Suivi de la qualité et de la réduction des volumes d'eau de ruissellement du projet de réaménagement du système de gestion des eaux pluviales par des pratiques de gestion optimales dans six rues du secteur du lac Saint-Charles

30 mars 2022

Préparé par Agiro

AGIRO
initiatives et actions en environnement

Partenaires financiers

VILLE DE QUÉBEC
l'accent d'Amérique

Québec

Équipe de réalisation d'Agiro

Analyse et rédaction

William Verge, M. Sc. Eau, coordinateur de projets

Sixtine Hauchard, M. Sc. Eau, chargée de projets en gestion durable des eaux pluviales

Échantillonnage et travaux terrain

William Verge, M. Sc. Eau, coordinateur de projets

Sixtine Hauchard, M. Sc. Eau, chargée de projets en gestion durable des eaux pluviales

Révision

Gabrielle Gosselin, M. Sc. Eau, chargée de projets en limnologie

Mélanie Deslongchamps, directrice générale

Marie-Joëlle Desgagné, CPI, chargée de projets en gestion des eaux usées et pluviales

Maxime Wauthy, Limnologiste, Ph.D. Biologie, chargé de projets en limnologie

Sonja Behmel, Ph.D., coordinatrice scientifique

Anne Rapin, Biogéochimiste, Ph.D., chargée de projets en environnement

Personne ressource de la Ville de Québec

Alexandre Baker, Conseiller en environnement, Division du développement durable, Service de la planification de l'aménagement et de l'environnement

Référence à citer

Agiro (2021), *Suivi de la qualité et de la réduction des volumes d'eau de ruissellement du projet de réaménagement du système de gestion des eaux pluviales par des pratiques de gestion optimales dans six rues du secteur du lac Saint-Charles,* Rapport final 35p. et annexes.

Description et source de la page couverture

Photographie aérienne des noues végétalisées de la rue Rosario-J.-Rhéaume, Mélanie Jean,2021.

Coordonnées d'Agiro

433, rue Delage
Québec (Québec) G3G 1H4
418 849-9844
info@agiro.org

Table des matières

1 Introduction 1
1.1 Contexte 1
1.2 Description de la zone à l'étude et des pratiques de gestion optimales implantées 2
1.3 Objectif du suivi 2020-2021 4
2 Méthodologie 5
2.1 Plan de suivi global 5
2.2 Période de suivi 6
2.3 Sites à l'étude et objectifs spécifiques 6
2.4 Installation et utilisation des équipements 7
2.4.1 Capteurs de pression et d'humidité 7
2.4.2 Pluviomètres et autres instruments météorologiques 9
2.4.3 Équipements pour la mesure des débits aux stations C et H 9
2.4.4 Analyse des paramètres de la qualité de l'eau 10
3 Résultats 11
3.1 Observations générales (volet 1) 11
3.1.1 Chaque noue est unique, mais la plupart se ressemblent 11
3.1.2 Correctifs nécessaires sur certaines noues 12
3.1.3 Correctifs à l'entrée de l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé 15
3.2 Qualité de l'eau (volet 2) 16
3.2.1 Caractérisation de l'eau à la sortie des noues lors de trois événements pluvieux 16
3.2.2 Traitement et précautions à prendre lors de l'analyse des données 20
3.3 Quantité d'eau (volet 3) 21
3.3.1 Fonctionnement global des noues en fonction de la pluviométrie 21
3.3.2 Évaluation de la capacité de la noue pour une pluie de « qualité » 22
3.3.3 Analyse détaillée de trois événements pluvieux 23
3.3.3.1 Cas n°1 : Événement sans accumulation dans la noue M-623-A 23
3.3.3.2 Cas n°2 : Événement avec accumulation, mais sans débordement au trop-plein 25
3.3.3.3 Cas n°3 : Événement avec accumulation jusqu'à débordement au trop-plein 26
4 Limitations relatives à l'étude 30
5 Conclusion 32
6 Bibliographie 35
7 Annexes 36

Liste des figures

Figure 1 : Photographie aérienne du lac Saint-Charles et vue sur l'urbanisation au sud-ouest du plan d'eau (crédit : William Verge) 1

Figure 2 : Coupe transversale type d'une noue végétalisée (WSP, 2019) 2

Figure 3 : Noue végétalisée rue Gaétan (crédit : Mélanie Jean, 2021) 2

Figure 4 : Coupe transversale de l'aire de biorétention (WSP, 2019) 3

Figure 5 : Aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé (crédit : William Verge, 2021) 3

Figure 6 : Bassins versants des six rues à l'étude avec le sens d'écoulement approximatif et l'hydrographie conceptuelle, la localisation des PGO à l'étude et les stations d'échantillonnage (carte adaptée de WSP, 2019). 4

Figure 7 : Vue de la noue M-623-A avant les travaux le 17 juillet 2020 (à gauche) et après les travaux le 21 juin 2021 (à droite) (crédit : Agiro) 7

Figure 8 : Localisation des capteurs de pression et d'humidité dans la noue M-623-A (gauche) et dans l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé (droite) (crédit : Agiro) 8

Figure 9 : Installation des capteurs d'humidité dans le sol dans la noue M-623-A (crédit : Agiro) 8

Figure 10 : Localisation des différents instruments météorologiques utilisés pour l'étude 9

Figure 11 : Stations C et H (crédit : Agiro) 10

Figure 12 : (1) Noue M-583-B remplie d'eau et (2) Noue M-623-A ayant accumulé moins d'eau pour un même événement pluvieux (crédit : Agiro) 11

Figure 13 : Ruissellement de la chaussée qui se dirige de façon diffuse dans une noue de la rue des Geais (crédit : Agiro) 12

Figure 14 : Ruissellement se dirigeant de façon ponctuelle (ravinement) dans une noue de la rue Rosario-J.-Rhéaume (crédit : Agiro) 12

Figure 15 : Exemple de ravinement de l'accotement dans une noue en pente sur la rue Rosario-J.-Rhéaume (crédit : Agiro) 13

Figure 16 : Exemple de déplacement de sédiments et de paillis dans une noue en pente sur la rue Rosario-J.-Rhéaume 13

Figure 17 : Seuil en pierres dans une noue de la rue Armand-Tremblay (crédit : Agiro) 14

Figure 18 : Seuil en pierres dans une noue avec un muret sur la rue Armand-Tremblay (crédit : Agiro) 14

Figure 19 : Exemple de correctif du ravinement par l'ajout de pierres (crédit : Agiro) 14

Figure 20 : Deuxième exemple de correctif du ravinement par l'ajout de pierres 14

Figure 21 : Aire de biorétention sur la rue du Canard-Huppé peu de temps après la plantation des végétaux (crédit : Agiro) 15

Figure 22 : Le gazon à l'entrée de l'aire de biorétention sur la rue du Canard-Huppé crée une restriction au ruissellement (crédit : Agiro) 15

Figure 23 : Entrée d'eau dans l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé en temps de pluie à la suite des correctifs apportés (crédit : Agiro) 15

Figure 24 : Échantillonnage à la sortie du drain collecteur des noues de la rue des Moraines en date du 15 juin 2021 (crédit : Agiro) 16

Figure 25 : Comparaison de la turbidité de l'eau à l'entrée du Marais Bellevue (à gauche) avec celle à la sortie des drains collecteurs des noues de la rue des Moraines (à droite) pour l'événement de pluie du 21 juin 2021 (crédit : Agiro) 19
Figure 26 : Hauteur d'eau dans la noue végétalisée M-623-A pour la période d'étude 2021 21
Figure 27 : Hauteur d'eau dans l'aire de biorétention pour la période d'étude 2021 22
Figure 28 : Vue de la noue M-623-A le 14 juin 2021 (crédit : Agiro) 23
Figure 29 : Vue de la noue M-623-A le 14 juin 2021 (crédit : Agiro) 23
Figure 30 : Vue de la noue M-623-A le 14 juin 2021 (crédit : Agiro) 24
Figure 31 : Vue d'une noue de la rue des Moraines le 11 août 2021 (crédit : Agiro) 24
Figure 32 : Hauteur d'eau dans la noue M-623-A en fonction de la pluviométrie pour l'événement du 11 août 2021 24
Figure 33 : Hauteur d'eau dans l'aire de biorétention en fonction de la pluviométrie pour l'événement du 11 août 2021 25
Figure 34 : (1) Vue d'une noue de la rue des Moraines le 30 juin 2021, (2) et (3) vue de la noue M-623-A étudiée le 30 juin 2021 (crédit : Agiro) 25
Figure 35 : Hauteur d'eau dans la noue M-623-A en fonction de la pluviométrie pour l'événement du 30 juin 2021 (le trop-plein est situé à 13cm de hauteur) 26
Figure 36 : Engorgement des noues de la rue des Moraines avec une surverse vers le trop-plein le 21 juin 2021 (crédit : Agiro) 27
Figure 37 : Vue de la noue M-623-A végétalisée étudiée de la rue des Moraines le 21 juin 2021 28
Figure 38 : Hauteur d'eau dans la noue M-623-A en fonction de la pluviométrie pour l'événement du 21 juin 2021 29
Figure 39 : Points d'échantillonnage de la rue des Moraines 36
Figure 40 : Points d'échantillonnage de la rue Armand-Tremblay 37
Figure 41 : Points d'échantillonnage de la rue Rosario-J.-Rhéaume 38
Figure 42 : Dispositif expérimental de la noue végétalisée (vue du dessus) 40
Figure 43 : Dispositif expérimental de la noue végétalisée (vue de profil) 40
Figure 44 : Dispositif expérimental de l'aire de biorétention (vue du dessus) 41

