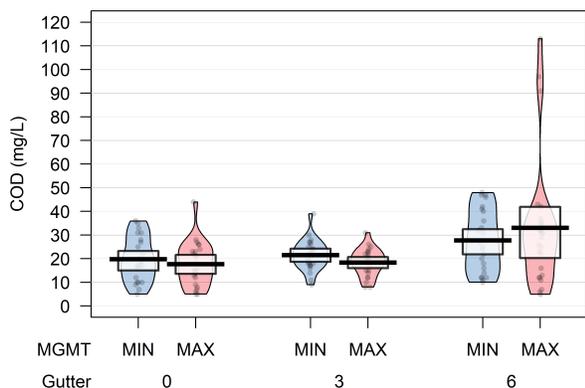


Données de 2020

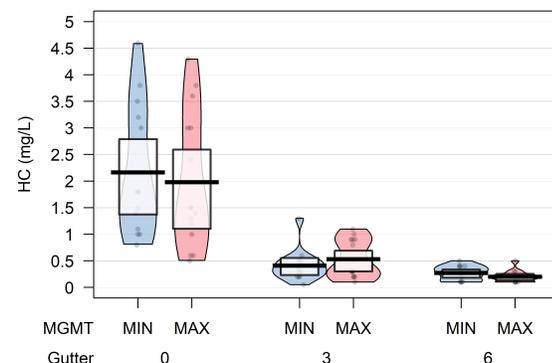
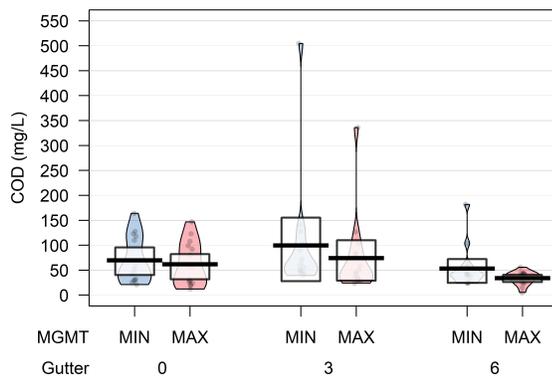


Analyse des paramètres chimiques organiques :

Données de 2019

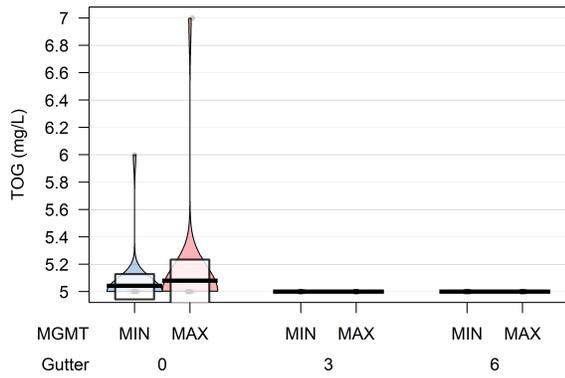
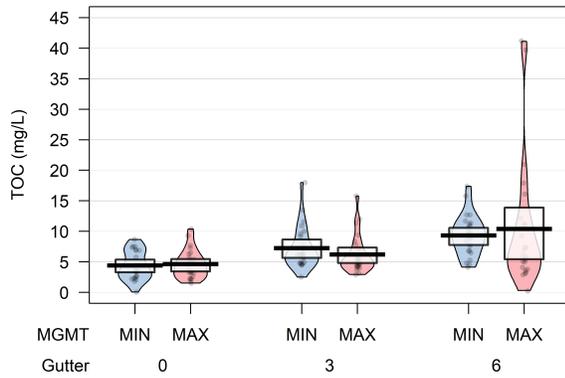
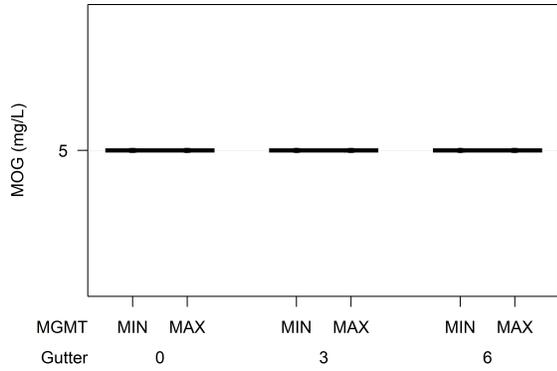


Données de 2020

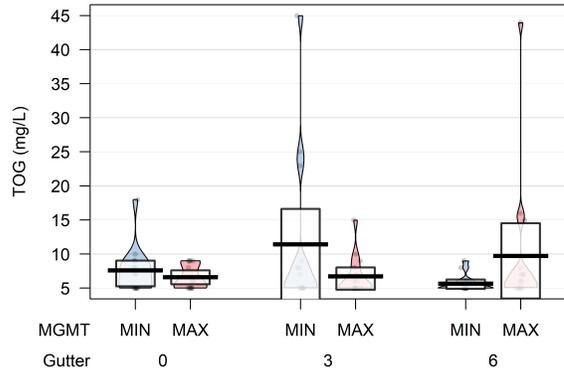
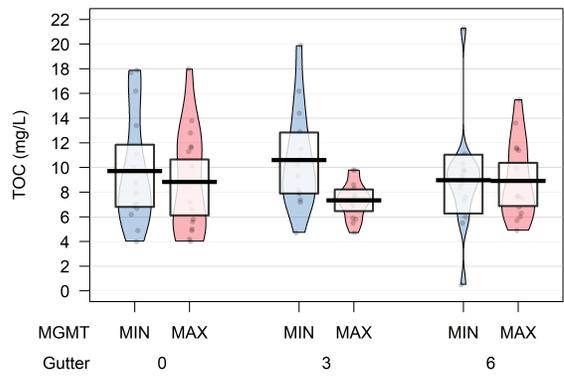
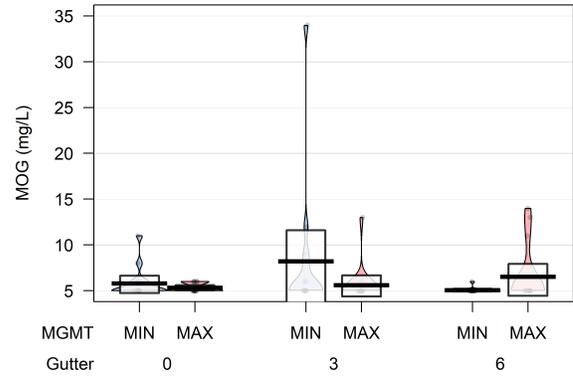


Analyse des paramètres chimiques organiques (suite) :

