



Rapport final – essai sur le terrain du comportement des cellules de biorétention

Projet Stationnement écologique de la MRC Brome-Missisquoi

PRÉSENTÉ PAR

La MRC Brome-Missisquoi

Février 2015





MRC Brome-Missisquoi
749 Principale
Cowansville (Québec) J2K 1J8
(450) 266-4900
administration@mrcbm.qc.ca

© 2014, MRC Brome-Missisquoi. Tous droits réservés.

Cette étude a été réalisée avec le concours du Fonds municipal vert, un Fonds financé par le gouvernement du Canada et géré par la Fédération canadienne des municipalités. Malgré ce soutien, les points de vue exprimés sont ceux des auteurs et n'engagent nullement la responsabilité de la Fédération canadienne des municipalités ni celle du gouvernement du Canada.

Équipe de rédaction :

Jacques Desjardins, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Mireille Dubuc, IRDA

Marie Dugué, ing., Vinci consultants

Abdelkader Lakhim Jelloul, Vinci consultants

Simon Lajeunesse, Coordonnateur gestion de l'eau, MRC Brome-Missisquoi

Aubert Michaud, IRDA

Collaborateurs :

Mario Gendron, ing., Vinci consultants

Pier-Philippe Labrie, MRC Brome-Missisquoi

Le rapport peut être cité comme suit :

Lajeunesse, S., A. Michaud, A. L. Jelloul, M. Dugué, M. Dubuc, J. Desjardins. 2015. Rapport final. Essai sur le terrain du comportement des cellules de biorétention. Projet Stationnement écologique de la MRC Brome-Missisquoi. Cowansville, 105 p.

RÉSUMÉ DU PROJET

Dans le cadre de travaux d'agrandissement du bâtiment abritant la MRC Brome-Missisquoi à Cowansville, l'aménagement d'un stationnement devait être effectué et des mesures de rétention des eaux pluviales étaient requises en regard de la réglementation en vigueur. Un essai terrain a été réalisé afin d'évaluer la performance d'un stationnement intégrant trois cellules de biorétention, sans aucune conduite pluviale souterraine. Les eaux de ruissellement sont dirigées vers trois jardins de pluie, conçus pour capter un volume de pluie de récurrence centenaire et l'infiltrer dans le sol. Les cellules de biorétention furent aménagées en décembre 2010.

Les végétaux mis en place dans les jardins de pluie au printemps 2011 sont tolérants aux sels de déglacage et aux périodes de sécheresse et d'inondation. Leur taux de survie est, à ce jour, de 100% et la croissance est normale. L'entretien des jardins de pluie n'est pas différent de l'entretien des autres aménagements paysagers situés autour du bâtiment.

Des piézomètres installés afin d'échantillonner l'eau ayant percolé à travers le substrat des jardins de pluie, une station météorologique et des sondes barométriques ont, notamment permis d'effectuer un suivi de la performance quantitative et qualitative du système dans le cadre de cet essai terrain.

En termes de capacité à gérer les volumes d'eau, une modélisation hydraulique, validée par des observations terrains, permet d'évaluer la capacité du système. En général, les cellules de biorétention gèrent efficacement les volumes d'eau, mais il y a eu refoulement temporaire sur le pavage à quelques occasions au niveau des cellules Sud et Centre à une fréquence plus élevée que prévu. Cette situation s'explique en partie par une mauvaise évaluation des superficies contributives et par les cumuls de précipitations consécutives. La perméabilité du substrat demeure excellente dans le temps, les taux d'infiltration aussi et il n'y a aucune tendance au colmatage du système. La performance en hiver est excellente, sauf lors d'un événement associé à un épisode exceptionnel de verglas. Lors des redoux, l'eau circule sous le couvert de neige/glace pour s'infiltrer dans les substrats. Il est important cependant de déneiger le stationnement de façon à ne pas pousser ou souffler la neige sur les jardins de pluie.

Lorsque qu'on compare les concentrations de contaminants échantillonnés dans l'eau de ruissellement aux échantillons d'eau percolée prélevés dans les piézomètres, les cellules de biorétention sont très efficaces pour épurer les éléments de nature particulaire, comme les matières en suspension et le phosphore. Cependant, il y a peut-être un effet de relargage de certains éléments accumulés dans le substrat, comme les sels, lors d'événements de fortes pluies, mais les concentrations demeurent en général en dessous des normes de rejet. Les hydrocarbures s'accumulent principalement au niveau du paillis à la surface des cellules de biorétention.

L'essai terrain démontre la pertinence de ce type de mesure de gestion des eaux pluviales pour le drainage et la rétention sur des stationnements et le long des routes, dans le contexte climatique du Québec, d'autant plus que les coûts associés à sa mise en œuvre sont inférieurs aux coûts d'un concept traditionnel avec rétention.

Table des matières

RÉSUMÉ DU PROJET	5
Table des matières	7
Liste des figures.....	10
Liste des tableaux.....	12
1. Introduction	13
1.1 Raisons de l'étude	13
1.2 Présentation de l'équipe	14
1.3 But et objectifs du projet.....	15
1.4 Localisation du projet	16
2. Sommaire technique du projet	17
2.1 Description du site.....	17
2.1.1 Cellules de biorétention.....	18
2.1.2 Type de substrat utilisé	20
2.1.3 Nappe phréatique	20
2.1.4 Végétaux	20
2.2 Critères de conception	21
2.2.1 Méthode rationnelle	21
2.2.2 Loi de Darcy.....	22
2.2.3 MDDELCC	23
2.3 Données de conception.....	23
2.3.1 Surface des bassins versants.....	23
2.3.2 Surface des îlots de biorétention	23
2.4 Mise en œuvre.....	24
2.4.1 Photos de mise en œuvre	24
2.4.2 Problématiques rencontrées au chantier	24
2.5 Objectifs visés.....	26
2.5.1 Quantitatif : performance selon fréquence de pluie	26
2.5.2 Qualitatif	26
3. Méthodologie.....	28

3.1	Dispositifs	28
3.1.1	Piézomètres.....	28
3.1.3	Station météorologique	28
3.1.4	Gouttières et dispositif pour recueillir l’eau de ruissellement	29
3.1.5	Règles limnimétriques.....	30
3.1.6	Sondes barométriques	30
3.1.7	Caméra vidéo	31
3.2	Protocole d’échantillonnage	31
3.2.1	Échantillonnage de l’eau	31
3.2.2	Échantillonnage des substrats	33
3.2.3	Mesure des niveaux d’eau	33
3.2.4	Survie et croissance des végétaux	34
3.3	Modélisation du fonctionnement hydraulique	34
3.3.1	Simulation hydraulique	34
3.3.3	Module de calcul LID.....	35
3.3.4	Conceptualisation du système	35
3.3.5	Paramètres adaptés	36
4.	Procédures d’entretien	37
5.	Analyse des résultats et discussion	39
5.1	Volet quantitatif	39
5.1.1	Traitement des données météorologiques.....	39
5.1.2	Simulation hydraulique	44
5.1.3	Performance hivernale.....	46
5.1.4	Conclusion de la performance des cellules de biorétention d’un point de vue quantitatif	48
5.2	Volet qualitatif.....	48
5.2.1	Traitement des données	48
5.2.2	Caractérisation des substrats des cellules de biorétention	51
5.2.3	Précipitations et réponses piézométriques	54
5.2.4	Qualité des eaux de ruissellement	57
5.2.5	Qualité des eaux de percolation et performance environnementale des cellules de biorétention	63

5.4	Croissance des végétaux.....	72
5.5	Analyse économique	75
5.5.1	Concept traditionnel	75
5.5.2	Concept des cellules de biorétention	75
6.	Conclusion	76
	Références citées	79
Annexe 1.	Fiches descriptives des substrats utilisés pour les cellules de biorétention.	82
Annexe 2.	Tableau descriptif des événements de pluie et des niveaux d'eau dans les piézomètres entre 2014-03-28 et 2014-07-28 aux cellules Centre et Sud.	89
Annexe 3.	Distribution des concentrations des matières en suspension par évènement en fonction de la précipitation cumulée et de la période d'échantillonnage.	90
Annexe 4.	Concentrations des matières en suspension en fonction de la hauteur d'eau dans les piézomètres et la période d'échantillonnage pour les événements 5, 6, 7 et 8.	96
Annexe 5.	Élévations des hauteurs d'eau dans les piézomètre des cellules Sud et Centre lors des événements de pluie entre mars 2014 et juillet 2014	101
Annexe 6.	Résultats de la recherche d'hydrocarbures pétroliers de C10 à C50 dans des échantillons récoltés le 27 novembre 2013 dans le paillis et le sol des cellules de biorétention.....	106
Annexe 7	Concepts retenus pour l'analyse économique	107

Liste des figures

Figure 1.	Localisation de la MRC Brome-Missisquoi.....	17
Figure 2.	Schéma et photographie aérienne du stationnement et de l'emplacement des cellules de biorétention.....	18
Figure 3.	Coupe typique de l'îlot de biorétention	19
Figure 4.	Vue d'une des trois cellules de biorétention du dispositif de jardin de pluie du stationnement vert de la MRC Brome Missisquoi (cellule Sud).....	19
Figure 5.	Croquis, Loi de Darcy	22
Figure 6.	Notes concernant la protection des îlots de biorétention pendant les travaux	25
Figure 7.	Contamination du fond de l'excavation par le ruissellement	25
Figure 8.	Coupe typique du piézomètre	28
Figure 9.	Déversoir utilisé pour l'échantillonnage des eaux de ruissellement.....	29
Figure 10.	Emplacement des points d'échantillonnage.	29
Figure 11.	Règles limnimétriques.	30
Figure 12.	Sonde barométrique de type « Hobo » placée dans un piézomètre pour évaluer la hauteur d'eau.	30
Figure 13.	Section d'un piézomètre	31
Figure 14.	Prélèvement d'un cylindre de substrat non dérangé dans une cellule de biorétention.....	33
Figure 15 :	Modélisation du stationnement ainsi que les toits et les terrains adjacents	35
Figure 16 :	Schéma conceptuel des flux dans une cellule de biorétention.....	36
Figure 17.	Schéma d'entreposage de la neige dans le stationnement.	38
Figure 18.	Localisation des stations météorologiques	39
Figure 19.	Comparaison des températures enregistrées à la MRC et Dunham-2.....	41
Figure 20.	Hyétoqramme des pluies obtenues.....	42
Figure 21.	Caractérisation des événements de pluie.	44
Figure 22.	Hydrogramme de refoulement vers le pavage (cellule Nord).....	45
Figure 23.	Hydrogramme de refoulement vers le pavage (cellule centre)	45
Figure 24.	Hydrogramme de refoulement vers le pavage (cellule sud)	46
Figure 25.	Fonte de la glace le long des bordures de béton et des points d'entrée d'eau vers les jardins de pluie.....	47
Figure 26.	Événement de pluie hivernale du 11 janvier 2014.....	47
Figure 27.	Distribution temporelle des précipitations et des hauteurs d'eau dans le piézomètre de la cellule Centre pour les événements ayant été échantillonnés entre février et septembre 2014	54
Figure 28.	Distribution temporelle des précipitations et des hauteurs d'eau dans le piézomètre de la cellule Sud pour les événements ayant été échantillonnés entre février et septembre 2014.	55
Figure 29.	Distribution temporelle des précipitations et des hauteurs d'eau dans les	

	piézomètres des cellules Sud et Centre pour l'évènement numéro 5 du 28 au 29 mars 2014.	56
Figure 30.	Relation entre la précipitation cumulée des événements de pluie et la montée du piézomètre pour huit évènements observés à la cellule Centre.....	56
Figure 31.	Distribution temporelle des échantillons collectés au ruissellement et au piézomètre en fonction des précipitations journalières pour toutes les cellules confondues entre juin 2013 et juillet 2014.	57
Figure 32.	Distribution temporelle des échantillons de ruissellement et d'eau dans les piézomètres lors de l'évènement 7 le 15 avril 2014 (données brutes non pondérées). Les observations de concentration illustrées en rouge correspondent à la station Sud (S), le vert à la station du Centre (C), le bleu à station du Nord (N). Les carrés correspondent aux échantillonnages des piézomètres (P) et les cercles correspondent aux échantillonnages d'eau de ruissellement (R).....	58
Figure 33.	Distribution du nombre de colonies de E.Coli (UFC/100ml) sur milieu mFc-BCIG dans les échantillons collectés au ruissellement et au piézomètre lors de l'évènement du 15 avril 2014.	62
Figure 34.	Distribution des concentrations de MES en fonction du temps et des niveaux d'eau dans le piézomètre de la cellule Centre lors de l'évènement du 15 avril 2014.	64

Liste des tableaux

Tableau 1.	Végétaux utilisés dans les cellules de biorétention du stationnement de la MRC Brome-Missisquoi.....	21
Tableau 2	Paramètres physico-chimiques analysés en laboratoire pour les échantillons de ruissellement de surface et les eaux percolées.....	32
Tableau 3.	Programme d’entretien des cellules de biorétention	37
Tableau 4.	Distribution des évènements et des échantillonnages du ruissellement et des eaux percolées aux trois cellules de biorétention.	50
Tableau 5.	Composition physique moyenne des trois cellules de biorétention (N=3 par cellule).	52
Tableau 6.	Conductivités hydrauliques saturées (cm/min) des substrats des trois cellules de biorétention (N=3 par cellule).	53
Tableau 7.	Composition chimique du paillis et du sol des trois cellules de biorétention.....	53
Tableau 8.	Concentration d’hydrocarbures pétroliers présents dans le substrat lors d’échantillons récoltés le 27 novembre 2014.	53
Tableau 9.	Facteurs de pondération utilisés dans le calcul de concentrations moyennes pondérées pour l’intensité des précipitations pour chacun des évènements de ruissellement de surface.	60
Tableau 10.	Moyennes pondérées par évènement des concentrations des différents paramètres de qualité d’eau des échantillons du ruissellement de surface.	61
Tableau 11.	Nombre d'unité formant une colonie de E. Coli par 100 ml d'échantillon d'eau pour les échantillons recueillis lors de la campagne du 15 avril 2014.....	62
Tableau 12.	Concentrations en hydrocarbures pétroliers présents dans l’eau de ruissellement des échantillons récoltés le 27 novembre 2014.....	63
Tableau 13.	Facteurs de pondération utilisés dans le calcul des concentrations moyennes pondérées pour l’évènement des différents paramètres de qualité de l’eau récoltées dans les piézomètres	65
Tableau 14.	Moyennes pondérées par évènement des concentrations des différents paramètres de qualité d’eau provenant des piézomètres.....	70
Tableau 15.	Efficacité relative des cellules de biorétention par événement pour chacun des paramètres de qualité d’eau à l’étude.....	71
Tableau 16.	Efficacité relative des cellules de biorétention pour l’ensemble de la période d’étude pour chacun des paramètres de qualité d’eau	71

1. Introduction

1.1 Raisons de l'étude

L'aménagement de surfaces imperméables limite l'alimentation naturelle du sol et de la nappe phréatique, et augmente le volume et la vitesse d'évacuation des eaux de ruissellement, modifiant ainsi le cycle hydrologique naturel.

Le règlement régissant les matières relatives à l'écoulement de l'eau des cours d'eau en vigueur sur le territoire de la MRC Brome-Missisquoi prévoit des dispositions sur la gestion des eaux pluviales des nouveaux projets de développement susceptibles d'augmenter le débit de pointe des cours d'eau. Des mesures de rétention des eaux pluviales sont le plus souvent obligatoires.

Dans le cadre des travaux d'agrandissement de ses bureaux administratifs et du stationnement, la MRC désire créer une vitrine et favoriser le développement d'une approche non traditionnelle de gestion des eaux pluviales en faisant un essai sur le terrain pour l'aménagement d'un stationnement écologique où les eaux pluviales sont dirigées vers trois cellules de biorétention, utilisées pour drainer, traiter et retourner à la nappe phréatique les pluies de fréquence centenaire.

Les cellules de biorétention font partie de nouvelles stratégies de gestion optimale de l'eau pluviale. Il s'agit de noues d'ingénierie conçues pour recevoir, traiter et infiltrer les eaux de ruissellement issues des zones pavées telles que les rues et les stationnements. Les cellules de biorétention traitent les eaux de ruissellement par les mécanismes d'infiltration dans un substrat et absorption par les plantes, et elles sont dimensionnées pour être capables de gérer le volume entier des pluies exceptionnelles.

Même si les cellules de biorétention sont des infrastructures standards dans d'autres endroits comme l'Australie et le sud des États-Unis, il existe très peu d'études sur leur fonctionnement dans un climat nordique tel qu'on en trouve au Québec. Plusieurs facteurs pourraient altérer le fonctionnement des cellules de biorétention dans ce contexte. Présentement, un manque de recherche sur le sujet et d'études de cas empêche l'adaptation du concept pour rendre l'utilisation de la biorétention conventionnelle au Québec.

L'essai vise à formuler des recommandations pratiques pour la mise en place et l'entretien de cellules de biorétention dans des projets semblables dans la région et ailleurs au Québec.

1.2 Présentation de l'équipe

Municipalité régionale de comté (MRC) Brome-Missisquoi

La MRC Brome-Missisquoi fait partie de la région administrative de la Montérégie. Elle se situe à la rencontre de deux grandes entités, soit la plaine formée des basses terres du Saint-Laurent dans sa partie ouest et la chaîne de montagnes des Appalaches avec son piémont dans sa partie Est. La MRC couvre un territoire de 1 701 km² et est composée de 21 municipalités rurales et urbaines.

Simon Lajeunesse, biologiste M. sc., coordonnateur à la gestion de l'eau à la MRC Brome-Missisquoi depuis 2007, était responsable du suivi expérimental des cellules de biorétention suite à leur mise en place. Pier-Philippe Labrie, responsable de la géomatique, a participé à la collecte d'échantillons et au suivi photographique.

La firme Vinci consultants a été mandatée par la MRC Brome-Missisquoi pour la conception des cellules de biorétention, la supervision de la construction du stationnement et pour l'évaluation quantitative de la performance du système. L'équipe de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) a été mandatée pour le suivi qualitatif du système.

Vinci Consultants

Vinci Consultants est une firme d'ingénierie civile établie depuis plus de 20 ans spécialisée en infrastructures urbaines durables.

Une filière de recherche et développement, Vinci Innovations, encadre les activités d'innovation en gestion environnementale de ses employés. Sa mission consiste à :

- Avancer l'intégration des nouvelles pratiques et technologies d'avant-garde dans les projets de Vinci Consultants ou autres entités ;
- Rechercher l'adaptation de ces pratiques au contexte local et au climat froid ;
- Rester au courant des avancées internationales dans les pratiques de gestion optimale (PGO) et promouvoir leur intégration dans la pratique locale.

Marie Dugué, Ingénieure M.Sc.A. PA LEED, ingénieure civil depuis 2004 et associée chez Vinci Consultants depuis 2008, a développé une expertise en gestion durable des eaux de ruissellement. Elle a réalisé plusieurs études dans ce domaine tel qu'une maîtrise recherche à l'École Polytechnique (2010) sur la conception d'un jardin de pluie en climat québécois. En parallèle, elle a été chargée de projet pour de nombreux projets de gestion durable des eaux de ruissellement.

Abdelkader Lahkim Jelloul, M.Sc.A., a obtenu son bac en génie civil spécialité construction et transport à l'Université Polytechnique de Valencia en Espagne. Il a fait une maîtrise en Ingénierie hydraulique et de l'environnement dans la même université, où il s'est spécialisé en modélisation des réseaux d'eau potable et d'assainissement. Chez Vinci Consultants, il est chargé de R&D dans le domaine des gestions des eaux

pluviales, il réalise les suivis expérimentaux et la modélisation des réseaux d'eau pluviale.

Mario R. Gendron, ing. Associé principal, est diplômé de l'École Polytechnique de Montréal (1992) en génie civil, et possède un certificat en Sciences de l'Environnement (UQAM, 1984) et une technique en génie civil (Collège de Sherbrooke, 1983). M. Gendron a démontré au cours des 20 dernières années son expertise (expert à l'Ordre des Ingénieurs du Québec) et sa créativité dans la gestion avant-gardiste des eaux pluviales en milieu urbain. Il a participé à la conception de plus de 1000 projets construits, dont la moitié ayant une composante de rétention des eaux pluviales. Il a réalisé plusieurs projets LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) à Montréal tels que la TOHU, le Mountain Equipment Coop du Marché Central, Benny Farm, et ailleurs au Québec, tel que le Centre de distribution régional de Sobeys à Trois-Rivières et le Complexe municipal sportif de Gatineau.

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

L'IRDA est une corporation de recherche à but non lucratif qui a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

Aubert Michaud détient un doctorat de l'Université Laval en sols, de même qu'un baccalauréat et une maîtrise dans la même discipline de l'Université McGill. Entre 1987 et 1997, au MAPAQ, Aubert a travaillé à l'accompagnement du secteur agricole dans la transition aux pratiques agricoles de conservation des sols, en coordonnant des activités de formation continue, des réseaux d'essais à la ferme, et des programmes d'encadrement technique et financier auprès des entreprises agricoles. À l'IRDA depuis 1998, Aubert travaille avec son équipe à décrire les processus de contamination diffuse de l'eau de surface en milieu agricole et à développer les outils pour mieux y faire face. Aubert Michaud est également professeur associé au Département de génie civil et au Département des sols et de génie agroalimentaire à l'Université Laval. Ses domaines d'expertises spécifiques sont : hydrologie, physique des sols, contamination diffuse des eaux de surface, géomatique, télédétection et modélisation appliquées à la gestion du parcellaire et des bassins versants.

1.3 But et objectifs du projet

Cet essai sur le terrain visait à évaluer, sur une période d'un an, la performance de trois cellules de biorétention afin de valider leur fonctionnement. L'objectif principal du projet consistait à évaluer la performance selon deux axes principaux, soit un contrôle quantitatif et un contrôle qualitatif des eaux pluviales.

Les trois cellules de biorétention implantées dans le stationnement ont été conçues pour permettre un suivi expérimental. Des piézomètres en aval de chaque cellule permettent l'échantillonnage des eaux filtrées par le substrat, et chacune des trois installations est munie d'un substrat différent planté de la même façon afin d'évaluer l'influence de cette variable.

Les objectifs spécifiques de l'essai sont l'évaluation :

- De la performance de la percolation (temps de vidange)
 - Pour différentes fréquences de pluie (fréquence représentant 90% des pluies annuelles, pluie de fréquence centenaire)
 - En été, en hiver
 - Après une année de fonctionnement
 - Rétention des volumes de pluie prévue
- De la réduction des polluants
 - Caractériser les propriétés physico-chimiques des substrats composant les cellules de bio rétention;
 - Caractériser les propriétés physico-chimiques et bactériologiques du ruissellement de surface évacué vers les cellules de biorétention;
 - Caractériser les propriétés physico-chimiques et bactériologiques des eaux de percolation après leur passage dans les cellules de biorétention;
 - Évaluer la performance des cellules à atténuer la contamination des eaux de ruissellement de surface.
- De la survie et croissance des végétaux
- Des besoins d'entretien : procédure et coût

Le Québec en est encore à ses balbutiements concernant l'intégration des nouvelles pratiques de gestion optimale des eaux pluviales. Ainsi, les prochains stationnements verts vont définir les règles de l'art pour notre climat. L'essai vise à formuler des recommandations pratiques pour favoriser la mise en place et l'entretien de cellules de biorétention dans des projets semblables dans la région et ailleurs au Québec.

1.4 Localisation du projet

Les trois cellules qui feront l'objet de l'étude sont installées dans un stationnement municipal derrière le siège social de la MRC Brome-Missisquoi, situé à Cowansville, Québec.



Figure 1. Localisation de la MRC Brome-Missisquoi

2. Sommaire technique du projet

2.1 Description du site

Le projet à l'étude est situé à Cowansville. Il s'agit de l'aménagement d'un stationnement pour le bâtiment existant de la MRC de Brome-Missisquoi. La surface disponible pour le stationnement était d'environ 3 000m² pour 84 places. Le site est bordé du côté nord d'un marais naturel, du côté est d'un cimetière, du côté ouest d'une maison privée et du côté sud de la rue principale. Le sol naturel en place est un sable graveleux et la nappe phréatique a été détectée à plus de 2m en septembre 2006.

La figure 2 illustre le plan d'ensemble du stationnement, tel qu'utilisé pour sa construction.



Figure 2. Schéma et photographie aérienne du stationnement et de l'emplacement des cellules de biorétention

2.1.1 Cellules de biorétention

Les cellules de biorétention, aussi appelées jardins de pluie, sont toutes conçues de la même façon, seuls leur superficie, leurs volumes de rétention et le type de substrat utilisé varient. La figure 3 illustre une coupe typique des cellules de biorétention et la figure 4 illustre la cellule telle que construite.

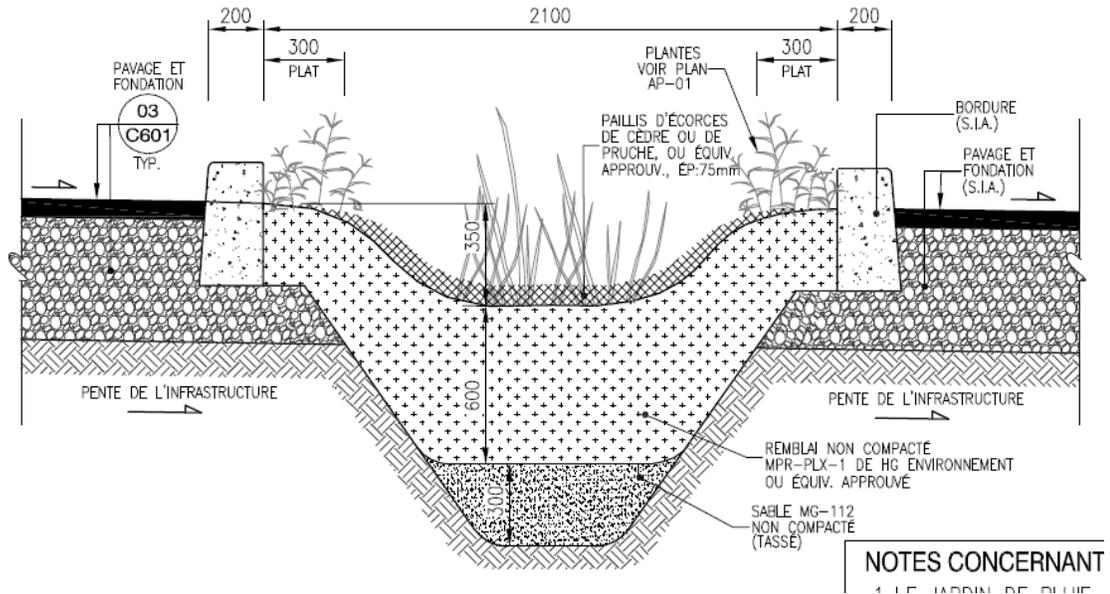


Figure 3. Coupe typique de l'îlot de biorétention



Figure 4. Vue d'une des trois cellules de biorétention du dispositif de jardin de pluie du stationnement vert de la MRC Brome Missisquoi (cellule Sud).

2.1.2 Type de substrat utilisé

Trois substrats différents sont utilisés afin d'évaluer les impacts de la composition sur les performances du système. Les trois substrats utilisés, dont les fiches descriptives sont jointes en annexe 1, sont :

- Ilot Nord : Terrain sportif 60-40 de Savaria (taux d'infiltration théorique : 1.5×10^{-2} cm/s)
- Ilot central : 70-30 de Savaria (taux d'infiltration théorique : 1.0×10^{-2} cm/s)
- Ilot sud : MRP-PLX-1 de HG Environnement (taux d'infiltration théorique : 8.0×10^{-2} cm/s)
- Sol naturel : sable et gravier (coefficient de perméabilité : 1.0×10^{-3} cm/s)

Une étude subséquente permettra de comparer les performances des trois substrats utilisés.

2.1.3 Nappe phréatique

D'après les informations disponibles lors de la conception, trois tranchées d'exploration ont été réalisées en septembre 2009 à des profondeurs variant de 1.6 à 2.1m. La nappe phréatique était inférieure au fond des excavations.

2.1.4 Végétaux

Le type de végétaux utilisés dans les cellules de biorétention a été sélectionné selon deux critères principaux, soit la résistance aux sécheresses et aux inondations, ainsi que la résistance aux sels de déglçage. De plus, les essences indigènes ont été privilégiées.

Un mélange d'arbres, d'arbustes et d'herbacées a été choisi. Le tableau 1 décrit les espèces de végétaux utilisées dans les cellules de biorétention.

Tableau 1. Végétaux utilisés dans les cellules de biorétention du stationnement de la MRC Brome-Missisquoi

Code	Quantité	Espèce	Nom commun	Calibre/ disponibilités	Distance de plantation	Indigène
		VIVACES/GRAMINÉES				
CaK	114	<i>Calamagrostis x 'Karl Foerster'</i>	Calamagrostide Karl Foerster	1 Gal	50 cm	non
Irp	40	<i>Iris pseudachorus</i>	Iris des marais	2L	40 cm	non
Irv	40	<i>Iris versicolor</i>	Iris versicolore	2L	40 cm	oui
Irs	96	<i>Iris setosa</i>	Iris à pétales aigus	2L	40 cm	oui
Pac	148	<i>Panicum clandestinum</i>	Panicum clandestin	2L	50 cm,	oui
Rul	180	<i>Rudbeckia lacinata</i>	Rudbeckie laciniée	2L	40 cm	oui
Spp	672	<i>Spartina pectina</i>	Spartine pectinée	2L	45 cm c.c.	oui
		ARBUSTES				
Cos	26	<i>Cornus stolonifera</i>	Cornouiller stolonifère	2 Gal	120 cm c.c.	oui
Sap	31	<i>Salix purpurea gracilis</i>	Saule arctique	2 Gal	120 cm c.c.	non
Sos	16	<i>Sorbaria sorbifolia</i>	Sorbaria à feuille de sorbier	2 Gal	90 cm c.c.	non
		ARBRES				
Ceo	8	<i>Celtis occidentalis</i>	Micocoulier occidental	50mm/motte	selon plan	oui
Lal	5	<i>Larix laricina</i>	Mélèze laricin	50mm/motte	selon plan	oui
Qup	6	<i>Quercus palustris</i>	Chêne des marais	50mm/motte	selon plan	non

2.2 Critères de conception

2.2.1 Méthode rationnelle

La méthode rationnelle permet de calculer les débits de ruissellement maximaux pour des pluies uniformes tombant sur des bassins versants de faible superficie.

$Q = kAIR$ avec

- k : facteur de conversion = 2.75×10^{-3}
- A : superficie du bassin versant en hectares
- I : intensité de la pluie en mm/h
- R : coefficient de ruissellement, sans unité.

Dans le projet à l'étude, la méthode rationnelle a été utilisée pour calculer les débits de pointe générés par les bassins versants de chaque îlot de biorétention ainsi que pour calculer les volumes de rétention requis.

2.2.2 Loi de Darcy

L'infiltration dans le sol naturel et le substrat est évaluée par la loi de Darcy. Ce débit d'infiltration correspond au débit admissible utilisé lors de l'évaluation des volumes de rétention requis calculé avec la méthode rationnelle.

Le débit admissible correspond au débit d'infiltration des eaux dans le sol. La loi de Darcy est utilisée pour le définir soit :

$$Q = kIA \quad (\text{équation 1})$$

Q : le débit d'infiltration en m³/s

K : le coefficient hydraulique du sol ou le substrat en m/s.

I : gradient hydraulique

Égale à 1 (valeur sécuritaire)

Ou

A : la surface d'infiltration en m²

$$i = \frac{hf + df}{df} \quad (\text{équation 2})$$

hf : hauteur d'eau moyenne en surface (m) = hmax/2

df : profondeur du remblai contrôlé (m)

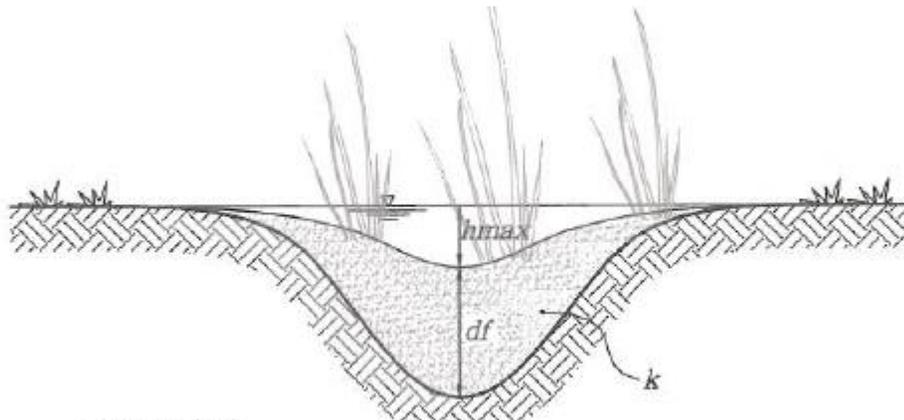


Figure 5. Croquis, Loi de Darcy

2.2.3 MDDELCC

Le guide de gestion des eaux pluviales du MDDELCC recommande l'utilisation de la biorétention pour les stationnements. Les critères et principes de conception fournis incluent les éléments suivants :

- Doivent être utilisés pour des bassins versants inférieurs à 1 hectare
- L'aire de la biorétention devrait être entre 5 et 10% de la surface imperméable drainée
- La pente devrait être inférieure à 5%
- La distance avec la nappe phréatique devrait être d'au minimum 1 mètre
- La hauteur d'eau maximale avant évacuation vers le trop-plein devrait être entre 150 et 225mm (dans le projet à l'étude, la hauteur d'eau maximale atteint 600mm)
- Prévoir une zone de prétraitement
- Prévoir une couche de paillis pour maintenir l'humidité, fournir un médium adéquat pour la croissance des végétaux et filtrer les polluants

2.3 Données de conception

2.3.1 Surface des bassins versants

Chaque bassin versant est très imperméabilisé (coefficient de ruissellement de 0,90) et a la superficie suivante :

- Bassin versant nord : 1397m² de surface imperméable
- Bassin versant central : 1170m² de surface imperméable
- Bassin versant sud : 2795m² de surface imperméable

2.3.2 Surface des îlots de biorétention

Chaque îlot de biorétention est considéré comme une surface imperméable (coefficient de ruissellement de 0,90) sachant qu'il doit infiltrer le volume généré par sa propre surface. Les îlots ont la superficie suivante :

- Ilot nord : 147m² de surface imperméable, soit 10.5% du bassin versant imperméable.
- Ilot central : 50m² de surface imperméable, soit 4.2% du bassin versant imperméable.
- Ilot sud : 60m² de surface imperméable, soit 2.1% du bassin versant imperméable.