Liste des tableaux

Tableau 1 : Plan de suivi global 2020-2021 5
Tableau 2 : Période de suivi 6
Tableau 3 : Description et objectif des points d'échantillonnage 6
Tableau 4 : Descriptions et objectif des sites étudiés pour le volet 3 7
Tableau 5 : Caractéristiques des trois événements pluvieux étudiés 16
Tableau 6 : Paramètres physico-chimiques (métaux et phosphore exclus) à la sortie des noues pour trois événements pluvieux 17
Tableau 7 : Concentration des métaux à la sortie des noues pour trois événements pluvieux 18
Tableau 8 : Limitations relatives à l'étude 30
Tableau 9 : Constats généraux de suivi de la qualité et de la réduction des volumes d'eau de ruissellement du projet de réaménagement du système de gestion des eaux pluviales par des pratiques de gestion optimales dans six rues du secteur du lac du Saint-Charles 32
Tableau 10 : Recommandations pour un suivi futur de noues végétalisées 33
Tableau 11 : Équipements utilisés lors de l'étude 39
Tableau 12 : Résumé des méthodes analytiques utilisées dans les laboratoires de la Ville de Québec dans le cadre du projet de suivi de la qualité de l'eau des affluents du lac Saint-Charles (Campagne 2020-2021) 42
Tableau 13 : Ensemble des 69 événements pluvieux recensés lors de la période d'étude et leurs caractéristiques 45
Tableau 14 : Classes de qualité de l'eau pour chaque paramètre de l'IBQP (Hébert, 1997) 47

1 Introduction

1.1 Contexte

La Ville de Québec et Agiro effectuent depuis plus de 10 ans un suivi exhaustif de la qualité de l'eau du lac Saint-Charles et de tous les cours d'eau qui alimentent la prise d'eau potable. Les données recueillies visent notamment à informer et à soutenir les fonctionnaires et les décideurs dans la priorisation des actions à poser pour la protection de cette source d'eau qui montre des signes de dégradation. Ces données confirment que le ruissellement urbain (eaux pluviales) est une source de contamination du lac et des cours d'eau qui l'alimentent. En effet, plus de la moitié des affluents du lac Saint-Charles montre une problématique liée à l'anthropisation (APEL, 2016). Il a ainsi été mis en évidence que plus un tributaire draine des zones urbanisées, moins bonne est la qualité de l'eau à son exutoire. Sur la base de ces informations, plusieurs études (APEL, 2015, 2010) commandées par la Ville de Québec sur la gestion des eaux pluviales ont permis d'identifier les problématiques, de proposer des solutions et de les prioriser.

C'est dans ce contexte qu'est né le projet du *Suivi de la qualité et de la réduction des volumes d'eau de ruissellement du projet de réaménagement du système de gestion des eaux pluviales par des pratiques de gestion optimales dans six rues du secteur du lac Saint-Charles* (PEV180668).

Ce projet est réalisé grâce au *Programme de soutien aux municipalités dans la mise en place d'infrastructures de gestion durable des eaux de pluie (ministère des Affaires municipales et de l'Habitation*). Ce dernier répond aux objectifs du Plan pour une économie verte 2030.

Pour l'obtention de la subvention, la Ville de Québec s'est engagée à effectuer un suivi de la qualité et de la réduction des volumes d'eau de ruissellement des ouvrages en 2020 et 2021 et a mandaté Agiro pour le faire. Par ailleurs, ce suivi s'inscrit dans le programme de suivi des ouvrages de gestion des eaux pluviales du bassin versant du lac Saint-Charles mené par Agiro et la Ville de Québec. Ce rapport présente une synthèse du suivi effectué en 2020 et 2021.

Figure 1 : Photographie aérienne du lac Saint-Charles et vue sur l'urbanisation au sud-ouest du plan d'eau (crédit : William Verge)

1.2 Description de la zone à l'étude et des pratiques de gestion optimales implantées

Dans le cadre de ce projet visant à de meilleures pratiques de gestion optimales (PGO) des eaux pluviales, 130 noues végétalisées et une aire de biorétention ont été installées le long de six rues localisées au sud-ouest du Lac Saint-Charles (rues des Moraines, Rosario-J.-Rhéaume, Armand-Tremblay, Gaétan, des Geais et du Canard Huppé). La configuration est similaire pour l'ensemble des rues concernées : une rangée de noues est située de part et d'autre de la rue. Dans les pentes, des seuils ont été ajoutés pour ralentir le ruissellement. Les Figures 2 et 3 montrent respectivement une coupe type d'une noue végétalisée construite dans le cadre du projet et une photographie d'une noue. Les Figures 4 et 5 montrent respectivement la coupe de l'aire de biorétention située rue du Canard-Huppé ainsi qu'une photographie de cette dernière.

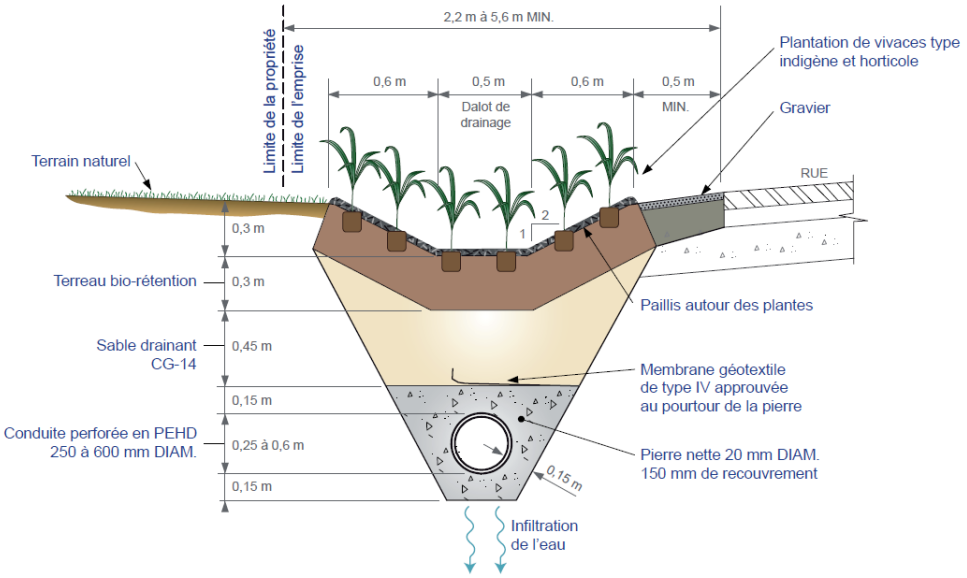

Figure 2 : Coupe transversale type d'une noue végétalisée (WSP, 2019)

Figure 3 : Noue végétalisée rue Gaétan (crédit : Mélanie Jean, 2021)

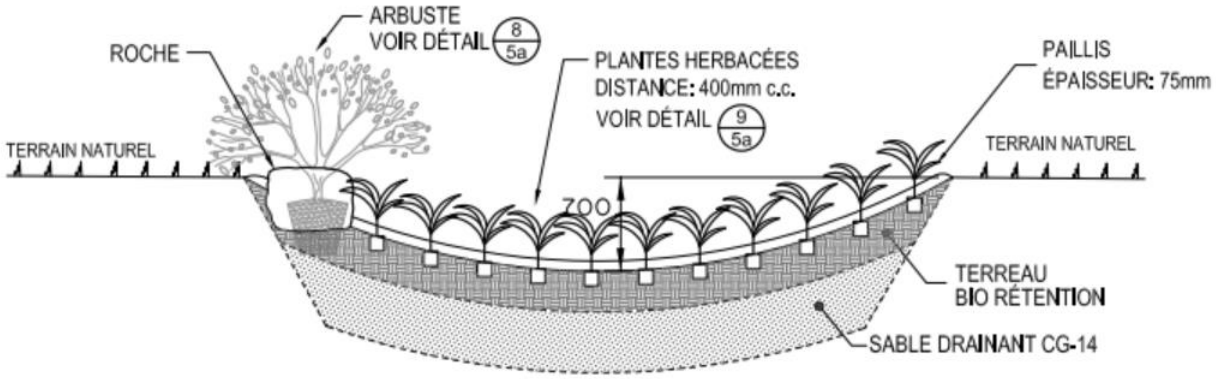

Figure 4 : Coupe transversale de l'aire de biorétention (WSP, 2019)

Figure 5 : Aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé (crédit : William Verge, 2021)

Les zones drainées par les PGO se situent dans deux sous-bassins versants du lac Saint-Charles dont les exutoires se déversent aux stations d'échantillonnage C et H (Figure 6). Ces deux stations sont suivies dans le cadre du suivi des tributaires du lac Saint-Charles (programme de suivi de la qualité de l'eau d'Agiro et de la Ville de Québec, en vigueur depuis 2010) afin d'obtenir l'ensemble des paramètres nécessaires au calcul de l'indice de la qualité bactériologique et physicochimique (IQBP ; Hébert, 1997). La méthodologie utilisée pour l'analyse des paramètres de la qualité de l'eau est présentée dans le *Suivi des rivières du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles – Campagne 2019, Agiro, Québec, 126 pages* (Agiro, 2021).