Données de 2019

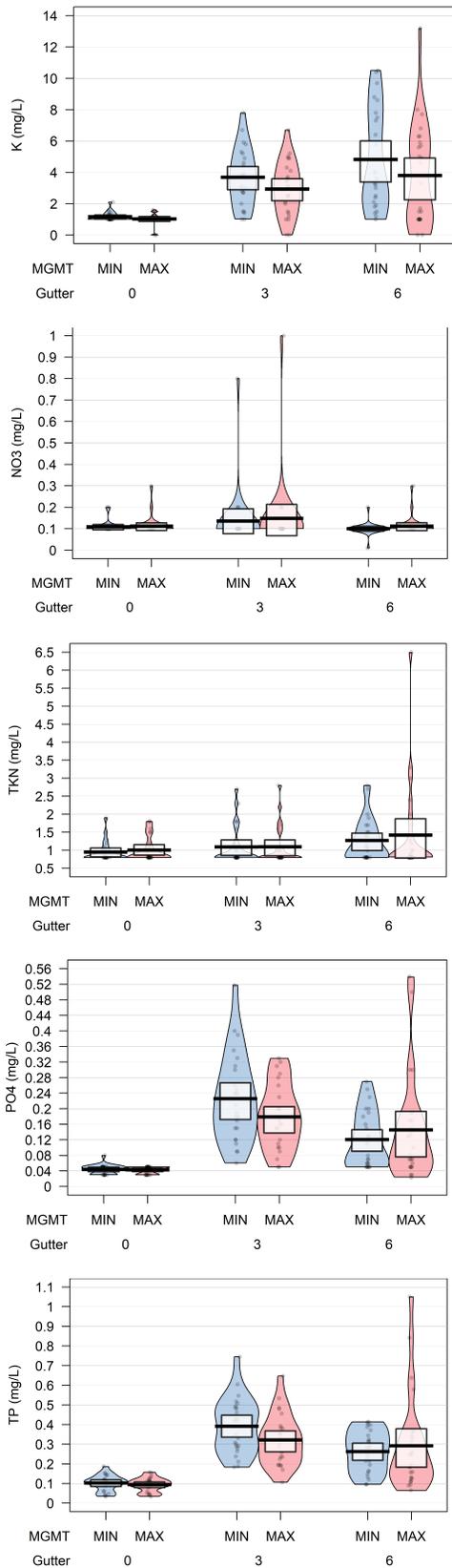


Données de 2020

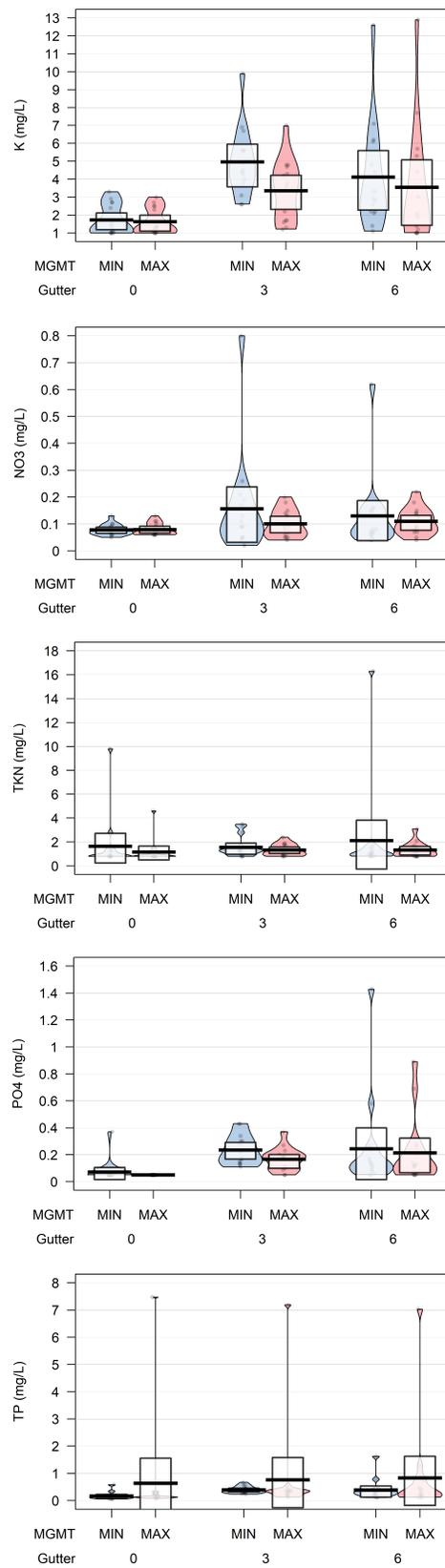


Analyse des paramètres chimiques liés aux nutriments :

Données de 2019

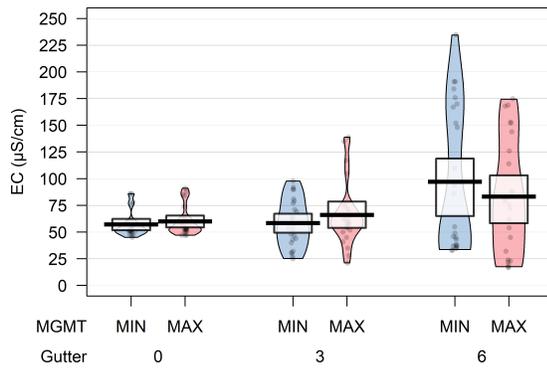
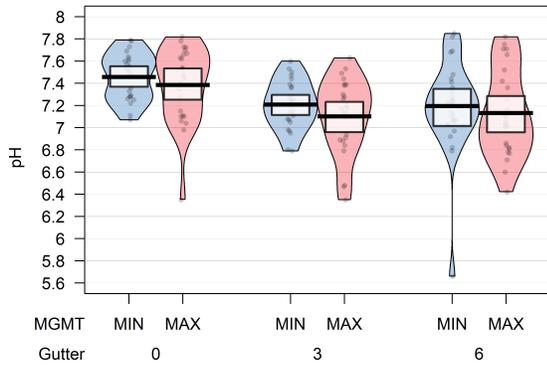
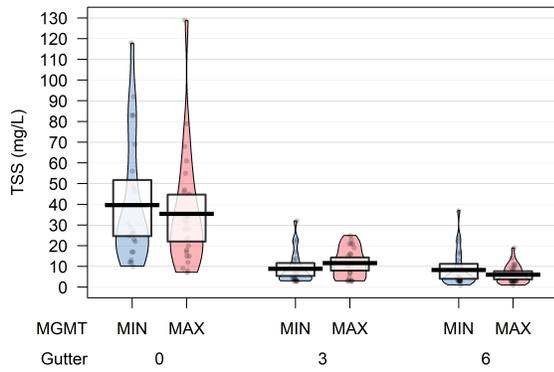