Les bassins versants et les surfaces des îlots de biorétention ont été mis à jour suite aux données réelles après la construction. On remarque que deux des trois îlots sont sous-dimensionnés par rapport aux besoins établis dans le guide du MDDELCC. Les bassins versants avaient mal été établis initialement réduisant ainsi drastiquement les performances espérées des îlots de biorétention qui étaient initialement prévus pour gérer des pluies de fréquence centenaire.

2.4 Mise en œuvre

2.4.1 Photos de mise en œuvre

L'agrandissement du bâtiment a eu lieu à l'été 2010. L'aménagement du stationnement et des cellules de biorétention a eu lieu en décembre 2010, mais les plantations de végétaux et la stabilisation des sols remaniés ont été effectuées au printemps 2011.



2.4.2 Problématiques rencontrées au chantier

Différentes problématiques ont été rencontrées au chantier. Parmi celles-ci :

- ✓ Protection du fond de l'excavation et du substrat : Malgré des notes indiquées aux documents de soumission et une formation rapide de l'entrepreneur, le fond de l'excavation et le substrat ont été soumis à la contamination par les particules fines du stationnement. Une attention particulière doit être prise pour éviter cette contamination qui entraîne un colmatage précoce du système.

NOTES CONCERNANT LES JARDINS DE PLUIE

1. LE JARDIN DE PLUIE DOIT ÊTRE INSTALLÉ APRES LE PAVAGE DU STATIONNEMENT.
2. INSTALLER DES SOUTÈNEMENTS DE BOIS TEMPORAIRES ENTRE LES BORDURES DE BÉTON AVANT DE PAVER.
3. DÈS LE DÉBUT DE L'EXCAVATION DU JARDIN DE PLUIE, INSTALLER UNE BARRIÈRE À SÉDIMENTS TOUT LE TOUR DU JARDIN DE PLUIE.
4. AUCUNE MACHINERIE NE SERA AUTORISÉE SUR LE FOND DE L'EXCAVATION.
5. AUCUNE COMPACTION OU MACHINERIE SUR LE REMBLAI DU JARDIN DE PLUIE.

Figure 6. Notes concernant la protection des îlots de biorétention pendant les travaux

- ✓ Les points d'entrée aux îlots sont des arasements de la bordure. Les entrepreneurs ont l'habitude de construire les arasements avec une différence de 25mm avec le pavage. Une attention particulière doit être portée pour assurer un bon écoulement du pavage vers l'îlot.
- ✓ Protection hivernale : Les chantiers sont souvent soumis à des retards, ce qui fut le cas pour le projet à l'étude. Tous les îlots ont été construits avant l'hiver, mais les végétaux et le substrat n'étaient pas installés. Une érosion importante peut alors se produire pendant cette période.



Figure 7. Contamination du fond de l'excavation par le ruissellement

2.5 Objectifs visés

2.5.1 Quantitatif : performance selon fréquence de pluie

Les performances quantitatives ont donc été définies avec la méthode rationnelle (pour le débit ruisselé) et la méthode de Darcy (pour l'infiltration). Le tableau suivant résume les objectifs visés :

Zone	Volume de rétention requis (m3)	Volume de rétention disponible (m3)	Fréquence de pluie
Jardin de pluie sud	40	40	2 ans, 30 minutes
Jardin de pluie central	48	48	25 ans, 3 heures
Jardin de pluie nord	77	83	100 ans, 24 heures

Note : les îlots étaient prévus initialement pour gérer des pluies de fréquence centenaire. Des modifications aux bassins versants ont réduit drastiquement les performances de la biorétention.

2.5.2 Qualitatif

Les essais devront confirmer les concentrations des eaux de ruissellement d'un stationnement en milieu rural et les performances épuratoires de trois îlots de biorétention.

Tableau 8.15

Charges polluantes annuelles typiques (kg/ha-an) pour différents types d'occupation du sol (adapté de Shaver *et al.*, 2007).

Occupation du sol		MES	P Total	Azote total	Pb	Zn	Cu	Coliformes fécaux
Rue	Minimum	281	0,59	1,3	0,49	0,18	0,03	7,1E+07
	Maximum	723	1,50	3,5	1,10	0,45	0,09	2,8E+08
	Médiane	502	1,10	2,4	0,78	0,31	0,06	1,8E+08
Commercial	Minimum	242	0,69	1,6	1,60	1,70	1,10	1,7E+09
	Maximum	1 369	0,91	8,8	4,70	4,90	3,20	9,5E+09
	Médiane	805	0,80	5,2	3,10	3,30	2,10	5,6E+09
Résidentiel basse densité	Minimum	60	0,46	3,3	0,03	0,07	0,09	2,8E+09
	Maximum	340	0,64	4,7	0,09	0,20	0,27	1,6E+10
	Médiane	200	0,55	4,0	0,06	0,13	0,18	9,3E+09
Résidentiel haute densité	Minimum	97	0,54	4,0	0,05	0,11	0,15	4,5E+09
	Maximum	547	0,76	5,6	0,15	0,33	0,45	2,6E+10
	Médiane	322	0,65	5,8	0,10	0,22	0,30	1,5E+10
Résidentiel multi-familial	Minimum	133	0,59	4,7	0,35	0,17	0,17	6,3E+09
	Maximum	755	0,81	6,6	1,05	0,51	0,34	3,6E+10
	Médiane	444	0,70	5,6	0,70	0,34	0,51	2,1E+10
Forêt	Minimum	26	0,10	1,1	0,01	0,01	0,02	1,2E+09
	Maximum	146	0,13	2,8	0,03	0,03	0,03	6,8E+09
	Médiane	86	0,11	2,0	0,02	0,02	0,03	4,0E+09
Gazon	Minimum	80	0,01	1,2	0,03	0,02	0,02	4,8E+09
	Maximum	588	0,25	7,1	0,10	0,17	0,04	2,7E+10
	Médiane	346	0,13	4,2	0,07	0,10	0,03	1,6E+10
Champs	Minimum	103	0,01	1,2	0,004	0,02	0,02	4,8E+09
	Maximum	583	0,25	7,1	0,015	0,17	0,04	2,7E+10
	Médiane	343	0,13	4,2	0,010	0,10	0,03	1,6E+10

Selon le guide de gestion des eaux pluviales du MDDELCC (2010), les performances d'épuration visées sont :

- 80% des matières en suspension
- 40% du phosphore total
- 40% des nitrates totaux
- 28% de l'azote total kjeldhal
- 75% du cuivre total
- 80% du zinc total
- 70% du plomb total

3. Méthodologie

3.1 Dispositifs

3.1.1 Piézomètres

Dans le cadre de l'essai terrain, des piézomètres ont été aménagés dans les cellules de biorétention, afin d'être en mesure de recueillir des échantillons d'eau souterraine ayant été infiltrée dans les cellules. La figure 8 représente une coupe type utilisée pour l'installation des piézomètres.

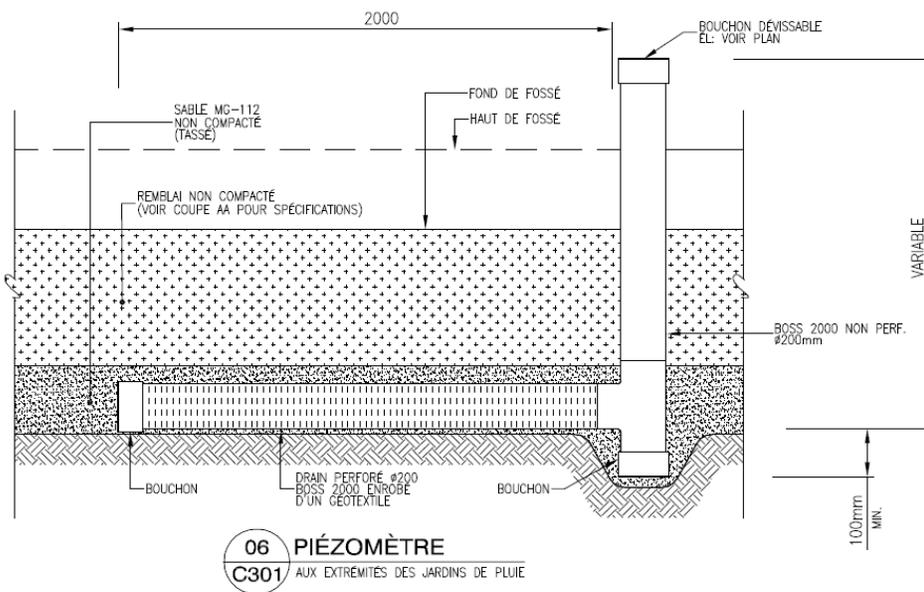


Figure 8. Coupe type du piézomètre

3.1.3 Station météorologique

Une station météorologique fut installée sur un lampadaire au centre du stationnement le 12 février 2013. La station météo a colligé les précipitations de pluie, la pression atmosphérique, la température, le pourcentage d'humidité ainsi que la direction et la force du vent à chaque période de 15 minutes. La station a été retirée le 10 septembre 2014.

3.1.4 Gouttières et dispositif pour recueillir l'eau de ruissellement

Des gouttières en acier inoxydable furent utilisées pour recueillir l'eau de ruissellement et la concentrer vers un emplacement aménagé dans le stationnement pour placer une bouteille de 500 ml en polypropylène stérile utilisée pour recueillir l'eau de ruissellement.



Figure 9. Déversoir utilisé pour l'échantillonnage des eaux de ruissellement

Les entrées des eaux de ruissellement (où des baissières ont été aménagées dans les bordures de béton) choisies pour l'échantillonnage sont celles qui sont le plus sollicitées et les plus près du piézomètre échantillonné. Il y a un site d'échantillonnage d'eau de surface pour chacune des trois cellules de biorétention, dont l'emplacement est identifié sur la figure 10.

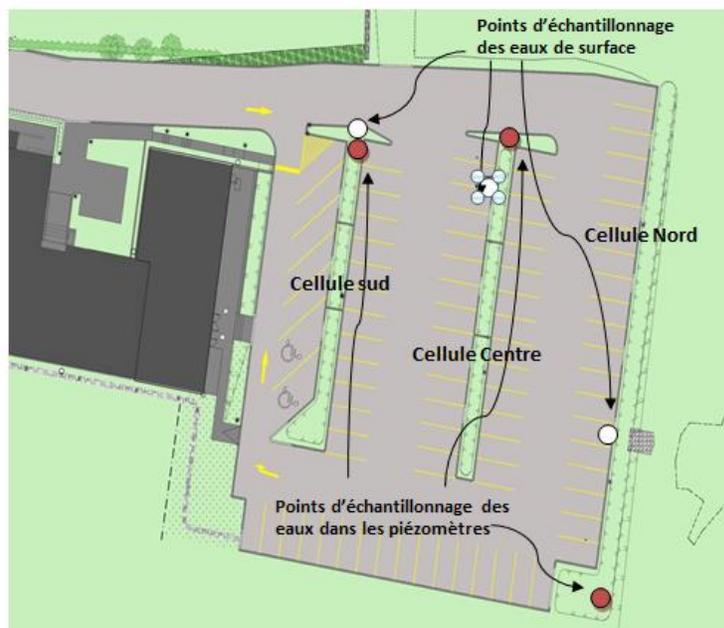


Figure 10. Emplacement des points d'échantillonnage.

3.1.5 Règles limnimétriques

Des règles ont été installées sur les murets de béton afin de mesurer l'élévation de l'eau accumulée à la surface des cellules de biorétention lors de l'échantillonnage des événements de pluie.



Figure 11. Règles limnimétriques.

3.1.6 Sondes barométriques

Des sondes barométriques de type « Hobo » (figure 12) ont été utilisées pour colliger en continu les hauteurs d'eau dans les piézomètres des cellules Sud et Centre entre le 28 mars 2014 et le 10 septembre 2014. Les données instantanées de pression ont été enregistrées par les appareils au pas de temps de 15 minutes. Les différences des pressions enregistrées par les sondes localisées dans les piézomètres et à la station météorologique ont permis de déterminer les hauteurs d'eau.



Figure 12. Sonde barométrique de type « Hobo » placée dans un piézomètre pour évaluer la hauteur d'eau.

3.1.7 Caméra vidéo

Une caméra vidéo de surveillance fut installée entre avril 2014 et juin 2014 afin de filmer le stationnement et de valider la modélisation de la performance du système. Les données étaient enregistrées sur un disque dur externe.

3.2 Protocole d'échantillonnage

3.2.1 Échantillonnage de l'eau

L'étude s'est déroulée sur une période d'un an et visait au départ cinq campagnes d'échantillonnage d'eau de pluie. L'objectif était de procéder à ces campagnes durant un événement de pluie supérieure ou égale à 10 mm.

Le choix des événements fut effectué avec suivi journalier des conditions météorologiques pour Cowansville à partir des données de la station météorologique et des outils disponibles sur <http://www.meteo-media.com>.

Des échantillons d'eau ont été récoltés lors des événements de pluie entre juin 2013 et juillet 2014. Le ruissellement de surface a été échantillonné au moyen de déversoirs en cours d'évènement, alors que les piézomètres étaient échantillonnés en fin d'évènement, lorsqu'une remontée du niveau d'eau était observée (voir figure 13). Le nombre d'échantillons ciblé par événement était de trois échantillons de ruissellement de surface et de trois échantillons d'eau de percolation à chaque cellule. Ces échantillons étaient conservés à une température de 4 °C jusqu'à leur acheminement et leur dosage au laboratoire.

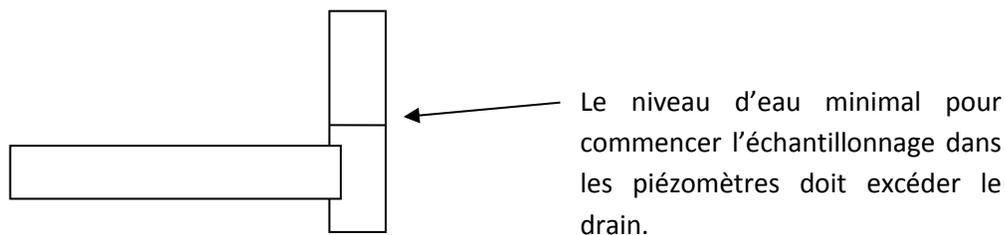


Figure 13. Section d'un piézomètre

Un dosage physico-chimique a été réalisé sur l'ensemble des échantillons d'eau au laboratoire de physico-chimie de l'IRDA pour les paramètres de concentration en azote ammoniacal (N-NH₄), nitrates (N-NO₃ + N-NO₂), phosphore total, calcium (Ca) et autres éléments majeurs et mineurs en solution (Greenberg et coll., 1992a, b, c, d; Murphy et Riley, 1962; Sharpley et coll., 1991) (tableau 1). Les concentrations en P biodisponible, P réactif soluble (principalement sous forme d'orthophosphates) et P total dissous ont

également été mesurées. Cette caractérisation des formes de phosphore avait pour but de détecter une influence du passage de l'eau au travers des substrats sur la spéciation du phosphore. Un total de huit événements a ainsi été échantillonné.

La recherche d'hydrocarbures pétroliers (C10 à C50) a pour leur part été supportée dans 6 échantillons lors de l'échantillonnage du 27 novembre 2014, en prenant soin de prélever l'eau à la surface de la colonne d'eau. La présence des huiles et graisses a été quantifiée par la recherche d'hydrocarbures pétroliers (C10 à C50) et par la recherche d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Le septième événement (2014-04-15) a bénéficié d'un échantillonnage supplémentaire pour déterminer la teneur des coliformes fécaux dans les échantillons d'eau de ruissellement et percolée. Trois échantillons de ruissellement et trois échantillons d'eau au piézomètre ont alors été prélevés et dosés pour chacune des cellules. Les coliformes ont été dénombrés par la méthode de recherche et de dénombrement d'*Escherichia coli* thermotolérants dans l'eau par filtration sur membrane utilisant le milieu de culture mFc-BCIG.

Tableau 2 . Paramètres physico-chimiques analysés en laboratoire pour les échantillons de ruissellement de surface et les eaux percolées.

Paramètre analysé	Unité	Limite de détection
pH		
MES *	mg/l	7
Cl	mg/l	0,37
N-NH4 *	mg/l	0,023
N-NO3+N-NO2 *	mg/l	0,011
P réactif	ug/l	1
P Per. *	ug/l	6
P	ppb	7
K *	mg/L	0,03
Ca *	mg/L	0,07
Mg *	mg/L	0,01
Na *	mg/L	0,01
Al ! *	mg/L	0,02
B *	mg/L	0,006
Cu *	mg/L	0,005
Fe ! *	mg/L	0,001
Zn *	mg/L	0,003
Mn *	mg/L	0,001
Mo *	mg/L	0,003
Cd *	mg/L	0,001
Cr *	mg/L	0,002
Co *	mg/L	0,001
Pb *	mg/L	0,008
Ni *	mg/L	0,003
Conductivité	uS/cm à 25	0,1
P NaOH+EDTA	ug/l	10

3.2.2 Échantillonnage des substrats

Chacune des cellules contient un substrat différent. Les propriétés physicochimiques des substrats mis en place à l'automne 2010 ont d'abord été analysées. Puis, les substrats des trois cellules ont été échantillonnés à l'automne 2013. Les propriétés chimiques des substrats des cellules ont alors été évaluées à deux profondeurs, soit entre 0 et 15 cm et entre 15 et 30 cm (sol) au moyen d'un échantillonnage comportant 15 prélèvements par cellule. Les éléments P, K, Mg, Ca et autres éléments majeurs et mineurs ont été analysés à l'aide de la méthode d'extraction Mehlich 3. La teneur en matière organique a été évaluée par la méthode de perte au feu. La présence des huiles et graisses a été quantifiée par la recherche d'hydrocarbures pétroliers (C10 à C50) et par la recherche d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Une analyse des propriétés physiques des substrats a aussi été effectuée sur des cylindres de sol non dérangés (figure 14) prélevés en triplicata dans chaque cellule à une profondeur de 5 à 20 cm. La granulométrie, la densité apparente, la porosité totale et la conductivité hydraulique saturée (cm/min) ont été mesurées au laboratoire de physico-chimie de l'IRDA.

Des échantillons de paillis ont aussi été prélevés dans chacune des trois cellules et ont été analysés pour les mêmes critères.



Figure 14. Prélèvement d'un cylindre de substrat non dérangé dans une cellule de biorétention

3.2.3 Mesure des niveaux d'eau

Les sondes barométriques installées dans deux piézomètres dans les cellules Sud et Centre enregistraient les hauteurs d'eau aux 15 minutes. De plus, durant et après l'événement de pluie, le relevé des règles limnimétriques était noté environ chaque 60 min lorsque l'eau s'accumulait à la surface des jardins de pluie, de même que la hauteur de la colonne d'eau dans les cinq piézomètres, qui était mesurée au moyen d'une règle flottante.

3.2.4 *Survie et croissance des végétaux*

Les données pour le volet de la santé des plantes sont tirées d'un suivi photographique. À chaque semaine durant la saison estivale, des photos des trois cellules et de l'ensemble du stationnement ont été prises à partir des mêmes emplacements à partir du 22 mars 2012 jusqu'au 10 septembre 2014

3.3 Modélisation du fonctionnement hydraulique

Afin de pouvoir étudier le système de drainage du stationnement de la MRC Brome-Missisquoi, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif, nous devons d'une part modéliser le fonctionnement hydraulique du stationnement et d'autre part, disposer d'un registre pluviométrique qui représente les conditions réelles auxquelles le stationnement a été exposé, ce dernier est utilisé comme Input du modèle de simulation.

3.3.1 *Simulation hydraulique*

Pour analyser la réponse du système hydraulique, nous avons créé un modèle de simulation mathématique. Pour ce faire, nous avons utilisé le modèle du domaine public EPA SWMM 5.1 des États-Unis. Ce modèle, en plus de fournir des résultats de ruissellement urbain et les débits dans les réseaux d'égouts, il intègre un module de calcul spécifique appelé LID (Low Impact Development). La polyvalence du modèle de simulation, son statut de libre redistribution et sa licence Open source lui a permis de devenir l'un des plus utilisés dans de nombreux pays comme les USA, le Canada, l'Australie et l'Europe, afin de répondre à de nombreuses études traitant de la quantité et de la qualité de l'eau.

Le Stormwater Management Model (SWMM) est un modèle de simulation dynamique de drainage urbain, qui a été développé en 1971, depuis ce temps, il a subi plusieurs améliorations. L'EPA SWMM 5.1 fournit un environnement intégré qui permet d'introduire des données d'entrées pour la définition des surfaces de drainage, simuler le comportement hydraulique, estimer la qualité de l'eau et obtenir les résultats dans des formats variés.

Ce modèle peut être utilisé pour un événement de précipitation unique (tempête de conception associée à une récurrence donnée), ou pour effectuer une période prolongée (simulation continue). Globalement, il comprend essentiellement deux modules de calcul: module hydrologique et le module hydraulique.

3.3.3 Module de calcul LID

Une des caractéristiques les plus importantes de SWMM pour l'étude suivante, c'est qu'il offre la possibilité de simuler la quantité des ruissellements urbains, conformément aux principes de la gestion optimale des eaux pluviales (PGO).

Le module de LID permet de modéliser les processus de captage, la rétention et l'infiltration des eaux de ruissellement urbaines en intégrant différentes techniques de PGO.

3.3.4 Conceptualisation du système

La zone d'étude a été conceptualisée sur SWMM par des bassins qui représentent le stationnement, les toits du bâtiment ainsi que les terrains adjacents. Le ruissellement généré est dirigé vers les cellules de biorétention. La figure 15 représente schématiquement la conceptualisation de la zone d'étude dans SWMM.

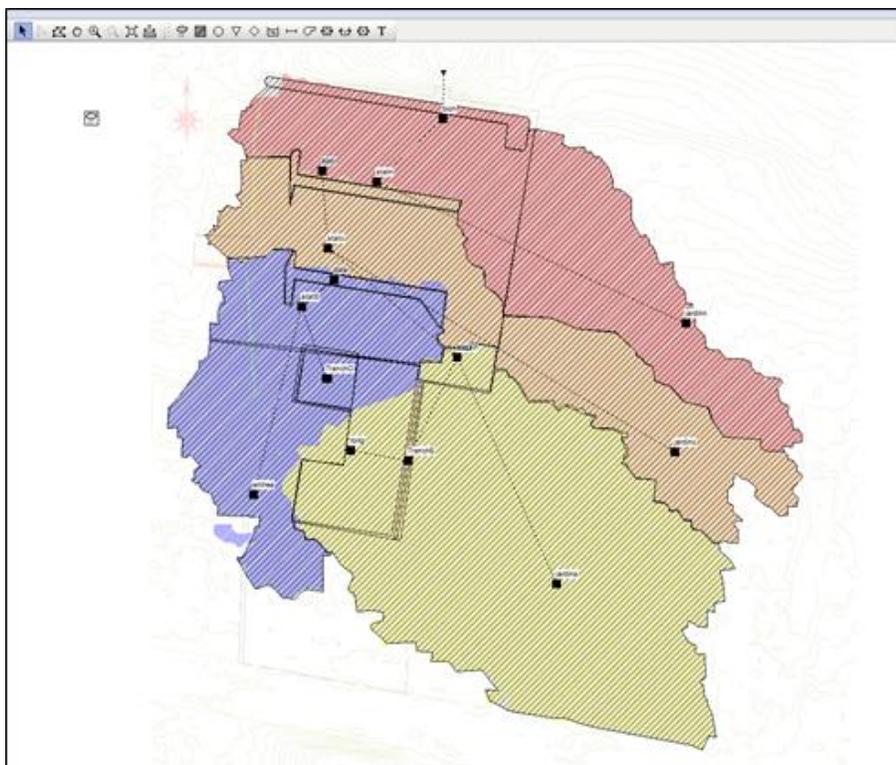


Figure 15 : Modélisation du stationnement ainsi que les toits et les terrains adjacents

Dans notre cas, la PGO utilisée correspond à la biorétention, qui est représenté par SWMM comme une suite de couches verticales avec des propriétés spécifiques. Pendant la simulation, SWMM fait le bilan sur chaque couche, permettant de connaître le mouvement de l'eau et son stockage entre chacune d'elles. Les processus et les lignes des flux caractéristiques d'une cellule de biorétention sont représentés schématiquement dans la figure suivante :

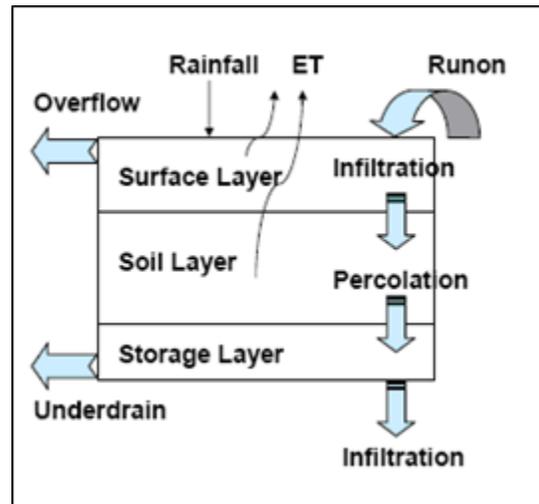


Figure 16 : Schéma conceptuel des flux dans une cellule de biorétention

3.3.5 Paramètres adaptés

L'input du modèle est constitué par la série de précipitations enregistrées par la station météorologique installée par l'équipe de l'IRDA.

Les paramètres des bassins versants permettent de définir les propriétés géométriques ainsi qu'hydrologiques. Dans le cas de cette étude, les bassins versants ont été limités grâce au traitement d'une image LIDAR fourni par l'équipe de la MRC Brome-Missisquoi, et les pourcentages d'imperméabilités ont été définis en fonction du type de sol.

En ce qui concerne le module LID (caractéristiques des cellules de biorétention), les paramètres les plus importants sont la hauteur des bordures, l'épaisseur du substrat ainsi que ces caractéristiques physiques, tel que le coefficient de perméabilité et la porosité, et pour terminer, l'épaisseur de la couche de stockage au fond de la cellule de biorétention et le coefficient de perméabilité du sol existant. Tous ces paramètres ont été obtenus par des essais In Situ pour se rapprocher le maximum possible de la réalité.

4. Procédures d'entretien

L'entretien des végétaux dans les cellules de biorétention se compare à l'entretien d'un aménagement paysager, c'est-à-dire ajouter du paillis en début d'année, tailler et désherber tout au long de la saison de croissance et en fin d'année, couper les herbacées. Il s'agit exactement du même entretien que pour les aménagements paysagers situés en façade du bâtiment.

La programmation du service d'entretien paysager est présentée au **tableau 3**.

Tableau 3. Programme d'entretien des cellules de biorétention

Date	Opérations
Année suivant la plantation	<ul style="list-style-type: none"> • Arrosage des végétaux lors des périodes de sécheresse. • Ajout d'engrais, au besoin, pour favoriser l'enracinement
Avril	<ul style="list-style-type: none"> • Nettoyage (enlèvement manuel des déchets, résidus végétaux, etc.) • Passage d'un balai mécanique tel qu'utilisé sur les rues, de façon à ramasser sable et gravier.
Mai	<ul style="list-style-type: none"> • Taille des arbustes à floraison printanière • Taille des vivaces • Désherber • Renouvellement du paillis
Juin	<ul style="list-style-type: none"> • Désherber et biner les plates-bandes
Juillet	<ul style="list-style-type: none"> • Nettoyer et tailler les vivaces et annuelles
Août	<ul style="list-style-type: none"> • Désherber • Début de la taille des vivaces • Taille de formation pour certains arbustes
Septembre	<ul style="list-style-type: none"> • Début du nettoyage d'automne • Entretien des plates-bandes • Taille des vivaces • Élagage au besoin

De fait, le contrat accordé à la firme qui effectue l'entretien paysager fut ajusté proportionnellement à la superficie supplémentaire des jardins de pluie. Les coûts réels pour l'entretien des jardins de pluie sont annuellement légèrement inférieurs à 2 000\$.

5. Analyse des résultats et discussions

5.1 Volet quantitatif

5.1.1 Traitement des données météorologiques

L'objectif principal de cette section est d'analyser et de valider les données obtenues de la station météorologique installée sur le site, qui dans un deuxième temps, sont utilisées dans le modèle simulation pour obtenir une estimation de la réponse hydrologique du site.

5.1.1.1 Validation des données pluviométriques

Dans le but de valider les données de la station météorologique installée à la MRC en février 2013, des comparaisons avec d'autres stations sont nécessaires. Dans ce contexte, les stations les plus proches sont les suivantes :

- Station Dunham-2 du MDDELCC: Élévation 131 m. Distance 9 km
- Station Brome de Environnement Canada : élévation 214 m. Distance 13 km

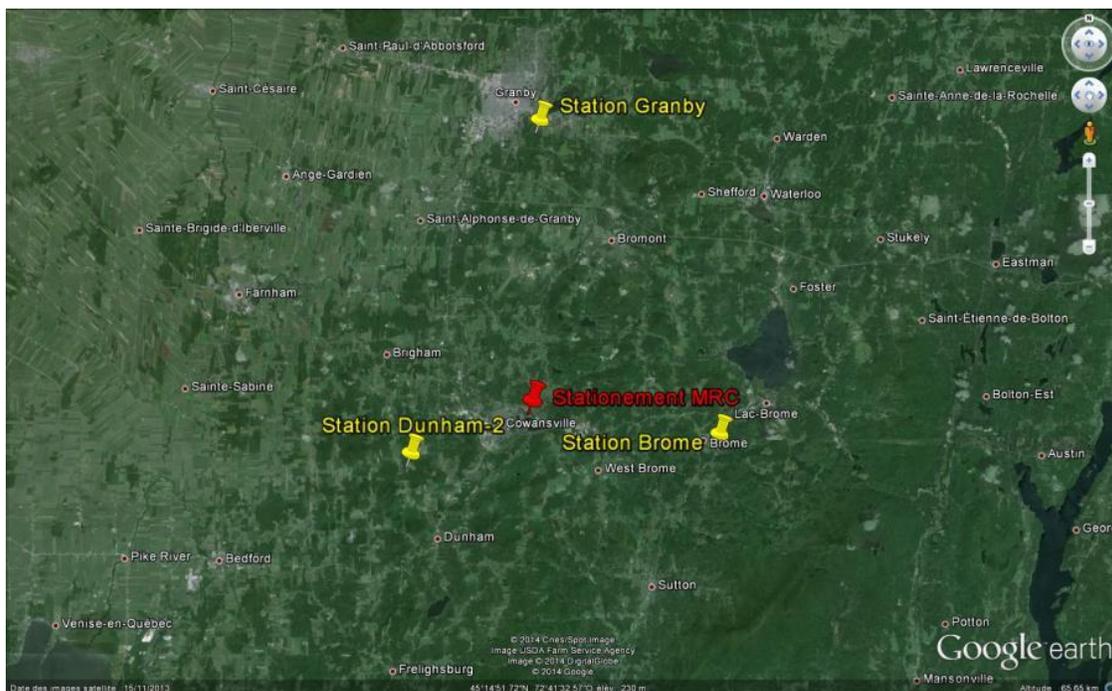


Figure 18. Localisation des stations météorologiques

La station retenue pour valider les données de la station MRC est Dunham-2 puisqu'elle est la plus proche en termes de distance et d'élévation.

Les données de la station Dunham-2 se trouvent sur le site du MDDELCC au lien suivant : www.mddelcc.gouv.qc.ca/climat/donnees/. Il est important de prendre en considération que les données de la station sont journalières et sont prises à 08h00.

5.1.1.2 Prétraitement des données et obtention de la série pluviométrique pour l'étude

Les données extraites du Data-logger commence le 12 février 2013 à 16:45 et termine le 10 septembre 2014 à 12:30.