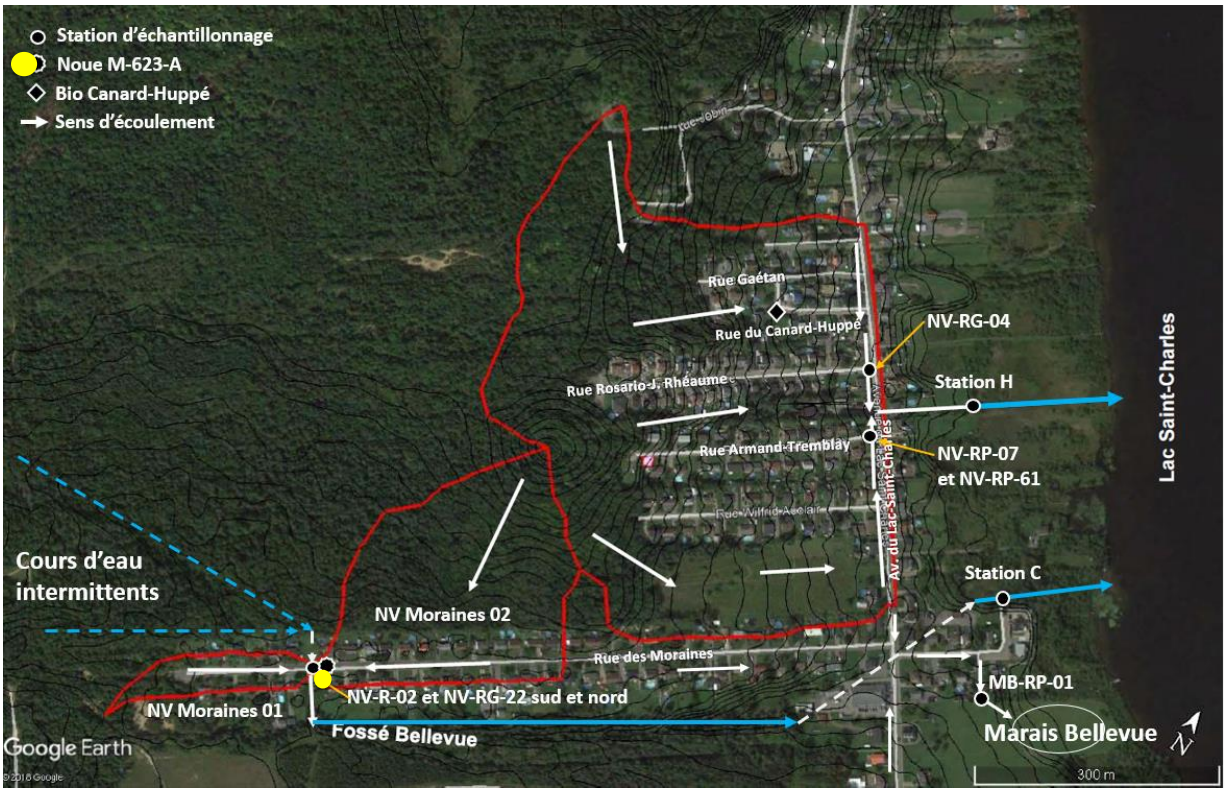

Figure 6 : Bassins versants des six rues à l'étude avec le sens d'écoulement approximatif et l'hydrographie conceptuelle, la localisation des PGO à l'étude et les stations d'échantillonnage (carte adaptée de WSP, 2019).

1.3 Objectif du suivi 2020-2021

L'objectif global du suivi est de fournir un constat quant aux infrastructures mises en place dans les rues à l'étude. Plus précisément, il documente, d'une part, les observations générales du comportement des infrastructures, d'autre part, la qualité de l'eau et la réduction des volumes d'eau de ruissellement par les pratiques de gestion optimales des eaux pluviales.

Les résultats obtenus lors de cette étude sont présentés dans ce rapport en trois parties :

- Le premier volet porte sur les observations générales des ouvrages étudiés (volet 1 : suivi visuel).
- Un second volet permet d'évaluer un aperçu global de traitement du réaménagement des six rues sur la qualité de l'eau rejetée au lac (volet 2 : qualité de l'eau).
- Un dernier volet vise à documenter le comportement individuel des PGO aménagées en termes d'infiltration de la pluie (volet 3 : quantité d'eau).

Enfin, l'ensemble des limitations liées à l'étude sont présentées à la section 4.

2 Méthodologie

Cette section traite de la méthodologie en lien avec le plan de suivi global, la période de suivi, les sites à l'étude et les objectifs spécifiques qui y sont rattachés.

2.1 Plan de suivi global

Le Tableau 1 présente le plan de suivi global du projet. Il identifie, selon les volets de l'étude, les paramètres étudiés, les points d'échantillonnage, la fréquence et les instruments utilisés.

Tableau 1 : Plan de suivi global 2020-2021

Type de suivi		**Visuel (volet 1)**	**Qualité de l'eau (volet 2)**	**Quantité d'eau (volet 3)**	
Paramètres		Observations	Nutriments (azote total, azote ammoniacal, nitrites et nitrates, phosphore[1], chlorures, métaux[2], matières en suspension (MES))	Hauteur de l'eau, humidité relative	Débit
Localisation (voir détails à la section 2.3)	**Rue des Moraines**	X	X	X	
	Rue Rosario-J. Rhéaume	X	X		
	Rue Armand-Tremblay	X	X		
	Rue Gaétan	X			
	Rue des Geais	X			
	Biorétention Canard-Huppé	X		X	
	Exutoires C et H	X	X (sauf métaux)		X
Fréquence		De façon régulière en temps de pluie et temps sec	Échantillonnage manuel pendant trois événements pluvieux[3]	Mesures en continu	Lors de l'échantillon--nage
Instruments requis (voir détails à la section 2.4)		Appareil photo	Perche d'échantillonnage	Capteur de pression Hobo et Decagon 10HS	Flotteur ou chaudière

[1] À la suite d'une erreur de configuration dans le système de gestion des analyses de laboratoire de la Ville de Québec, les échantillons de nutriments prélevés pour le phosphore n'ont pas été analysés pour le suivi de la qualité d'eau à la sortie des drains collecteurs des noues (R. Drouinaud, chimiste, Ville de Québec, communication par courriel, 17 septembre 2021).

[2] Fer, plomb, cadmium, cuivre, zinc, nickel.

[3] Les échantillons ont été prélevés manuellement selon la méthode proposée par Behmel 2010. Les échantillons ont été par la suite envoyés au laboratoire de la Ville de Québec pour analyse.

2.2 Période de suivi

Le suivi s'est déroulé en 2020 et 2021 au cours des périodes décrites au Tableau 2.

Tableau 2 : Période de suivi

Type de suivi	Période
Volet 1 : Visuel	• Réalisé à différents moments dans l'année pour couvrir plusieurs situations météorologiques (2020 et 2021)

Volet 2 : qualité de l'eau	• Stations C et H :
	  ○ 11 échantillonnages pour 2020 (d'avril à novembre)
	  ○ 14 échantillonnages pour 2021 (de mai à juillet)
	• Exutoire des drains collecteurs des noues : échantillonnage à trois reprises en temps de pluie à l'été 2021 (de mai à juillet)

Volet 3 : quantité d'eau	• Hauteur d'eau et humidité relative dans la noue M-623-A et dans l'aire de biorétention (juillet à octobre 2020 ; mai à octobre 2021)

2.3 Sites à l'étude et objectifs spécifiques

Une étude des PGO réalisée sur plusieurs sites est nécessaire en vue d'atteindre les objectifs du suivi.

Pour le volet 1 sur les observations générales, l'ensemble des ouvrages ont été visités en temps de pluie. Pour le volet 2 sur la qualité de l'eau, les stations d'échantillonnage sont présentées au Tableau 3 et sont illustrées en Annexe 1.

Tableau 3 : Description et objectif des points d'échantillonnage

Point d'échantillonnage	Description et localisation	Objectifs spécifiques
NV-R-02	Regard à la sortie du drain collecteur prioritaire de la rue des Moraines	Évaluer la qualité de l'eau à la sortie des noues
NV-RG-22-sud	Regard à la sortie du drain collecteur secondaire de la rue des Moraines – conduite arrivant du sud de la rue	Évaluer la qualité de l'eau à la sortie des noues
NV-RG-22-nord	Regard à la sortie du drain collecteur secondaire de la rue des Moraines – conduite arrivant du nord de la rue	Évaluer la qualité de l'eau à la sortie des noues
NV-RG-04	Regard à la sortie du drain collecteur prioritaire de la rue Rosario-J.-Rhéaume	Évaluer la qualité de l'eau à la sortie des noues
NV-RG-07	Regard à la sortie du drain collecteur prioritaire de la rue Armand-Tremblay	Évaluer la qualité de l'eau à la sortie des noues
NV-RP-61	Regard à la sortie du drain collecteur secondaire Armand-Tremblay	Évaluer la qualité de l'eau à la sortie des noues s'il n'y a pas d'eau au regard principal NV-RG-07
Station C	Station d'échantillonnage sur le fossé Bellevue à l'exutoire du sous-bassin versant C drainant notamment la rue des Moraines	Évaluer la qualité de l'eau à la sortie du sous-bassin versant C et mesurer le débit
Station H	Station d'échantillonnage à l'exutoire du sous-bassin versant H drainant notamment les rues des Geais, Gaétan, du Canard Huppé, Rosario-J.-Rhéaume et Armand-Tremblay	Évaluer la qualité de l'eau à la sortie du sous-bassin versant H et mesurer le débit

Pour le volet 3 sur la quantité d'eau, les sites sélectionnés sont présentés au Tableau 4. Les localisations sont précisées dans la Figure 6.