Données de 2020

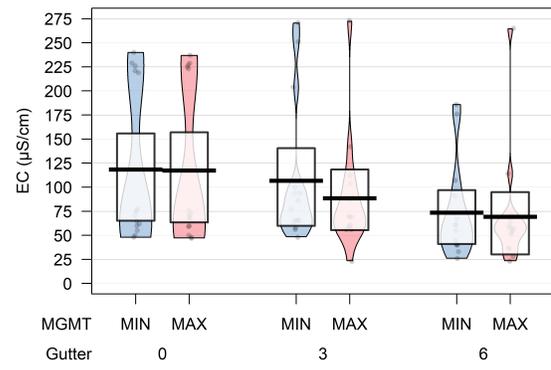
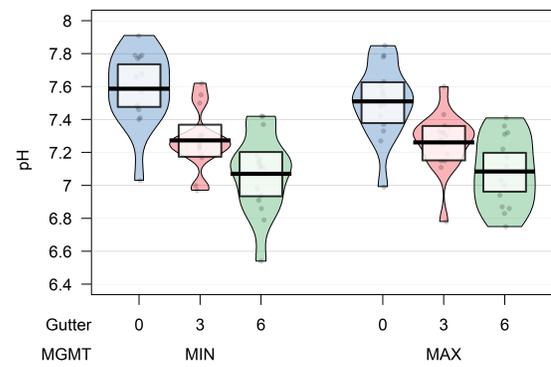
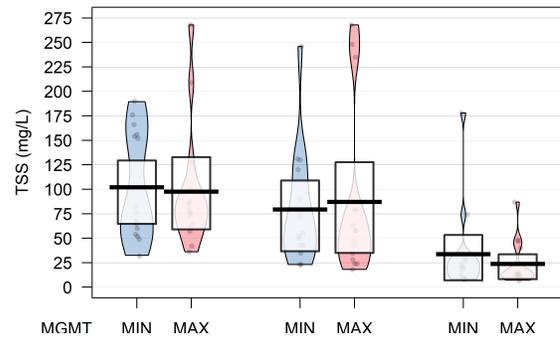


Analyse des paramètres physico-chimiques :

Données de 2019



Données de 2020



Annexe 7 : Critères de qualité de l'eau de surface

Type	Code	Paramètres chimiques	Critère CVAC ¹ (mg/L)
Métaux:	Ag	Argent	0,0001
	As	Arsenic	0,15
	Ba	Baryum	0,079
	Ca	Calcium	4
	Cd	Cadmium	0,00008
	Cl	Chlorure	230
	Co	Cobalt	0,1
	Cr	Chrome	0,011
	Cu	Cuivre	0,0024
	K	Potassium	---
	Mn	Manganèse	0,47
	Mo	Molybdène	3,2
	Na	Sodium	---
	Ni	Nickel	0,013
	Pb	Plomb	0,00041
Sn	Étain	0,000008	
Zn	Zinc	0,031	
Polluants organiques:	COD	Demande chimique en oxygène	
	TOC	Carbone organique total	---
	HC	Hydrocarbures (C10-C50)	0,2
	TOG ²	Graisse et huile total	0
	MOG	Huile minérale et graisse	---
Nutriments:	NO3	Nitrate	3
	TKN	Total Kjeldahl nitrogen	---
	PO4	Orthophosphates	---
	TP	Phosphore total	0,03
Autres:	TSS ³	Matière en suspension	25
	pH	pH	6,5 à 9
	EC	Conductivité électrique	---

¹ CVAC: critère de qualité pour la vie aquatique – effet chronique. Valeur déterminée pour éviter les effets à long terme d'un rejet sur la vie aquatique, la toxicité chronique d'un effluent

² La surface de l'eau doit être virtuellement libre d'huiles non pétrolières d'origine végétale ou animale aussi bien que de dérivés pétroliers

³ Eau considérée comme turbide donc seuil établi à une augmentation maximal du TSS de 25 mg/L. Valeurs mesurées dans le fossé MTQ varient entre 3 et 22.

Réf.: MELCC, 2021

Annexe 8 : Valeurs moyennes 2019-2020 des paramètres de la qualité de l'eau provenant du fossé (station F12)

Paramètres	Fossé - F12	Critère CVAC
	Moyenne ¹ (mg/L)	(mg/L)
Ag	0,004	0,0001
As	0,0024	0,15
Ba	0,07335	0,079
Ca	104,03	4
Cd	0,0016	0,00008
Cl	709,1	230
Co	0,04	0,1
COD	56,13335	
Cr	0,04	
Cu	0,01215	0,0024
EC	2922,33335	
HC	0,11335	0,2
K	9,97085	
Mn	0,2425	0,47
Mo	0,04	3,2
MOG	4	
Na	517,86665	
Ni	0,00885	0,013
NO3	0,04165	3
Pb	0,008	0,00041
pH	6,19665	
PO4	0,038	
Sn	0,04	0,000008
TKN	1,32665	
TOC	16,47665	
TOG	4	
TP	0,0699	0,03
TSS	9,53335	25
Zn	0,024	0,031

¹ Valeurs moyennes en gras dépassent le critère de qualité pour la vie aquatique critère-effet chronique (CVAC)

Annexe 9 : Publication de conférence, Kõiv-Vainik, M. and al. 2020

15th International Conference on Urban Drainage, Melbourne, September 2020

Effect of roadside vegetation management on the quantity and quality of highway stormwater in cold climate conditions

M. Kõiv-Vainik^{1,2*}, V. Shete¹, M. Centa¹, D. Dagenais³, G. Bédard⁴ & J. Brisson¹

¹*Institut de Recherche en Biologie Végétale, Département de Sciences Biologiques, Université de Montréal, 4101, rue Sherbrooke Est, Montréal, QC, H1X2B2, Canada*

²*Department of Geography, Institute of Ecology and Earth Sciences, University of Tartu, Vanemuise 46, 51003, Tartu, Estonia*

³*Chaire en paysage et environnement, Faculté de l'aménagement, Université de Montréal, 2940 chemin de la Côte Saint-Catherine, Montréal, Canada.*

⁴*Direction de la Planification et de la mobilité durable, Direction générale de la Planification et de la gestion des infrastructures - Région métropolitaine de Montréal, Ministère des Transports, Québec, Canada*

*Corresponding author email: margit.koiv.vainik@ut.ee

Highlights

- Vegetated highway roadsides effectively reduce runoff quantity and improve quality.
- The runoff volume reduction on roadside was not affected by management practice.
- Highway runoff related pollutants were significantly reduced already 3 meters down the slopes.

Introduction

The concern about the impact of the road runoff on the surrounding environment has grown with increase of urbanization. For sustainable urban stormwater management usage of low impact development (LID) practices is recommended (Higgins et al., 2016). The phytotechnological road runoff management and treatment LID methods are bioswales, vegetated filter strips and vegetated buffers (Higgins et al., 2016; Leroy et al., 2016; Stagge et al., 2012). Yet, only small percentage of roads, all over the world, are equipped with special runoff management systems. Typical constructional part of all roads are vegetated sideslopes and ditches. There is increased attention on these sites, as they are similar to the named phytotechnologies. However, their role in runoff management and pollution mitigation, and the approaches for improving their performance, has not been thoroughly determined yet. According to the study by Henderson et al. (2016), the vegetation management of the roadsides has significant negative impact on the peak flow reduction and pollutant removal. However, more evidence is needed from cold climate conditions. Therefore, current project aims to: a) study the impact of highway roadside vegetation management on runoff quantity and quality in cold climate conditions and b) to establish sustainable management practices for highway roadsides under cold climate conditions.

Methodology

Experimental set-up

On spring 2019, a total of 11 highway runoff collection sites were built on the same South-facing vegetated sideslope of the highway Jean-Lesage (45.582° -73.309°) near Sainte-Julie town, Quebec, Canada (Fig. 1). The average annual traffic on this highway section is 91 000 vehicles per day.