Nombre de données enregistrées : 53 438

Nombre de données manquantes : 1 781

Dates des données manquantes :

- Du 2013-04-16 7:30 au 2013-04-26 19:00
- Du 2014-01-30 10:45 au 2014-01-30 21:30
- Du 2014-04-16 16:15 au 2014-04-23 23:00

5.1.1.3 Séparation des événements de pluie aux événements de neige

Il est important de noter que le kit de chauffage du pluviomètre n'était pas installé sur cette station météo. La neige qui s'accumulait dans le pluviomètre fondait lorsque l'énergie du soleil était assez importante ou que la température était supérieure à 0°C. Les hauteurs d'eau mesurées en hiver correspondaient à la hauteur de neige fondue et aux précipitations en pluie.

Dans ce contexte, il s'avère nécessaire de séparer les événements de pluie aux événements de neige, car cette étude prend en considération les évènements pluviaux seulement.

Pour cela, nous avons comparé les données de la station installée à la MRC avec les données de la station Dunham-2 située près de Cowansville où les mesures de la hauteur de neige ont été enregistrées.

Dans un premier temps, pour valider le choix de la station Dunham-2, nous avons comparé les températures maximales et minimales mesurées à la station Dunham-2 avec ceux enregistrées à la MRC, et nous avons obtenu la figure suivante :

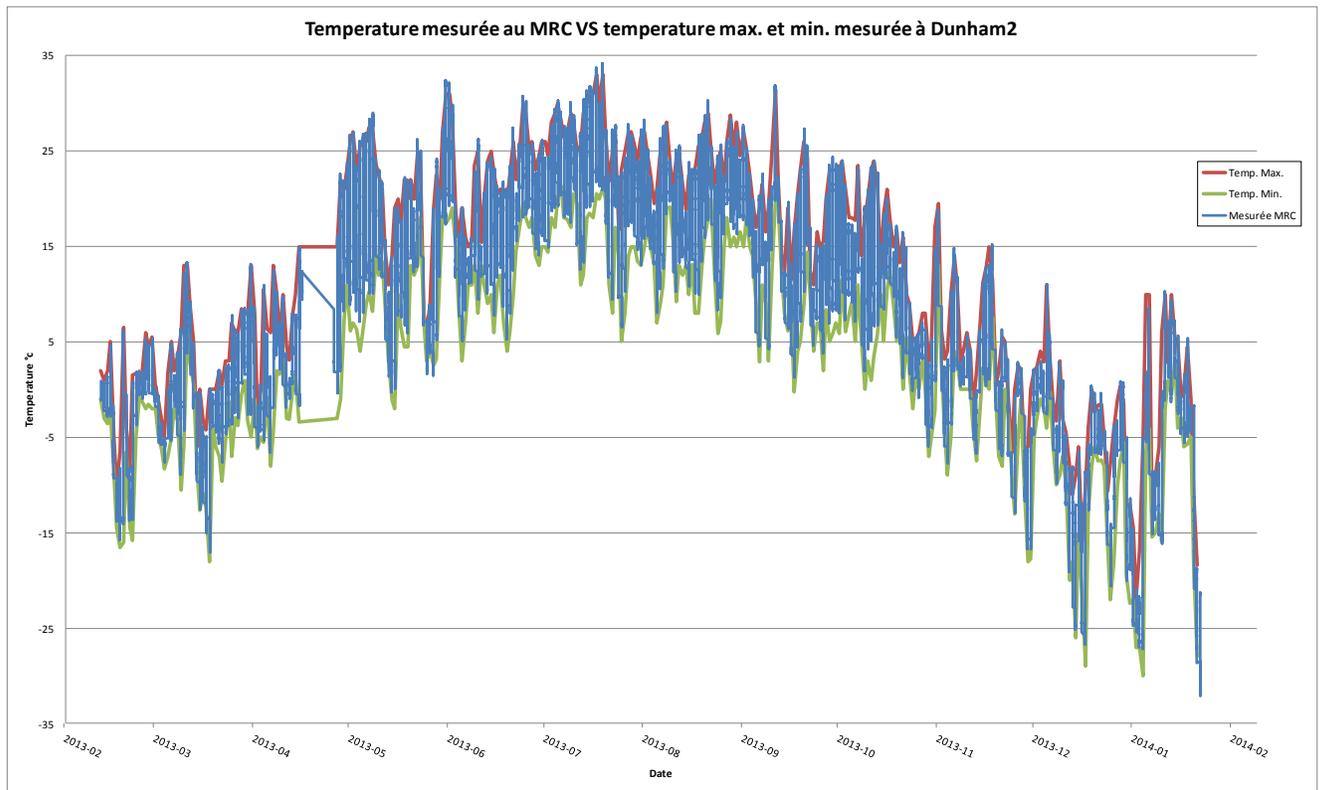


Figure 19. Comparaison des températures enregistrées à la MRC et Dunham-2

Suite à l’analyse de la figure 19, nous constatons que les températures mesurées à la station de la MRC se trouvent dans les fuseaux des maximums et minimums de la station Dunham-2. Les températures mesurées dans les deux stations météorologiques ainsi que leurs élévations géodésiques sont assez proches. Les données sur la hauteur de neige mesurée à la station Dunham-2 sont donc utilisées pour extraire les événements de pluie de la série enregistrée par la station installée à la MRC. La figure 20 représente la série pluviométrique obtenue.

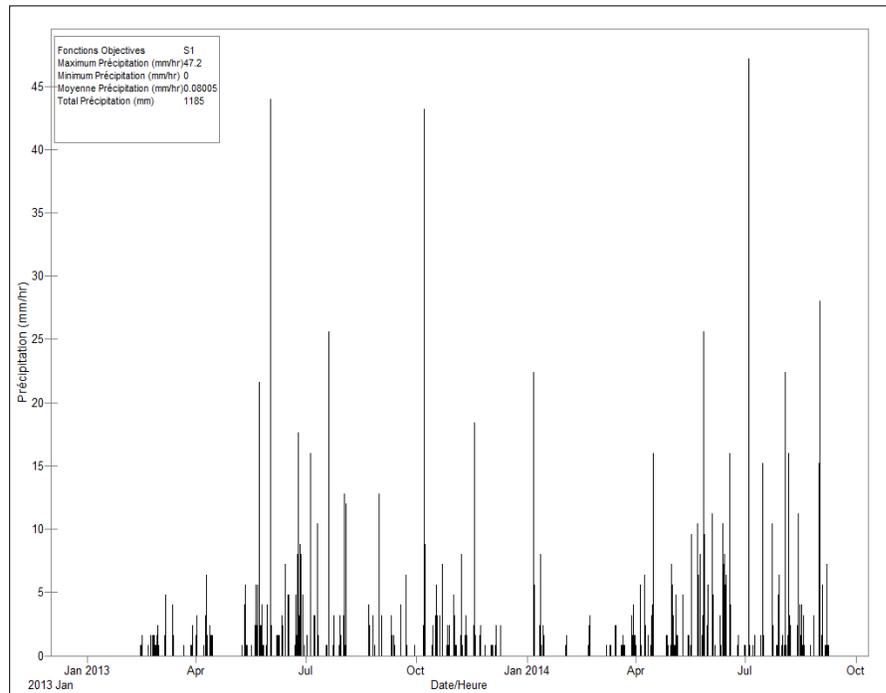


Figure 20. Hyétoqramme des pluies obtenues

5.1.1.4 Caractérisation des événements de pluie enregistrés à la MRC

Dans le but d'utiliser la série pluviométrique obtenue dans le paragraphe précédent pour le modèle de simulation qui va être abordé postérieurement, il s'avère nécessaire d'identifier et caractériser les événements de pluie enregistrés.

La caractérisation des processus temporaires de précipitation consiste à définir les variables suivantes : le temps inter-événement, la durée des événements de pluie, intensité maximale et les hauteurs totales.

Dans ce contexte, le premier pas consiste à séparer la série continue du registre pluviométrique obtenu en événement de pluie statistiquement indépendant. Le fait de séparer ou isoler un événement de pluie implique déterminer deux aspects : le début et la fin de l'événement. Toutefois, si l'intervalle de temps qui sépare deux événements est grand, la tendance est qu'ils appartiennent à des événements de pluie différents.

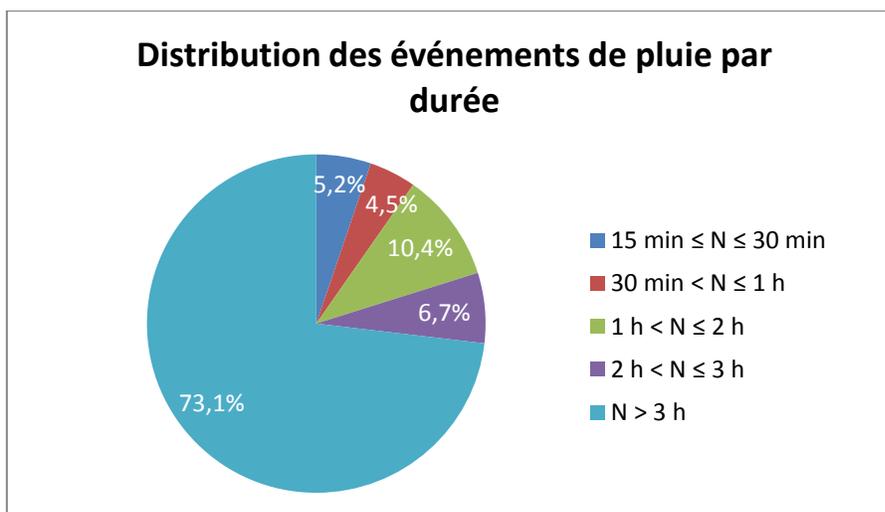
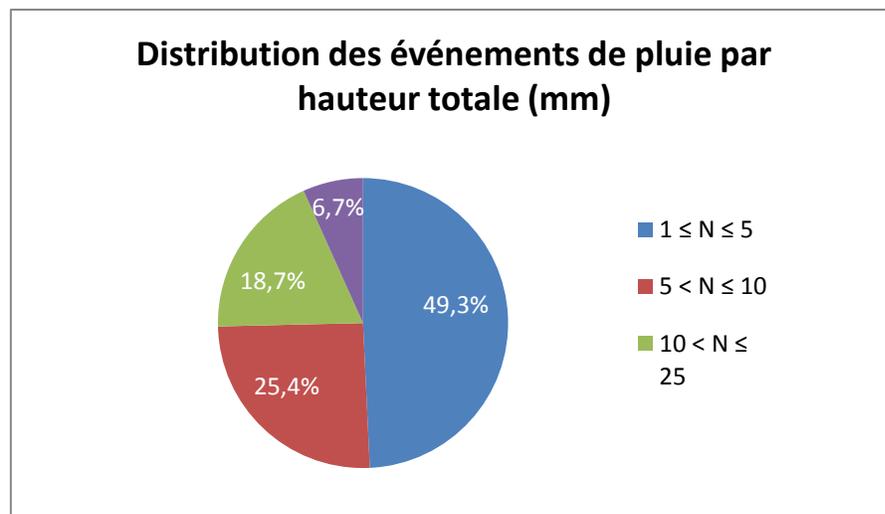
Par conséquent, la séparation de la série continue du registre pluviométrique consiste à fixer la

séparation minimale entre deux événements de pluie indépendants. Toutefois, dans cette étude nous allons prendre comme hypothèse que la séparation minimale entre deux événements est de 6 heures. Ce qui signifie que deux impulsions de pluie qui sont séparées de plus de 6 heures appartiennent automatiquement à des événements de pluie indépendants.

Avec ce dernier critère, il en résulte 208 événements, dont 36 % correspond à des événements de pluie très faibles qui se trouvent en bas du seuil pour engendrer des ruissellements.

Pour cela, nous avons éliminé de la série tous les événements avec des hauteurs inférieures à 1 mm. De cette façon, la série se réduit à un total de 134 événements.

Pour compléter l'analyse, nous présentons une série de graphiques qui montrent la distribution en pourcentage des 134 événements. Particulièrement, ces graphiques prétendent caractériser la série pluviométrique obtenue avec une séparation inter-événement minimale de 6 heures, en fonction des variables suivantes : durée d'événement, intensité maximale et hauteur de pluie.



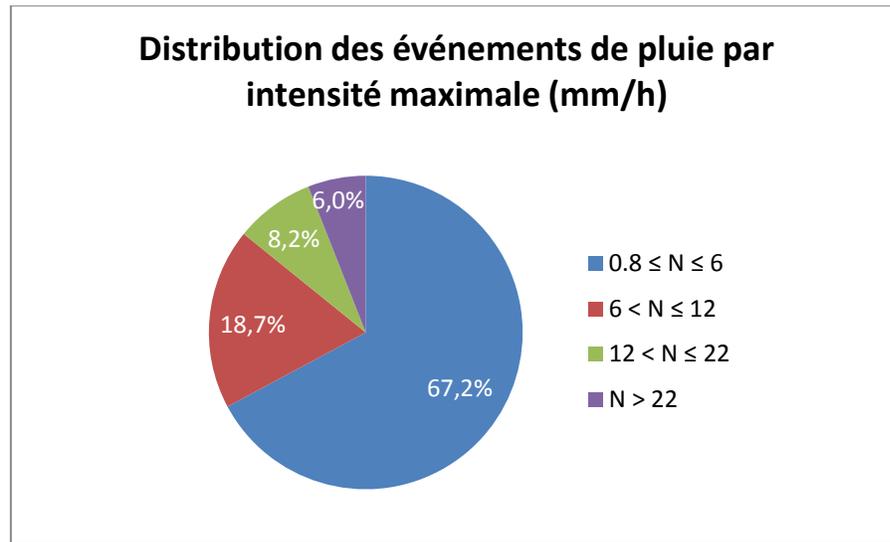


Figure 21. Caractérisation des événements de pluie.

5.1.2 Simulation hydraulique

Dans le but d'étudier le réseau de drainage du stationnement de la MRC Brome-Missisquoi à Cowansville, le traitement et une analyse des données obtenues de la station météorologique installée sur le site permettent d'obtenir une série d'événements de pluie utilisée comme input dans un modèle mathématique de simulation.

5.1.2.1 Résultats de la simulation

Suite à la simulation du modèle avec la série de précipitations enregistrées par la station météorologique sur place, nous observons que la cellule de biorétention située au Nord du stationnement gère parfaitement les eaux de ruissellement reçues par les bassins versants adjacents, car il y a aucun refoulement vers le pavage tel qu'illustré à la figure 22.

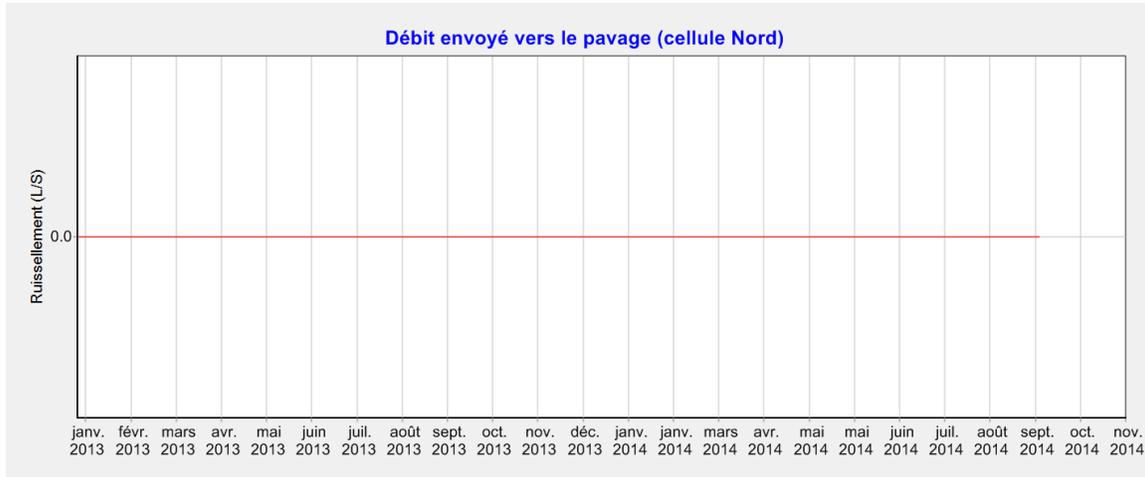


Figure 22. Hydrogramme de refoulement vers le pavage (cellule Nord)

En ce qui concerne la cellule du centre, nous constatons des petits débits qui s’accumulent vers le pavage pour être réadmis une fois que la cellule a récupéré sa capacité d’infiltration.

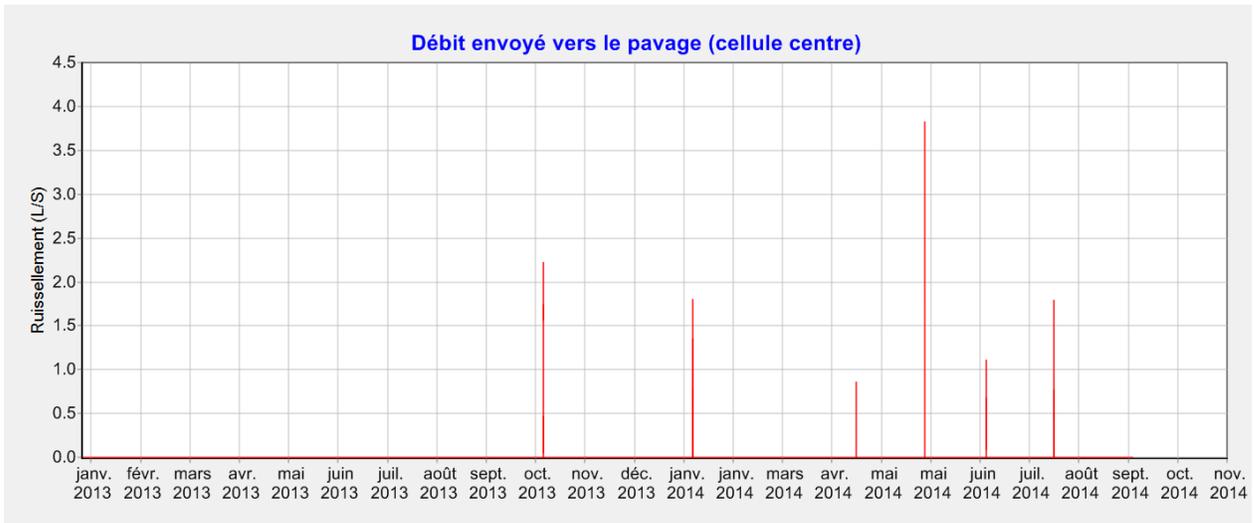


Figure 23. Hydrogramme de refoulement vers le pavage (cellule centre)

Pour la cellule au Sud, nous constatons la même situation que dans la cellule du centre, des petits débits qui sont retenus sur le pavage, pour être réadmis une fois la cellule de biorétention a récupéré sa capacité d’infiltration.

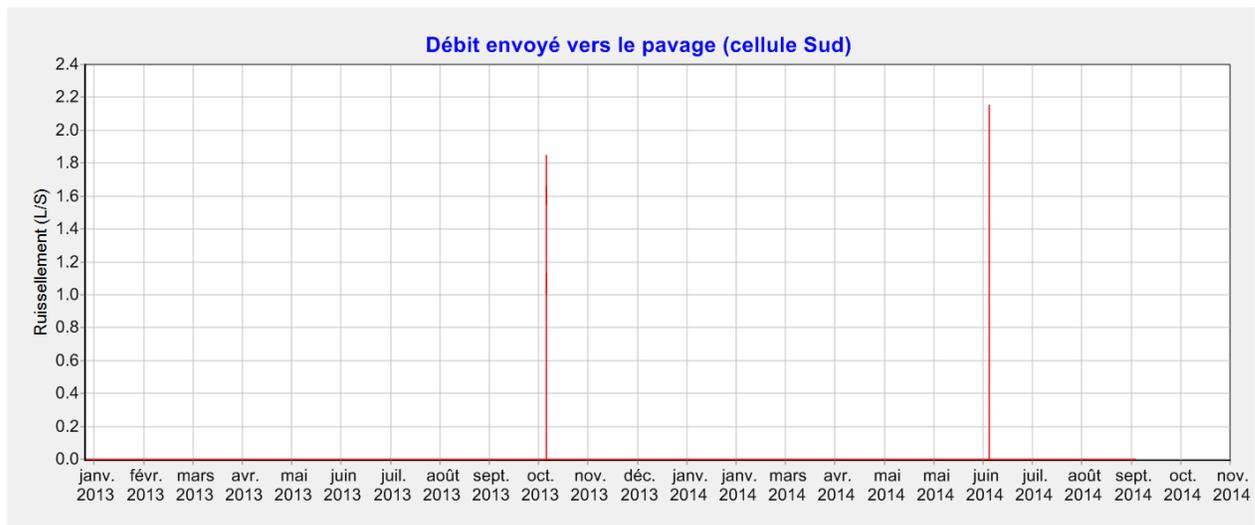


Figure 24. Hydrogramme de refoulement vers le pavage (cellule sud)

Les données enregistrées dans les sondes barométriques installées dans les piézomètres Sud et Centre, ainsi que les observations visuelles en provenance de la caméra de surveillance valident les résultats issus de la modélisation hydraulique.

5.1.3 Performance hivernale

Les précipitations en hiver étant sous forme de neige, les cellules de biorétention sont peu sollicitées. Il y a déneigement et mise en place de sels de déglçage, qui apporte un faible débit liquide en hiver lorsque la glace et la neige fondent.

La performance hivernale du système concerne principalement l'efficacité du drainage en hiver lors des épisodes de redoux et de pluie, de plus en plus fréquents.

En période de redoux hivernal, lorsqu'il y a un couvert de glace à la surface du stationnement, l'eau circule sous la glace, se concentre le long des bordures de béton et entre dans les cellules de biorétention sans problème, comme on peut le voir sur la figure 25. Ce phénomène a été observé suite à un épisode de verglas survenu du 21 au 23 décembre 2013, où selon météomédia un peu moins de 25 mm de verglas est tombé sur la région. Les bureaux de la MRC étant fermés jusqu'au 6 janvier 2014, l'entretien du stationnement n'a pas été effectué avec diligence et un important couvert de glace recouvrait le stationnement au début janvier 2014.



Figure 25. Fonte de la glace le long des bordures de béton et des points d'entrée d'eau vers les jardins de pluie.

À une seule occasion, la cellule Centre fut sollicitée lors d'une pluie hivernale le 11 janvier 2014, de telle façon qu'il y a eu débordement vers la cellule Nord, tel qu'on peut l'observer sur la figure 26. Dans ce cas précis, qui le seul cas observé et documenté où il y a eu une problématique concernant la capacité du système en hiver, il est à noter que, suite au verglas, une importante couche de glace recouvrait la surface des cellules de biorétention et l'eau de pluie s'accumulait au-dessus de cette couche de glace. Avec le redoux, la glace a cassé et l'eau a pu s'infiltrer en quelques heures.



Figure 26. Événement de pluie hivernale du 11 janvier 2014

La performance hivernale n'est pas problématique. L'événement de verglas de décembre 2013 est exceptionnel et le couvert de glace observé à la surface du stationnement n'était pas différent de celui qui recouvrait l'ensemble des rues de Cowansville. Ce fut le seul événement

où de l'eau a été observée en surface des cellules en hiver depuis la mise en place des cellules de biorétention à l'automne 2010.

5.1.4 Conclusion de la performance des cellules de biorétention d'un point de vue quantitatif

Pour la période d'étude, nous constatons que la cellule de biorétention située au Nord gère très bien les eaux de ruissellement, car sa surface et le taux d'infiltration du substrat mis en place permettent de gérer des pluies de récurrence 100 ans et le débordement des autres cellules de biorétention. Donc comme espéré, il n'y a pas eu de refoulement pendant la durée de l'étude, car la fréquence maximale de pluie a été de 2 ans.

En ce qui concerne la cellule de biorétention située au centre, son taux d'infiltration est 8 fois inférieur à celui de la cellule du Nord. Cette dernière refoulait temporairement sur le pavage.

Pour la cellule de biorétention située au Sud du stationnement, son taux d'infiltration est presque similaire à celui de la cellule du Nord mais sa surface est inférieure. De plus, elle gère les ruissellements d'une surface 1,5 fois plus grande que la surface gérée par celle du Nord. Par contre les refoulements vers le pavage ont eu lieu seulement pour deux événements de pluies.

Aussi, nous remarquons que les refoulements vers le pavage qui ont eu lieu dans les cellules du centre et du Sud ont été occasionnés par des pluies de récurrence inférieure à 2 ans alors que le stockage sur pavage est prévu pour des pluies de récurrence comprise entre 25 ans et 100 ans. Ceci dit, ces débordements ont eu lieu à cause des conditions antérieures, soit des événements de pluie qui se sont produits le jour antérieur et qui ont saturé le substrat. Ceci montre qu'il est important de prendre ces considérations pour les projets futurs.

La capacité du système respecte donc les critères de conception pour la plupart des événements, sauf lorsqu'il y a saturation des jardins lors d'une cumulation d'événements de pluie.

5.2 Volet qualitatif

5.2.1 Traitement des données

L'approche retenue pour l'évaluation de la performance des cellules de biorétention repose sur un dispositif « Entrées-Sorties » où la qualité des eaux de ruissellement entrant dans les cellules est comparée à celles des eaux de lixiviation, suivant leur percolation au travers les substrats des cellules. Le dispositif expérimental repose ainsi sur deux dispositifs de mesure, soit :

- un suivi quantitatif et continu des précipitations (entrées) et des hauteurs d'eau dans les piézomètres après leur passage au travers des substrats des cellules (sorties);
- un suivi ponctuel de la qualité du ruissellement de surface et des eaux de lixiviation collectées dans les piézomètres.

Les mesures en continu des précipitations et des niveaux d'eau dans les piézomètres témoignent respectivement des flux d'eau à l'entrée et à la sortie des cellules. Ces flux de surface et souterrain varient considérablement en de courts laps de temps, suivant des progressions contrastées et déphasées. Ces variabilités dans l'intensité du ruissellement de surface ou du taux de percolation au travers les cellules ont un effet important sur la qualité de l'eau à l'entrée et à la sortie du système. Un ruissellement de surface intense, par exemple, sera fortement chargé en matières en suspension. Cet effet des conditions d'écoulement sur les différents paramètres de qualité des eaux ruisselées et percolées doit être pris en compte dans l'évaluation de la performance des cellules. Aussi, pour les besoins de la présente étude, l'évaluation de la performance des cellules repose sur l'estimation et la comparaison de la qualité des eaux ruisselées et percolées, telles qu'échantillonnées lors des événements de ruissellement. Le protocole d'échantillonnage ciblait le prélèvement de trois échantillons de ruissellement et de trois échantillons d'eau des piézomètres pour chacun des événements à l'étude. Afin de produire une estimation moyenne de la qualité du ruissellement pour un événement et un paramètre de qualité donné, les intensités de pluies instantanées observées au moment des échantillonnages du ruissellement ont été utilisées dans la pondération des valeurs de concentrations observées du paramètre de qualité d'eau à l'étude. L'estimation de la qualité moyenne des eaux de percolation pour le même événement a pour sa part mis à profit les hauteurs d'eau dans les piézomètres dans la pondération des concentrations observées pour les différents échantillons prélevés en cours d'évènement.

Le tableau 4 rapporte la distribution temporelle des événements et des échantillonnages du ruissellement et des eaux percolées aux trois cellules de biorétention.

Tableau 4. Distribution des événements et des échantillonnages du ruissellement et des eaux percolées aux trois cellules de biorétention.

Numéro d'événement	Date	Durée (jours)	Nombre d'échantillons au ruissellement			Nombre d'échantillons au piézomètre			Précipitations cumulées totales (mm)
			Centre	Nord	Sud	Centre	Nord	Sud	
1	2013-06-25 14:00 au 2013-06-28 16:45	3,11	4	5	3	3	0	1	20,8
2	2013-09-12 00:00 au 2013-09-12 23:45	1	3	3	2	4	2	4	14
3	2013-11-26 16:00 au 2013-11-27 00:00	0,33	1	1	1	3	3	3	20
4	2014-01-11 06:00 au 2014-01-14 17:45	3,49	4	4	3	3	1	3	32,6
5	2014-03-28 09:15 au 2014-03-28 22:15	0,54	2	2	2	3	0	2	16,2
6	2014-04-08 02:45 au 2014-04-08 22:00	0,80	1	1	1	2	3	3	15,4
7	2014-04-14 19:30 au 2014-04-15 17:00	0,90	3	3	3	3	3	3	32
8	2014-07-28 10:00 au 2014-07-29 01:45	0,66	3	3	3	1	0	7	26,2

Au total, neuf événements de pluie générant une montée du niveau de l'eau dans les piézomètres supérieure à 0,5 mètre ont été caractérisés (annexe 2). Des facteurs de pondération ont été utilisés pour obtenir des valeurs de concentrations moyennes par événement des eaux ruisselées, à l'entrée des cellules, et des eaux percolées échantillonnées dans les piézomètres. Les paramètres de qualité du ruissellement ont été pondérés sur la base des précipitations instantanées (mm/heure) observées à l'heure d'échantillonnage et calculées sur une période de 45 minutes précédant la prise d'échantillon. Les échantillons récoltés lorsque la pluie était relativement plus intense ont donc des facteurs de pondération plus élevés et ont ainsi plus de poids dans le calcul de la moyenne de la concentration pour l'ensemble de l'évènement. Les moyennes pondérées de la qualité de l'eau des événements 2 et 3 n'ont cependant pas pu être analysées, en raison d'une défectuosité de la station météorologique.

Les valeurs de concentrations des échantillons provenant des eaux percolées ont été pondérées sur la base des hauteurs d'eau instantanées observées dans les piézomètres au moment de l'échantillonnage. Les données étaient disponibles aux stations Sud et Centre pour les événements de pluie se situant entre mars 2014 et juillet 2014 (événements 5 à 8). Les échantillons récoltés dans les piézomètres précédant la montée du niveau d'eau ont été exclus du calcul de la moyenne pour l'évènement.

Des estimations de hauteur d'eau instantanée ont été simulées pour les événements 1 et 4 sur la base des observations de précipitation cumulées au moment des échantillonnages et de la relation établie entre cette dernière et la montée de l'eau dans les piézomètres au cours des événements de 2014. Des taux de montée moyens de 0,08 mètre/mm de pluie cumulée et de 0,09 mètre/mm pluie cumulée ont respectivement été estimés pour les piézomètres Centre et Sud.

Au total, six événements ont été mis à contribution dans l'évaluation de la performance environnementale des cellules, permettant de comparer les concentrations moyennes des paramètres de qualité de l'eau à l'étude observées dans le ruissellement de surface avec celles observées dans les piézomètres.

5.2.2 Caractérisation des substrats des cellules de biorétention

La granulométrie, la densité apparente et la porosité des trois cellules sont présentées au tableau 5. Sur le plan de leurs propriétés physiques, les substrats se distinguent peu. Ils sont majoritairement composés de sable, à plus de 90%, et présentent des porosités à toutes fins pratiques identiques, de l'ordre de 47 à 48%. Cette texture grossière et leur porosité élevée se traduisent en une conductivité hydraulique saturée très élevée, de l'ordre de 0,68 à 0,82 cm par minute. Ces conductivités hydrauliques mesurées en laboratoire sur des cylindres de sol non dérangés prélevés en 2013 se démarquent à la hausse par rapport aux déterminations réalisées en 2011 sur des échantillons de substrats compressés en moules rigides (tableau 6). Ces échantillons présentaient alors une densité apparente de 1,66 et une porosité totale de 38% (Qualitas, 2011) après reconstitution pour les tests de perméabilité. Il n'est donc pas surprenant de constater que la porosité plus élevée des cylindres prélevés in situ en 2013 soit associée à une perméabilité plus élevée que les mêmes substrats compressés aux fins de mesure en 2011. Hormis les différences de protocoles de mesure, les conductivités élevées mesurées sur les cylindres non dérangés en 2013 témoignent d'une excellente perméabilité des jardins de pluie deux ans suivant leur aménagement. Le colmatage de la surface des substrats, résultant d'évènements successifs de ruissellement, semble ainsi exclu.

Les propriétés chimiques du paillis et du sol des trois cellules de biorétention sont reproduites au tableau 7. Dans l'ensemble, la couche de surface de la cellule Sud se distingue à la hausse des autres cellules sur le plan de la richesse en matière organique (16%), ce qui lui confère des richesses relativement plus élevées pour l'ensemble des nutriments dosés au laboratoire.

Les teneurs en hydrocarbures pétroliers dans le sol des trois stations, les paillis au Sud et au Nord respectent les normes de sols d'un type A de la politique de protection et de réhabilitation des sols contaminés (MDDELCC, 1998) qui se situe à 300 ppm (tableau 8). Ces substrats ne sont pas contaminés.

Les hydrocarbures pétroliers en provenance des eaux de ruissellement semblent s'accumuler dans le paillis plutôt que dans les sols. Le paillis de la station Centre obtient un niveau de contamination de type A-B, car sa concentration se situe entre 300 et 700 ppm (MDDELCC,

1998). Une attention particulière sera nécessaire lorsque viendra le temps de disposer de ce paillis (décontamination ou type d'enfouissement particulier).

Le seul échantillon contenant un hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) provient du paillis Nord. La concentration en pyrène y est estimée à 0,14 ppm, ce qui le classerait dans un sol de niveau A-B parce que sa concentration se situe entre 0,1 et 10 ppm (MDDELCC, 1998). Les autres HAP n'ont pas été détectés dans aucun échantillon de paillis ou de sol (annexe 6).