Tableau 4 : Descriptions et objectif des sites étudiés pour le volet 3

Sites	Descriptions et localisations	Objectif spécifique
Noue M-623-A	Noue située sur la rue des Moraines	Évaluer la conductivité hydraulique
Aire de biorétention	Aire de biorétention située dans la rue du Canard-Huppé	Évaluer la conductivité hydraulique

Il est important de noter que la noue M-623-A étudiée en 2020 et 2021 possède un environnement spécifique qui se démarque des autres noues. Un terrain vacant engazonné présent près de la noue pourrait avoir un impact sur la quantité et la qualité de l'eau observée, alors que les autres noues sont situées à proximité d'habitations.

Par ailleurs, la noue M-623-A a subi des travaux lors de la période de l'étude, impliquant ainsi des modifications dans la conception initiale du projet (Figure 7). Une entrée charretière avec un ponceau en béton a été créée en novembre 2020. Cette information sera prise en compte lors de l'analyse des résultats.

Figure 7 : Vue de la noue M-623-A avant les travaux le 17 juillet 2020 (à gauche) et après les travaux le 21 juin 2021 (à droite) (crédit : Agiro)

2.4 Installation et utilisation des équipements

Les sections suivantes présentent les principaux équipements utilisés. Le lecteur est invité à consulter l'Annexe 2 pour obtenir leur liste exhaustive ainsi que les détails techniques associés. L'Annexe 3 présente les schémas des dispositifs expérimentaux.

2.4.1 Capteurs de pression et d'humidité

Deux capteurs de pression ont été installés pour estimer la hauteur d'eau dans les ouvrages. Un capteur a été placé dans la noue M-623-A[1] ainsi que dans l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé. Au départ, le niveau du sol dans la noue M-623-A était considéré comme constant. Ainsi, le capteur de pression

[1] Les détails du dispositif des noues sont présentés dans le *Suivi de l'évolution des végétaux et des substrats implantés dans des systèmes végétalisés de gestion des eaux pluviales dans le secteur sud-ouest du lac Saint-Charles* (Champagne-Caron, 2021).

a été placé le plus près possible du trop-plein et au milieu de la noue afin de pouvoir identifier les surverses possibles. Par la suite, l'analyse des données et les observations visuelles ont démontré que le niveau du sol de la noue M-623-A n'était pas constant. Le capteur de pression dans l'aire de biorétention a été placé selon les mêmes conditions que celui de la noue M-623-A (Figure 8). Un troisième capteur a été installé hors eau à proximité de cette même noue pour mesurer la pression atmosphérique.

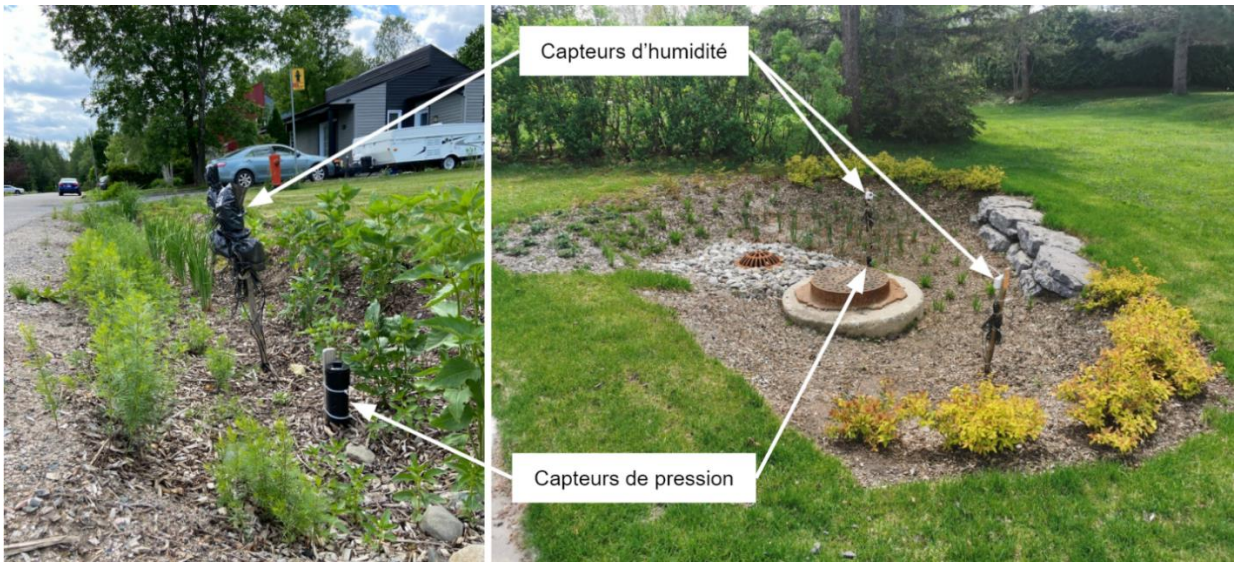

Figure 8 : Localisation des capteurs de pression et d'humidité dans la noue M-623-A (gauche) et dans l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé (droite) (crédit : Agiro)

Des capteurs d'humidité ont été placés à trois profondeurs différentes (100, 200 et 300 mm) dans la noue M-623-A ainsi que dans l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé afin d'identifier le profil d'humidité dans le sol (Figure 9).

Figure 9 : Installation des capteurs d'humidité dans le sol dans la noue M-623-A (crédit : Agiro)

Trois réplicats de capteurs d'humidité ont été installés dans la noue M-623-A et deux réplicats dans l'aire de biorétention (Figure 9). Les plans de l'organisation des instruments sur le terrain sont présentés à l'Annexe 3. Les données pour les capteurs de pression et d'humidité ont été enregistrées aux 5 minutes. Toutes les valeurs en dessous de 1 cm de hauteur d'eau pour les capteurs de pression ont été écartées.

2.4.2 Pluviomètres et autres instruments météorologiques

L'étude de la performance hydraulique des noues et de l'aire de biorétention requiert des données pluviométriques locales. Plusieurs pluviomètres ont été utilisés (Figure 10) : (1) un fournit par la Ville de Québec (VQ), mais qui a présenté des défaillances en cours de suivi, (2) un autre installé au centre communautaire Paul-Émile Beaulieu dans le cadre d'une étude de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), et (3) un dernier situé à l'est du lac Saint-Charles qui fait partie d'une station météorologique de la Ville de Québec désormais exploité par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

Figure 10 : Localisation des différents instruments météorologiques utilisés pour l'étude (source : Agiro)

2.4.3 Équipements pour la mesure des débits aux stations C et H

La mesure des débits a été adaptée selon les conditions hydriques au moment de l'échantillonnage et la configuration de la station (Figure 11). Ainsi, pour la station H, comme elle se situe à la sortie d'un ponceau, la méthode utilisée est celle du rapport volume/temps. Un seau gradué ou une tasse à mesurer ainsi qu'un chronomètre ont été utilisés pour estimer le temps requis pour remplir un volume d'eau connu. Une moyenne de 3 à 5 mesures est effectuée pour déterminer le débit. Lors de certains échantillonnages, la méthode du rapport volume/temps n'était pas possible, car le débit était trop important, c'est alors la méthode de l'aire d'écoulement multipliée par la vitesse qui a été préconisée. Cette méthode a été utilisée

pour déterminer tous les débits de la station C. Pour calculer l'aire d'écoulement, différentes hauteurs d'eau équidistantes ont été mesurées le long d'une section transversale d'écoulement à l'aide d'un ruban à mesurer et une règle de 1 m. Ensuite, une vitesse a été mesurée à l'aide d'un flotteur qui parcourt une distance connue. Une moyenne de 3 mesures a été gardée pour le calcul du débit. Le flotteur utilisé est un bouchon de liège, car il reste visible et est submergé à 80 % dans l'eau, ce qui limite son influence par le vent. Comme ce sont des petits ruisseaux, trois vitesses au même endroit ont été considérées pour déterminer le débit.

Figure 11 : Stations C et H (crédit : Agiro)

2.4.4 Analyse des paramètres de la qualité de l'eau

Les résultats obtenus ont été comparés à des valeurs de référence de deux indicateurs de la qualité de l'eau : (i) une version simplifiée et modifiée de l'indice de la qualité bactériologique et physicochimique (IQBP) développé par Hébert (1997), (ii) les critères de la qualité de l'eau de surface proposés par le MELCC (MDDEFP,2002; MELCC, 2022).La méthodologie utilisée pour l'analyse des paramètres de la qualité de l'eau par l'indice simplifié et modifié de la qualité bactériologique et physicochimique (IQBP) est consultable dans le rapport *Suivi des rivières du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles - Campagne 2019* (Agiro, 2021).

Il est important de noter que l'IQBP et les critères de la qualité de l'eau de surface du MELCC ont été élaborés pour caractériser des rivières et des petits cours d'eau, et non des exutoires de PGO. Cependant, en l'absence d'outils d'évaluation spécifiques aux PGO, ces indices sont les plus à même de nous aider à catégoriser l'efficacité de ces ouvrages et à comparer les différences de la qualité de l'eau des tributaires avant et après leur mise en place.

Par ailleurs, les méthodes de laboratoire utilisées sont décrites à l'Annexe 4.

3 Résultats

Cette section traite de la présentation des résultats des différents volets présentés à la section 1.3.