For designing and sizing the runoff collection system according to on-site conditions and precipitation data the runoff volumes from different parts of the highway, i.e., the paved roadway and the vegetated slopes, were estimated using rainfall calculations, and measured during pilot study in autumn 2018.

The study plan consists of sites with three different vegetation managements: a) 5 site replicates with minimal (MIN; cutting only near highway edge according to road safety rules); b) 5 replicates with maximal (MAX; cutting 3 times per season on all the slope and ditch); and c) one additional site with "current" management practice (CU; once a season cutting all the roadside and twice a season cutting only the edge

of the road). The vegetation height was managed according to real management practices (cutting at 100-150 mm height from ground level and cut plant parts were left on the slopes).



Figure 1. Total 11 highway runoff monitoring sites with gutters and collection tanks, and a view of 3-meter gutter on the slope.

Each monitoring site includes three collection systems with gutters (made from 3 m long Ø10 cm PVC pipes) intended to collect the runoff into three tanks that have overflows to avoid back-flow of runoff to the gutters when tanks are full. The gutters were positioned one meter apart at three different heights on the vegetated highway slopes (Fig. 1): 0 meters (on the edge of the roadway), 3 meters and 6 meters from the highway edge (in the middle of the slope). Each gutter was staggered from the previous one to ensure that they do not interfere with each other by constructing small bunds on the gravel strip next to the highway asphalt. Furthermore, the runoff from the other areas of the roadway was redirected with small trenches on the slope outside the 3 meters wide gutter sections. Preliminary tests on pilot site during 2018 gave necessary input for sizing of the collection tanks to receive maximum 670 L from 0m, and 165 L from both 3m and 6m gutters.

Sampling and analyses

From autumn 2019, the runoff volume data of 5 rain events was compared with precipitation data from onsite weather station. The water samples were collected from mixed and homogenized tank contents by grab sampling from the tanks. Following water analyses were carried out at an accredited laboratory: pH, electrical conductivity (EC), total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), total organic carbon (TOC), nitrates (NO₃-N), total Kjeldahl nitrogen (TKN), total phosphorus (TP), ortho-phosphates (PO₄-P), total and mineral oil and grease, hydrocarbons (C10-C50), chlorides, Na, K, Ca, and Zn, Ni, Cu, Cr, Co, Mn, Pb, Sn, Ag, As, Ba, Mo, Cd.

Preliminary statistical analyses were performed in R 3.6.2 with 'nlme package' (3.1-142) with results from 2019. A linear mixed model was used for determining differences in volume reduction and pollution removal. Fixed effects were management type, gutter location, event number and precipitation amount. Data was nested by site and then gutter (random intercepts). We also tested whether autocorrelation across sampling events was present. In case the model residuals were not normally distributed, the model was double checked with 'robustlmm' package (2.3) that showed good concordance with the previous parametric model result.

Results and discussion

The volume measurements (Fig. 2) from 11 collection sites showed that the three management practices didn't differ significantly from each other ($p > 0.05$; from 3m, 52L from 6m gutter) but had all high efficiency in volume reduction (on average 83%). The vegetated slope had significant impact on the runoff volumes when comparing average results from highway (0m gutter 422 L) with 3m (64L) and 6m (52L) gutters. Furthermore, most of the runoff volume was already reduced on the first 3 meters of the slope ($p < 0.001$) and there were no significant differences between the average volumes from 3m and 6m gutters ($p = 0.46$). When comparing our results with a similar study conducted by Henderson et al. (2016), we can see that our sites with managed vegetation (MAX on Fig. 1) reduced the runoff volume more than the managed slopes in Virginia, US, e.g., volume reduction 76% ($n = 16$ events, 1 site; with average rainfall depth 22 mm) 5.5 m down compared with our 88% ($n = 5$ events, 5 sites; average rainfall depth 28 mm) already 3 m down the slope. The road runoff collected with 0-meter gutter has on average lower pollutant concentrations than road runoff from statistical review done by Duncan (1999). The management types didn't have significant impact

on the changes in runoff quality. When comparing our high TSS removal of 74% (Fig. 2) with 91% in study by Stagge et al. (2012) on highway side grassy swales, as expected our removal was lower than from designed phytotechnologies. We can see clear reduction in hydrocarbons (C10-C50) concentrations (Fig. 2; $p < 0.001$) on vegetated slope in all managements. Most of the heavy metals in runoff were under detection limit. However, we still measured significant ($p < 0.001$) removal of Cu (35%) and Mn (63%). As expected, the concentration of plant biomass related parameters showed significant increase when comparing 0m and 6m gutter results: e.g. COD ($p = 0.006$), TOC ($p < 0.001$), TKN ($p = 0.01$) and TP ($p < 0.001$; Fig. 2.). This is probably because of high amount of cut plant matter on the highway slopes that is transported to gutters and from where the organic matter and nutrients are leaching to runoff.

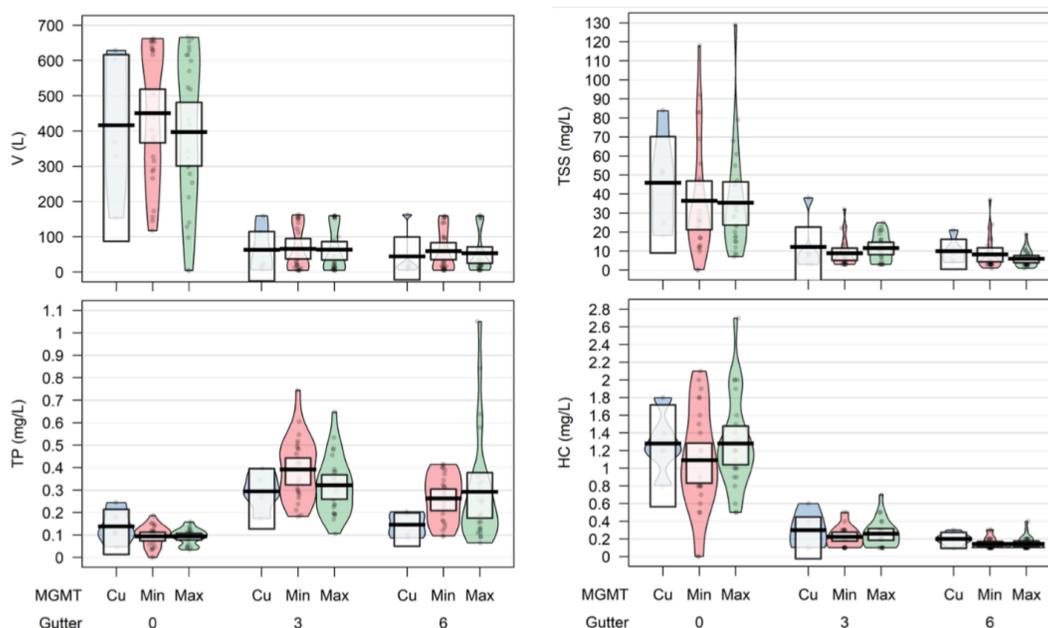


Figure 2. Comparison of runoff volume (V) reduction and changes in concentration of selected pollutants (TSS, TP and HC) in different managements and from three sampling locations (0m, 3m and 6m). Abbreviations: MGMT – management; CU – current management; MIN – minimum management; MAX – maximum management.