Tableau 5. Composition physique moyenne des trois cellules de biorétention (N=3 par cellule).

	Sud	Centre	Nord
Détritus	25%	26%	8%
M.O.	1%	3%	3%
Sable très gros	20%	24%	12%
Sable gros	26%	32%	26%
Sable moyen	34%	24%	37%
Sable fin	12%	8%	17%
Sable très fin	4%	3%	5%
Limon gros	0%	0%	0%
Limon moyen	1%	1%	0%
Limon fin	0%	2%	0%
Sable	96%	91%	97%
Limon	1%	3%	0%
Argile	4%	6%	2%
Texture	Sable à sable grossier	Sable grossier	Sable
Densité apparente (g/cc)	1,47	1,45	1,40
Porosité Totale (g/cm ³)	0,47	0,47	0,48

Tableau 6. Conductivités hydrauliques saturées (cm/min) des substrats des trois cellules de biorétection (N=3 par cellule).

Conductivité hydraulique saturée (cm / min)	Sud	Centre	Nord
2011	0,372	0,0456	0,312
2013	0,817	0,802	0,678

Note : Les mesures de 2011 ont été réalisées sur des échantillons de substrats compressés suivant la méthode de moule rigide (Qualitas, 2011), alors que les échantillons de sol non dérangés ont été prélevés in situ en 2013 (N=9).

Tableau 7. Composition chimique du paillis et du sol des trois cellules de biorétection.

Élément	pH *	pH SMP	*M.O.	P *	K *	Ca *	Mg *	Al *	B *	Cu *	Fe *	Mn *	Zn *	Mo *	Na *	Ni *	Cd *	Cr *	Co *	Pb *
Unité			%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Sud Paillis	5,53	6,99	16	56	134	2681	137	341	0,452	2,2	378	93,1	15,7	0,008	14,7	1,32	0,083	0,264	0,8	2,32
Sud Sol	6,07	7,3	1,7	24,9	17,4	599	30,3	379	0,064	1,05	175	52,2	3,31	0,012	19,5	1,01	0,027	0,145	0,393	1,25
Centre Paillis	6,5	7,28	9	43,2	79,6	2151	117	391	0,282	3,34	274	69,9	26,3	0,004	21	1,16	0,086	0,215	0,693	2,62
Centre Sol	6,29	7,14	3,6	10,9	26,6	1129	49,4	310	0,065	1,55	241	43,8	4,08	0,006	18,3	1,3	0,037	0,119	0,35	1,54
Nord Paillis	6,34	7,15	6,7	31,2	50,5	1718	99,4	431	0,22	1,55	187	65,1	11,4	0,009	34,6	0,712	0,054	0,113	0,525	1,56
Nord Sol	6,22	7,25	2,2	18,2	13,5	996	32,6	407	0,072	0,83	154	34,8	1,34	0,009	7,71	0,566	0,015	0,076	0,252	0,748

Tableau 8. Concentration d'hydrocarbures pétroliers présents dans le substrat lors d'échantillons récoltés le 27 novembre 2014.

	Hydrocarbures pétroliers C10 à C50 (ppm) présents dans le substrat		
	Sud	Centre	Nord
Paillis	173	534	202
Sol	<100	<100	<100

5.2.3 Précipitations et réponses piézométriques

Les réponses des niveaux d'eau dans les piézomètres aux précipitations ont été étudiées pour neuf événements de pluie causant une montée supérieure à 0,5 mètre entre mars 2014 et juillet 2014 (annexe 2). Quatre de ces événements ont bénéficié d'un échantillonnage associé à une mesure de la hauteur instantanée d'eau dans les piézomètres Centre (figure 27) et Sud (figure 28). Le niveau d'eau maximal atteint par la station Centre est de 1,49 mètres tandis qu'il est de 1,60 mètres à la station Sud. Le niveau d'eau élevé au mois de mars et avril, malgré des hauteurs de précipitations instantanées relativement faibles, témoigne de l'apport de la fonte des neiges.

Typiquement, une certaine quantité de précipitation de pluie était interceptée avant que le niveau d'eau amorce sa montée dans le piézomètre (figure 29). En moyenne, la précipitation interceptée se situe à 5,8 mm de pluie à la station Centre, et à 2,8 mm à la station Sud (annexe 2). La superficie du bassin versant de la cellule Sud plus élevée que celle de la station Centre explique cette différence dans les précipitations interceptées. Les progressions des niveaux d'eau observés dans les piézomètres témoignent par la suite des hauteurs de précipitation cumulée au cours de l'événement (figure 30).

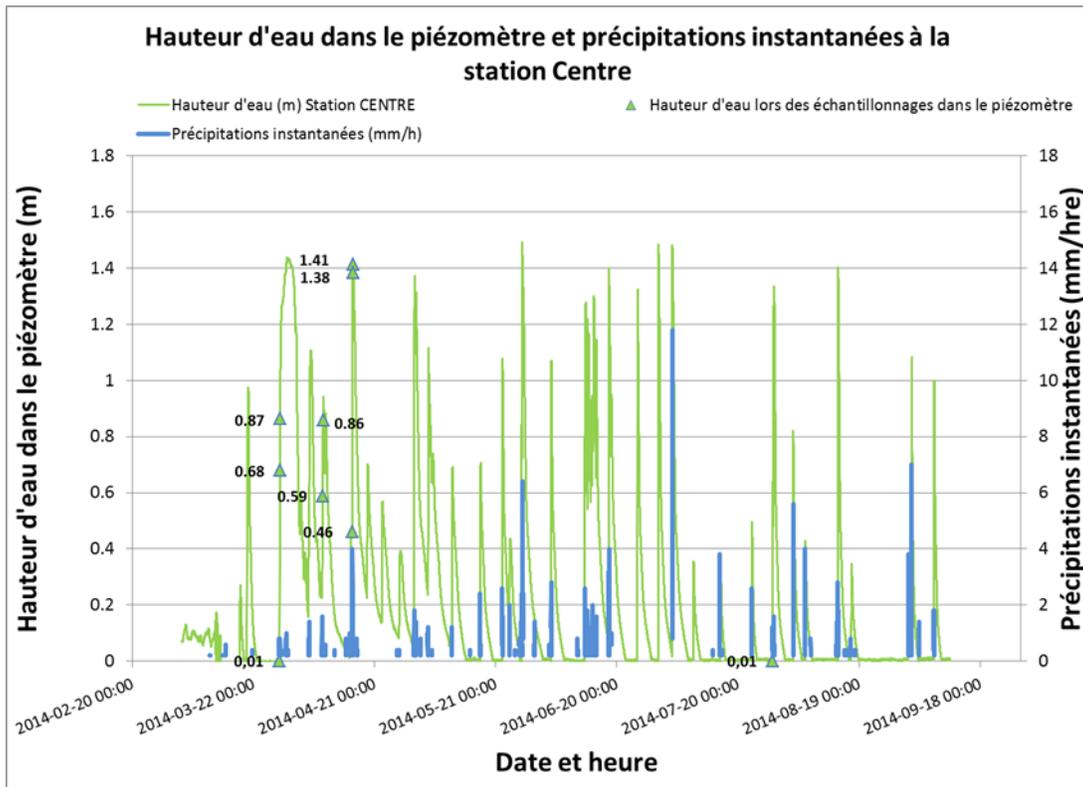


Figure 27. Distribution temporelle des précipitations et des hauteurs d'eau dans le piézomètre de la cellule Centre pour les événements ayant été échantillonnés entre février et septembre 2014

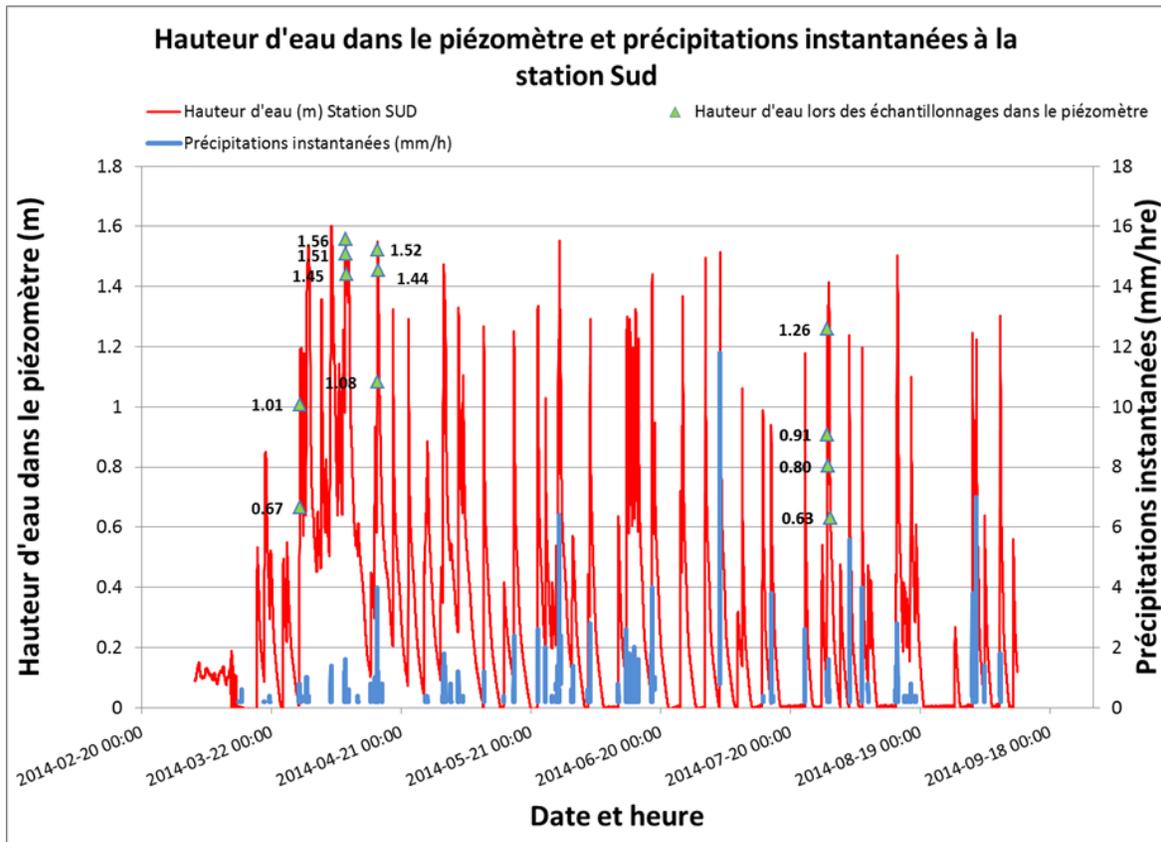


Figure 28. Distribution temporelle des précipitations et des hauteurs d'eau dans le piézomètre de la cellule Sud pour les événements ayant été échantillonnés entre février et septembre 2014.

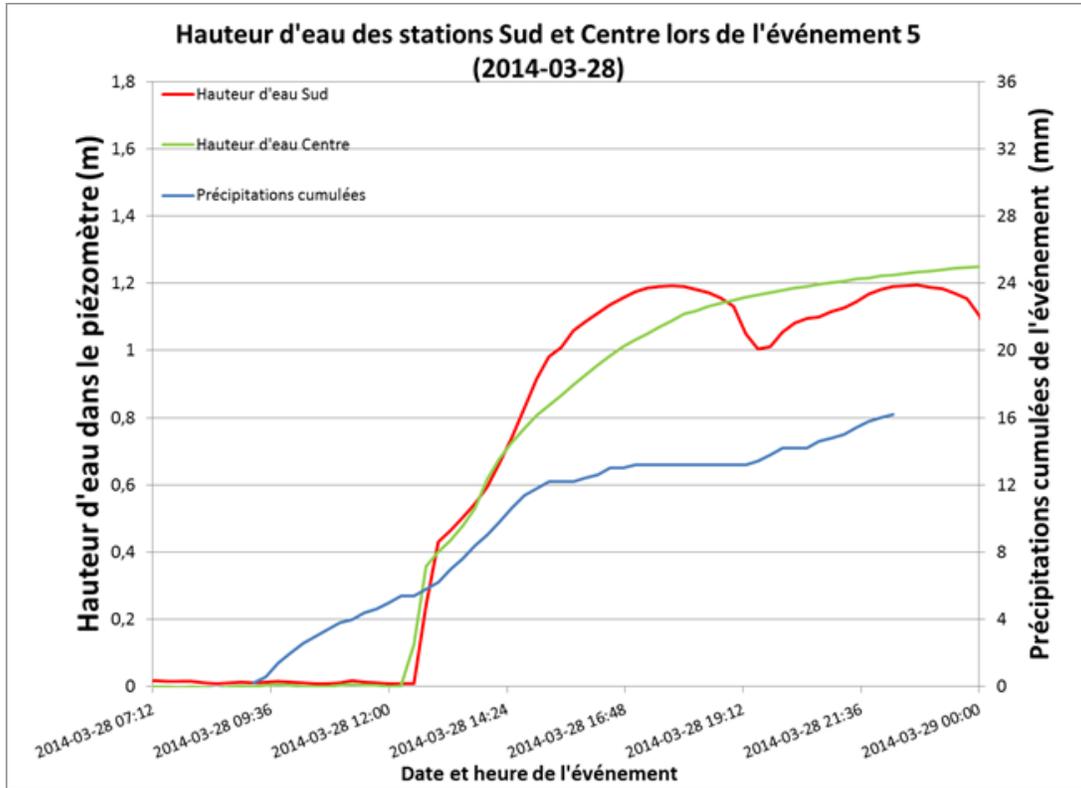


Figure 29. Distribution temporelle des précipitations et des hauteurs d'eau dans les piézomètres des cellules Sud et Centre pour l'évènement numéro 5 du 28 au 29 mars 2014.

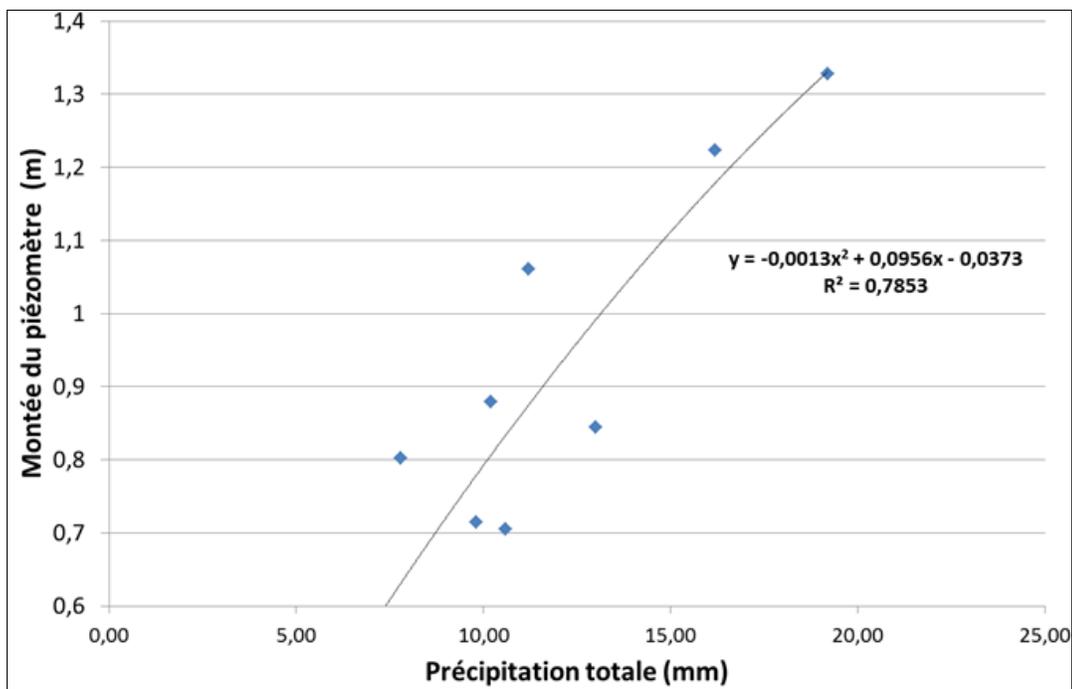


Figure 30. Relation entre la précipitation cumulée des événements de pluie et la montée du piézomètre pour huit évènements observés à la cellule Centre.

5.2.4 Qualité des eaux de ruissellement

L'eau de ruissellement a été récoltée lors de huit événements de pluie situés entre juin 2013 et juillet 2014, présentant des intensités de précipitations journalières variant entre 10 et 25 mm (figure 31). Les échantillons étaient généralement récoltés au début de la pluie. La figure 32 illustre la distribution temporelle des prises d'échantillons au cours de l'évènement no. 7 (14 avril 2014), alors que l'intensité de pluie atteignait 16 mm/heure lors des premiers prélèvements. L'eau de ruissellement est alors beaucoup plus chargée en matières en suspension que les eaux de percolation échantillonnées quelques heures plus tard.

Les précipitations instantanées ont été utilisées comme facteurs de pondération pour le calcul de la moyenne pondérée des concentrations des différents paramètres de qualité de l'eau pour chacun des évènements (tableau 9). Pour l'évènement du 14 janvier 2014 toutefois, c'est plutôt la précipitation cumulée à l'heure d'échantillonnage qui a été utilisée pour la pondération des concentrations. Une forte réponse des piézomètres malgré des précipitations instantanées faibles ou nulles lors de la prise des échantillons, témoigne de la contribution de la fonte du couvert de neige au ruissellement de surface.

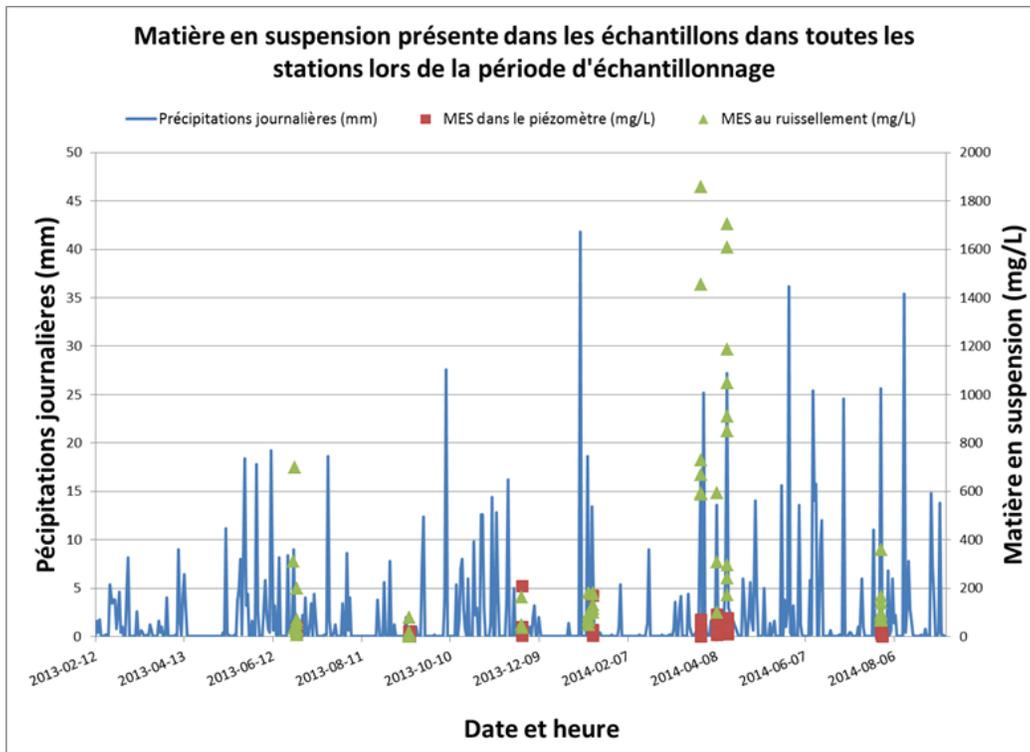


Figure 31. Distribution temporelle des échantillons collectés au ruissellement et au piézomètre en fonction des précipitations journalières pour toutes les cellules confondues entre juin 2013 et juillet 2014.

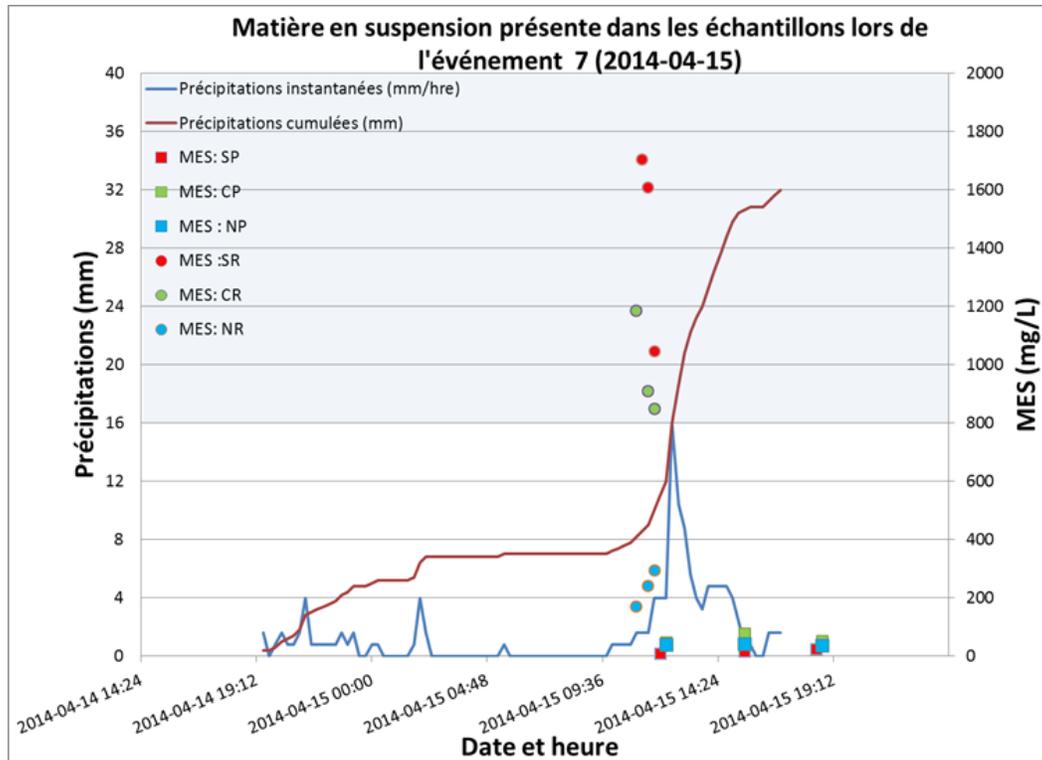


Figure 32. Distribution temporelle des échantillons de ruissellement et d'eau dans les piézomètres lors de l'événement 7 le 15 avril 2014 (données brutes non pondérées). Les observations de concentration illustrées en rouge correspondent à la station Sud (S), le vert à la station du Centre (C), le bleu à station du Nord (N). Les carrés correspondent aux échantillonnages des piézomètres (P) et les cercles correspondent aux échantillonnages d'eau de ruissellement (R).

Matières en suspension. Les concentrations des matières en suspensions dans le ruissellement de surface estimées pour les différents événements ont varié entre 32 et 1380 mg/L (tableau 10). Celles-ci reflètent la variabilité dans les intensités de précipitations observées au cours des différents événements échantillonnés. L'ensemble des concentrations moyennes observées pour les différents événements dépasse systématiquement la norme de rejet dans les eaux réceptrices des installations d'épuration fédérales (GC, 1976) établie à 25 mg/L. Ce dépassement souligne la pertinence d'effectuer un traitement des eaux de ruissellement par le passage dans les cellules de biorétention.

Phosphore. Les concentrations en phosphore total (P per) dans le ruissellement varient considérablement au cours des différents événements, soit de 40 à 1250 µg/L, reflétant l'intensité des précipitations et les matières en suspension charriées dans le ruissellement de surface. En effet, l'essentiel du phosphore caractérisé dans le ruissellement est de nature particulaire. Deux événements (no. 5 et 7) génèrent des concentrations de P total excédant la norme de rejet de 1 mg/L (GC, 1976) dans la cellule Sud (événements 5 et 7) et Centre (événement 5).

Sels et chlore. Les concentrations observées en chlore excèdent la norme établie à 1 mg/L dans la plupart des échantillons (GC, 1976). Lors des événements du 11 janvier 2014 (événement 4) et du 28 mars 2014 (événement 5), les concentrations de chlore, de calcium et de sodium, de potassium, de phosphore et d'azote observées sont particulièrement élevées. Celles-ci témoignent des contributions des sels de déglacage lessivés vers les cellules au cours des périodes de redoux hivernaux et de fonte printanière. À l'inverse, les concentrations les plus faibles sont observées en période estivale, avec des minima observés au cours des événements 1 (25 juin 2013) et 8 (28 juillet 2014).

Métaux et éléments mineurs. Les concentrations en aluminium, brome, cuivre, fer, zinc et manganèse ont été observées au-delà du seuil de détection dans les échantillons de ruissellement de surface. À l'inverse, les concentrations observées en cadmium, chrome, cobalt et nickel n'ont pas atteint leurs seuils respectifs de détection analytique (tableau 10).

Coliformes. Des coliformes fécaux E. Coli ont été retrouvés dans l'eau de ruissellement du seul événement caractérisé pour la bactériologie, soit le 15 avril 2014 (tableau 11). Globalement, un seul des 18 échantillons de ruissellement de surface prélevés excède les normes de rejet des eaux (GC, 1976) établies à 400 unités formant une colonie par 100 ml. Pour des raisons qui demeurent inexplicables, les échantillons récoltés dans la station Centre démontrent des concentrations significativement plus élevées (figure 33).

Hydrocarbures. Il y a présence d'hydrocarbures pétroliers dans l'eau de ruissellement entrant dans deux cellules (tableau 12), à des concentrations cependant inférieures à la norme de 15 mg/L (GC, 1976).

Tableau 9. Facteurs de pondération utilisés dans le calcul de concentrations moyennes pondérées pour l'intensité des précipitations pour chacun des évènements de ruissellement de surface.

Date et heure de l'échantillonnage	Lieu et numéro d'évènement	Facteur de pondération : Précipitation instantanée (mm/heure) qui tient compte des 45 minutes précédentes
2013-06-25 15:15	CR1	1,1
2013-06-28 07:30	CR1	4,3
2013-06-28 07:45	CR1	4,8
2013-06-28 08:15	CR1	3,2
2013-06-28 07:30	NR1	4,3
2013-06-28 07:45	NR1	4,8
2013-06-28 08:00	NR1	4,8
2013-06-28 07:30	SR1	4,3
2013-06-28 08:00	SR1	4,8
2013-06-28 08:15	SR1	3,2
*Situation de redoux hivernal pour évènement 2014-01-14: on a utilisé la précipitation cumulée pour effectuer la pondération au lieu de précipitation instantanée (cause de la fonte des neiges)		
2014-01-14 12:30	CR4	29,8
2014-01-14 13:00	CR4	30,6
2014-01-14 13:15	CR4	31,0
2014-01-14 14:15	CR4	31,6
2014-01-11 12:45	NR4	1,8
2014-01-11 13:15	NR4	2,2
2014-01-11 14:15	NR4	5,4
2014-01-14 12:45	NR4	30,2
2014-01-11 11:00	SR4	1,4
2014-01-11 12:15	SR4	1,4
2014-01-11 14:00	SR4	3,4
2014-03-28 13:15	CR5	2,13
2014-03-28 14:15	CR5	2,93
2014-03-28 13:15	NR5	2,13
2014-03-28 14:15	NR5	2,93
2014-03-28 13:00	SR5	1,07
2014-03-28 14:15	SR5	2,93
2014-04-08 04:00	CR6	3,5
2014-04-08 03:45	NR6	4,0
2014-04-08 03:45	SR6	4,0
2014-04-15 11:00	CR7	1,1
2014-04-15 11:30	CR7	1,6
2014-04-15 11:45	CR7	2,4
2014-04-15 11:00	NR7	1,1
2014-04-15 11:30	NR7	1,6
2014-04-15 11:45	NR7	2,4
2014-04-15 11:15	SR7	1,3
2014-04-15 11:30	SR7	1,6
2014-04-15 11:45	SR7	2,4
2014-07-28 10:30	CR8	1,6
2014-07-28 10:45	CR8	2,1
2014-07-28 10:45	CR8	2,1
2014-07-28 10:30	NR8	1,6
2014-07-28 10:45	NR8	2,1
2014-07-28 10:45	NR8	2,1
2014-07-28 10:15	SR8	0,8
2014-07-28 10:30	SR8	1,6
2014-07-28 10:45	SR8	2,1

Tableau 10. Moyennes pondérées par évènement des concentrations des différents paramètres de qualité d'eau des échantillons du ruissellement de surface.

Lieu	Numéro d'évènement	Nombre d'échantillons utilisés pour faire la moyenne pondérée	Cl	MES *	N-NH4 *	N-NO3+N-NO2 *	P réactif	P Per. *	P	K *	Ca *	Mg *	Na *	Al *	B *	Cu *	Fe *	Zn *	Mn *	Conductivité	P NaOH+EDTA
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ppb	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	uS/cm à 25
Limite de détection			0,37	7	0,023	0,011	1	6	7	0,03	0,07	0,01	0,01	0,02	0,006	0,005	0,001	0,003	0,001	0,1	10
Centre 1		4	0,05	61	0,398	0,094	46	173	52	0,54	4,54	0,23	6,46	0,02	0,004	0,006	0,037	0,006	0,009	24	53
Centre 4		4	246,99	141	0,160	0,247	2	163	1	1,32	8,39	0,35	163,47	0,02	0,002	0,003	0,031	0,007	0,108	885	99
Centre 5		2	632,89	1204	0,216	0,405	6	1027	7	3,36	22,56	0,69	427,32	0,06	0,008	0,002	0,018	0,001	0,071	2247	476
Centre 6		1	5,90	593	0,168	0,027	52	814	57	0,80	9,07	0,19	3,26	0,07	0,002	0,005	0,051	0,001	0,025	80	252
Centre 7		3	1,51	939	0,029	0,041	10	968	13	1,20	19,95	0,40	4,27	0,06	0,004	0,004	0,040	0,001	0,008	127	270
Centre 8		3	15,34	193	0,041	0,064	1	212	7	2,00	16,81	0,94	2,31	0,02	0,009	0,006	0,024	0,008	0,014	125	41
Nord 1		3	0,33	89	0,044	0,048	1	165	12	13,22	2,07	0,17	0,17	1,00	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	14	31
Nord 4		4	326,16	114	0,261	0,408	4	186	7	1,67	9,72	0,41	211,33	0,03	0,002	0,003	0,050	0,004	0,194	1149	91
Nord 5		2	336,16	636	0,157	0,207	11	655	5	1,86	11,61	0,44	212,58	0,03	0,005	0,001	0,028	0,001	0,053	1218	443
Nord 6		1	52,10	100	0,111	0,061	4	143	5	0,44	4,28	0,12	39,30	0,02	0,000	0,001	0,021	0,001	0,035	228	82
Nord 7		3	9,18	251	0,045	0,052	4	284	3	0,36	9,96	0,25	8,63	0,02	0,001	0,001	0,027	0,002	0,004	100	154
Nord 8		3	1,25	94	0,030	0,278	10	150	20	0,68	5,13	0,28	1,23	0,01	0,006	0,006	0,011	0,004	0,002	40	24
Sud 1		3	0,11	32	0,062	0,074	9	42	7	0,60	5,94	0,29	4,94	0,00	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	51	28
Sud 4		3	228,29	83	0,198	0,255	14	124	14	2,73	12,08	0,39	145,08	0,01	0,002	0,003	0,011	0,006	0,080	805	56
Sud 5		2	1570,87	1223	0,273	0,305	8	1248	8	6,07	32,01	0,84	918,60	0,02	0,009	0,001	0,011	0,001	0,090	4967	719
Sud 6		1	8,30	308	0,096	0,105	6	373	9	0,53	7,33	0,18	9,64	0,02	0,003	0,002	0,025	0,001	0,023	90	145
Sud 7		3	1,00	1380	0,051	0,075	6	1104	5	1,01	20,98	0,38	3,25	0,05	0,015	0,002	0,007	0,001	0,019	133	320
Sud 8		3	0,10	77	0,071	0,159	0	173	6	0,34	3,19	0,19	0,61	0,01	0,005	0,004	0,006	0,004	0,001	44	16

Note : Les paramètres qui obtenaient des concentrations inférieures à la limite de détection sont exclus du tableau.

Tableau 11. Nombre d'unité formant une colonie de E. Coli par 100 ml d'échantillon d'eau pour les échantillons recueillis lors de la campagne du 15 avril 2014.