3.1 Observations générales (volet 1)

Les noues et l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé ont été visitées à 35 reprises entre le 6 mai 2020 et 1er octobre 2021. Ces visites ont permis de documenter le comportement des noues durant différents événements pluvieux et de suivre l'état des ouvrages durant leurs deux premières années de fonctionnement. Les sections suivantes présentent les principaux constats.

3.1.1 Chaque noue est unique, mais la plupart se ressemblent

En période de pluie, la majorité des noues fonctionne de manière similaire, collectant les eaux de ruissellement de leur bassin versant respectif. Toutefois, certaines noues ressortent du lot en récoltant davantage d'eau par rapport aux noues voisines ou en retenant l'eau plus longtemps. Il s'agit néanmoins de cas isolés (5 noues sur 130). La Figure 12 présente un de ces cas où pour un même événement pluvieux dans la rue des Moraines, la noue M-583-B (1) est remplie d'eau alors que la noue M-623-A (2) est vide.

Figure 12 : (1) Noue M-583-B remplie d'eau et (2) Noue M-623-A ayant accumulé moins d'eau pour un même événement pluvieux (crédit : Agiro)

Par ailleurs, l'infiltration de l'eau diffère également en fonction des noues. Il est possible d'observer de l'eau sortant des drains collecteurs d'un côté de la rue sans pour autant en observer de l'autre côté de la rue. Un événement pluvieux fait aussi varier le comportement des noues. Par exemple, pour un même événement pluvieux, certaines noues vont infiltrer l'entièreté de l'eau de ruissellement tandis que d'autres vont en relarguer dans le drain collecteur. Enfin, le temps d'infiltration de l'eau dans les noues varie : un drain collecteur peut avoir un débit après quelques minutes ou heures après la fin d'un événement pluvieux, tandis que la réponse d'autres noues peut être instantanée.

Le comportement hydraulique a été étudié plus précisément dans la noue M-623-A et l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé. Les résultats sont présentés à la section 3.3.

3.1.2 Correctifs nécessaires sur certaines noues

Dans la majorité des cas, l'eau de pluie entre dans les noues de façon diffuse à travers l'accotement (Figure 13). Toutefois, pour certaines cellules, elles se frayent un chemin plus ponctuel selon la topographie et les conditions locales (Figure 14). Cette dernière problématique a été observée sur une dizaine de noues généralement situées dans les sections pentues des rues étudiées (pente de 3 à 8 %).

Figure 13 : Ruissellement de la chaussée qui se dirige de façon diffuse dans une noue de la rue des Geais (crédit : Agiro)

Figure 14 : Ruissellement se dirigeant de façon ponctuelle (ravinement) dans une noue de la rue Rosario-J.-Rhéaume (crédit : Agiro)

En effet, le ravinement et l'érosion de certaines noues ont été les problématiques les plus constatées durant les visites de suivi. Les problématiques répertoriées présentent différents niveaux de gravité. Les Figures 15 et 16 présentent des exemples parmi les quelques cas les plus sévères. À noter que ces noues sont situées dans les sections de rue pentue (entre 3 et 8 % de pente).

Figure 15 : Exemple de ravinement de l'accotement dans une noue en pente sur la rue Rosario-J.-Rhéaume (crédit : Agiro)

Figure 16 : Exemple de déplacement de sédiments et de paillis dans une noue en pente sur la rue Rosario-J.-Rhéaume (crédit : Agiro)

La Figure 16 montre une accumulation de sédiments et de paillis autour du trop-plein. Ce phénomène a été observé sur quelques noues seulement, encore une fois principalement dans les pentes plus prononcées. Ces problématiques ont été signalées à la Ville de Québec en cours de suivi et des correctifs ont été apportés lors des deux années de suivi par l'ajout de seuils dans les zones pentues pour ralentir la vitesse de l'eau (Figures 17 et 18) et par l'ajout de pierres pour contrer l'érosion et les ravinements (Figures 19 et 20).

Figure 17 : Seuil en pierres dans une noue de la rue Armand-Tremblay (crédit : Agiro)

Figure 18 : Seuil en pierres dans une noue avec un muret sur la rue Armand-Tremblay (crédit : Agiro)

Figure 19 : Exemple de correctif du ravinement par l'ajout de pierres (crédit : Agiro)

Figure 20 : Deuxième exemple de correctif du ravinement par l'ajout de pierres (crédit : Agiro)

Ces observations démontrent que l'aménagement de noues sans entrée d'eau spécifiquement conçue à cette fin et propre à chacune des noues dépendamment de son milieu et de sa topographie (p. ex. des saillies dans les bordures de rues) doivent faire l'objet d'un certain suivi et que des correctifs sont à prévoir après les premières pluies importantes lors des premières années de mise en service, le temps que la végétation couvre l'entièreté de la noue.

3.1.3 Correctifs à l'entrée de l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé

L'eau de ruissellement entre dans l'aire de biorétention par une saillie dans la bordure de béton. Lors de la mise en service en 2020, l'eau y pénétrait sans problème (Figure 21). Cependant, la croissance du gazon a eu pour effet de créer une restriction au ruissellement (Figure 22). Cette situation a été reportée à la Ville de Québec et une correction sous la surface du gazon a été réalisée pour corriger la topographie et permettre à l'eau de frayer son chemin vers l'aire de biorétention (Figure 23).

Figure 21 : Aire de biorétention sur la rue du Canard-Huppé peu de temps après la plantation des végétaux (crédit : Agiro)

Figure 22 : Le gazon à l'entrée de l'aire de biorétention sur la rue du Canard-Huppé crée une restriction au ruissellement (crédit : Agiro)

Figure 23 : Entrée d'eau dans l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé en temps de pluie à la suite des correctifs apportés (crédit : Agiro)

3.2 Qualité de l'eau (volet 2)

Tel qu'expliqué à la section 1.3, l'évaluation de l'impact des noues sur la qualité de l'eau a été réalisée de deux façons qui sont présentées aux sections suivantes. L'ensemble des caractéristiques des événements pluvieux est présenté en Annexe 5.

3.2.1 Caractérisation de l'eau à la sortie des noues lors de trois événements pluvieux

Le deuxième volet visait à récolter des échantillons à la sortie des drains collecteurs lors de trois événements pluvieux en utilisant les regards d'accès (exemple à la Figure 24). Ces échantillons permettent d'obtenir un aperçu de la qualité de l'eau à la sortie des noues de façon ponctuelle.

Afin de mieux comprendre le comportement des noues et d'être en mesure d'interpréter les résultats de qualité de l'eau, il est nécessaire de caractériser les événements pluvieux observés. Comme le montre le Tableau 5, les événements observés diffèrent en termes de durée, d'intensité moyenne, de hauteur totale ou encore de jours sans pluie antécédente (JSPA).

Tableau 5 : Caractéristiques des trois événements pluvieux étudiés

Identifiant	Date	Caractéristiques de l'événement			
		Durée (min.)	Intensité moyenne (mm/h)	Hauteur totale (mm)	JSPA (j)
#1	15 juin 2021	725	1,09	13,2	0
#2	21 juin 2021	105	12,0	21,0	2
#3	30 juin 2021	365	2,47	15,0	2

Les échantillons prélevés ont été envoyés pour analyse auprès du laboratoire de la Ville de Québec. Les résultats sont présentés aux Tableau 6 et 7.

Figure 24 : Échantillonnage à la sortie du drain collecteur des noues de la rue des Moraines en date du 15 juin 2021 (crédit : Agiro)

Tableau 6 : Paramètres physico-chimiques (métaux et phosphore[1] exclus) à la sortie des noues pour trois événements pluvieux

Paramètres *Seuils pour comparaison*	**Rue**	**#1** **15 juin 2021** Événement avec accumulation, mais **sans** débordement au trop-plein	**#2** **21 juin 2021** Événement avec accumulation et **avec** débordement au trop-plein	**#3** **30 juin 2021** Événement avec accumulation, mais **sans** débordement au trop-plein
Matières en suspension (mg/L) *Voir IQBP*	Des Moraines	● 15	● 100	● 2,8
	Rosario-J.-Rhéaume	● 4,8	● 58	Sec[2]
	Armand-Tremblay	● 4,2	● 40	● < 2
Azote ammoniacal (µg N/L) *Voir IQBP et < 1 500* µg N/*L*[3]	Des Moraines	● 23	● 270	● < 8
	Rosario-J.-Rhéaume	● 59	● 139	Sec[2]
	Armand-Tremblay	● 70	● 159	● < 8
Nitrites et nitrates (mg/L) *Voir IQBP et < 10 mg\L*[3]	Des Moraines	● 0,55	● 0,22	● 0,54
	Rosario-J.-Rhéaume	● 0,11	● 0,5	Sec[2]
	Armand-Tremblay	● 2,1	● 0,4	● 0,5
Azote total (mg/L)	Des Moraines	0,84	0,79	0,73
	Rosario-J.-Rhéaume	0,48	1,4	Sec[2]
	Armand-Tremblay	2,7	0,94	0,77
Chlorures (mg/L)	Des Moraines	1,6	2	4,8
	Rosario-J.-Rhéaume	1,4	8,3	Sec[2]
	Armand-Tremblay	5,7	4,7	5,4

Mise en perspective avec les classes de l'IQBP lorsqu'applicable (voir Annexe 6 pour les détails) :
● Bonne ; ● Satisfaisante ; ● Douteuse ; ● Mauvaise ; ● Très mauvaise

[1] Suite à une erreur de configuration dans le système de gestion des analyses de laboratoire de la Ville de Québec, les échantillons d'eau prélevés pour le phosphore n'ont pas été analysés pour le suivi de la qualité d'eau à la sortie des drains collecteurs des noues (R. Drouinaud, chimiste, Ville de Québec, communication par courriel, 17 septembre 2021).