Conclusions and future work

Vegetated highway roadsides effectively reduce runoff quantity. The runoff volume reduction on roadside was not affected by studied management practices. Highway runoff related pollutants were significantly reduced already 3 meters down the sideslopes. Our further research aims to determine if vegetated highway slopes in cold climate conditions are performing similarly to other road runoff treatment phytotechnologies and whether the unmanaged and managed slopes have similar volume reduction and pollutants removal efficiency on year 2020.

References

- Duncan, H.P., 1999. Urban stormwater quality: a statistical overview. Coop. Res. Cent. Catchment Hydrol. Report 99/3.
- Henderson, D., Smith, J.A., Fitch, G.M., 2016. Impact of Vegetation Management on Vegetated Roadsides and Their Performance as a Low-Impact Development Practice for Linear Transportation Infrastructure. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board 2588, 172–180. <https://doi.org/10.3141/2588-19>
- Higgins, C., Liu, Z., Stewart, R., Kelley, J., Drake, S., 2016. Design Guide for Roadside Infiltration Strips in Western Oregon (No. FHWA-OR-RD-16-16). Western Oregon, U.S.
- Leroy, M.-C., Portet-Koltalo, F., Legras, M., Lederf, F., Moncond’huy, V., Polaert, I., Marcotte, S., 2016. Performance of vegetated swales for improving road runoff quality in a moderate traffic urban area. Sci. Total Environ. 566–567, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.027>
- Stagge, J.H., Davis, A.P., Jamil, E., Kim, H., 2012. Performance of grass swales for improving water quality from highway runoff. Water Res. 46, 6731–6742. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.02.037>

Annexe 10 : Liste des matériaux utilisés pour la stabilisation de certains polluants

Matériaux	Type de processus dans les matériaux	Usage	Type d'infrastructure	Polluant(s) traité(s)	Type d'étude/source	Principaux résultats	Référence
Matériaux filtrants réactifs (billes de verre, sable, filtralite HMR, D-Rainclean, Filtralite P, Neutraco, Bluegard Olivine GI-3 mélangé avec du sable)	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Substrats filtrants	Installations de traitement des eaux pluviales routières	Enlèvement de métaux des eaux de ruissellement	Étude sur colonne	Étude expérimentale sur colonne pour l'élimination de métaux à l'aide de médias filtrants réactifs disponibles dans le commerce. A montré une efficacité d'élimination des métaux pour tous les médias, dans l'ordre zinc > cuivre > nickel. Les efficacités d'élimination du chrome et du plomb n'étaient pas considérablement plus élevées dans les médias filtrants testés par rapport au sable filtrant de référence. Deux médias filtrants ont également lessivé du chrome pendant la première partie de l'expérience.	Lundgren, 2021, Metal removal efficiency of five filter media intended for use in road stormwater treatment facilities, DEGREE PROJECT IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING, KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1539703/FULLTEXT01.pdf
Plusieurs matériaux naturels et artificiels et sous-produits industriels	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Amélioration des substrats filtrants	Principalement des marais filtrants	Phosphates	Examen des expériences sur le terrain et en laboratoire	Efficacité maximale avec des matériaux riches en calcium (par exemple, cendres volatiles, scories d'acier, calcaire, cendres de schiste bitumineux, polonite)	Vohla, C., Křiv, M., Bavor, H.J., Chazarenc, F., Mander, U., 2011. Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands—A review. Ecological Engineering 37, 70–89. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.08.003
Sous-produits industriels	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Amendements de substrat filtrant	Filtres de drainage agricole	NO ₃ , PO ₄ , pesticides	Étude de laboratoire	Tests : (1) substrat à haute teneur en carbone ; (2) substrat à haute teneur en fer ; (3) substrat à haute teneur en aluminium ; (4) argile/zéolite modifiée par un agent tensioactif ; (5) résidus de combustion du charbon ; et (6) résidus de sables de fonderie. Les résultats de cette étude ont identifié certains produits industriels/sous-produits filtrants potentiels pour le traitement des eaux de ruissellement.	Allred, B.J., 2017. Batch Test Screening of Industrial Product/Byproduct Filter Materials for Agricultural Drainage Water Treatment. Water 9, 791. https://doi.org/10.3390/w9100791
Matériaux d'Absorption du Phosphore (MAP)	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Amendements de substrat filtrant	Structures d'élimination du P (filtres) pour les eaux de drainage	Phosphore dissous	Revue de littérature	Plus de 40 études ont été comparées en exprimant l'élimination cumulative du P en fonction de la charge accumulée de P dans les matériaux d'absorption étudiés. Les résultats ont été analysés tout d'abord en fonction du temps de rétention (TR), de la concentration de P entrant et du type de MAP. Les structures de traitement des eaux usées (sources ponctuelles) étaient généralement plus efficaces que celles traitant les eaux ruissellement (sources diffuses) en raison des concentrations plus élevées de TR et de P entrants. Pour les matériaux d'absorption du P riches en Ca, y compris les scories, un TR accru a permis une plus grande élimination du P. Parmi les structures avec de faibles TR et de faibles concentrations en P, communément employées pour traiter les apports d'eau de ruissellement diffus, les matériaux à base de Fe avaient une efficacité d'élimination cumulative globale plus élevée que les matériaux sans scories et scories.	Penn, C., Chagas, I., Klimeski, A., Lyngsie, G., 2017. A Review of Phosphorus Removal Structures: How to Assess and Compare Their Performance. Water 9, 583. https://doi.org/10.3390/w9080583
Cendres volatiles	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Amendement de substrat filtrant	Bande filtrante végétalisée	Eau de ruissellement, sédiments, nutriments	Étude terrain	Les résultats indiquent que les pertes d'orthophosphate, qui sont significativement plus faibles dans le ruissellement, sont attribuables aux caractéristiques chimiques et physiques d'absorption du phosphore inhérentes aux matériaux de surface sous l'aire de compostage.	Fly Ash Pad Surface Material System application for reduced runoff, sediment and nutrient losses from livestock manure windrow composting facilities, https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2382&context=abe_eng_publications
Cendres volatiles	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Amendement de substrat filtrant	Cellules de biorétention (CBRs)	Phosphore	Étude terrain	Le substrat contenant 5 % de cendres volatiles retenait significativement le P Mehlich-3 et le P hydrosoluble dans les 0,15 m supérieurs. Les échantillons d'influent et d'effluent d'eaux pluviales de trois des CBRs suivies pendant un an ont montré des réductions à la fois de la concentration de P (68 % à 75 %) et de la masse de P (76 % à 93 %).	Kandel, S., Vogel, J., Penn, C., Brown, G., 2017. Phosphorus Retention by Fly Ash Amended Filter Media in Aged Bioretention Cells. Water 9, 746. https://doi.org/10.3390/w9100746
Cendres volatiles	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Amendement de substrat filtrant	Cellules de biorétention (CBRs)	Pollution microbienne	Étude terrain	Dans l'ensemble, les taux d'élimination d'E. coli, des entérocoques et des coliphages étaient très variables, avec des moyennes et écarts types de pourcentage d'élimination pour chaque site et microorganisme de respectivement: 87 %, 35 % et 43 % pour E. coli ; 97 %, 95 % et 80 % pour les entérocoques ; et 38 %, 75 % et 32 % pour les coliphages.	Youngblood, S., Vogel, J., Brown, G., Storm, D., McLemore, A., Kandel, S., 2017. Field Studies of Microbial Removal from Stormwater by Bioretention Cells with Fly-Ash Amendment. Water 9, 526. https://doi.org/10.3390/w9070526
Gypse	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Amendement de sol	Bande filtrante enherbée	Phosphore soluble	Étude terrain	Les bandes filtrantes enherbées traitées au gypse étaient efficaces pour réduire les concentrations de P soluble (32 à 40 %) dans le ruissellement des eaux de surface, alors que la bande filtrante non traitée présentait une efficacité moindre pour réduire le P soluble (18 %).	Watts, D.B., Torbert, H.A., 2009. Impact of Gypsum Applied to Grass Buffer Strips on Reducing Soluble P in Surface Water Runoff. Journal of Environmental Quality 38, 1511–1517. https://doi.org/10.2134/jeq2008.0378
Sable enrichi de fer	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Amendement de substrat filtrant	Filtre à sable enrichi en fer (drainage agricole)	Phosphore	Étude terrain	L'élimination du phosphore total et du phosphate dans le drainage agricole par des filtres à sable enrichis de fer était à peu près uniforme lors de grands et petits événements de pluie et variait de 42 % à 95 % pour le phosphore total et de 9 % à 87 % pour le phosphate.	Erickson, A.J., Gulliver, J.S., Weiss, P.T., 2017. Phosphate Removal from Agricultural Tile Drainage with Iron Enhanced Sand. Water 9, 672. https://doi.org/10.3390/w9090672
Zéolite	Réaction chimique/précipitation (absorption)	Média filtrant	Filtres	Métaux lourds, MES, hydrocarbures, bactéries, ammoniacque, NO ₃ et PO ₄ , huiles, odeurs	À l'échelle réelle	Applications : traitement de l'eau potable, traitement des eaux usées tertiaires/dépollution, traitement des eaux radioactives, aquaculture en eau douce/industrie de la pêche, prétraitement des eaux de procédés industriels, traitement des eaux grises.	https://geneswatertech.com/blog-post/what-is-zeolite-water-treatment-media/
Biochars	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Amendements du sol et des matériaux filtrants	Tests de laboratoire, marais filtrants, amendement de sols, filtres pour le traitement de l'eau	Métaux lourds, contaminants organiques, colorants, pesticides, phénols, agents pathogènes, azote et phosphore	Revue de littérature	Cette revue présente un aperçu des avancées récentes en matière d'utilisation du biochar dans le traitement de l'eau et des eaux usées. Elle comprend aussi une brève discussion des mécanismes d'absorption impliqués dans l'élimination des contaminants, ainsi que les méthodes adaptées utilisant le biochar.	Wang, X., Guo, Z., Hu, Z., Zhang, J., 2020. Recent advances in biochar application for water and wastewater treatment: a review. PeerJ 8, e9164. https://doi.org/10.7717/peerj.9164