Heure d'échantillonnage	Lieu	Ruissellement ou piézomètre	E. Coli mFc-BCIG (UFC / 100 ml)
2014-04-15 12:20	C	R	184
2014-04-15 12:41	C	R	237
2014-04-15 12:52	C	R	450
2014-04-15 13:11	C	P	2
2014-04-15 16:31	C	P	62
2014-04-15 19:39	C	P	31
2014-04-15 12:22	N	R	5
2014-04-15 12:43	N	R	<4
2014-04-15 12:53	N	R	6
2014-04-15 13:15	N	P	2
2014-04-15 16:33	N	P	3
2014-04-15 19:45	N	P	<2
2014-04-15 12:18	S	R	104
2014-04-15 12:39	S	R	65
2014-04-15 12:51	S	R	62
2014-04-15 13:07	S	P	<1
2014-04-15 16:29	S	P	3
2014-04-15 19:36	S	P	3

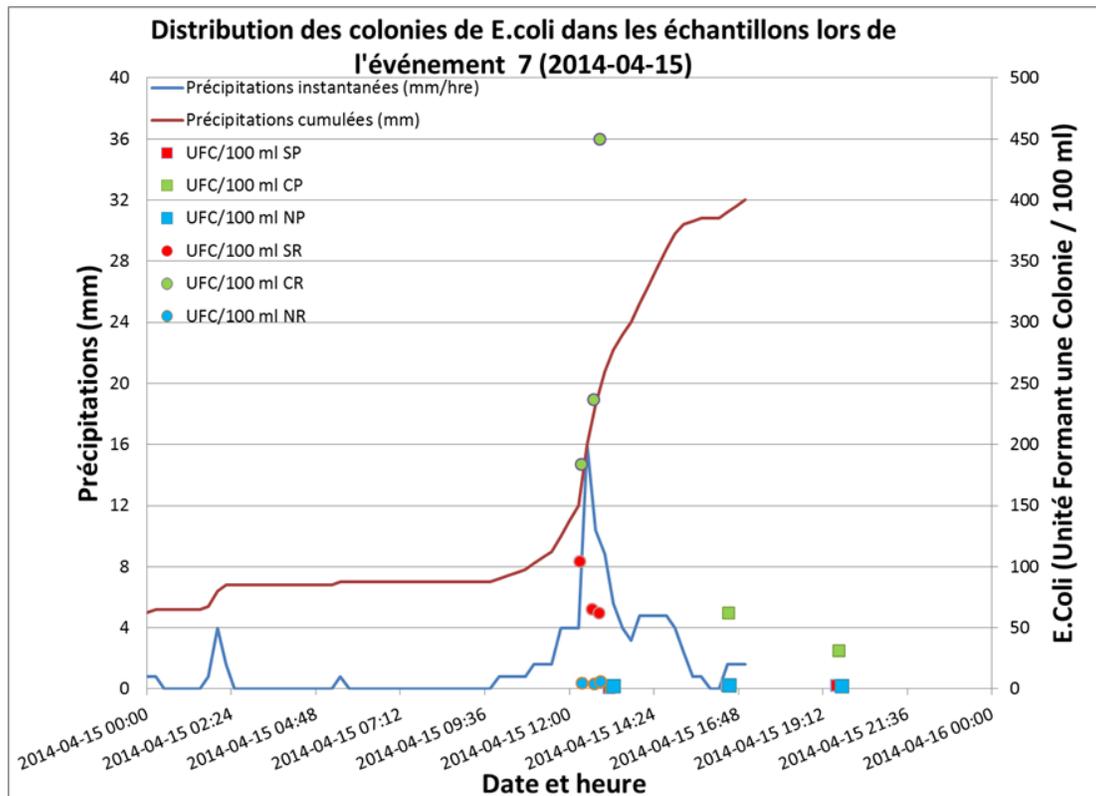


Figure 33. Distribution du nombre de colonies de E.Coli (UFC/100ml) sur milieu mFc-BCIG dans les échantillons collectés au ruissellement et au piézomètre lors de l'événement du 15 avril 2014.

Tableau 12. Concentrations en hydrocarbures pétroliers présents dans l'eau de ruissellement des échantillons récoltés le 27 novembre 2014.

	Hydrocarbures pétroliers C10 à C50 (mg/L) présents dans l'eau		
	Sud	Centre	Nord
Ruissellement	1,3	0,5	<0,3
Piézomètre	<0,3	<0,3	<0,3

5.2.5 Qualité des eaux de percolation et performance environnementale des cellules de biorétention

L'eau de percolation a été récoltée dans les piézomètres suivant son passage au travers des substrats des cellules de biorétention. Pour chaque évènement de ruissellement de surface à l'étude, le protocole d'échantillonnage ciblait un premier échantillon d'eau percolée en cours de montée du niveau d'eau dans les piézomètres, un deuxième échantillon lorsque le piézomètre était à son niveau le plus élevé et un troisième lorsque le niveau d'eau commençait à baisser (figure 34). La distribution temporelle des prises d'échantillons en fonction des niveaux d'eau colligés dans les piézomètres pour les événements 5, 6, 7 et 8 est illustrée en annexe 4. Les concentrations en MES, aussi illustrées en annexe 4 témoignent d'une relativement faible variabilité intra-évènement, comparativement aux eaux de ruissellement. Les concentrations des différents paramètres de qualité d'eau observés pour un évènement donné ont néanmoins été pondérées en fonction des hauteurs instantanées enregistrées dans les piézomètres au moment des prélèvements (tableau 13). Les résultats du piézomètre Nord ont été exclus de l'analyse en raison du nombre peu élevé d'observations de qualité de l'eau, causée par une montée d'eau souvent insuffisante pour la récolte d'échantillons.

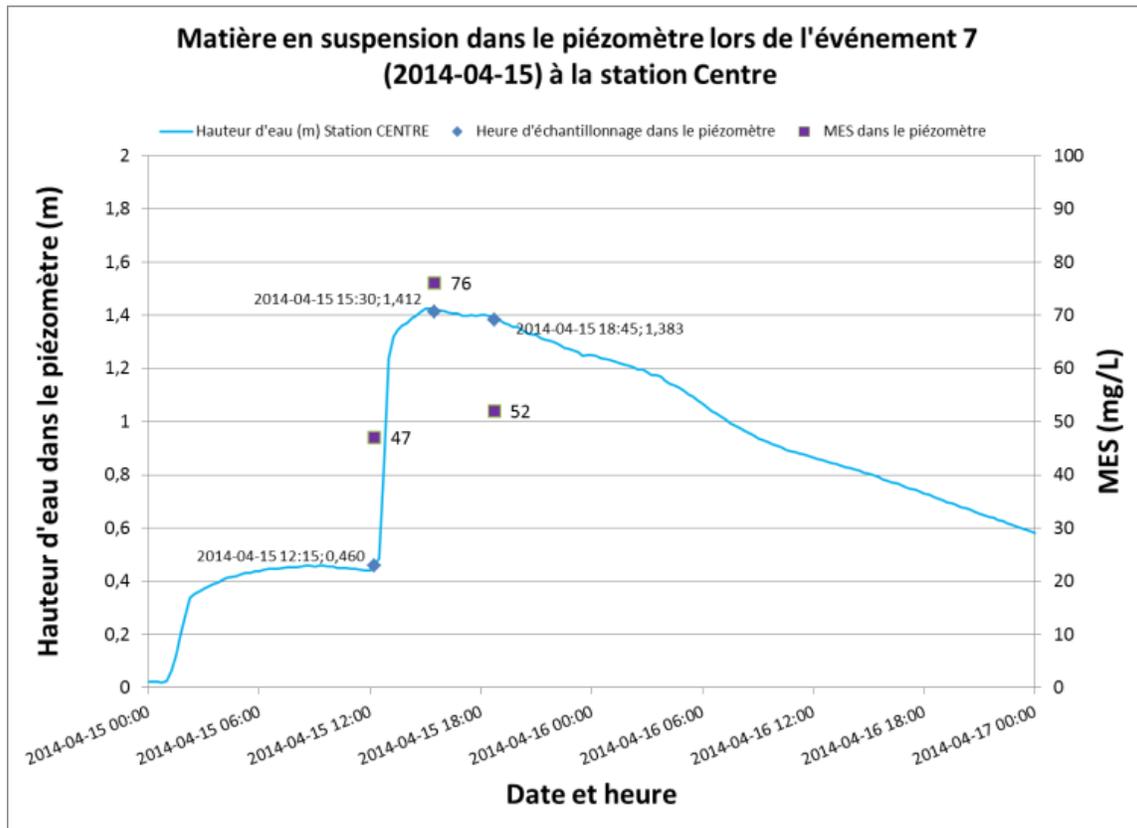


Figure 34. Distribution des concentrations de MES en fonction du temps et des niveaux d'eau dans le piézomètre de la cellule Centre lors de l'événement du 15 avril 2014.

Tableau 13. Facteurs de pondération utilisés dans le calcul des concentrations moyennes pondérées pour l'évènement des différents paramètres de qualité de l'eau récoltées dans les piézomètres

Date et heure de l'échantillonnage	Lieu et numéro d'évènement	Facteur de pondération : Hauteur d'eau instantanée dans le piézomètre (m)
2013-06-28 08:15	CP1	0,65
2013-06-28 09:00	CP1	0,70
2013-06-28 12:15	CP1	0,71
2013-06-28 12:00	SP1	0,87
2014-01-14 12:45	CP4	0,85
2014-01-14 14:30	CP4	0,97
2014-01-14 15:00	CP4	0,97
2014-01-14 12:45	SP4	1,04
2014-01-14 14:30	SP4	1,19
2014-01-14 15:00	SP4	1,19
2014-03-28 14:15	CP5	0,68
2014-03-28 15:30	CP5	0,87
2014-03-28 14:15	SP5	0,67
2014-03-28 15:30	SP5	1,01
2014-04-08 04:15	CP6	0,59
2014-04-08 06:45	CP6	0,86
2014-04-08 04:15	SP6	1,56
2014-04-08 06:45	SP6	1,51
2014-04-08 10:45	SP6	1,44
2014-04-15 12:15	CP7	0,46
2014-04-15 15:30	CP7	1,41
2014-04-15 18:45	CP7	1,38
2014-04-15 12:00	SP7	1,08
2014-04-15 15:30	SP7	1,52
2014-04-15 18:30	SP7	1,45
2014-07-28 12:30	SP8	1,26
2014-07-28 14:00	SP8	0,91
2014-07-28 14:00	SP8	0,91
2014-07-28 16:30	SP8	0,80
2014-07-28 16:30	SP8	0,80
2014-07-29 08:00	SP8	0,63
2014-07-29 08:00	SP8	0,63

Dans l'ensemble, les eaux de percolation démontrent une qualité nettement supérieure à celle du ruissellement de surface pour la plupart des paramètres à l'étude qui présentaient une problématique environnementale dans le ruissellement de surface (concentrations supérieures aux normes de rejet). Le tableau 14 rapporte les moyennes pondérées par évènement des concentrations des différents paramètres de qualité d'eau provenant des piézomètres. Les

critères de qualité du rejet ou de la vie aquatique pour les différents paramètres à l'étude y sont également présentés. Le tableau 15 exprime pour sa part les différences entre les concentrations moyennes pondérées par événement pour les eaux de percolation et de ruissellement. Des indices de l'efficacité environnementale globale des cellules pour chacun des paramètres de qualité de l'eau sont enfin présentés au tableau 16. Chacun des indices estimés est la moyenne des efficacités rapportées par événement (tableau 15), pondérées pour la hauteur de précipitation cumulée associée à chacun des événements. L'indice d'efficacité environnementale traduit ainsi l'effet global des cellules pour l'ensemble de la période d'étude et tient compte de l'importance relative des hauteurs d'eau traitée entre les différents événements qui ont profité d'échantillonnages.

Matières en suspension. Les concentrations de matières en suspensions pondérées par événement dans les eaux de percolation ont varié entre 4 et 77 mg/L (tableau 16). Il s'agit dès lors d'une diminution moyenne globale de 88% et 86 % (tableau 16), respectivement, à l'entrée des cellules Centre et Sud par rapport à la concentration du ruissellement de surface. Les cellules de biorétention ont ainsi retenu de manière efficace et soutenue les matières en suspension provenant de l'eau de ruissellement de surface lors de tous les événements (tableau 15). La norme canadienne de rejet dans les eaux réceptrices des installations d'épuration fédérales de 25 mg/L (GC, 1976) n'est toutefois pas respectée lors de trois événements (numéro 1, 6 et 7) à la station Centre et lors du cinquième événement à la station Sud. Retenons par ailleurs que la mesure globale d'efficacité (87%) apparaît conservatrice, compte tenu de l'accumulation de MES dans les piézomètres observée entre les périodes d'échantillonnage et en début de montée du niveau de l'eau lors des échantillonnages. Bien que les échantillons retenus pour les estimations de qualité de l'eau étaient associés à une remontée minimale de 50 cm de la hauteur d'eau dans les piézomètres, il est possible que le phénomène de remise en suspension des sédiments accumulés dans le système (charge interne) ait pu affecter à la hausse les concentrations observées.

Phosphore. Les concentrations en phosphore total (P per) ont aussi diminué de façon substantielle suivant leur passage des eaux de ruissellement au travers des substrats des cellules. Des taux moyens de réduction de l'ordre de 69% et 70% (tableau 16) sont respectivement évalués pour les cellules Sud et Centre. Les concentrations pondérées par événement dans les piézomètres se situent alors entre 11,5 et 231,3 ug/L (tableau 14), sans excéder la norme de rejet dans les eaux réceptrices des installations d'épuration fédérales établie à 1 mg/L (GC, 1976). Malgré cette diminution importante de la charge totale de P, les concentrations en phosphore total observées dans les piézomètres excèdent néanmoins la norme de protection de la vie aquatique (effet chronique) du CCMRE (1987) à 0,03 mg/L.

Les différences dans les spéciations du P observées dans le ruissellement et l'eau de percolation mettent en relief l'efficacité des cellules à retenir les fractions particulières de phosphore. L'augmentation des concentrations en orthophosphates (P réactif soluble), de même qu'en

phosphore total soluble dans les eaux percolées, relativement au ruissellement (tableau 15), témoigne d'une réorganisation du P dans les cellules. Le gradient favorisant l'évolution des formes solubles indique qu'une fraction du P particulaire retenu dans les cellules est éventuellement largué sous forme soluble. Au final cependant, retenons que la concentration en phosphore biodisponible (P NaOH+ EDTA), rassemblant les fractions particulières et solubles réactives susceptibles d'avoir un impact sur l'eutrophisation du milieu, diminue de 25% à 52% dans les cellules Sud et Centre, respectivement.

Sels et chlore.

Alors que les substrats démontrent une efficacité manifeste dans la rétention des contaminants de nature particulaire, les concentrations des paramètres de qualité de l'eau de nature plus soluble sont moins atténuées, voire augmentées dans les eaux de percolations. C'est le cas notamment des ions nitrates et nitrites, dont la charge négative (anions) ne favorise pas leur rétention chimique dans le substrat. À l'opposé, les concentrations en azote ammoniacal (chargé positivement) ont plutôt tendance à diminuer dans les eaux percolées, en moyenne de 60%, tout en ayant une concentration inférieure à la norme de 1,5 mg/L (OMS, 1994). Des concentrations relativement plus élevées en nitrates dans les eaux de percolation sont dès lors indicatrices de la minéralisation de l'azote de la matière organique des substrats au cours de l'étude. Les concentrations observées dans les piézomètres demeurent cependant bien en deçà du critère de qualité du milieu aquatique de 10 Mg N/L (CCMRE, 1987).

De la même façon, les concentrations observées en chlore dans les piézomètres ne semblent pas atténuées par rapport au ruissellement de surface. En effet, la distribution temporelle des concentrations observées reflète fidèlement celles du ruissellement de surface. Les concentrations très contrastées, de l'ordre de 0.1 à plus de 2,300 mg/L, témoignent de la saisonnalité des apports de sels de déglacage, à l'instar des observations de la qualité du ruissellement. La norme de rejet dans les eaux réceptrices des installations d'épuration fédérales établie à 1 mg/L (GC, 1976) est ainsi dépassée au cours d'un seul événement au cours de la période d'étude pour les deux cellules échantillonnées (tableau 14), soit lors de l'évènement no.5. Cet épisode de fonte printanière (28 mars 2014) est interprété comme le plus susceptible de générer des flux importants de sels de déglacage vers les cellules, tel qu'en fait foi le suivi du ruissellement de surface pour le même événement (tableau 8).

Les concentrations élevées des eaux de percolation en Ca, Na, Mg et K, cohérentes avec les niveaux élevés de conductivité électrique, témoignent également de l'influence des apports de sels de déglacage. Des concentrations systématiquement plus élevées dans les eaux percolées que dans le ruissellement de surface (tableau 15) est par ailleurs interprété comme un indicateur de la contribution du substrat aux charges de cations exportées vers les piézomètres. Il est également probable que des éléments solubles ayant été captés et emmagasinés par les cellules de biorétention soient remis en solution lorsqu'il y a un événement de percolation majeure. Ce phénomène de stockage-relargage contribuerait aussi à expliquer les hausses

épisodiques des concentrations de ces éléments dans l'eau des piézomètres. Au plan environnemental, les critères de qualité de l'eau de ces paramètres s'appliquent généralement qu'aux formes associées aux chlorures. Compte tenu de l'occurrence d'un seul dépassement pour la norme de rejet de 1 mg Cl /L (GC, 1976) de cet élément, les augmentations des concentrations en Ca, Na, Mg et K ne sont pas estimées problématiques au plan environnemental.

Métaux et éléments mineurs.

À l'instar des échantillons de ruissellement, les concentrations en aluminium, brome, cuivre, fer, zinc et manganèse ont été observées au-delà du seuil de détection dans les échantillons récoltés dans les piézomètres. Les augmentations de concentrations dans les eaux percolées, par rapport à celles observées dans le ruissellement de surface, témoigneraient également des processus de rétention et de relargage à l'œuvre dans les substrats au fil des différents événements de lixiviation. Par ailleurs, la contribution du substrat aux élévations de concentrations, en sus des apports du ruissellement, n'est pas exclue, compte tenu des augmentations sensibles de concentrations observées (tableau 15). Si la plupart des événements de précipitation échantillonnés témoignent d'enrichissement des eaux de percolation en ces éléments, les concentrations observées demeurent cependant en deçà de la plupart des critères de qualité de l'eau pour le milieu aquatique (tableau 14). Les concentrations observées en fer (5 à 16 fois plus élevées en moyenne dans les eaux percolées que dans le ruissellement) et de l'aluminium (2 à 7 plus élevées) témoignent cependant de dépassements des critères établis à 0,1 mg Al/L et 0,3 mg Fe/L, respectivement, pour l'eau potable par SBSC (1987) au cours de trois événements (tableau 14). La nature des substrats est possiblement un facteur déterminant de cet enrichissement, alors que les sables sont naturellement enrichis en oxydes de fer et d'aluminium au Québec. La solubilisation de ces derniers dans les substrats aurait été encouragée par la minéralisation de la matière organique présente dans les substrats et la libération associée d'acides organiques.

Rappelons en terminant que les concentrations observées en cadmium, chrome, cobalt et nickel dans les piézomètres, à l'instar des échantillons de ruissellement, n'ont pas atteint leurs seuils respectifs de détection analytique (tableau 12). Il est conclu que ces éléments ne présentent pas de problématique environnementale à l'égard de la performance des jardins de pluie dans le cadre de la présente étude.

Coliformes.

La distribution du nombre de colonies de E.Coli dans les échantillons collectés au ruissellement et au piézomètre lors de l'événement du 15 avril 2014 (figure 33 et tableau 11) témoigne manifestement de l'efficacité des cellules à atténuer les flux de coliformes. Quelques colonies de coliformes fécaux E. Coli ont néanmoins été retrouvées dans les eaux de percolation

collectées, mais la norme de rejet de 400 UFC par 100 ml (GC, 1976) est respectée dans les trois piézomètres échantillonnés.

Hydrocarbures.

Bien que la présence d'hydrocarbures pétroliers ait été détectée dans l'eau de ruissellement entrant dans deux cellules (tableau 12), les concentrations d'hydrocarbures pétroliers dans les piézomètres se trouvent sous la limite de détection (tableau 12). Les cellules démontrent ainsi une certaine efficacité à atténuer les transferts d'hydrocarbures pétroliers. Les hydrocarbures semblent s'accumuler préférentiellement dans le paillis (tableau 8).

Tableau 14. Moyennes pondérées par évènement des concentrations des différents paramètres de qualité d'eau provenant des piézomètres.

Lieu	No. évènement	Nb d'échantillons	Cl	MES *	N-NH4 *	N-NO3+N-NO2 *	P réactif	P Per. *	P	K *	Ca *	Mg *	Na *	Al ! *	B *	Cu *	Fe ! *	Zn *	Mn *	Conduc- tivité uS/cm à 25	P NaOH+ EDTA ug/l
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ppb	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Limite de détection			0.37	7	0.023	0.011	1	6	7	0.03	0.07	0.01	0.01	0.02	0.006	0.005	0.001	0.003	0.001	0.1	10
Normes*			1	25	^{*A}	10 ^{*B}	-	1000	-	-	-	-	-	^{*C} 0,1	^{*D}	^{*E} 1	^{*F}	^{*G} 5	^{*H}	-	-
Centre	1	3	0,13	27	0,019	0,111	22,33	56,4	17,9	1,2	11,1	0,35	25,56	0,04	0,007	0,014	0,116	0,003	0,008	170	46
Centre	4	3	396,9	6	0,037	0,361	5,22	27,3	0,4	2,2	79,6	1,95	186,97	0,00	0,002	0,035	0,008	0,064	0,008	1421	23
Centre	5	2	2290,9	4	0,129	0,739	4,20	11,5	6,4	8,0	85,9	3,38	1368,30	0,00	0,005	0,006	0,018	0,019	0,008	7262	10
Centre	6	2	27,46	77	0,031	0,254	92,44	210,0	100,9	0,6	0,8	0,06	58,27	0,37	0,004	0,009	0,303	0,003	0,013	262	173
Centre	7	3	23,80	62	0,023	0,685	104,74	231,3	139,8	0,9	2,8	0,10	89,85	0,42	0,005	0,025	0,630	0,006	0,024	385	170
Sud	1	1	0,01	12	0,025	0,166	25,00	29,0	19,6	1,3	10,3	0,32	31,50	0,07	0,007	0,015	0,162	0,004	0,004	127	22
Sud	4	3	265,87	21	0,028	0,281	2,56	43,3	1,0	1,5	37,9	1,03	149,60	0,01	0,004	0,030	0,016	0,077	0,026	981	35
Sud	5	2	1449,70	52	0,091	0,314	7,01	85,4	6,4	5,2	22,0	0,52	901,93	0,02	0,013	0,003	0,030	0,004	0,020	4714	58
Sud	6	3	6,12	9	0,006	0,091	120,94	152,7	131,6	0,7	0,8	0,03	29,07	0,18	0,006	0,008	0,137	0,002	0,007	127	139
Sud	7	3	3,00	17	0,055	0,117	61,23	109,6	63,5	2,1	6,9	0,11	41,91	0,08	0,010	0,007	0,083	0,003	0,004	222	101
Sud	8	7	4,61	8	0,023	0,097	21,92	51,9	30,2	1,3	27,9	0,72	9,45	0,08	0,008	0,009	0,160	0,008	0,007	174	26

*En gras, les données proviennent des normes de rejet dans les eaux réceptrices des installations d'épuration fédérales (GC, 1976). En bleu ce sont des critères de qualité provenant du guide de critères de qualités des eaux de surface émis par le MDDELCC en 2013. Le fondement de ces critères a été établi en 1990 par le MDDELCC. En rouge il y a dépassement du critère de qualité.

*A : Critère de prévention de la contamination (CPC) pour la protection de l'eau et des organismes aquatiques de toute contamination pouvant nuire à la consommation humaine actuelle ou future (OMS, 1994)

*B : Critère de protection de la vie aquatique aigu (CVAA) équivaut à la concentration maximale à laquelle les organismes aquatiques peuvent être exposés pour une courte durée sans être gravement affectés (CCMRE, 1987; U.S.EPA, 1991a; CCME, 2002; U.S.EPA, 2006a; SC, 2008)

*C : CPC (WHO, 2008)

*D : CVAA (MDEQ, 2008)

*E : CPC (U.S.EPA, 1980; SBSC, 1987; OMS, 1994; CCME, 1995c; CCME, 2002; U.S.EPA, 2006a; SC, 2008)

*F : CPC (SBSC, 1987; OMS, 1994; CCME, 1995c; CCME, 1999; CCME, 2002; SC, 2008)

*G : CPC (U.S.EPA, 1980; SBSC, 1987; CCME, 1995c; CCME, 2002; U.S.EPA, 2006a; SC, 2008)

*H : CPC (SBSC, 1987; CCME, 1995c; CCME, 1999; CCME, 2002; SC, 2008)

Tableau 15. Efficacité relative des cellules de biorétention par événement pour chacun des paramètres de qualité d'eau à l'étude.

Lieu et numéro d'événement	Nombre d'échantillons Ruissellement	Nombre d'échantillons Piézomètre	Cl	MES *	N-NH4 *	N-NO3+ N-NO2 *	P réactif	P Per. *	P	K *	Ca *	Mg *	Na *	Al ! *	B *	Cu *	Fe ! *	Zn *	Mn *	Conductivité	P NaOH+ EDTA
Station Centre																					
1	4	3	142%	-56%	-95%	18%	-52%	-67%	-65%	127%	145%	56%	296%	124%	100%	135%	213%	-53%	-10%	605%	-15%
4	4	3	61%	-96%	-77%	46%	109%	-83%	-56%	67%	848%	459%	14%	-91%	-16%	1172%	-73%	748%	-92%	61%	-77%
5	2	2	262%	-100%	-41%	82%	-30%	-99%	-8%	138%	281%	392%	220%	-93%	-36%	226%	1%	1246%	-89%	223%	-98%
6	1	2	365%	-87%	-81%	840%	78%	-74%	77%	-25%	-92%	-68%	1687%	437%	91%	84%	494%	181%	-46%	227%	-31%
7	3	3	1481%	-93%	-21%	1581%	915%	-76%	943%	-26%	-86%	-76%	2005%	662%	23%	459%	1469%	389%	214%	203%	-37%
Station Sud																					
1	3	1	-91%	-63%	-60%	126%	169%	-31%	190%	124%	73%	12%	538%	2568%	73%	400%	5740%	44%	74%	148%	-20%
4	3	3	16%	-75%	-86%	10%	-82%	-65%	-93%	-46%	214%	167%	3%	30%	85%	897%	38%	1181%	-68%	22%	-37%
5	2	2	-8%	-96%	-67%	3%	-14%	-93%	-23%	-14%	-31%	-37%	-2%	5%	36%	295%	161%	183%	-78%	-5%	-92%
6	1	3	-26%	-97%	-94%	-13%	1916%	-59%	1331%	41%	-89%	-81%	202%	680%	88%	316%	446%	132%	-71%	41%	-4%
7	3	3	200%	-99%	9%	56%	888%	-90%	1065%	106%	-67%	-71%	1188%	79%	-33%	225%	1183%	153%	-77%	67%	-68%
8	3	7	4676%	-90%	-68%	-39%	8368%	-70%	403%	291%	773%	287%	1460%	1225%	83%	110%	2396%	120%	417%	294%	66%

Note : Les indices en caractères de couleur verte témoignent de réduction des concentrations des eaux percolées par rapport aux eaux ruisselées.

Tableau 16. Efficacité relative des cellules de biorétention pour l'ensemble de la période d'étude pour chacun des paramètres de qualité d'eau.

Lieu et numéro d'événement	Nombre d'échantillons Ruissellement	Nombre d'échantillons Piézomètre	Cl	MES *	N-NH4 *	N-NO3+ N-NO2 *	P réactif	P Per. *	P	K *	Ca *	Mg *	Na *	Al ! *	B *	Cu *	Fe ! *	Zn *	Mn *	Conductivité	P NaOH+ EDTA
Station Centre	14	13	532%	-88%	-60%	570%	277%	-79%	240%	50%	265%	162%	858%	222%	27%	519%	485%	502%	13%	241%	-52%
Station Sud	15	19	887%	-86%	-56%	25%	1940%	-69%	459%	87%	173%	63%	633%	695%	51%	400%	1611%	366%	38%	99%	-25%

Note : Les indices en caractères de couleur verte témoignent de réduction des concentrations des eaux percolées par rapport aux eaux ruisselées.

5.4 Croissance des végétaux

Les végétaux installés dans les jardins de pluie provenaient d'une pépinière, où ils ont été développés dans un terreau enrichi, dans des conditions optimales. Les substrats utilisés dans les jardins de pluie sont très sableux et les conditions sont difficiles.

Les végétaux ont été soumis à plusieurs éléments de stress : la transplantation, l'adaptation à un nouveau type de sol, l'apport de sels de déglacage, des périodes de sécheresse, des périodes d'inondation. L'impact au niveau de leur taux de survie et de leur croissance a été évalué au moyen d'un suivi photographique hebdomadaire.

Le taux de survie, suite à la plantation en 2011, est de 100% et la croissance des végétaux dans les cellules de biorétention est semblable à ce que l'on observe dans les aménagements paysagers «traditionnels» créés au même moment autour des bureaux de la MRC. Les arbustes et les vivaces ont pris du volume régulièrement année après année. Les arbustes ont atteint leur maturité et doivent maintenant être taillés pour éviter que des branches débordent vers la surface asphaltée du stationnement.

En ce qui concerne les arbres, la croissance est beaucoup plus lente. La circonférence du tronc et la hauteur des arbres n'a pas évolué significativement entre 2012 et 2014, cependant il y a eu un développement des branches latérales, de sorte que la canopée est plus large et dense. Les arbres sont plus touffus aujourd'hui.

La croissance des végétaux entre 2012 et 2014 est observable sur la série de photographies présentées ci-dessous.

Vue en plongée côté Ouest



11 juillet 2012



10 juillet 2013



11 juillet 2014

Vue en plongée centrale



11 juillet 2012



10 juillet 2013



11 juillet 2014

Vue en plongée côté Est



11 juillet 2012



10 juillet 2013



11 juillet 2014

Cellule Sud



20 juin 2012



19 juin 2013



18 juin 2014

Cellule Centre



20 juin 2012



19 juin 2013



18 juin 2014

Cellule Nord



20 juin 2012



19 juin 2013



18 juin 2014

Les seuls éléments particuliers à noter sont qu'un arrosage fut nécessaire suite à l'implantation des végétaux en juin 2011 étant donné une période de sécheresse prolongée au cours de l'été. Aucun autre arrosage n'a été effectué. De plus, une infestation de scarabées japonais dans les arbres et arbustes dans les jardins de pluie se poursuit depuis l'été 2012. Bien que les insectes se nourrissent du feuillage, cela n'affecte pas la survie des végétaux.

5.5 Analyse économique

Le drainage par biorétention est comparé financièrement à un concept traditionnel où des puisards sont utilisés pour capter l'eau de ruissellement, laquelle est ensuite acheminée vers un exutoire au moyen de conduites souterraines. Les plans utilisés pour concevoir les scénarios et les estimés sont présentés à l'annexe 7.

Il est à noter que les coûts liés aux remblais, déblais, à la mise en place du pavage et autres ne sont pas pris en compte aux fins du présent exercice.

5.5.1 Concept traditionnel

Un concept traditionnel adapté aux conditions particulières au site de la MRC Brome-Missisquoi a été évalué en parallèle. Des puisards seraient prévus sur le stationnement pour le drainage. Comme il y a une obligation réglementaire concernant la rétention des eaux pluviales, les îlots seraient utilisés comme bassin de rétention sec et le volume de rétention résiduel serait retenu en conduites surdimensionnées avant d'être relâchées selon le débit réglementaire admissible.

Les coûts estimés pour le drainage et la rétention dans un concept traditionnel sont de **138 800\$**. Si aucune rétention n'était exigée, les coûts pour les infrastructures de drainage traditionnelles sont alors estimés à **47 800\$**.

5.5.2 Concept des cellules de biorétention

Les coûts estimés pour le drainage et la rétention avec les cellules de biorétention, tel que réalisé et décrit dans le présent rapport étaient de 56 750\$. Dans les faits, l'aménagement des trois jardins de pluie sur le site de la MRC Brome-Missisquoi a coûté **95 250\$** au lieu des 56 750\$ estimés. L'importante différence de coût s'explique probablement par le manque d'expérience des entrepreneurs pour la construction des jardins de pluie, l'absence de comparatifs dans la région et le fait que les types de terreau demandé étant peu disponibles. De plus, de nombreux projets d'infrastructures impliquant des entrepreneurs locaux étaient en cours dans la région en 2010, ce qui a certainement eu une incidence à la hausse sur les soumissions dans plusieurs chantiers.

Le concept avec les cellules de biorétention, où il y a rétention, traitement et infiltration à la nappe phréatique des pluies jusqu'à centenaire, reste quand même nettement inférieur aux coûts estimés pour un concept traditionnel avec rétention.

6. Conclusion

L'essai terrain a permis de mettre en place des cellules de biorétention pour gérer les eaux pluviales dans le cadre de la construction du stationnement à la MRC Brome-Missisquoi et de mesurer la performance de ce type d'ouvrage au Québec. Le sol naturel sur le site de la MRC Brome-Missisquoi à Cowansville, sous les cellules de biorétention, étant sableux et perméable, la totalité de l'eau de pluie captée est infiltrée dans le sol et aucune conduite souterraine ne fut installée.

La croissance et la survie des végétaux sont excellentes, et l'entretien du système se compare à l'entretien d'un aménagement paysager normal.

En ce qui concerne la performance du point de vue quantitatif, une attention très particulière doit être portée à la délimitation des bassins versant pour chaque point d'entrée de l'eau dans les cellules. Des erreurs dans la délimitation des surfaces contributives de chacune des cellules font en sorte que la capacité réelle des cellules Sud et Centre est inférieure à ce qui était initialement prévu. Au lieu de gérer une pluie d'une récurrence centenaire, le volume de rétention disponible de la cellule Sud permet de gérer une pluie de récurrence de 2 ans, alors que la cellule Centre peut théoriquement gérer une pluie de récurrence 25 ans.