[2] La mention Sec indique que l'exutoire était sec.

[3] Seuils associés aux critères de la prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) de la qualité de l'eau de surface (MELCC, 2022).

Tableau 7 : Concentration des métaux à la sortie des noues pour trois événements pluvieux

Paramètres *Seuils pour comparaison*	**Rue**	**15 juin 2021** Événement avec accumulation, mais **sans** débordement au trop-plein	**21 juin 2021** Événement avec accumulation et **avec** débordement au trop-plein	**30 juin 2021** Événement avec accumulation, mais **sans** débordement au trop-plein
Cadmium (mg/L) *< 0,005 mg/L*[1]	Des Moraines	NA[2]	< 0,001	< 0,001
	Rosario-J.-Rhéaume	< 0,001	< 0,001	Sec[3]
	Armand-Tremblay	NA[2]	< 0,001	0,0103
Cuivre (mg/L) *< 1 mg/L*[1]	Des Moraines	NA[2]	0,01	0,013
	Rosario-J.-Rhéaume	< 0,008	0,033	Sec[3]
	Armand-Tremblay	NA[2]	0,009	0,01
Fer (mg/L) *< 0,3 mg/L*[1]	Des Moraines	NA[2]	● 4,9	0,29
	Rosario-J.-Rhéaume	0,171	● 4,8	Sec[3]
	Armand-Tremblay	NA[2]	● 3,2	0,131
Nickel (mg/L) *< 0,07 mg/L*[1]	Des Moraines	NA[2]	0,007	0,002
	Rosario-J.-Rhéaume	< 0,001	0,004	Sec[3]
	Armand-Tremblay	NA[2]	0,002	0,002
Plomb (mg/L) *< 0,01 mg/L*[1]	Des Moraines	NA[2]	0,003	0,001
	Rosario-J.-Rhéaume	0,0011	0,002	Sec[3]
	Armand-Tremblay	NA[2]	0,001	0,005
Zinc (mg/L) *< 5 mg/L*[1]	Des Moraines	NA[2]	0,035	0,056
	Rosario-J.-Rhéaume	0,082	0,035	Sec[3]
	Armand-Tremblay	NA[2]	0,027	0,005

[1] Seuils associés aux critères de la prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) de la qualité de l'eau de surface (MELCC, 2022).

[2] Suite à une erreur d'analyse du laboratoire de la Ville de Québec, les échantillons prélevés pour l'analyse des métaux de 2021 pour le suivi de la qualité d'eau à la sortie des drains collecteurs des noues ont été écartés (R. Drouinaud, chimiste, Ville de Québec, communication par courriel, 29 mars 2022).

[3] La mention Sec indique que l'exutoire était sec.

De façon générale, les résultats de la qualité de l'eau montrent que, lors des événements de pluie sans débordement au trop-plein, l'eau à la sortie des drains collecteurs des noues est de bonne qualité pour les paramètres analysés (Tableaux 6 et 7). Concernant l'unique événement où l'eau s'est déversée dans le trop-plein, l'eau à la sortie des drains collecteurs est de moins bonne qualité, mais malgré tout meilleure qu'en l'absence de PGO lorsque comparée à un réseau de drainage « tout-à-l'égout ». Pour chacun des paramètres mesurés, voici la description détaillée des résultats présentés aux Tableaux 6 et 7 :

Matière en suspension (MES) : Les échantillons pour les deux événements sans débordement aux trop-pleins sont majoritairement de « bonne » qualité selon l'IQBP, à l'exception d'un échantillon de qualité « douteuse ». Pour l'événement avec débordement au trop-plein du 21 juin 2021, la concentration en MES varie de 40 à 100 mg/L en fonction des points d'échantillonnage (qualité de « mauvaise » à « très mauvaise » selon les critères de l'IQBP). Toutefois, il est possible de comparer ces résultats à la sortie d'un réseau de drainage « tout-à-l'égout » du marais Bellevue (localisation sur la Figure 6). Bien que le marais Bellevue ait une aire drainée plus grande que celles des noues végétalisées et reçoit un débit plus important, cette sortie du réseau de drainage peut être comparée à un ruissellement alimentant les noues. Ainsi, pendant le même événement pluvieux, la concentration en MES au marais Bellevue était de 1 200 mg/L. Cette différence notable de concentration est aussi montrée visuellement à la Figure 25.

Figure 25 : Comparaison de la turbidité de l'eau à l'entrée du Marais Bellevue (à gauche) avec celle à la sortie des drains collecteurs des noues de la rue des Moraines (à droite) pour l'événement de pluie du 21 juin 2021 (crédit : Agiro)

Seul un événement pluvieux ayant engendré un débordement vers le trop-plein des noues a été recensé sur les 69 événements pluvieux observés (Annexe 5). Les eaux de ruissellement passant en surverse grâce au trop-plein ne sont pas épurées. Ceci explique les mauvais résultats de qualité de l'eau obtenus pour l'événement du 21 juin 2021.

Azote ammoniacal : Le seuil de l'azote ammoniacal pour le critère de la Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) de l'eau de surface (MELCC, 2022) est de 1 500 µg N/L. Passé ce seuil, les propriétés organoleptiques et esthétiques de l'eau de consommation seront altérées. L'ensemble des échantillons sont en dessous de ce seuil. En comparant les concentrations mesurées avec l'IQBP, la qualité de l'eau est qualifiée de « bonne » à « satisfaisante ». Toutefois, pour mettre ces concentrations en perspective, la concentration moyenne en azote ammoniacal à la sortie d'un réseau de drainage « tout-à-

l'égout » au marais Bellevue pendant le même événement pluvieux (localisation sur la Figure 6) était de 411 µg /L.

Nitrites et nitrates : Tous les échantillons présentent une qualité d'eau « bonne » à « satisfaisante » sauf un échantillon de classe « mauvaise ». Cependant, ils respectent tous le critère de qualité de l'eau de surface de la Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) fixé à 10 mg/L (MELCC, 2022).

Azote total : Le seuil utilisé pour l'azote total a été établi selon les critères du MDDEFP (2002). Lorsque la concentration d'azote total est supérieure à 1 mg/L, l'hypothèse d'une surfertilisation du milieu aquatique peut être avancée. Il est à noter que ce critère a été retiré depuis par le ministère. Nous l'avons conservé à des fins de comparaison. Dans les eaux sortantes des drains collecteurs des noues, ce seuil est respecté sauf pour deux échantillons pour lesquels le seuil est dépassé. Les eaux de ruissellement sont drainées à travers un substrat composé entre autres d'azote, ce qui peut expliquer la forte concentration observée.

Chlorures : Concernant les chlorures, il est possible de comparer les eaux sortantes des noues aux tributaires du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles (Agiro, 2021). Les concentrations en chlorures à la sortie des drains collecteurs des noues peuvent être considérées comme faibles, ne dépassant pas 8,3 mg/L. Ces faibles concentrations sont attendues, car les rues du projet font l'objet d'un mode d'entretien hivernal alternatif où des interventions de grattage et l'utilisation d'abrasifs en remplacement des sels de voiries y sont privilégiées.

Métaux : L'ensemble des concentrations des métaux respectent les critères de la Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques) de la qualité de l'eau de surface associés (MELCC, 2022), à l'exception du fer lors de l'événement de pluie du 21 juin 2021.

3.2.2 Traitement et précautions à prendre lors de l'analyse des données

Dans le cas des données qualitatives des noues végétalisées ainsi que des exutoires C et H, les données peuvent être analysées en termes de concentrations, mais également en termes de charges journalières permettant de prendre en compte le débit.

Il est important de noter que les charges journalières sont calculées afin de pouvoir comparer les résultats entre les points d'échantillonnages. Elles représentent une tendance générale et ne sont pas à généraliser pour trois raisons principales : (i) les charges journalières sont calculées sur une série d'événements indépendants et différents ; (ii) au cours des nombreux événements observés, aucun événement n'a duré plus de 24h ; (iii) les concentrations et les débits ne sont pas constants lors d'un événement pluvieux, ils varient en fonction des caractéristiques de la pluie. L'unité de mesure est donc une extrapolation estimée des charges si une pluie durait une journée entière. Lors d'une analyse d'ouvrages de gestion des eaux pluviales, les charges journalières sont utilisées à titre informatif.

Dans l'étude, plusieurs limitations, présentées à la section 4, n'ont pas permis de calculer les charges journalières. Ainsi, la présente section a pour objectif de comprendre les limitations.

3.3 Quantité d'eau (volet 3)

Tel qu'expliqué à la section 1.3, l'évaluation de la réduction des volumes d'eau de ruissellement est présentée aux sections suivantes.

3.3.1 Fonctionnement global des noues en fonction de la pluviométrie

La hauteur d'eau dans la noue M-623-A ainsi que la teneur en eau volumique associées à la pluviométrie ont été suivies. Sur les 69 événements pluvieux survenus lors de la période d'étude (présentée à la section 3.1 et caractérisés en Annexe 5), seul un événement a engendré une surverse vers le trop-plein. Les résultats concernant la teneur en eau volumique ne seront pas présentés dans cette étude dus à des incertitudes trop importantes concernant les données (détails à la section 4). Seule une analyse exhaustive sera réalisée.