Annexe 10 (suite)

Matériaux	Type de processus dans les matériaux	Usage	Type d'infrastructure	Polluant(s) traité(s)	Type d'étude/source	Principaux résultats	Référence
Biochar	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Substrats mixtes (sable, sol organique, terre végétale, additifs)	Bioretention	Eau de ruissellement	Guide + études	Renouvelable Améliore l'agrégation du sol, la capacité de rétention d'eau et la teneur en carbone organique	https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Bioretention:_Filter_media Iqbal H, Garcia-Perez M, Flury M. Effect of biochar on leaching of organic carbon, nitrogen, and phosphorus from compost in bioretention systems. Science of the Total Environment. 2015;521-522: 37-45. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.060 Ulrich B, Im E, Werner D, Higgins C. Biochar and Activated Carbon for Enhanced Trace Organic Contaminant Retention in Stormwater Infiltration Systems. Environ. Sci. Technol. 2015;49:6222-6230. doi: 10.1021/acs.est.5b00376. Ulrich B, Loehnert M, Higgins C. Improved contaminant removal in vegetated stormwater biofilters amended with biochar. Environ. Sci.: Water Res. Technol., 2017;3:726-734. doi: 10.1039/C7EW00070G Ulrich B, Vignola M, Edgehouse K, Werner D, Higgins C. Organic Carbon Amendments for Enhanced Biological Attenuation of Trace Organic Contaminants in Biochar-Amended Stormwater Biofilters. Environ. Sci. Technol. 2017;51:9184-9193. doi: 10.1021/acs.est.7b01164.
Charbon actif granulé, écorce de pin et granules d'olivine	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Amendements de substrat filtrant	Filtres à sable	Traitement des eaux de ruissellement des autoroutes en climat froid (Cu, Pb, Ni et Zn) incluant l'impact des sels de déverglaçage	Tests sur colonnes à l'échelle pilote en Norvège	Les résultats ont montré que les filtres amendés de matériaux adsorbants étaient capables de laisser passer l'eau à des débits d'entrée élevés tout en obtenant un enlèvement élevé des polluants. Parmi les filtres, les filtres amendés à l'olivine ou à l'écorce de pin ont donné les meilleures performances aussi bien dans les tests à court qu'à long terme. L'ajout de NaCl (1 g/L) n'a montré aucun impact négatif sur la désorption des métaux déjà adsorbés, à l'exception de l'élimination du Ni par le filtre au charbon modifié, qui a été affecté négativement par l'ajout de sel. La durée de vie des filtres s'est avérée limitée pour le zinc et le cuivre, en raison des concentrations élevées observées dans les eaux de ruissellement urbaines locales, combinées à une affinité modérée de ces métaux pour les adsorbants. Il a été recommandé que les filtres modifiés à l'olivine et à l'écorce de pin soient testés à grande échelle.	Monrabal-Martinez, C., Ilyas, A., Muthanna, T.M., 2017. Pilot Scale Testing of Adsorbent Amended Filters under High Hydraulic Loads for Highway Runoff in Cold Climates. Water 9, 230. https://doi.org/10.3390/w9030230
Charbon actif en granules	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Amélioration des substrats filtrants	Filtres	Bactéries, virus et métaux lourds des eaux de surface	Revue de littérature	Le charbon actif granulaire (CAG) adsorbe les composés organiques qui n'ont pas été filtrés lors des étapes de traitement précédentes.	Hoslett, J., Massara, T.M., Malamis, S., Ahmad, D., van den Boogaert, I., Katsou, E., Ahmad, B., Ghazal, H., Simons, S., Wrobel, L., Jouhara, H., 2018. Surface water filtration using granular media and membranes: A review. Science of The Total Environment 639, 1268-1282. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.247
Bold et Gold TM	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Substrats mixtes (sable, sol organique, terre végétale, additifs)	Bioretention	Eau de ruissellement	Guide + études	Élimination documentée du phosphore total jusqu'à 71 %	https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Bioretention:_Filter_media Hood, A., Chopra, M., Wanielista, M., 2013. Assessment of Biosorption Activated Media Under Roadside Swales for the Removal of Phosphorus from Stormwater. Water 5, 53-66. https://doi.org/10.3390/w5010053
Limailles de fer ou fer à valence zéro (ZVI)	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Substrats mixtes (sable, sol organique, terre végétale, additifs)	Bioretention	Eau de ruissellement	Guide + études	Rétention de phosphore démontrée Le phosphore retenu est stable	https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Bioretention:_Filter_media Tian, J., Jin, J., Chiu, P.C., Cha, D.K., Guo, M., Imhoff, P.T., 2019. A pilot-scale, bi-layer bioretention system with biochar and zero-valent iron for enhanced nitrate removal from stormwater. Water Research 148, 378-387. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.030
Sable rouge ou sable enrichi en fer	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Substrats mixtes (sable, sol organique, terre végétale, additifs)	Bioretention	Eau de ruissellement	Guide + études	Élimination démontrée du phosphore Supprime également les MES	https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Bioretention:_Filter_media https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Iron_enhanced_sand_filter_combined Erickson, A.J. and J.S Gulliver. 2010. Performance Assessment of an Iron-Enhanced Sand Filtration Trench for Capturing Dissolved Phosphorus. Project Report No. 549, St. Anthony Falls Laboratory, University of Minnesota, Minneapolis, Prepared for the City of Prior Lake, Minnesota
Smart Sponge TM	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Substrats mixtes (sable, sol organique, terre végétale, additifs)	Bioretention	Eau de ruissellement	Guide + études	Élimine le phosphore, ainsi que les MES, les bactéries coliformes fécales et les métaux lourds Pas de lessivage	https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Bioretention:_Filter_media Abtech Industries. Smart Sponge Heavy Metals (HM). https://www.abtechindustries.com/smart-sponge-hm .
Sorbtive Media TM	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Substrats mixtes (sable, sol organique, terre végétale, additifs)	Bioretention	Eau de ruissellement	Guide + études	Efficacité élevée de l'élimination du phosphore	https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Bioretention:_Filter_media Marvin, J. T., Passeport, E., & Drake, J. (2020). State-of-the-Art Review of Phosphorus Sorption Amendments in Bioretention Media: A Systematic Literature Review. Journal of Sustainable Water in the Built Environment, 6(1), 03119001. https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000893 (https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/103827/1/State%20Art_Tsp_ace.pdf)