La cellule de biorétention située au Nord gère très bien les eaux de ruissellement, car sa surface et le taux d'infiltration du substrat mis en place permettent de gérer des pluies de récurrence 100 ans et le débordement des autres cellules de biorétention. Aucun refoulement n'a été observé pendant la durée de l'étude dans la cellule Nord, tel qu'attendu. En ce qui concerne la cellule Centre, son taux d'infiltration est 8 fois inférieur à celui de la cellule du Nord et il y a eu refoulement temporaire sur le pavage. Pour la cellule Sud, son taux d'infiltration est presque similaire à celui de la cellule du Nord mais sa surface est inférieure. De plus, elle gère les ruissellements d'une surface 1,5 fois plus grande que la surface gérée par celle du Nord. Des refoulements vers le pavage ont eu lieu seulement pour deux événements de pluies.

Il n'est pas anormal que l'eau refoule temporairement sur le pavage suite à de fortes pluies quand le sol est saturé d'eau. Étant donné les pentes données à la surface du pavage, la hauteur d'eau n'est que de quelques millimètres au niveau des portières des automobiles et l'eau se résorbe et s'infiltré rapidement lorsque la pluie cesse ou que l'intensité diminue. Cependant, selon le design initial le stockage sur pavage était prévu pour des pluies de récurrence comprise entre 25 ans et 100 ans. Pour la période d'étude, des refoulements vers le pavage ont eu lieu dans les cellules du centre et du sud suite à des pluies de récurrence inférieures à 2 ans, mais qui suivaient des événements de pluie préalables qui ont saturé le substrat. La saturation des sols en eau, suite à des événements de pluie consécutifs ou à la fonte des neiges est donc un paramètre important à considérer dans l'élaboration de projets futurs.

L'essai démontre clairement que depuis sa mise en œuvre, la perméabilité du système demeure excellente et qu'il n'y a pas d'effet de colmatage des cellules de biorétention. La performance hivernale est bonne, le seul événement de débordement est survenu suite à un verglas exceptionnel, suivi d'une période de redoux et de pluies hivernales

Pour de futurs projets similaires, il peut être intéressant de réutiliser l'eau ayant percolé dans le substrat des cellules de biorétention, notamment comme eaux grises pour alimenter des toilettes. Le présent essai permet de fournir des données quant à la performance d'épuration des cellules de biorétention au Québec.

En ce qui a trait à la qualité des eaux, les faits les plus notables concernent la rétention efficace des matières en suspension (MES) et du phosphore total pour la moyenne des événements. Les concentrations dans les eaux percolées sont très significativement inférieures aux concentrations mesurées dans les eaux de ruissellement. Le système est ainsi particulièrement efficace pour la rétention des contaminants de nature particulaire.

L'efficacité est cependant moindre pour les éléments solubles et chargés négativement tels que le bore et les nitrates/nitrites. Ces paramètres dépassent parfois les normes de rejet et/ou de qualité du milieu aquatique. Il y a même parfois une augmentation des concentrations mesurées dans les eaux percolées. Cette observation est fort probablement associée à un phénomène d'accumulation des nutriments, des sels ou des métaux dans les cellules. Les éléments stockés sont ensuite relargués à la faveur des lessivages des substrats lors des précipitations les plus importantes. De plus, il y a possiblement une contribution provenant de la minéralisation des composantes organiques des substrats (N).

Les concentrations en molybdène, cadmium, cobalt et nickel demeurent sous les seuils de détection analytique, tant dans le ruissellement que dans les piézomètres, ce qui ne laisse pas présager de problématiques pour ces éléments traces.

Il demeure qu'en règle générale, les concentrations des nutriments, sels et métaux observées dans les piézomètres demeurent sous les normes de rejet ou de qualité pour la protection de la vie aquatique. Considérant les concentrations de contaminants observées dans les eaux de ruissellement, il est indéniable que l'utilisation de cellule de biorétention est préférable au rejet direct dans le réseau pluvial. Il est donc souhaitable que cette pratique de gestion des eaux pluviales se développe au Québec, d'autant plus que les coûts associés au drainage et à la rétention des eaux pluviales au moyen de cellules de biorétention sont plus faibles que les coûts associés à la mise en œuvre d'un système traditionnel avec puisards et conduites souterraines.

Les recommandations suivantes découlent de l'essai terrain à l'égard de la mise en place de cellules de biorétention sur d'autres sites :

- Caractériser la perméabilité du sol naturel, sous les cellules de biorétention, et vérifier la hauteur de la nappe phréatique ;
- Choisir des végétaux appropriés, qui tolèrent les sels de déglçage, les périodes de sécheresse et d'inondation;
- Prévoir le budget requis pour l'entretien annuel des jardins de pluie : ajout de paillis, désherbage et taille des végétaux ;
- Lors de l'étape de conception, s'assurer de bien délimiter les bassins versant pour chaque point d'entrée dans les cellules de biorétention ;

- Lors de l'étape de conception, prendre en compte les précipitations cumulées et la saturation des sols en eau ;
- Pour l'entretien hivernal, prévoir un endroit pour entreposer la neige, qui ne doit pas être poussée ou soufflée au-dessus des cellules de biorétention ;
- La réutilisation des eaux percolées devrait être effectuée pour des besoins en eau potable, en regard des usages. L'utilisation pour irrigation de cultures, par exemple, peut être problématique étant donné les concentrations en sels ;
- Les paillis accumulent les hydrocarbures, Il est possible qu'ils ne puissent pas être disposés dans des sites d'enfouissement conventionnels.

Références citées

Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME). 1995. Protection de l'approvisionnement des communautés en eau potable (Révision décembre 1995), Préparé par le Sous-comité fédéral-provincial sur l'eau potable, 10 p.

Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME). 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Winnipeg, le Conseil.

Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME). 2002. Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, mise à jour 2, novembre 2002, Winnipeg, le Conseil.

Conseil canadien des ministres des Ressources et de l'Environnement (CCMRE). 1987. Recommandations pour la qualité des eaux au Canada, Préparé par le Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux du Conseil canadien des ministres des Ressources et de l'Environnement.

Gouvernement du Canada (GC). 1976. Qualité des effluents et traitement des eaux usées des installations fédérales, Direction générale de la conservation de l'environnement, Règlements, codes et accords, Rapport EPS 1-EC-76-1, document consulté en décembre 2014 à l'adresse suivante : https://www.ec.gc.ca/eu-ww/94CABED3-2235-4BFE-9919-3C43BA914FDB/1976_Lignes_directrices_Fr.pdf

Greenberg, E.A., L.S. Clesceri et A.D. Eaton. 1992a. Total Suspended Solids Dried at 103-105oC. Standard method for examination of waste and waster water, 18th edition, pp 2-56.

Greenberg, E.A., L.S. Clesceri et A.D. Eaton. 1992b. Persulfate Digestion Method. Standard method for examination of waste and waster water, 18th edition, pp 4-112.

Greenberg, A.E., S. Lenore et S. Clesceri. 1992c. No: 4500-NH3 H. Automated Phenate Method, p. 4-84; No: 4500-NO3- F. Automated Cadmium Reduction Method, p. 4-84, In E. A.D., ed. Standard Methods For Examination of Waste and Waste Water, 18th Edition ed. Corporation Tarrytown, N.Y. 10591.

Greenberg, A.E., S. Lenore et S. Clesceri. 1992d. No: 3030 A, Preliminary Treatment of Samples, p. 3-3, No: 3120, Metals by Plasma Emission

Spectroscopy, p. 3-34 – 3-40, In E. A.D., ed. Standard Methods For Examination of Waste and Waste Water, 18th Edition ed. Corporation Tarrytown, N.Y. 10591.

Michigan Department of Environmental Quality (MDEQ). 2008. Rule 57 Water Quality Values 2008-12-10, Surface Water Quality Assessment Section, MDEQ, 5p.

Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques Québec (MDDELCC). 1990. Critères de qualité de l'eau de surface au Québec, Fondements des critères de qualité pour chaque usage de l'eau, document consulté en ligne en décembre 2014 à l'adresse suivante : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/Eau/criteres_eau/fondements.htm#vie-aqua

Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques Québec (MDDELCC). 1998. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés, Annexe 2 : Les critères génériques pour les sols et pour les eaux souterraines, document consulté en ligne en décembre 2014 à l'adresse suivante : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_tableau_1.htm

Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques Québec (MDDELCC). 2010. Guide de gestion des eaux pluviales. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide.htm>

Murphy, J., et J.R. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphates in surface waters. Anal. Acta 27:31-36.

Ontario Ministry of Environment and Energy (OMOEE). 1994. Water Management. Policies, Guidelines, Provincial Water Quality Objectives of the Ministry of Environment and Energy, Toronto, 32 p.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). 1994. Directives de qualité pour l'eau de boisson, Deuxième édition, volume 1: Recommandations, Organisation mondiale de la Santé, Genève, 204 p.

Santé Canada (SC). 2008. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada – Tableau sommaire et documents techniques, Santé Canada, Santé de l'environnement et du milieu de travail, Rapports et publications, Qualité de l'eau, document consulté en ligne en 2008 à l'adresse suivante : <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/index-fra.php>

Santé et Bien-être social Canada (SBSC). 1987. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, Préparé par le Sous-comité fédéral-provincial sur l'eau potable du Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail, Approvisionnement et Services Canada.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). 1980. Water Quality Criteria Documents; Availability, Notice of Water Quality Criteria Documents, Federal Register, vol. 45, no. 231, p. 79318-79377.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). 1991. National Primary Drinking Water Regulations - Synthetic Organic Chemicals and Inorganic Chemicals; Monitoring for Unregulated Contaminants; National Primary Drinking Water Regulations Implementation; National Secondary Drinking Water Regulation. Final rule, Federal Register, vol. 56, no. 20, p. 3526-3597.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). 2006. National Recommended Water Quality Criteria, Office of Water, office of Science and Technology 24 p.

World Health Organization (WHO). 2008. Chemical hazards in drinking-water, WHO, Water Sanitation and Health (WSH), Drinking Water Quality, document consulté en ligne en 2008 à l'adresse suivante: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/index.html

Annexe 1. Fiches descriptives des substrats utilisés pour les cellules de biorétention.

Développement d'un substrat filtrant MRP pluviale MRP-PLX-1

**Document rédigé par
Zakariae ANJAB**

À l'intention de

Marie Dugué, ingénieur PA LEED

Blainville le 19/09/09

Description du substrat MRP-PLX-1

Ce document présente une description du produit MRP-PLX-1 conçu comme substrat de garnissage des Marais Réactifs Perméables, MRP, pour le traitement des eaux pluviales.

Deux éléments importants sont en jeux :

- Une perméabilité adéquate permettant l'infiltration de l'eau et par conséquent un bon traitement, et
- Un apport adéquat en éléments nutritifs afin d'assurer un support au développement de la biomasse épuratrice constituée de la flore et la faune,

Perméabilité

Une série de tests réalisés sur une multitude de mélanges à base de « sable » et d'un mélange « azote-carbone ». Le mélange « azote-carbone » est constitué des matériaux carbonés, de matériaux azotés, de la tourbe de sphaigne et de la chaux et. Les tests réalisées nous a permis de mettre en évidence le lien entre la perméabilité et la teneur volumique (% v/v) en mélange « azote-carbone » et en sable. L'établissement d'un graphique liant la perméabilité et la teneur en mélange azote-carbone nous a permis d'utiliser une équation mathématique linéaire prédisant la conductivité désirée.

Pour assurer une absorption totale de la quantité d'eau ruisselée, préalablement calculée, et pour éviter ainsi tout retour de l'eau vers les chaussées, une bonne perméabilité est exigée. Notre produit de garnissage MRP-PLX-1 présente une perméabilité de l'ordre de 0.08 cm/s, suffisante pour la percolation des eaux.

Apport en éléments nutritifs : mélange azote-carbone

Le mélange azote-carbone utilisé constitue une source importante d'éléments nutritifs. L'ajout de ce produit naturel permettra le développement de la biomasse bactérienne.

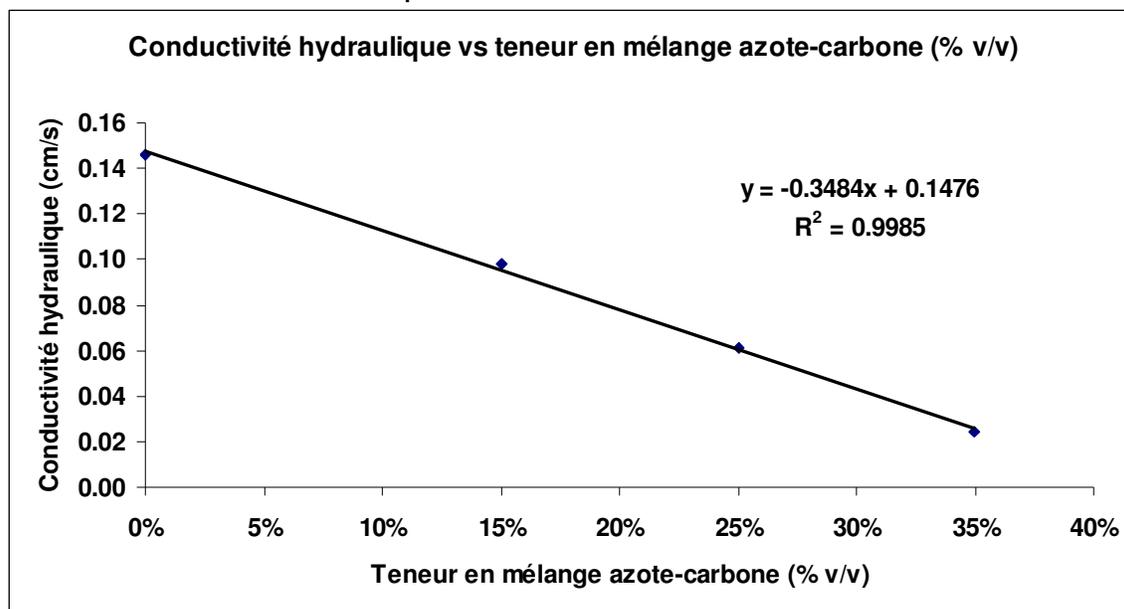
Notre mélange apportera en particulier de la matière organique, de l'azote et du carbone avec un rapport « carbone/azote » équilibré et adéquat.

Caractéristiques générales du MRP-PLX-1

Élément	valeur MRP-PLX-1
Perméabilité (cm/s)	0.08
Azote total	0.3 (%)
Matière organique	14 (%)
ratio carbone/azote	4.4 (%)
Humidité	20 (%)

Adaptation du produit selon les besoins

Notre produit présente l'avantage d'être parfaitement adaptable et ajustable en termes de perméabilité requise et en termes de la teneur en éléments nutritifs selon les situations, à savoir les volumes d'eau à traiter et la nature d'eau pluviale.



En effet, pour traiter des volumes d'eau très élevés, le garnissage du marais peut être très facilement ajusté en augmentant la perméabilité afin de pouvoir absorber la totalité d'eau.

Aussi, selon la richesse ou la carence de l'eau en nutriment, des proportions supplémentaires bien précises en mélange « carbone-azote » peuvent être rajoutées afin de garantir le développement de la faune et de la flore épuratrice.



ESSAI DE PERMÉABILITÉ EN MOULE RIGIDE

ASTM D2434-68

DOSSIER 16364-G

ÉCHANT. : 010-1108

CLIENT : Matériaux Paysagers Savaria Itée.

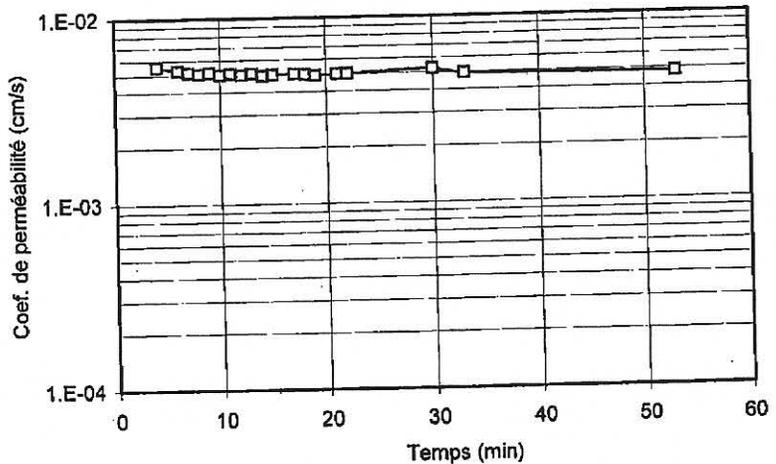
PROJET : Essais de laboratoire

FICHIER : 16364-G-1108.KMR

CARACTÉRISTIQUES VOLUMÉTRIQUES				PARAMÈTRES PHYSIQUES				PROPRIÉTÉS PHYSIQUES		
	État	Initial	Final	État	Initial	Consol.	Final			
Diamètre du moule	mm	145.0		Teneur en eau, w	%	8.69	8.69	26.28	D_{Rs}	2.70*
Longueur du spécimen	mm	161.8	161.8	Masse vol. sèche, ρ_d	kg/m ³	1511	1511	1511	$\rho_{d,max}$	
Section d'écoulement	cm ²	165.1		Deg. de saturation, S_r	%	30	30	91	W_{opt}	
Volume du spécimen	cm ³	2672	2672	Porosité, n	1/1	0.439	0.439	0.439		
Masse humide	g	4389	5099	Indice des vides, e	1/1	0.781	0.781	0.781		
Masse sèche	g	4038								
Teneur en eau, w	%	8.69	26.28							

CONDITIONS D'ESSAI				TENEUR EN EAU				ÉQUIPEMENT ET MÉTHODE	
	Étape	Consol.	Perm.	État	Initial	Final	Initial		
Pression axiale	kPa	0	0	Type	Auxil.	Totale	Totale	Moule : KR-175A	
Gradient moyen	1/1		0.13	Tare no		KD		Unité : 4	
				Masse humide		5520.0	4389.1	ΔL Pléz. : 100 mm	
				Masse sèche		4458.7	4038.2	Séquence : CSK	
				Masse tare		420.6		Temp.eau : 20 °C	
				w %		26.28	8.69		

DONNÉES EXPÉRIMENTALES				
Δt	Vol. eau	Gradient	Vitesse	k
min	cm ³	1/1	cm/s	cm/s
0	0	0.13		
4	28	0.13	7.2E-04	5.5E-03
6	42	0.13	6.9E-04	5.3E-03
7	49	0.13	6.7E-04	5.1E-03
8	55	0.13	6.6E-04	5.0E-03
9	62	0.13	6.7E-04	5.1E-03
10	68	0.13	6.5E-04	5.0E-03
11	75	0.13	6.6E-04	5.0E-03
12	81	0.13	6.5E-04	5.0E-03
13	88	0.13	6.6E-04	5.0E-03
14	94	0.13	6.4E-04	4.9E-03
15	100	0.13	6.5E-04	5.0E-03
17	113	0.13	6.5E-04	5.0E-03
18	120	0.13	6.5E-04	5.0E-03
19	126	0.13	6.4E-04	4.9E-03
21	139	0.13	6.5E-04	5.0E-03
22	145	0.13	6.5E-04	5.0E-03
30	199	0.13	6.8E-04	5.2E-03
33	218	0.13	6.4E-04	4.9E-03
53	341	0.13	6.2E-04	4.8E-03

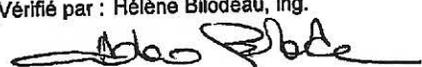


Type de matériau : Sable, traces à un peu de silt
Type de spécimen : Compacté

Remarques :

L'essai a été réalisé avec une eau commerciale de qualité potable.
Spécimen compacté à la teneur en eau de réception.

* : Valeur théorique ou estimée

RÉSULTATS D'ESSAI	
Masse volum. sèche initiale :	1511 kg/m ³
Teneur en eau initiale :	8.7 %
Degré de saturation initial :	30 %
Coefficient de perméabilité :	5.0E-03 cm/s
Gradient hydraulique moyen :	0.13 1/1
Effectué par : A. Bustamante, ing. jr. Vérifié par : Hélène Bilodeau, ing.	
 Date : 2010-10-26	



ESSAI DE PERMÉABILITÉ EN MOULE RIGIDE

ASTM D2434-68

DOSSIER : 16364-2G

CLIENT : Matériaux Paysagers Savaria Itée

PROJET : Essais de laboratoire

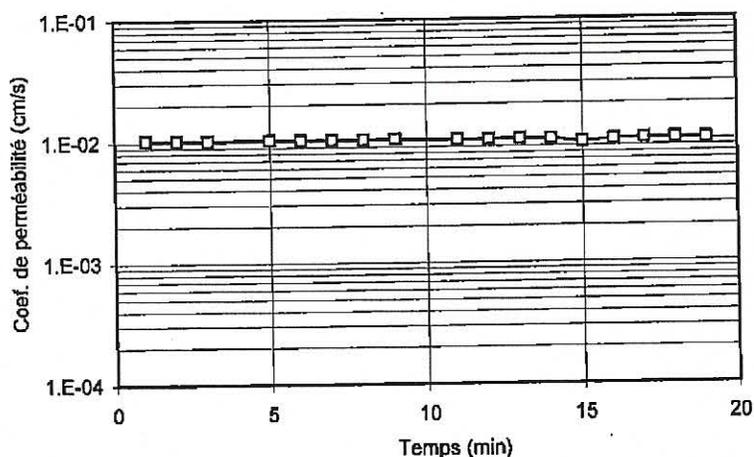
ÉCHANT. : 010-1113

FICHER : 16364-2G-010-1113.KMR

CARACTÉRISTIQUES VOLUMÉTRIQUES				PARAMÈTRES PHYSIQUES				PROPRIÉTÉS PHYSIQUES		
	État	Initial	Final	État	Initial	Consol.	Final			
Diamètre du moule	mm	145.0		Teneur en eau, w	%	20.80	20.80	23.87	D_{Rs}	2.68*
Longueur du spécimen	mm	171.8	171.8	Masse vol. sèche, ρ_d	kg/m ³	1559	1559	1559	P_{dmax}	
Section d'écoulement	cm ²	165.1		Deg. de saturation, S_r	%	78	78	90	W_{opt}	
Volume du spécimen	cm ³	2837	2837	Porosité, n	1/1	0.417	0.417	0.417		
Masse humide	g	5341	5477	Indice des vides, e	1/1	0.714	0.714	0.714		
Masse sèche	g	4421								
Teneur en eau, w	%	20.80	23.87							

CONDITIONS D'ESSAI				TENEUR EN EAU				ÉQUIPEMENT ET MÉTHODE	
	Étape	Consol.	Perm.	État	Initial	Final	Initial		
Pression axiale	kPa	0	0	Type	Auxil.	Totale	Totale	Moule : KR-145A	
Gradient moyen	1/1		0.16	Tare no		C-29	5341.1	Unité : 4	
				Masse humide		6069.3	4421.5	ΔL Piéz. : 100 mm	
				Masse sèche		5014.0		Séquence : CSK	
				Masse tare		592.5		Temp.eau : 20 °C	
				w %		23.87	20.80		

DONNÉES EXPÉRIMENTALES				
Δt min	Vol. eau cm ³	Gradient 1/1	Vitesse cm/s	k cm/s
0	0	0.16		
1	16	0.16	1.7E-03	1.0E-02
2	33	0.16	1.6E-03	1.0E-02
3	49	0.16	1.6E-03	1.0E-02
5	82	0.16	1.7E-03	1.0E-02
6	98	0.16	1.6E-03	1.0E-02
7	115	0.16	1.7E-03	1.0E-02
8	131	0.16	1.6E-03	1.0E-02
9	147	0.16	1.7E-03	1.0E-02
11	180	0.16	1.6E-03	1.0E-02
12	196	0.16	1.6E-03	1.0E-02
13	212	0.16	1.6E-03	1.0E-02
14	228	0.16	1.6E-03	1.0E-02
15	244	0.16	1.5E-03	9.7E-03
16	260	0.16	1.6E-03	1.0E-02
17	276	0.16	1.6E-03	1.0E-02
18	292	0.16	1.6E-03	1.0E-02
19	308	0.16	1.6E-03	1.0E-02

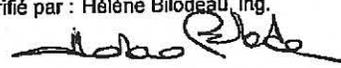


Type de matériau : Sable, traces de silt et de gravier
Type de spécimen : Compacté

Remarques :

L'essai a été réalisé avec une eau commerciale de qualité potable.
Spécimen compacté à la teneur en eau de réception.

* : Valeur théorique ou estimée

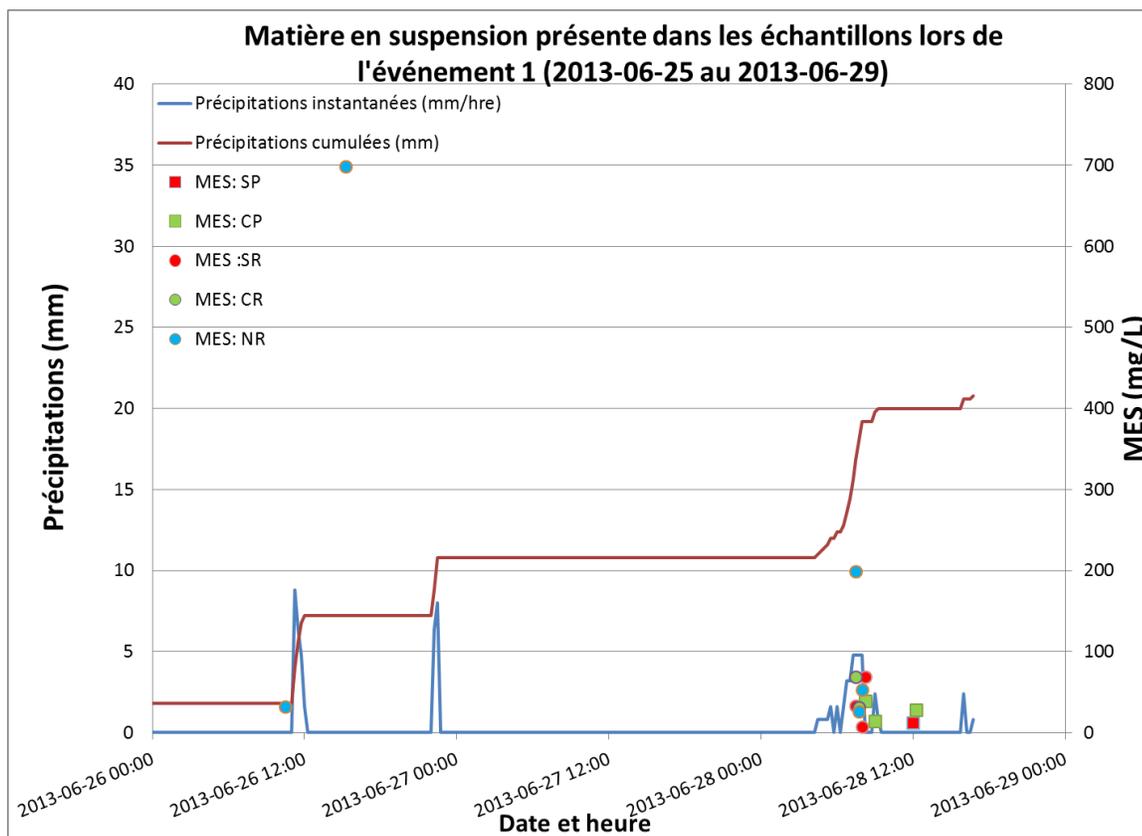
RÉSULTATS D'ESSAI	
Masse volum. sèche initiale :	1559 kg/m ³
Teneur en eau initiale :	20.8 %
Degré de saturation initial :	78 %
Coefficient de perméabilité :	1.0E-02 cm/s
Gradient hydraulique moyen :	0.16 1/1
Effectué par : A. Bustamante, ing. jr. Vérifié par : Hélène Bilodeau, Ing.	
 Date : 2010-12-13	

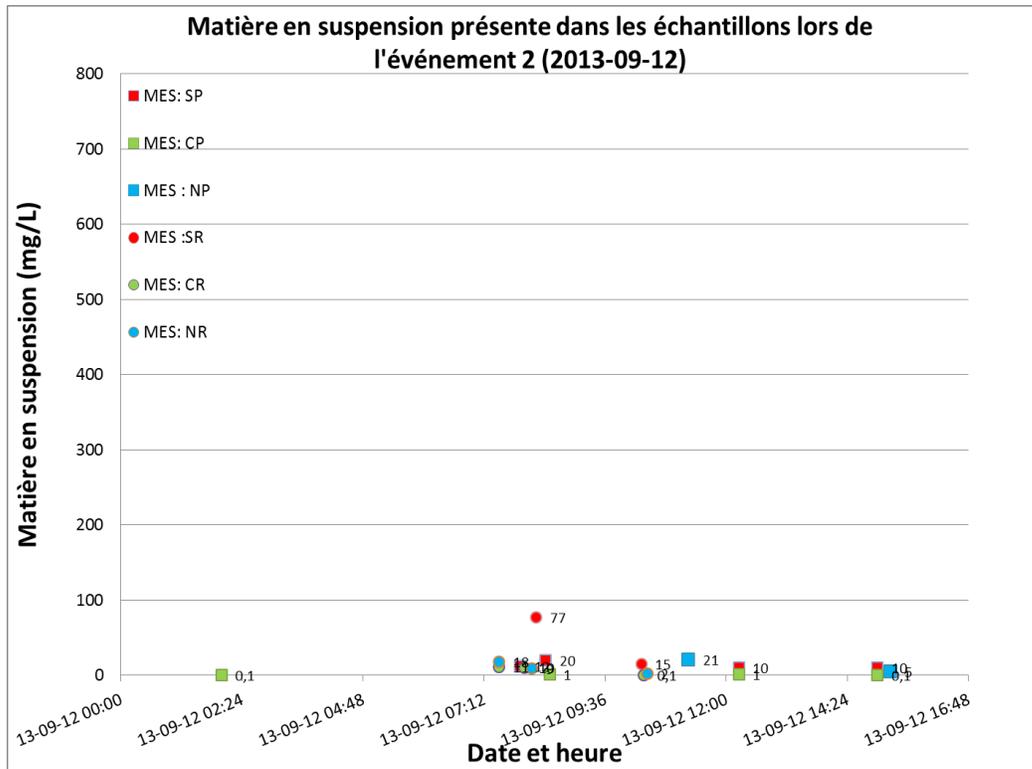
Annexe 2. Tableau descriptif des événements de pluie et des niveaux d'eau dans les piézomètres entre 2014-03-28 et 2014-07-28 aux cellules Centre et Sud.