Tout d'abord, les capteurs de pression présents dans les noues végétalisées ainsi que dans l'aire de biorétention ont été mis en relation avec la pluviométrie (données récoltées à quelques centaines de mètres des lieux d'étude) et sont présentés dans les Figures 26 et 27.

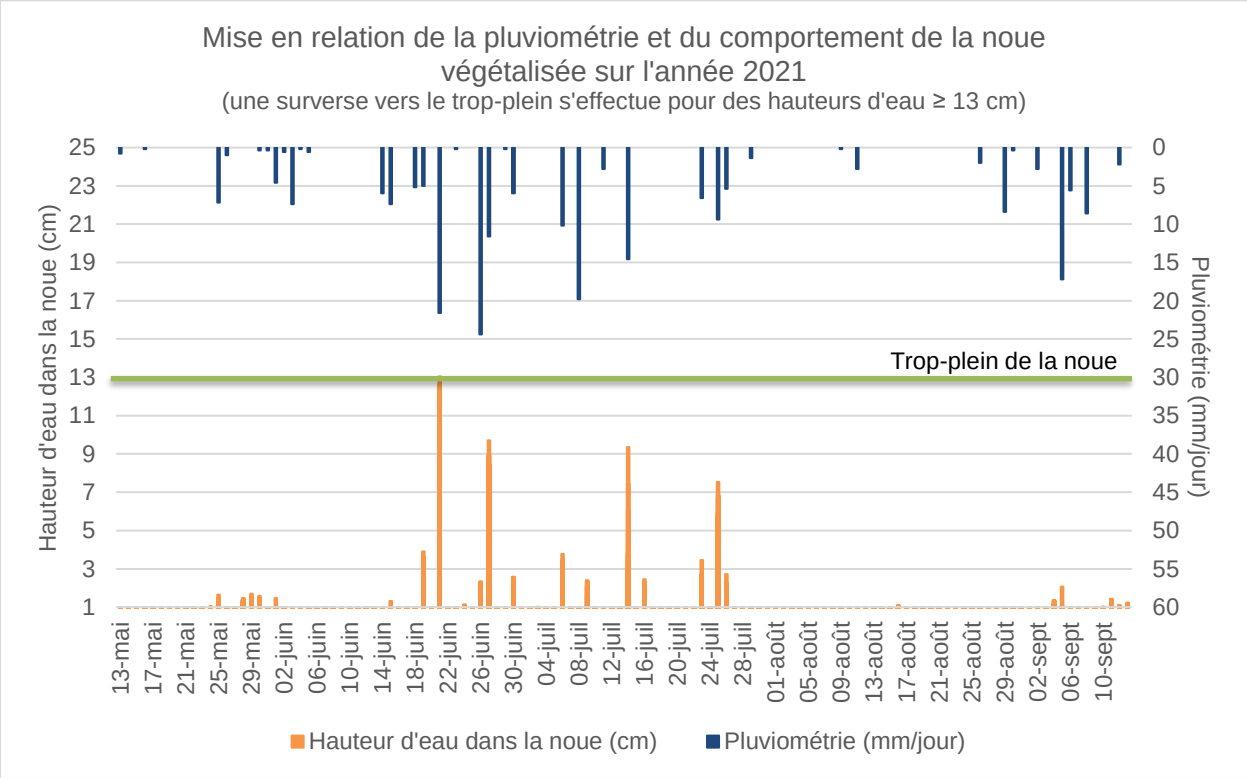

Figure 26 : Hauteur d'eau dans la noue végétalisée M-623-A pour la période d'étude 2021

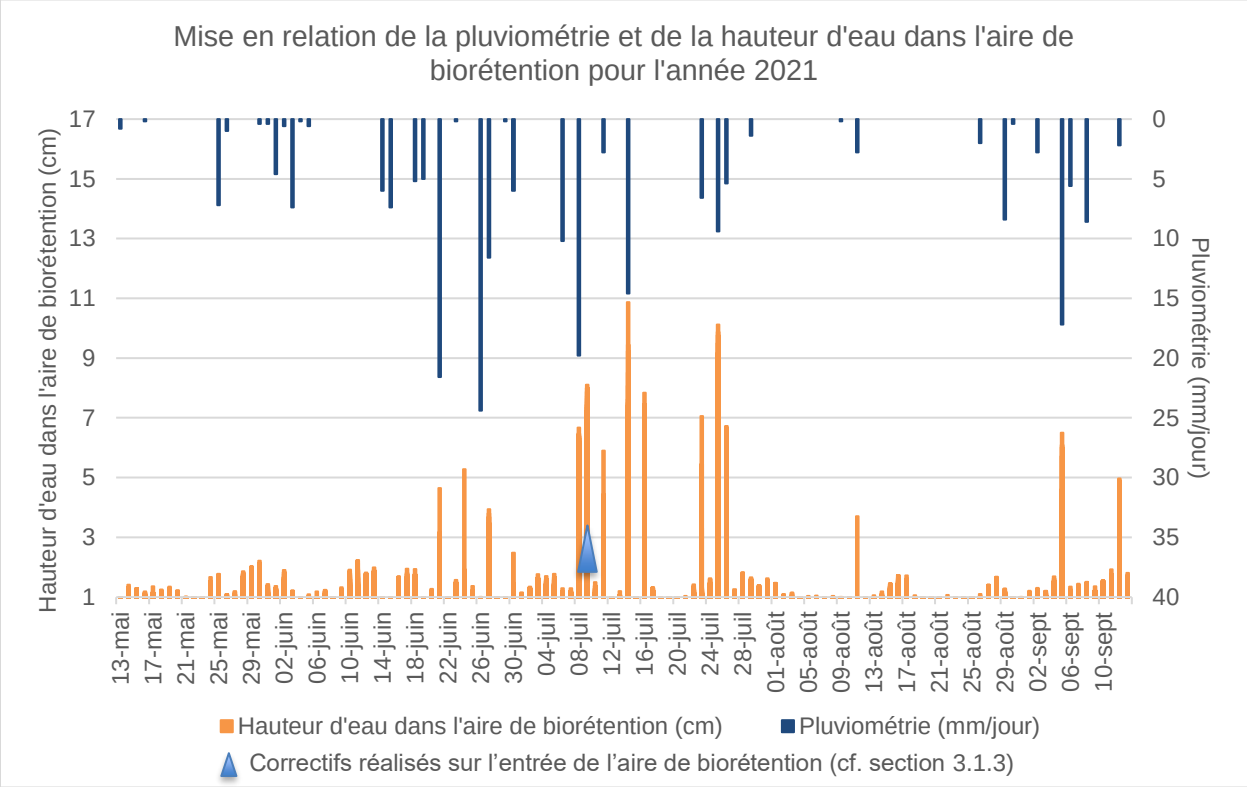

Figure 27 : Hauteur d'eau dans l'aire de biorétention pour la période d'étude 2021

Les Figures 26 et 27 présentent une étroite relation entre la pluviométrie et la hauteur d'eau dans les ouvrages. Ceci confirme que les ouvrages sont mis à contribution en temps de pluie.

Les hauteurs d'eau de la noue M-623-A peuvent s'expliquer, entre autres, par la création d'un ponceau profond par un citoyen à une extrémité (modifiant la noue pendant le suivi), engendrant une accumulation des eaux à cet endroit-ci. Dans cette noue spécifique, les eaux n'ont donc pas suffisamment le temps de stagner pour s'infiltrer dans le sol. Ce phénomène illustre l'importance de préserver l'intégrité de la noue M-623-A définie lors de sa construction et l'impact d'éléments perturbateurs tels que les ponceaux par exemple. Par ailleurs, les caractéristiques du bassin versant de cette noue peuvent expliquer ces résultats, l'aire drainée par les noues étant spécifique à chaque noue. La topographie et l'emplacement du capteur peuvent également faire varier les valeurs.

À partir du 9 juillet 2021, les hauteurs d'eau dans l'aire de biorétention sont plus importantes (Figure 27). Ceci peut s'expliquer par les correctifs apportés à l'entrée de celle-ci, ce qui a permis une redirection des eaux vers l'ouvrage.

3.3.2 Évaluation de la capacité de la noue pour une pluie de « qualité »

Selon les critères de conception, il a été prévu que la pluie de « qualité » correspondant à 26 mm sur 360 min. puisse s'infiltrer en moins de 24h dans les noues sans que les trop-pleins ne soient utilisés (WSP,2019). Sur les 69 événements étudiés pour la noue M-623-A, 68 événements ont percolé sans engendrer une surverse vers les trop-pleins. Ainsi, les ouvrages ont infiltré la quasi-totalité des pluies observées en 2021 malgré un événement qui a engendré une surverse vers le trop-plein (événement de pluie du 21 juin 2021). Cet événement a duré moins de 120 min, avec une hauteur d'eau totale de 21 mm et une intensité maximale de 12 mm/h. Bien qu'il soit un cas isolé dans l'étude, il correspond à une pluie de « qualité » et doit être pris en compte dans l'analyse du comportement des ouvrages.

Au départ, les noues ont été conçues pour infiltrer la pluie de « qualité » lors de plus de 90 % des événements pluvieux (WSP, 2019). Grâce à l'analyse de l'ensemble des événements pluvieux observés pendant la période d'étude (Annexe 5) et le suivi visuel, il est possible de noter deux éléments clés :

- Un seul événement pluvieux a engendré une surverse dans les trop-pleins des noues. Cet événement est caractérisé par une pluie de « qualité » selon les normes de conception des noues (WSP, 2019) ;
- Deux événements pluvieux sont caractérisés par des hauteurs d'eau supérieures à 26 mm. Ces deux événements ne sont donc pas considérés comme des pluies de « qualité » selon les normes de conception des noues (WSP, 2019). Toutefois, ces deux mêmes événements pluvieux n'ont pas engendré de surverses vers les trop-pleins des noues. Ceci peut s'expliquer par la durée de ces événements pluvieux qui étaient de 320 et 695 minutes.