Annexe 10 (suite)

Matériaux	Type de processus dans les matériaux	Usage	Type d'infrastructure	Polluant(s) traité(s)	Type d'étude/source	Principaux résultats	Référence
Résidus de traitement de l'eau	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Substrats mixtes (sable, sol organique, terre végétale, additifs)	Bioretention	Eau de ruissellement	Guide + études	Réutilisation des déchets	<p>https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Bioretention:_Filter_media</p> <p>Agyin-Birikorang S, O'Connor G, Obreza T. Drinking Water Treatment Residuals to Control Phosphorus in Soils. UF/IFAS Extension. 2016.</p> <p>Babatunde AO, Zhao YQ, Burke AM, Morris MA, Hanrahan JP. Characterization of aluminum-based water treatment residual for potential phosphorus removal in engineered wetlands. Environmental Pollution 157 (2015) 2830-2836. doi: 10.1016/j.envpol.2009.04.016</p> <p>Wang JJ, Li T, Zhang Y. Water treatment residual as a bioretention media amendment for phosphorus removal. Huan Jing ke xue: Huanjing kexue 12:35 (2014) 4642-4647.</p>
Coquilles de coques broyées (CCB), papier journal déchiqueté (PJD), papier imprimé déchiqueté (PID) et fibre de noix de coco (FNC)	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Amélioration des substrats filtrants	Bioretention	nutrient removal from runoff	Étude en laboratoire	Le résultat montre que le PID présente les meilleures performances comme additif dans les substrats filtrants de bioretention à la fois pour l'élimination du phosphore total (88,8% contre 84,7% pour la composition standard) et de l'azote total (61,6% contre 37,2% pour la composition standard). CCB montrait un résultat similaire avec la colonne standard (CS) en raison du taux d'infiltration similaire. D'autres essais seront nécessaires pour tester dans une plus grande colonne avec de la végétation afin d'examiner les performances globales de l'ensemble du système de bioretention.	Goh, H.W., Goh, W., n.d. Preliminary Study on Potential Additives in Filter Media of Bioretention for Nutrient Removal.
SorbitiveMedia™ (SM) contenant des granules d'oxyde de fer et d'aluminium	Absorption (réaction chimique/précipitation)	Substrat filtrant	Bioretention	Un total de 121 pluies d'orages ont été évalués dans toutes les cellules en 2015 et 2016 pour l'enlèvement des MES, du nitrate/nitrite-azote (NOx), des ortho-phosphates (Ortho-P), de l'azote total (TN) et du phosphore total (TP); et des métaux lourds.	Étude terrain	Des réductions moyennes significatives des volumes d'effluents d'eaux pluviales (75 % ; plage : 48 - 96 %) et des débits de pointe (91 % ; plage : 86 - 96 %) ont été signalées, avec 31 % des événements orageux (tous inférieurs à 25,4 mm (1 in.), et une profondeur de 39,4 mm (1,55 in.) a complètement été captée par les cellules de bioretention. Les concentrations de MES des influents et les concentrations moyennes d'événements (CEM) étaient pour la plupart significativement réduites, et les charges de MES étaient bien retenues par toutes les cellules de bioretention (94 % ; plage : 89 à 99 %) indépendamment des traitements, des caractéristiques des pluies ou de la saisonnalité. En revanche, l'élimination des éléments nutritifs dépendait du traitement, les traitements SM éliminant systématiquement les concentrations de P, les charges et les CME, et parfois aussi N.	Shrestha, P., Hurley, S.E., Wemple, B.C., 2018. Effects of different soil media, vegetation, and hydrologic treatments on nutrient and sediment removal in roadside bioretention systems. Ecological Engineering 112, 116–131. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.004
Matériaux filtrants (terreau, compost, fibre de coco, boues et mélange commercial)	Absorption	Substrat filtrant	Système de bioretention	Métaux lourds Cu, Zn, Cd et Pb provenant des eaux pluviales urbaines	Colonnes de laboratoire	Le terreau et le mélange commercial offraient la meilleure absorption de métaux lorsqu'ils étaient dosés avec des concentrations faibles (Cu : 44,78 µg/L, Zn : 436,4 µg/L, Cd : 1,82 µg/L, Pb : 51,32 µg/L) et élevées de métaux lourds (Cu : 241 µg/L, Zn : 1127 µg/L, Cd : 4,57 µg/L, Pb : 90,25 µg/L). Le compost et les boues ont également une efficacité d'élimination élevée (> 90 %). Le lessivage des métaux lourds à partir de ces matériaux était négligeable. Une période sèche d'un mois entre les expériences de dosage n'a pas affecté les efficacités d'élimination des métaux. Les concentrations de COT de tous les matériaux ont augmenté après la période sèche. L'élimination des métaux lourds n'a pas été affectée par la profondeur du substrat filtrant (600 mm contre 300 mm). Les métaux lourds avaient tendance à s'accumuler dans les 5 premiers cm du substrat filtrant, bien que le terreau présentait des concentrations enrichies au fond. Nous recommandons d'utiliser du terreau comme principal substrat mélangé avec du compost ou des boues, car ces matériaux fonctionnent bien et sont facilement disponibles.	Lim, H.S., Lim, W., Hu, J.Y., Ziegler, A., Ong, S.L., 2015. Comparison of filter media materials for heavy metal removal from urban stormwater runoff using biofiltration systems. Journal of Environmental Management 147, 24–33. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.04.042
Substrat filtrant en couches (charbon actif, composite, vermiculite et zéolite)	Absorption (Amélioration de la croissance de la végétation)	Substrat filtrant	Système de filtration	Traitement des eaux de ruissellement de stationnements	Étude terrain	Pour la période de suivi, des efficacités d'élimination moyennes de 85 % pour les MES, 75 % pour le Cu, 73 % pour le Zn, 83 % pour 16 HAP EPA, 70 à 98 % pour les HAP individuels, 93 % pour l'huile minérale, 71 % pour le NH4-N et 52 % pour le COT ont été atteints. Plus de 60 % de la charge de Cu a été éliminée dans les chambres de filtration, mais > 60 % des charges de Zn et des MES ont été éliminées dans le réservoir de sédimentation, le séparateur d'huile et le filtre géotextile, principalement en raison de la filtration, de la précipitation et de l'adsorption sur les sédiments.	Fuerhacker, M., Haile, T.M., Monai, B., Mentler, A., 2011. Performance of a filtration system equipped with filter media for parking lot runoff treatment. Desalination 275, 118–125. https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.02.041
Sol loam-sableux	Amélioration de la croissance de la végétation	Filtre/substrat de croissance	Bande filtrante végétalisée	Sédiments	Étude terrain	Des chercheurs ont découvert dans une étude de simulation qu'une largeur de bande filtrante de 3 à 13 pieds est nécessaire pour un sol argilo-sableux, alors qu'une largeur de 26 à 145 pieds est nécessaire pour un sol argileux pour attendre une efficacité similaire de capture des sédiments.	Munoz-Carpena, R., and J.E. Parsons. 2004. A design procedure for vegetative filter strips using VFSMOD-W. Transactions of the ASAE, 47(6):1933-1941.