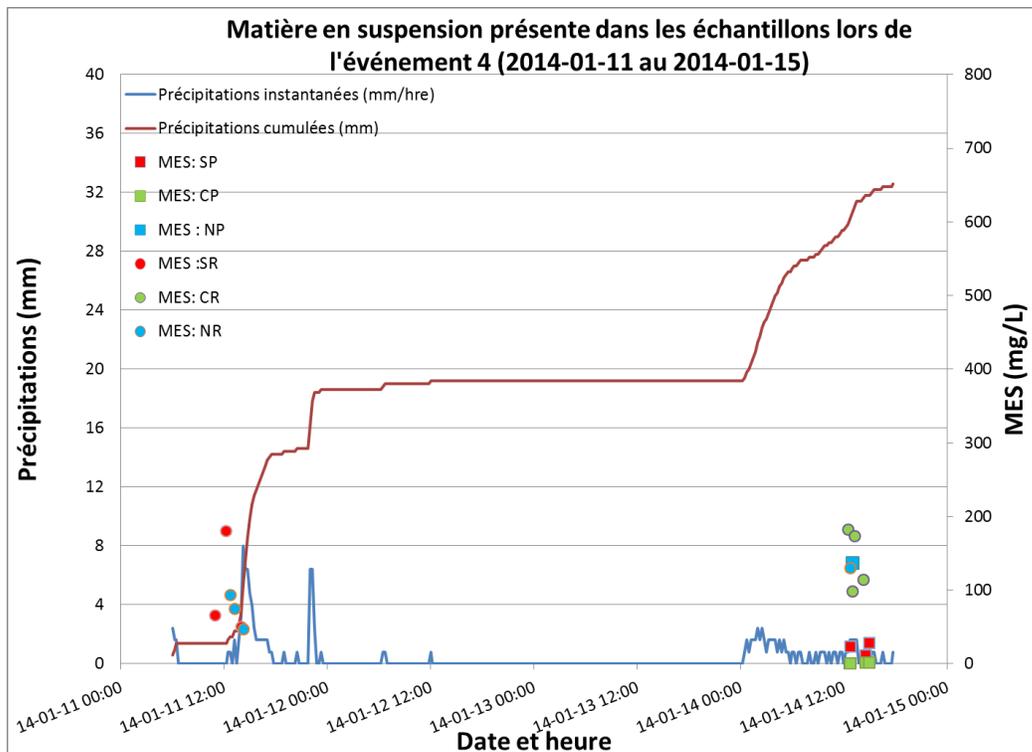
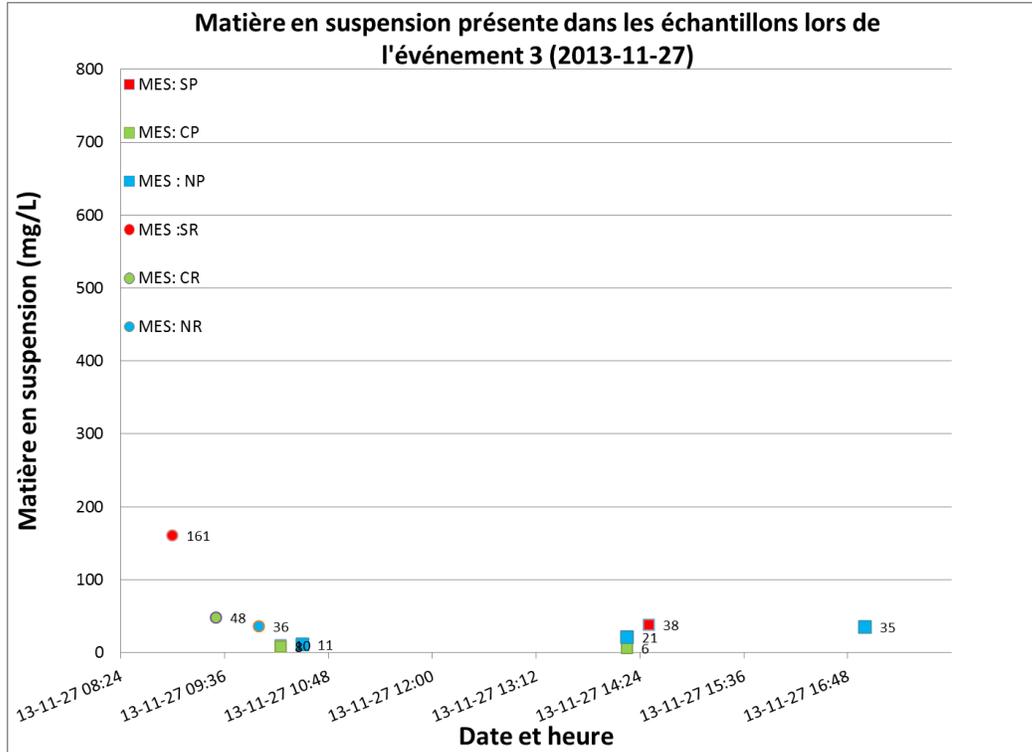
Heure de fin des précipitations (Temps final)	Temps initial piézo	Temps final piézo	Précipitations interceptées	Précipitations cumulées au temps final	Précipitations efficaces	Précipitations période	Hauteur initiale piézo	Hauteur finale piézo	ΔH piézo	Intensité moyenne de la précipitation efficace	Taux montée du piézo	Intensité moyenne de la précipitation	Taux de montée du piézo/PPT totales
			mm	mm	mm	mm	m	m	m	mm/hre	mètre/hre	mm/hre	mètre/mm
2014-03-28 22:15	2014-03-28 12:15	2014-03-28 22:15	5,4	16,2	10,80	16,20	0,002	1,225	1,223	0,831	0,122	1,246	0,076
2014-04-08 22:00	2014-04-08 01:00	2014-04-08 09:45	2,8	9,8	7,00	9,80	0,227	0,941	0,714	0,308	0,082	0,431	0,073
2014-04-15 17:00	2014-04-15 00:45	2014-04-15 08:30	5,2	7	1,80	7,00	0,021	0,459	0,438	0,084	0,057	0,326	0,063
2014-07-29 01:45	2014-07-28 18:45	2014-07-28 21:45	4,2	13	8,80	13,00	0,490	1,334	0,844	0,978	0,281	1,444	0,065
2014-04-30 22:45	2014-04-30 19:15	2014-04-30 22:30	6,8	19,2	12,40	19,20	0,045	1,373	1,328	1,771	0,409	2,743	0,069
2014-05-05 11:00	2014-05-04 06:00	2014-05-04 09:00	5,6	10,2	4,60	10,20	0,236	1,115	0,879	0,147	0,293	0,326	0,086
2014-05-17 07:30	2014-05-17 03:45	2014-05-17 07:15	8	10,6	2,60	10,60	0,003	0,707	0,705	0,200	0,201	0,815	0,066
2014-06-04 01:00	2014-06-03 17:45	2014-06-03 19:15	6,8	11,2	4,40	11,20	0,009	1,070	1,061	0,550	0,707	1,400	0,095
2014-06-12 07:45	2014-06-12 01:45	2014-06-12 02:30	7,8	7,8	0,00	7,80	0,000	0,802	0,802	0,000	1,070	1,076	0,103
2014-04-08 22:00	2014-04-07 23:30	2014-04-08 03:45	0,6	9	8,40	9,00	0,984	1,571	0,587	0,369	0,138	0,396	0,065
2014-04-15 17:00	2014-04-14 21:00	2014-04-15 02:30	1,8	6,8	5,00	6,80	0,296	0,934	0,637	0,233	0,116	0,316	0,094
2014-07-29 01:45	2014-07-28 17:15	2014-07-28 21:30	1	12,8	11,80	12,80	0,741	1,414	0,673	1,311	0,158	1,422	0,053
2014-06-04 01:00	2014-06-03 17:15	2014-06-03 18:45	3,6	10,6	7,00	10,60	0,302	1,291	0,989	0,875	0,659	1,325	0,093
2014-03-28 22:15	2014-03-28 12:30	2014-03-28 17:45	5,4	13,20	7,80	13,20	0,125	1,192	1,067	0,600	0,203	1,015	0,081
2014-05-05 11:00	2014-05-04 04:15	2014-05-04 08:00	2,2	9,8	7,60	9,80	0,250	1,330	1,080	0,243	0,288	0,314	0,110
2014-04-30 22:45	2014-04-30 16:45	2014-04-30 22:30	1,4	19,2	17,80	19,20	0,348	1,474	1,126	2,543	0,196	2,743	0,059
2014-06-12 07:45	2014-06-12 01:30	2014-06-12 02:00	5,6	7,8	2,20	7,80	0,101	1,258	1,157	0,303	2,313	1,076	0,148
2014-05-17 07:30	2014-05-17 02:30	2014-05-17 04:00	3	8	5,00	8,00	0,087	1,252	1,165	0,385	0,776	0,615	0,146

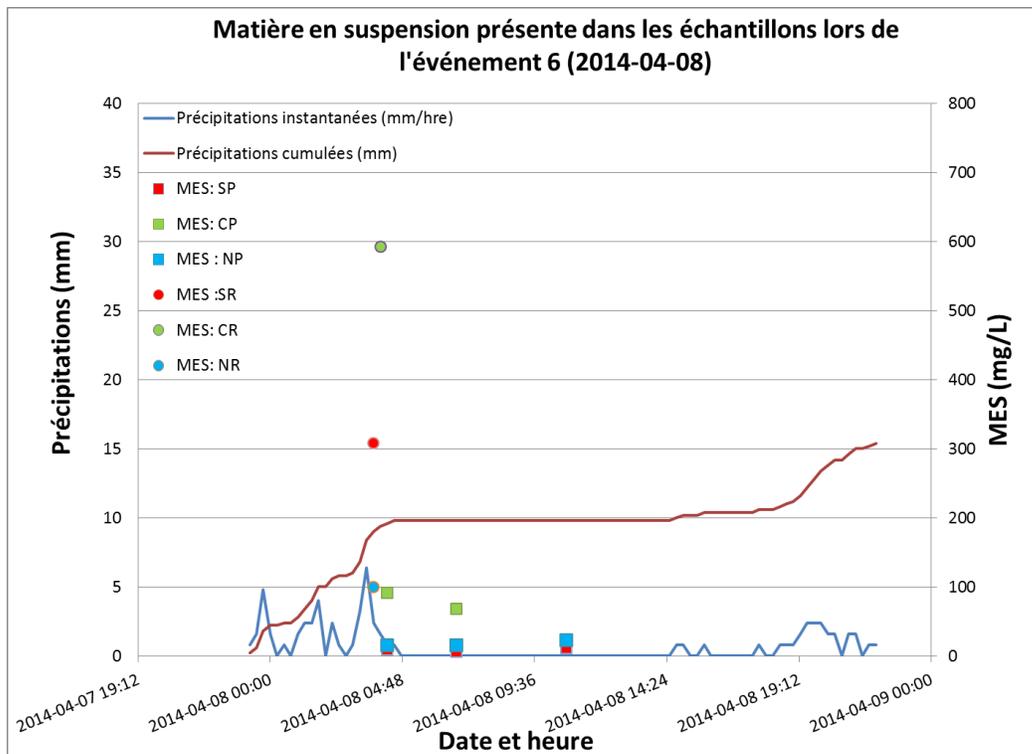
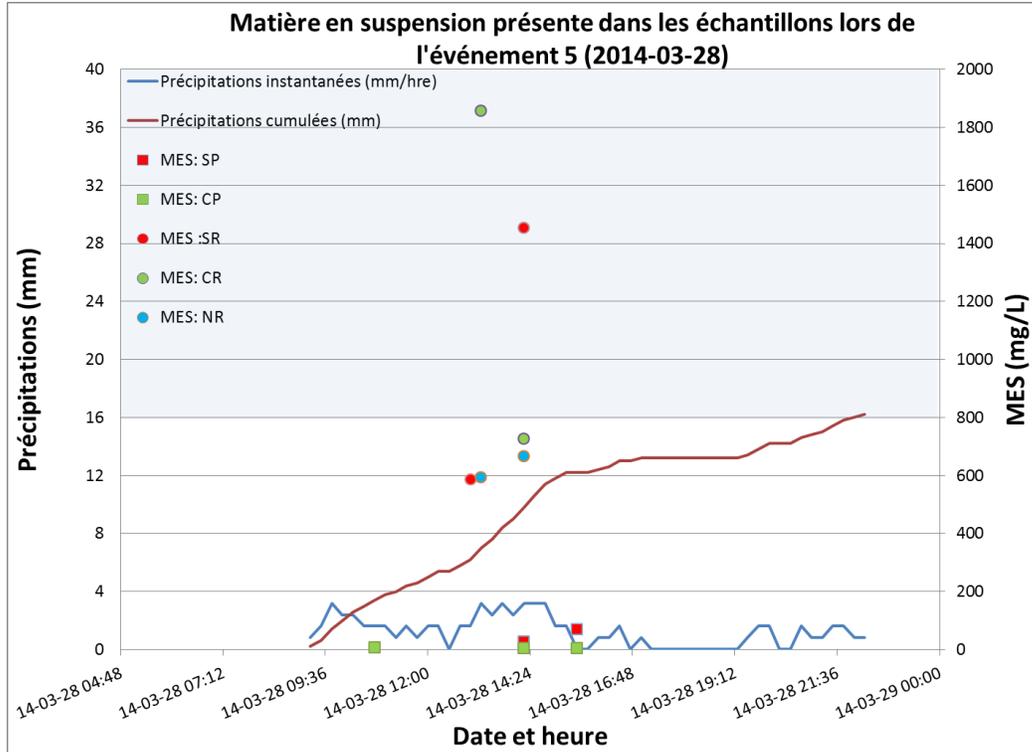
Annexe 3. Distribution des concentrations des matières en suspension par évènement en fonction de la précipitation cumulée et de la période d'échantillonnage.

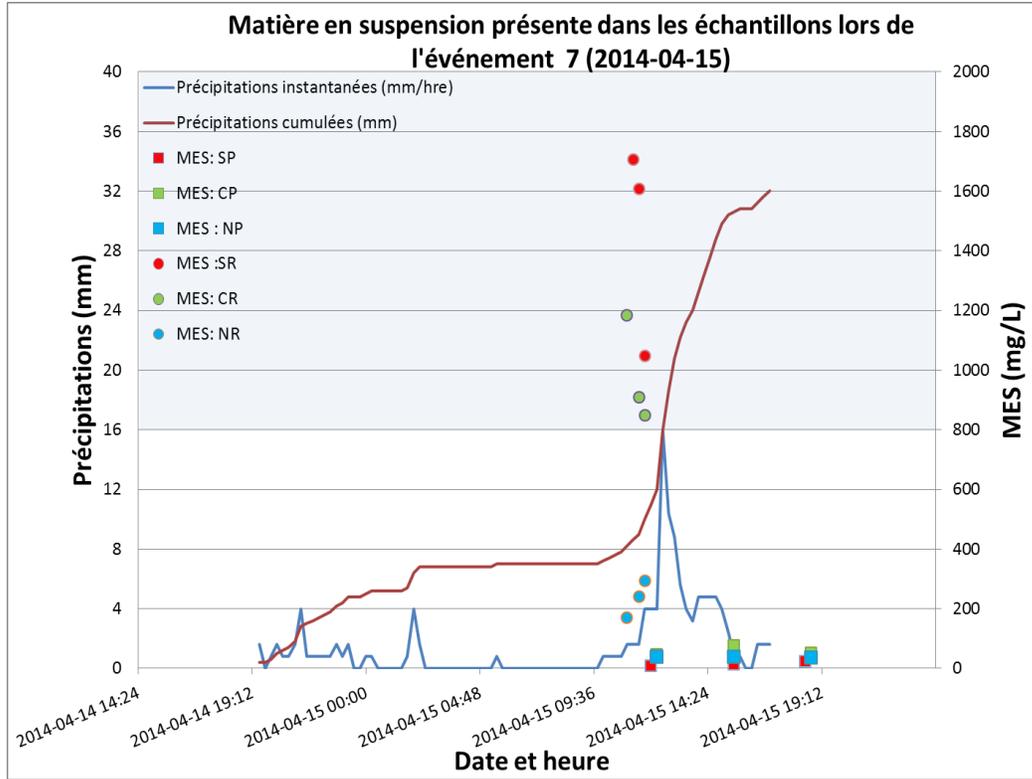
Note : Les observations de concentration illustrées en rouge correspondent à la station Sud (S), le vert à la station du Centre (C), le bleu à station du Nord (N). Les carrés correspondent aux échantillonnages des piézomètres (P) et les cercles correspondent aux échantillonnages d'eau de ruissellement (R).

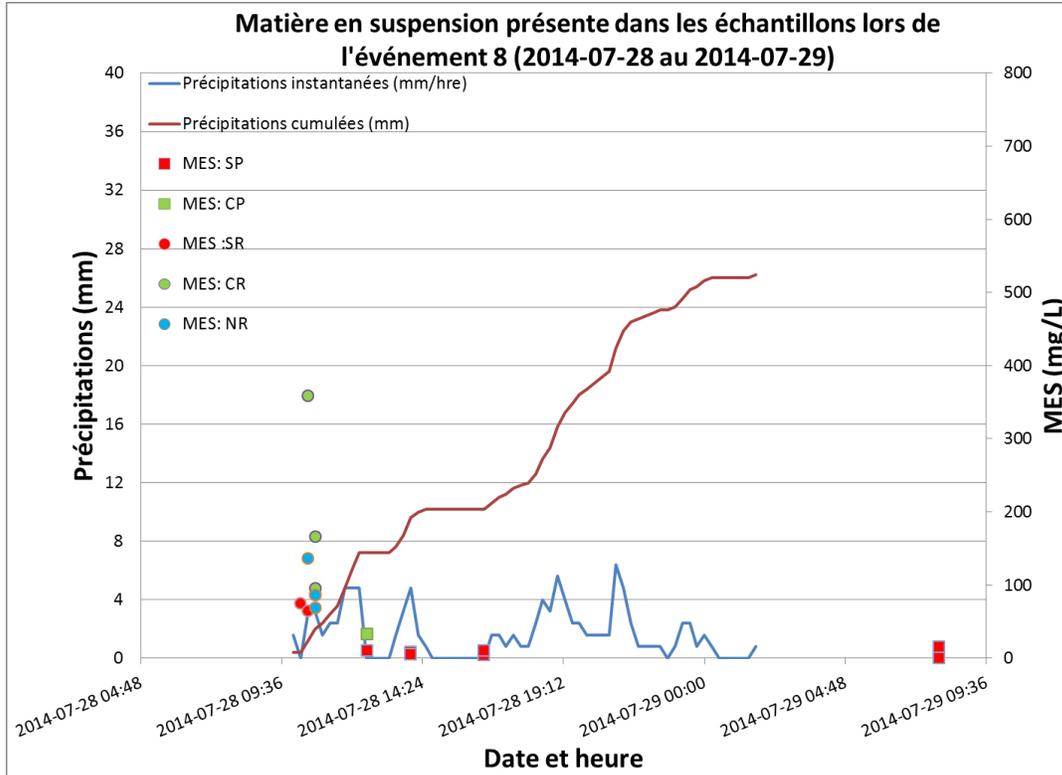




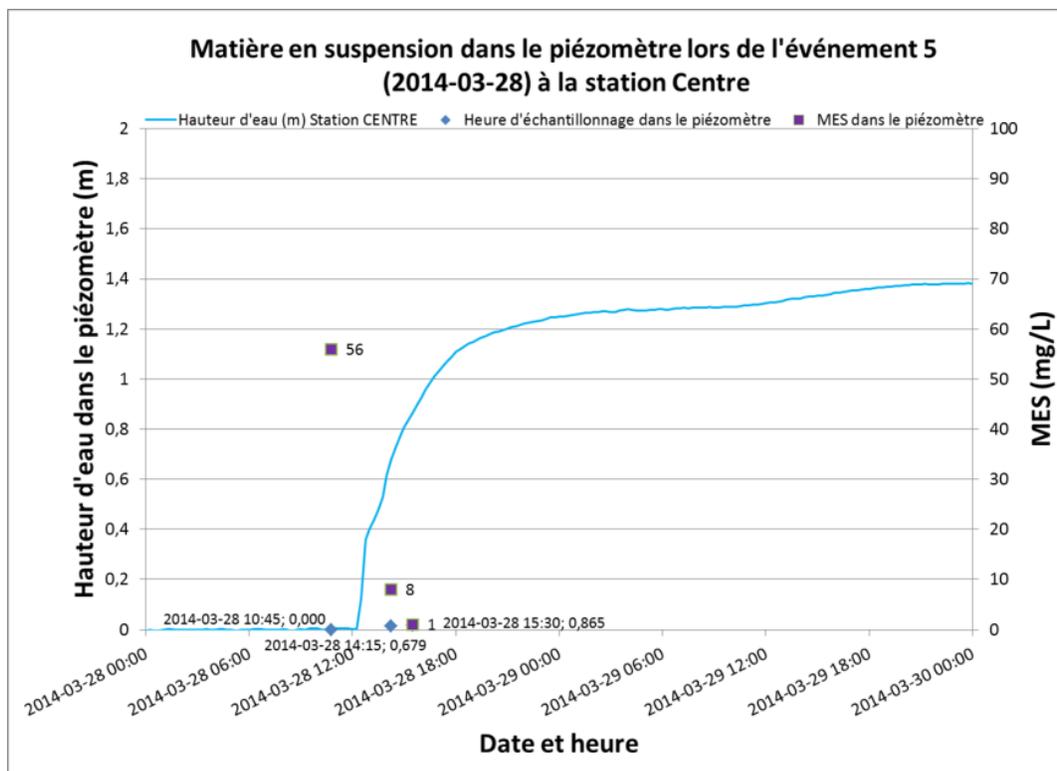


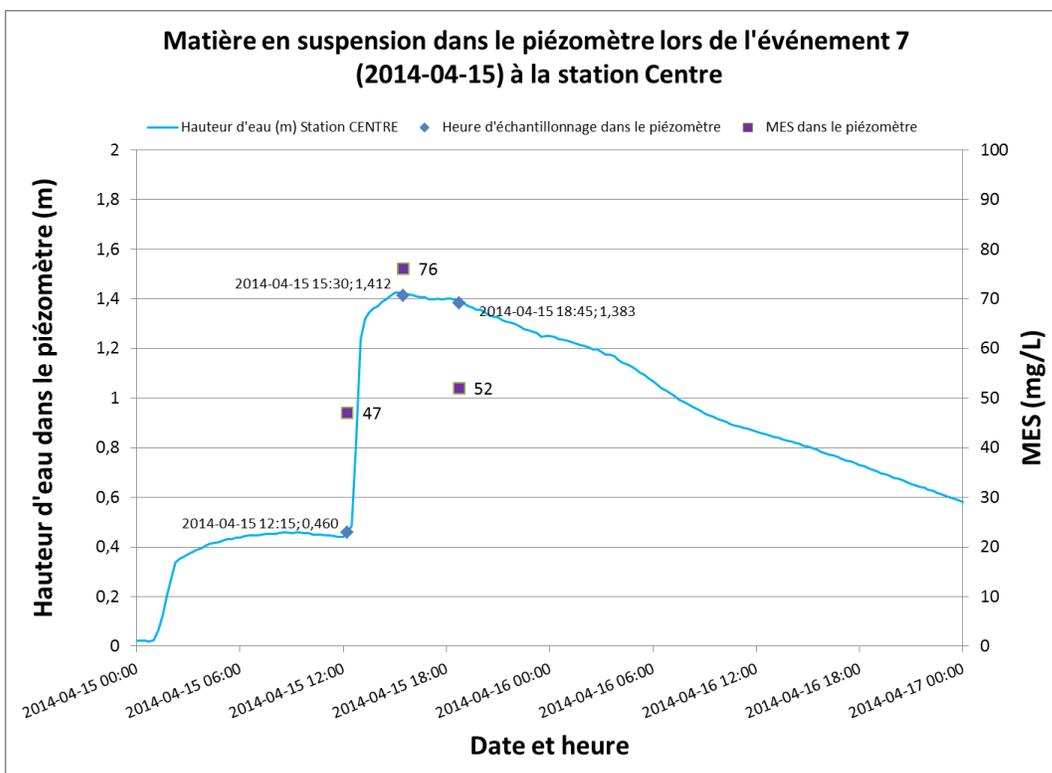
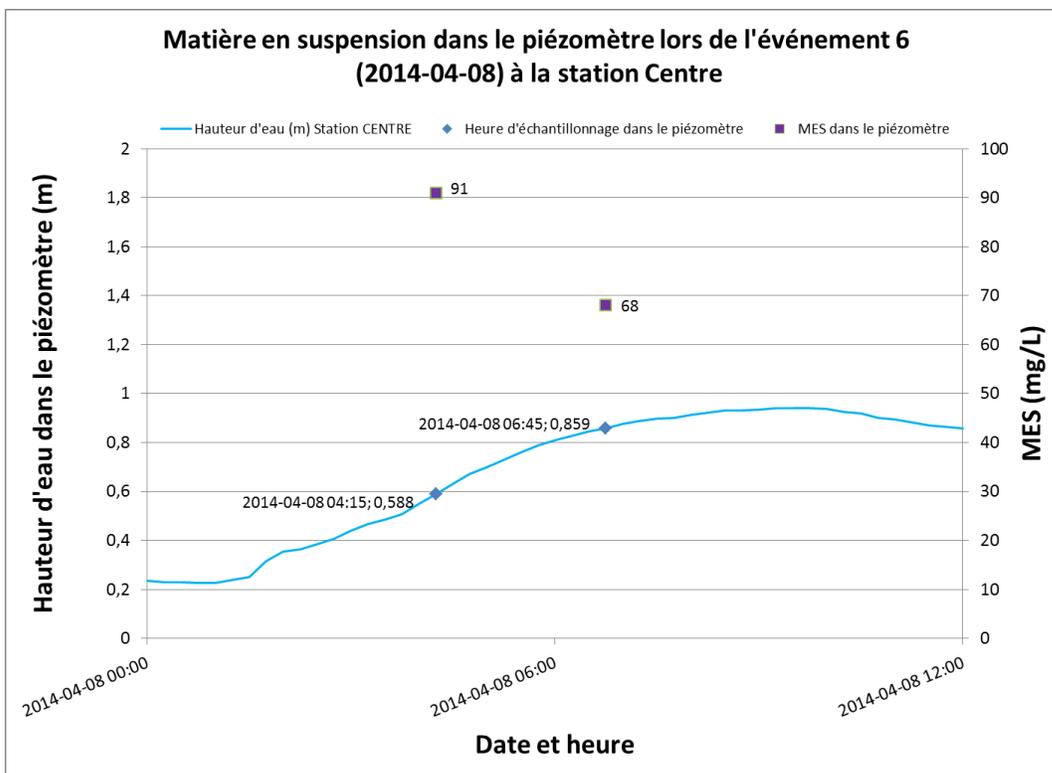


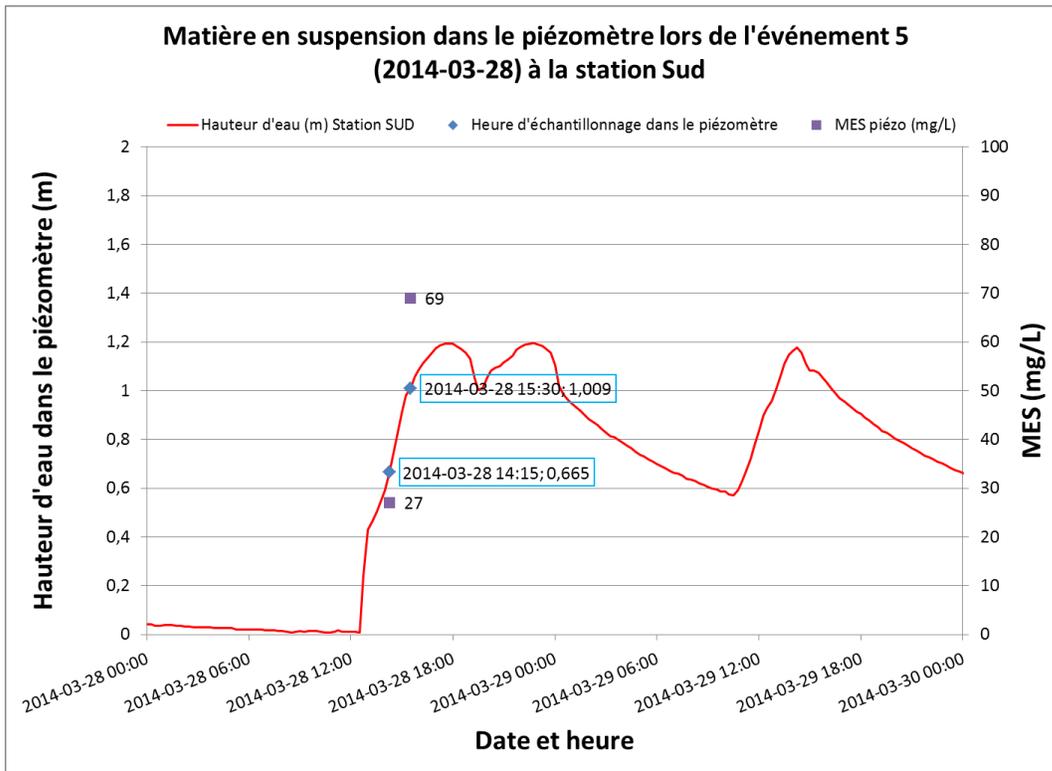
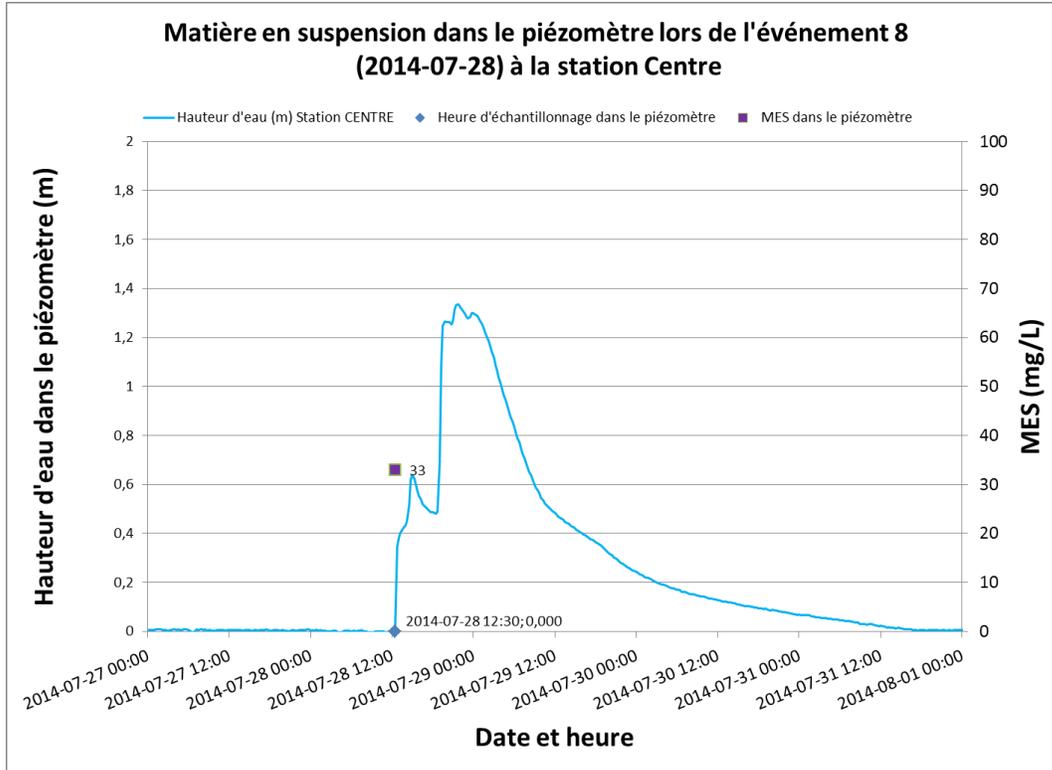


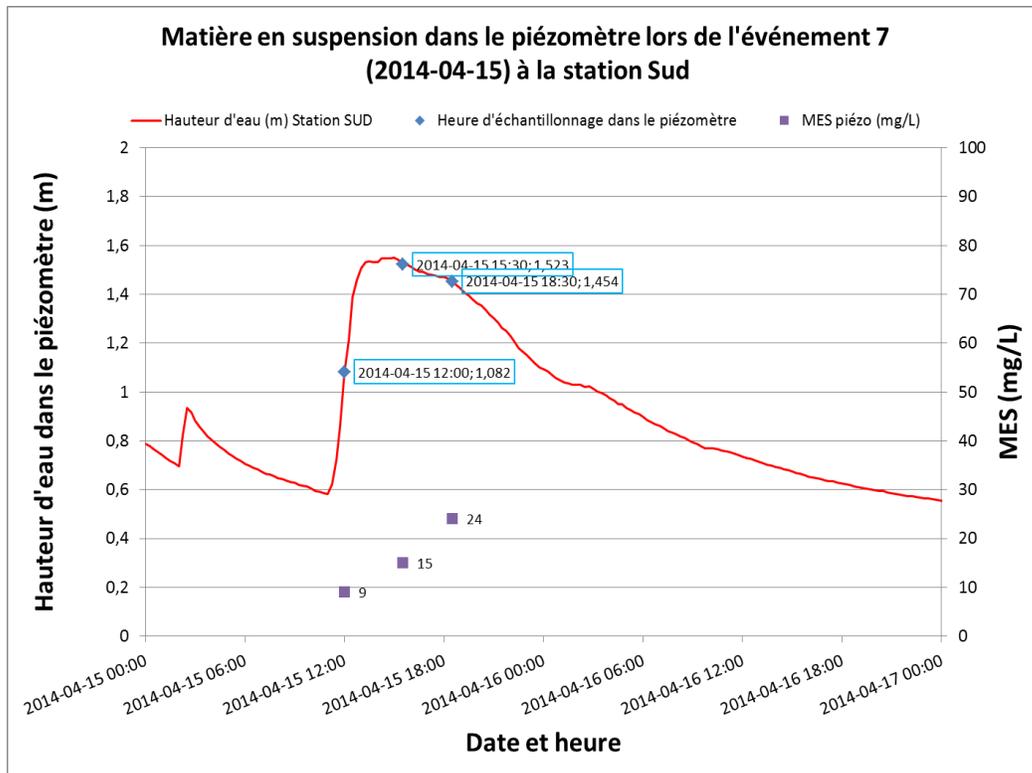
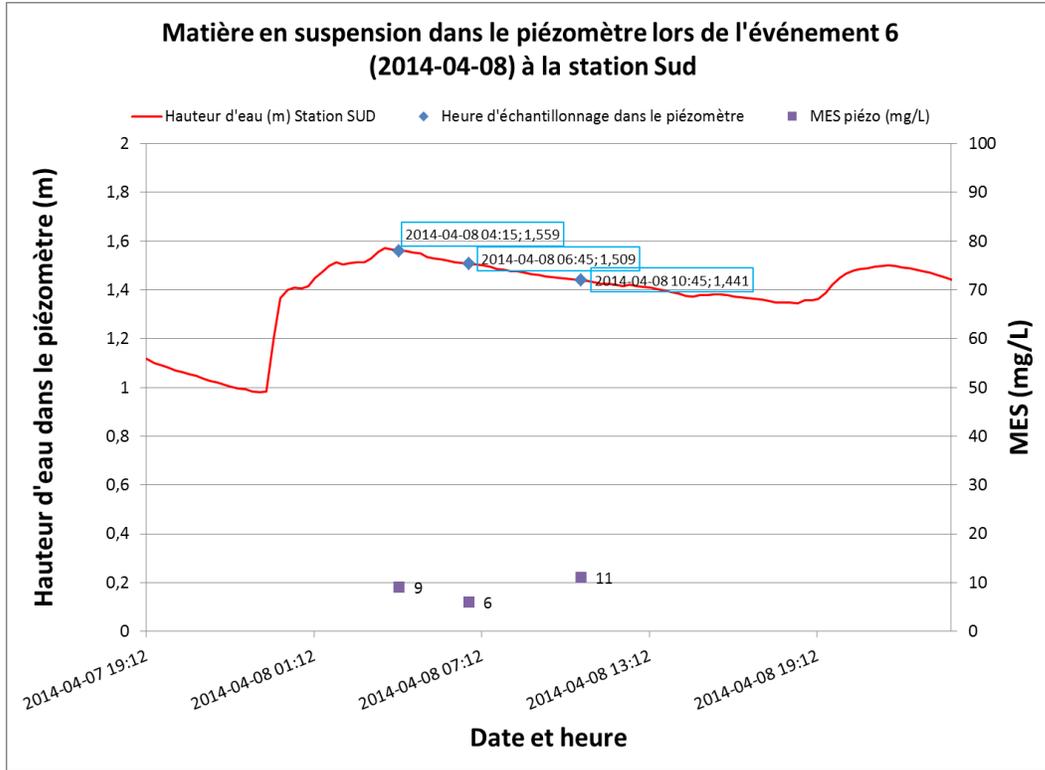


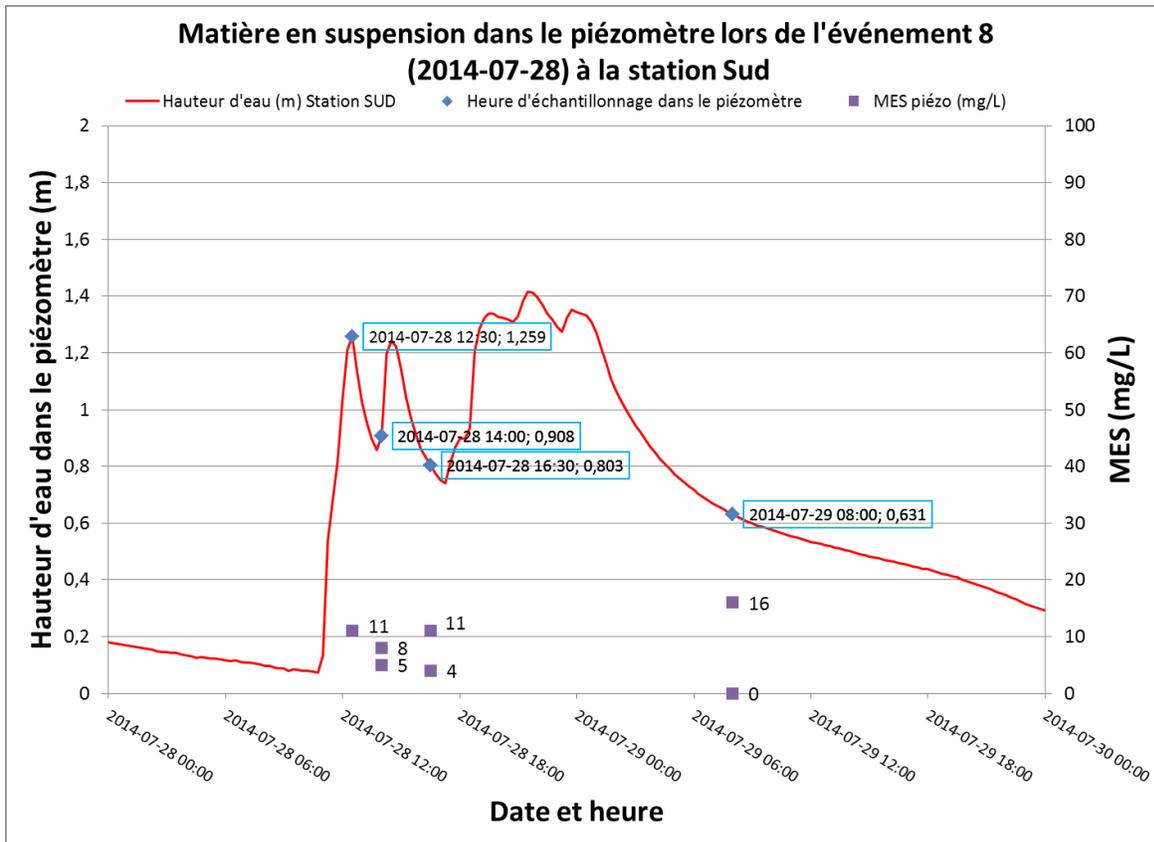
Annexe 4. Concentrations des matières en suspension en fonction de la hauteur d'eau dans les piézomètres et la période d'échantillonnage pour les événements 5, 6, 7 et 8.





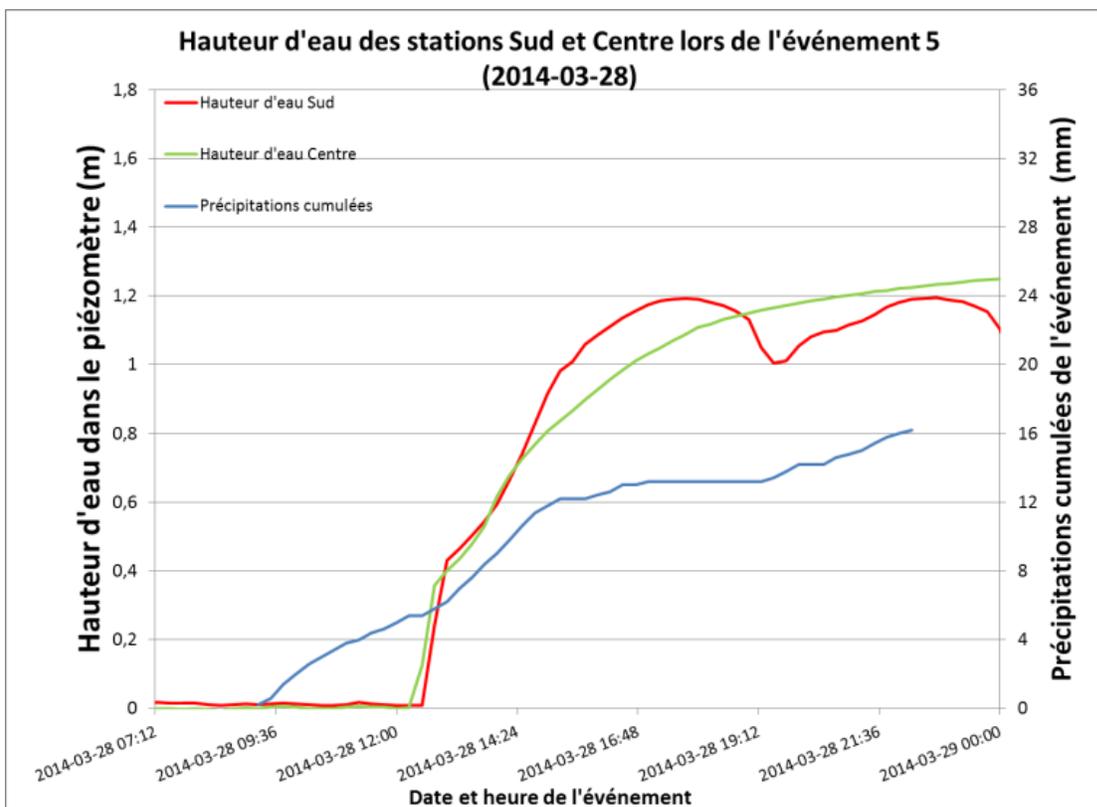


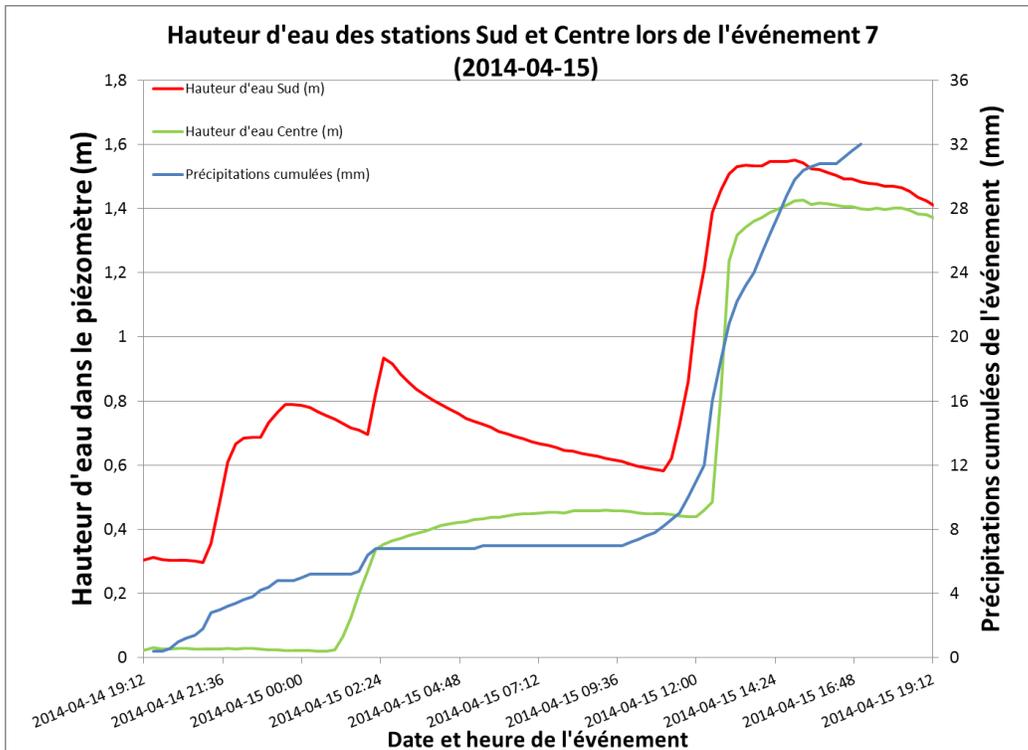
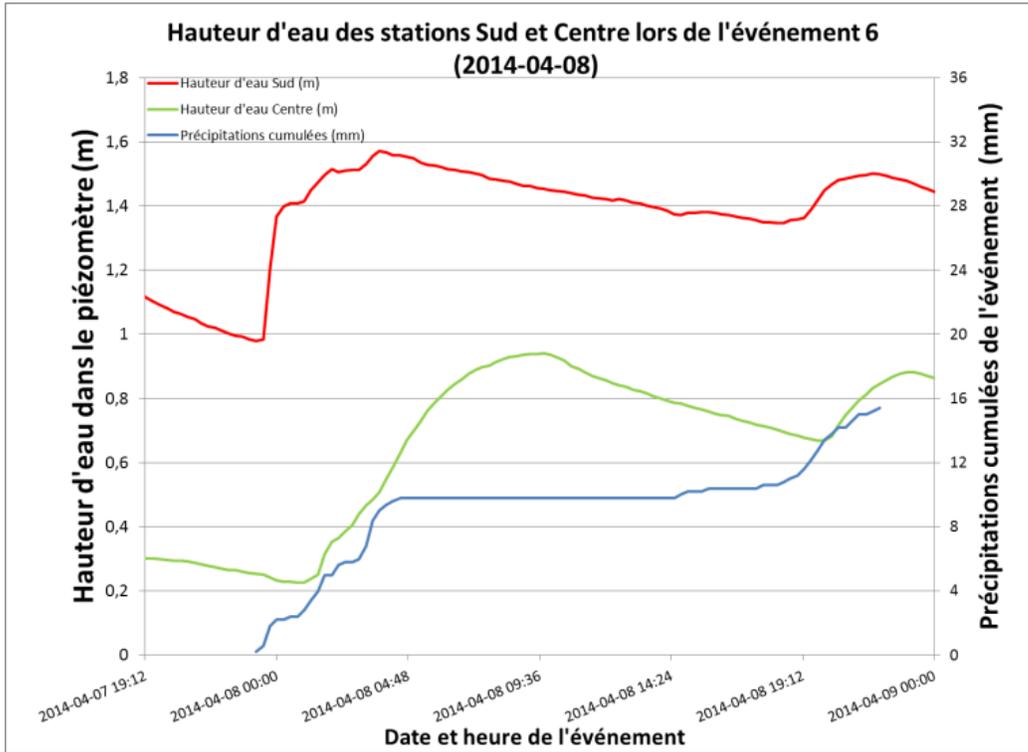


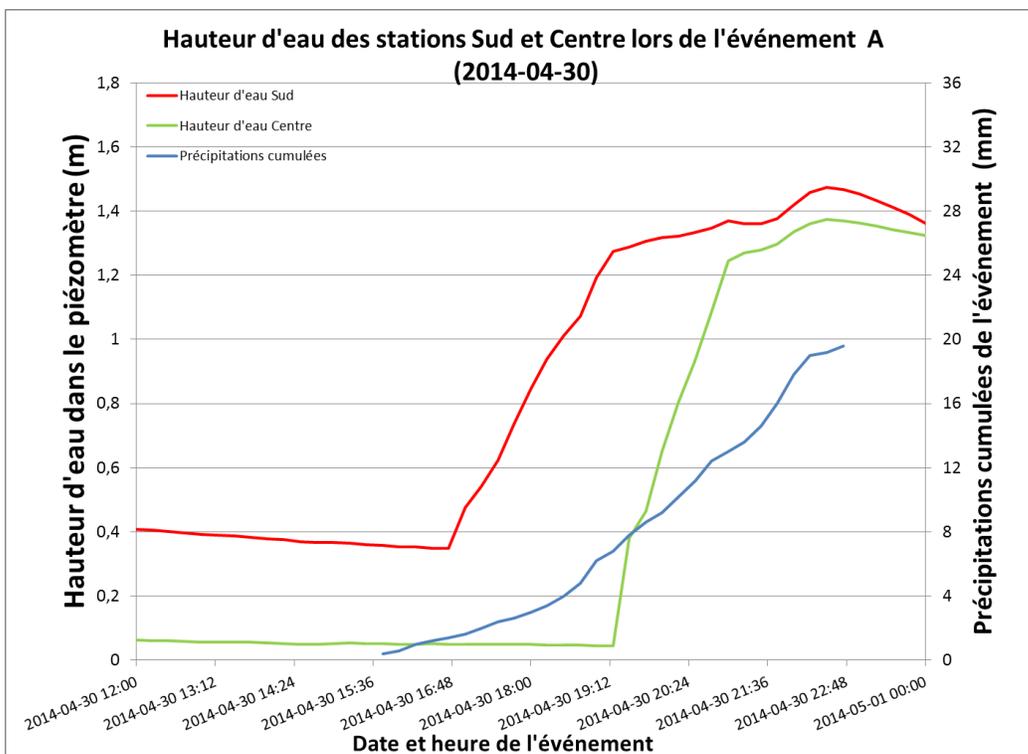
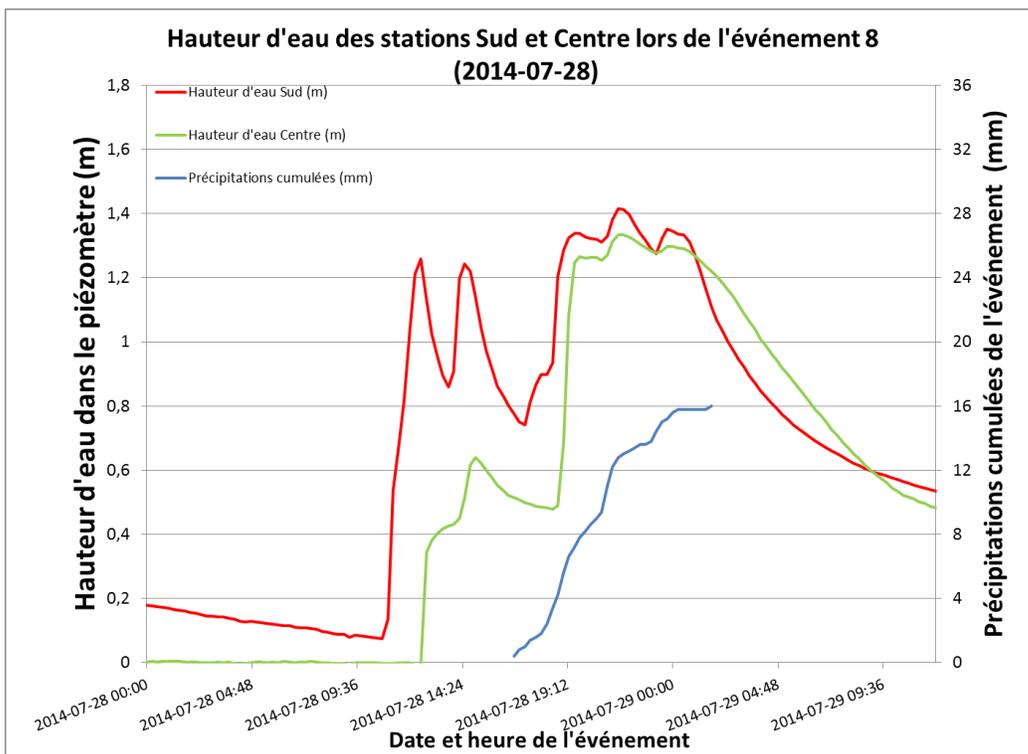


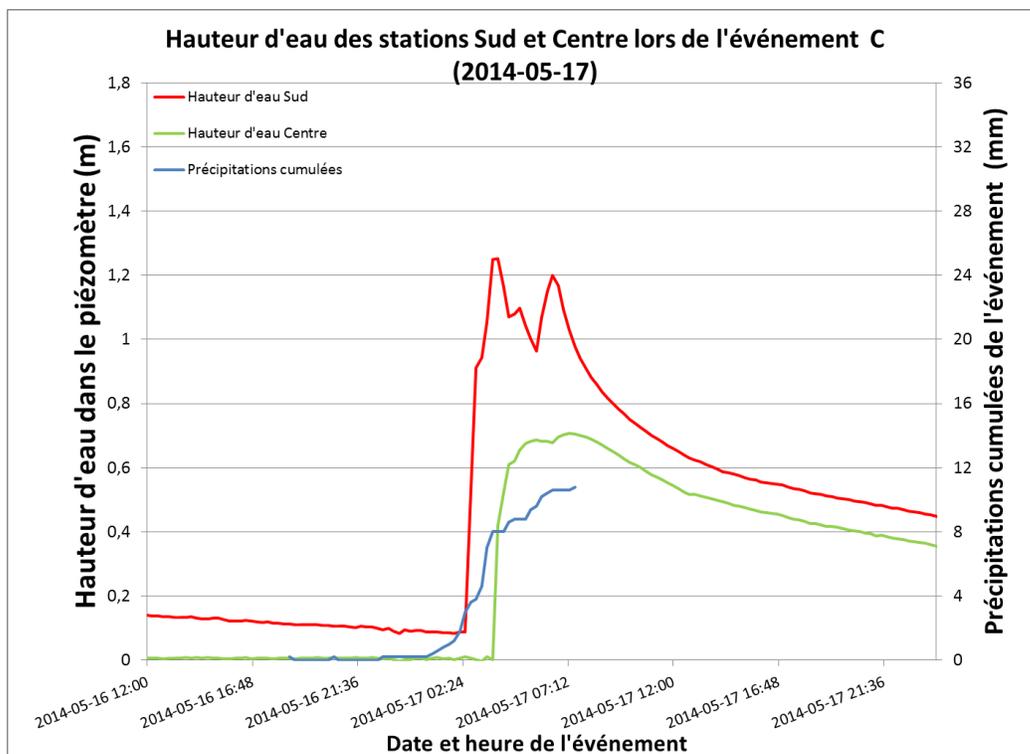
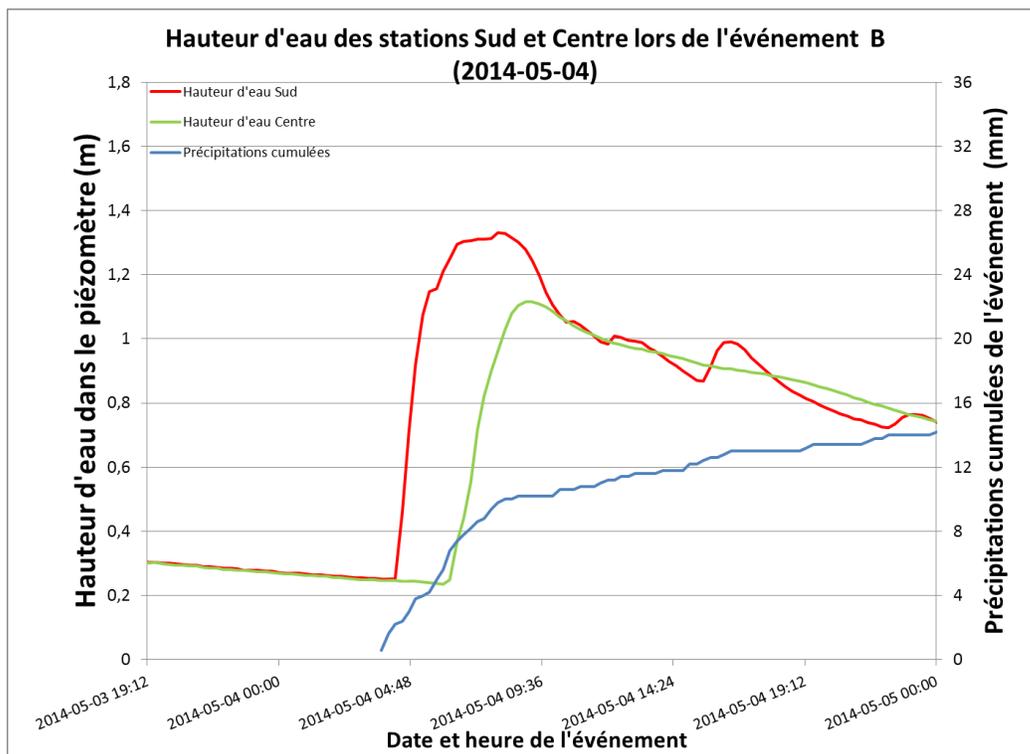
Annexe 5. Élévations des hauteurs d'eau dans les piézomètres des cellules Sud et Centre lors des événements de pluie entre mars 2014 et juillet 2014

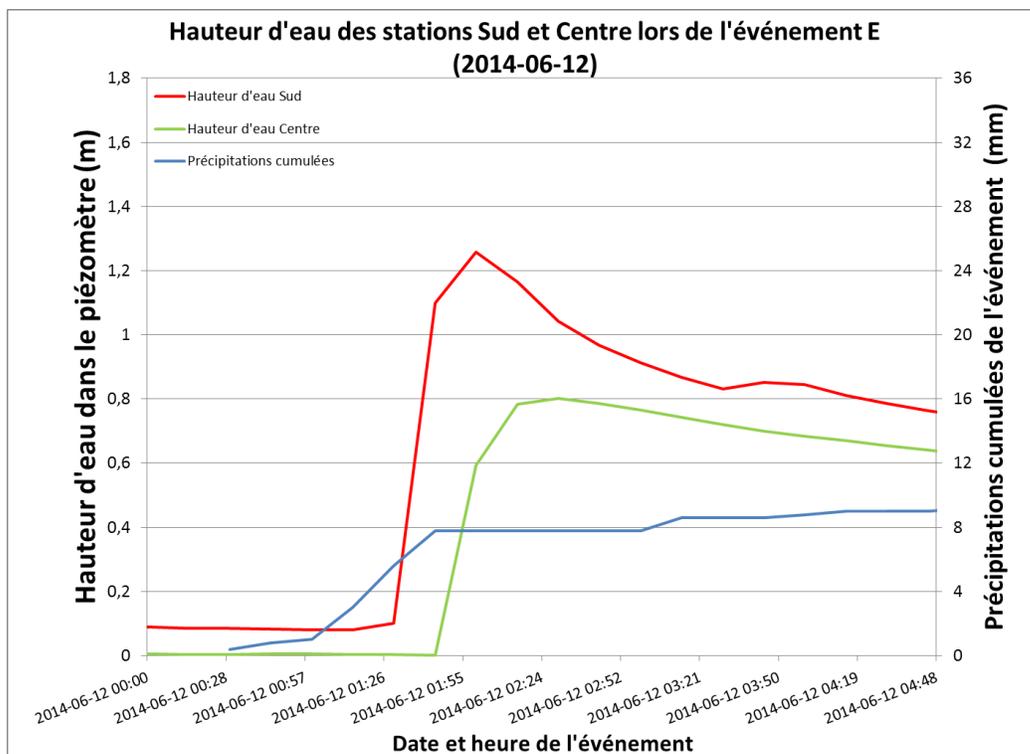
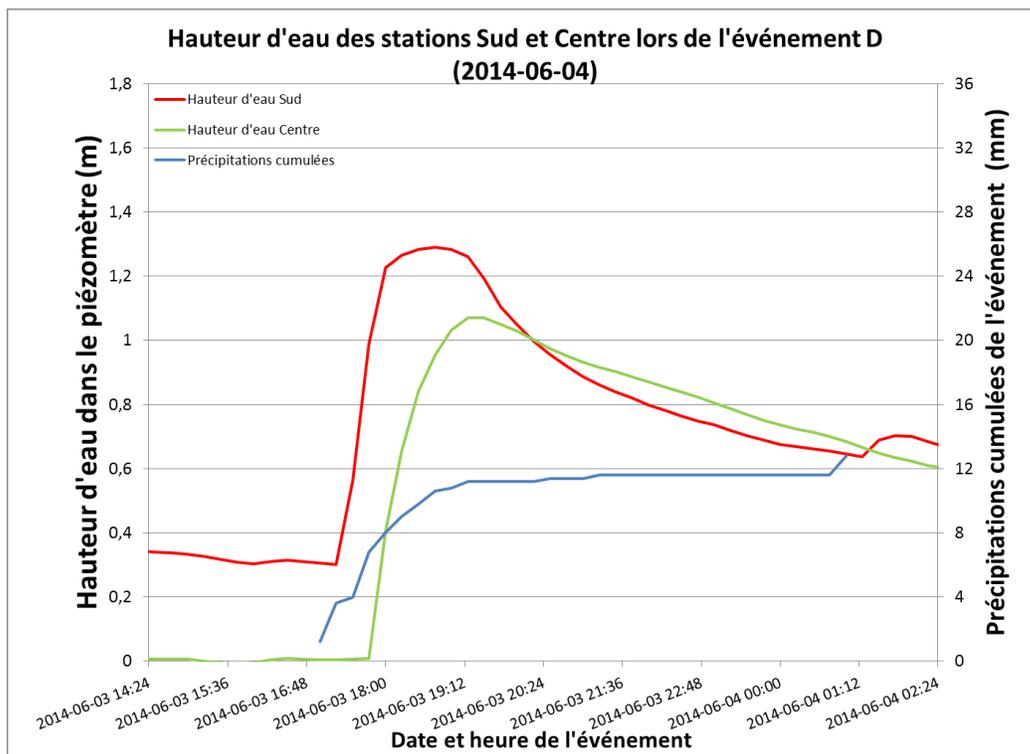
Note : Les événements 5 à 8 ont été échantillonnés pour la qualité de l'eau alors que les événements A à E ont été caractérisés que pour la hauteur d'eau.











Annexe 6. Résultats de la recherche d'hydrocarbures pétroliers de C10 à C50 dans des échantillons récoltés le 27 novembre 2013 dans le paillis et le sol des cellules de biorétention

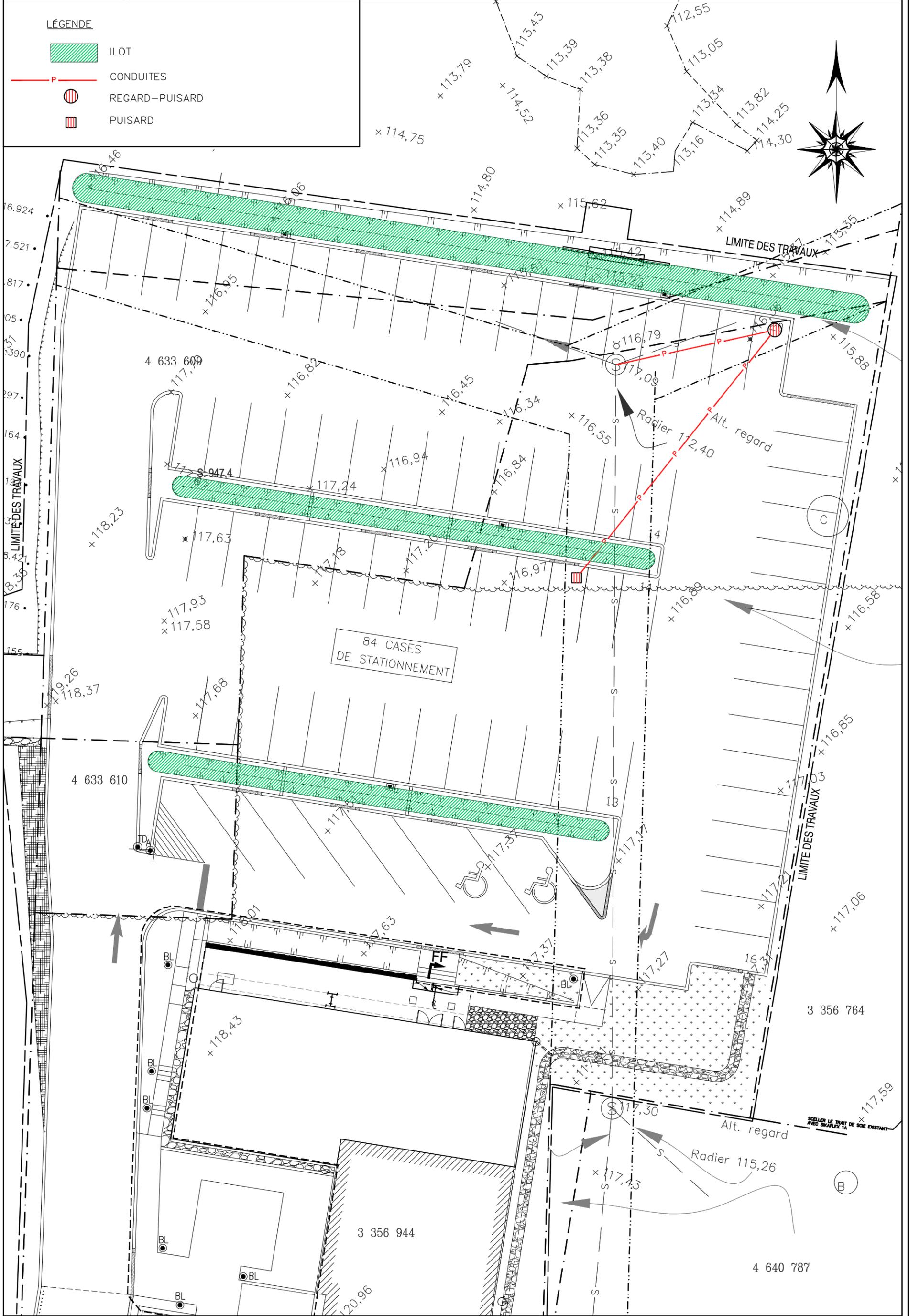
	Paillis Sud	Sol Sud	Paillis Centre	Sol Centre	Paillis Nord	Sol Nord
Acénaphène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Acénaphthylène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Anthracène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Benzo (a) anthracène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Benzo (a) pyrène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
benzo (b) fluoranthène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
benzo(j)fluoranthène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Benzo [k] fluoranthène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Benzo (bjk) fluoranthène (Somme) (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Benzo (c) phénanthrène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Benzo (g,h,i) pérylène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Chrysène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Dibenzo (a,h) anthracène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Dibenzo (a,h) pyrène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Dibenzo (a,i) pyrène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Dibenzo (a,l) pyrène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Diméthyl-1,3 naphthalène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Diméthyl-7,12benzo(a)anthracène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Fluoranthène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Fluorène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Indéno (1,2,3-cd) pyrène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Méthyl-1 naphthalène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Méthyl-2 naphthalène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Méthyl-3 cholanthrène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Naphthalène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Phénanthrène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Pyrène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0,14	<0.10
Triméthyl-2,3,5 naphthalène (mg/Kg)	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
% de récup. étalons analogues						
d10-Acénaphène (%)	87	94	93	96	93	96
d10-Phénanthrène (%)	88	96	93	96	93	97
d12-Benzo[ghi]pérylène (%)	73	86	73	83	79	88

Annexe 7 Concepts retenus pour l'analyse économique

LÉGENDE

-  BIORÉTENTION – VÉGÉTATION 2 x PLUS DENSE QUE LE CONCEPT TRADITIONNEL
-  PIÉZOMÈTRE POUR SUIVI EXPÉRIMENTAL





 <p>VINCI CONSULTANTS INGÉNIERIE URBAINE DURABLE SUBSTAINABLE URBAN ENGINEERING DEPUIS 1992 vinciconsultants.com</p>	<p>PROJET: M.R.C. BROME MISSISQUOI STATIONNEMENT VERT</p>	<p>TITRE: CONCEPT TRADITIONNEL SANS RÉTENTION</p>	<p>DESSINÉ PAR: Lamine Ndao, tech.</p>	<p>ÉCHELLE: 1:250</p>
	<p>PROJET No.: 11-102G</p>	<p>DATE: 2014/12/15</p>	<p>APPROUVÉ PAR: Marie Dugué, Ing.</p>	<p>DESSIN No.:</p>
				<p>SK-02</p>