Annexe 10 (suite)

Matériaux	Type de processus dans les matériaux	Usage	Type d'infrastructure	Polluant(s) traité(s)	Type d'étude/source	Principaux résultats	Référence
Compost et sable	Amélioration de la croissance de la végétation	Filtre/substrat de croissance	Bande filtrante végétalisée	Volume de ruissellement	Guide de conception	Les sols amendés avec des composts et sables appropriés présentent de nombreux avantages : infiltration; retenue (<i>détention</i>); rétention; amélioration de l'établissement et de la croissance des plantes; réduction des besoins d'irrigation en été; besoin d'engrais réduits; réduction de la pollution physique/chimique/microbienne; potentiel d'érosion réduit. Traitement primaire se produira dans les 18 premiers pouces de la bande filtrante végétalisée. Le sol amendé dans la zone de traitement est composé de compost, sable graveleux et terre végétale.	https://www.cleanwaterservices.org/media/2170/vegetated-filter-strip.pdf
Sols de plantation amendés	Amélioration de la croissance de la végétation	Filtre/substrat de croissance	Bande filtrante végétalisée (BFV)	Réduction du volume et des polluants		Les taux d'infiltration ne devraient pas être trop élevés pour éviter que le « temps de rétention » des eaux pluviales dans le sol soit insuffisant; le taux d'infiltration idéal se situe entre ½ pouce par heure et 12 pouces par heure. Les 18 premiers pouces de sol sont généralement amendés avec du compost organique. Dans certains cas, la terre végétale existante (sol en place) est remplacée par un mélange de sol, tel que spécifié par la juridiction locale. Des mélanges trop sableux peuvent augmenter les besoins d'irrigation et les chances de devoir remplacer les plantes. Assurez-vous que la terre et le compost importés sont exempts de graines de mauvaises herbes. D'autres considérations clés pour l'établissement vigoureux de plantes et le traitement des eaux pluviales incluent un pH du sol entre 5,5 et 7,5 et une capacité d'échange cationique supérieure à 5 milliéquivalents/100 grammes (LIDC 2003). Une BFV dans laquelle on a remplacé les sols en place à drainage lent par des sols de plantation amendés (taux d'infiltration entre 2 et 12 pouces par heure) devrait facilement atteindre ce temps de rétention minimum, et le traitement de la qualité de l'eau sera plus efficace que de simplement la laisser ruisseler à la surface.	https://catalog.extension.oregonstate.edu/em9208/html Field, R., T. N. Tafuri, S. Muthukrishnan, R. A. Acquisto, and A. Selvakumar. 2006. The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds. Lancaster, PA: DEStech Publications, Inc.
Compost	Amélioration de la croissance de la végétation	Amendement du sol pour améliorer la croissance de la végétation	Bande filtrante végétalisée (BFV)	Prétraitement des eaux de ruissellement	Guide de conception	Si le sol d'un site n'est pas jugé adéquat pour établir une végétation saine, l'amender avec du compost est une pratique efficace. Le compost fournit un amendement organique efficace qui améliorera le drainage, l'aération et l'apport en nutriments. Les amendements du sol doivent être complétés en ajoutant 1 à 2 pouces de compost bien décomposé aux 6 à 8 pouces supérieurs du sol où la bande filtrante végétalisée de prétraitement sera installée.	Minnesota Stormwater Manual: Design, construction, operation and maintenance specifications for pretreatment vegetated filter strips, https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Design,_construction,_operation_and_maintenance_specifications_for_pretreatment_vegetated_filter_strips
Compost	Amélioration de la croissance de la végétation	Amélioration des substrats filtrants	Filtres à sable	Phosphore, azote	Étude sur colonne	Les milieux de croissance avec du compost à la surface avaient des niveaux de nutriments plus élevés que les milieux sans compost, mais les concentrations finales de nitrate dans les effluents après la récolte étaient significativement plus faibles pour les colonnes avec une couche de compost (59 contre 86 mg L ⁻¹). Toutes les concentrations de nitrate étaient plus élevées (plusieurs > 50 mg L ⁻¹) après la récolte qu'avant la plantation en raison de la minéralisation, de la fixation de l'azote et de l'ajout de fertilisant. Les concentrations finales de P dans les effluents avant la plantation étaient significativement plus élevées dans le sol le plus sableux (0,71 mg L ⁻¹) et après récolte dans le mélange contenant les niveaux élevés de P (0,58 mg L ⁻¹).	Logsdon, S.D., 2017. Nutrient Leaching When Soil Is Part of Plant Growth Media. Water 9, 501. https://doi.org/10.3390/w9070501