3.3.3 Analyse détaillée de trois événements pluvieux

Les événements pluvieux ont engendré trois types de comportements de la noue M-623-A et de l'aire de biorétention. Les sections suivantes traitent d'une analyse spécifique d'un type d'événement pluvieux de chacune des trois catégories (cas n°1 : sans accumulation d'eau, cas n°2 : avec accumulation d'eau mais sans débordement au trop-plein, cas n°3 : avec accumulation d'eau et débordement au trop-plein).

3.3.3.1 Cas n°1 : Événement sans accumulation dans la noue M-623-A

Ce cas se concentre sur une pluie de « qualité » n'ayant engendré ni accumulation d'eau dans la noue M-623-A, ni surverse par débordement vers le trop-plein. Ainsi, l'entièreté des eaux de ruissellement s'est infiltrée dans le sol. L'événement qui sera étudié est celui du 11 août 2021.

Les Figures 28 à 31 présentent les événements du 14 juin et du 11 août 2021 qui ont été similaires.

Figure 28 : Vue de la noue M-623-A le 14 juin 2021 (crédit : Agiro)

Figure 29 : Vue de la noue M-623-A le 14 juin 2021 (crédit : Agiro)

Figure 30 : Vue de la noue M-623-A le 14 juin 2021 (crédit : Agiro)

Figure 31 : Vue d'une noue de la rue des Moraines le 11 août 2021 (crédit : Agiro)

La Figure 32 montre l'absence d'accumulation d'eau dans la noue M-623-A. Une confirmation visuelle sur le terrain a également permis de confirmer l'absence d'eau dans les drains collecteurs. Ainsi, toutes les eaux de ruissellement se sont infiltrées.

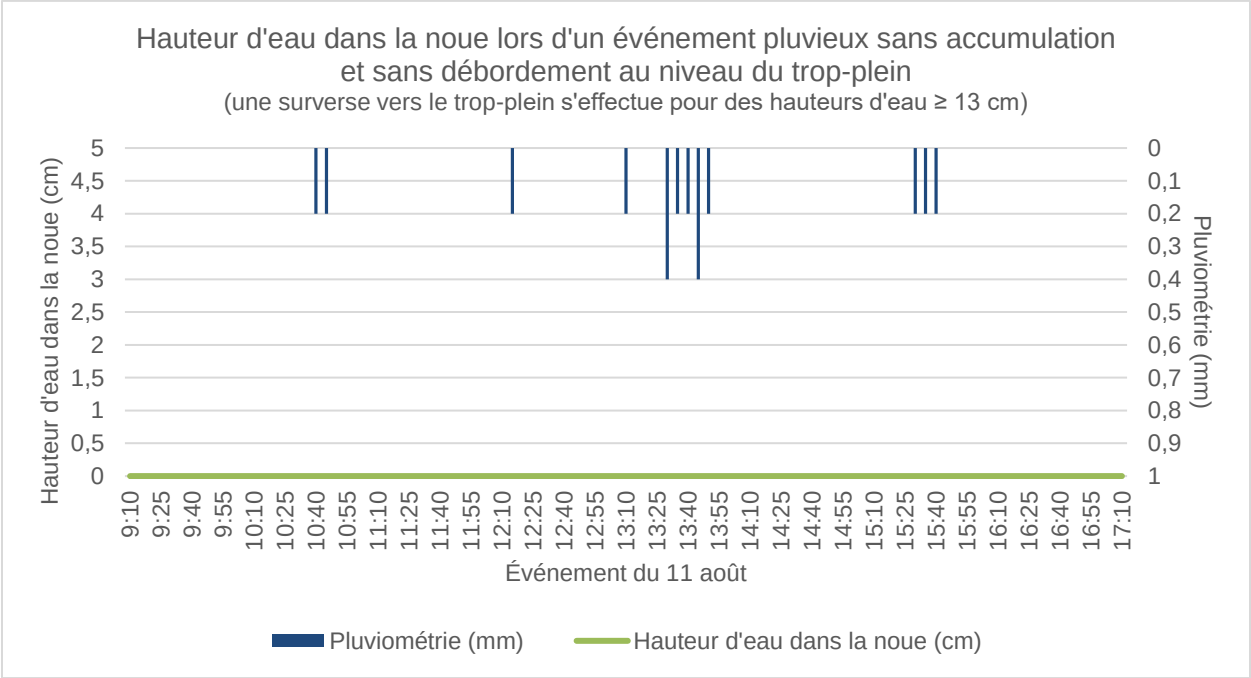

Figure 32 : Hauteur d'eau dans la noue M-623-A en fonction de la pluviométrie pour l'événement du 11 août 2021

Concernant l'aire de biorétention, hormis un pic de hauteur d'eau vers 13h40, une absence d'eau dans l'ouvrage est observée (Figure 33). Le pic de hauteur d'eau suggère un bon acheminement des eaux de ruissellement de la rue du Canard-Huppé vers l'aire de biorétention.

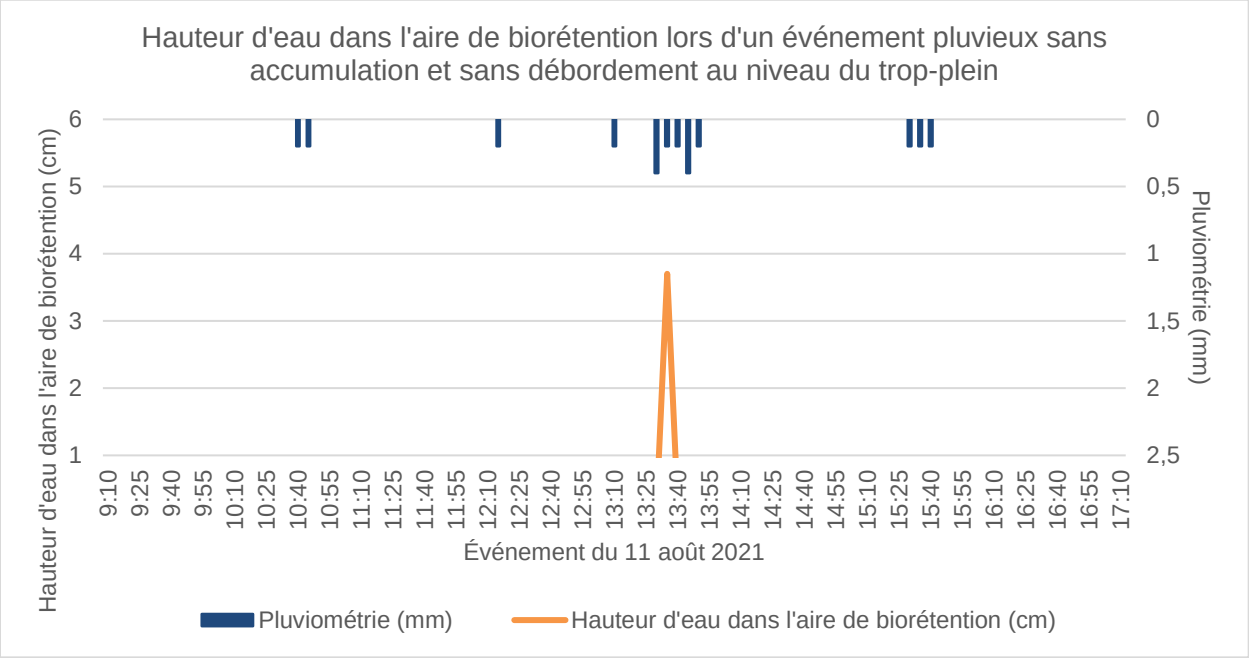

Figure 33 : Hauteur d'eau dans l'aire de biorétention en fonction de la pluviométrie pour l'événement du 11 août 2021

3.3.3.2 Cas n°2 : Événement avec accumulation, mais sans débordement au trop-plein

Lors de nombreuses pluies, il est possible d'observer une infiltration d'une grande quantité d'eau dans le sol, engendrant une saturation de celui-ci. Les eaux sont alors collectées dans le drain collecteur. Lors de ces événements, aucun débordement dans le trop-plein n'est observé. L'événement du 30 juin 2021 a été choisi comme exemple et est présenté à la Figure 34.

Figure 34 : (1) Vue d'une noue de la rue des Moraines le 30 juin 2021, (2) et (3) vue de la noue M-623-A étudiée le 30 juin 2021 (crédit : Agiro)

Lors du 30 juin 2021, un événement ayant engendré une infiltration de l'eau dans le sol ainsi qu'un surplus dans les canalisations collectrices a été observé (Figure 35). Lors de celui-ci, un échantillon à la rue des Moraines a été prélevé (triangle orange). Or, aucune hauteur d'eau dans la noue M-623-A n'a été recensée par les outils de mesure en place, insinuant ainsi que l'entièreté de l'eau de ruissellement s'est infiltrée dans la noue. Vers 17 h, un second événement pluvieux est venu alimenter la noue M-623-A, qui s'est alors remplie. L'eau ayant été infiltrée et le temps entre les deux événements étant court, le sol s'est probablement saturé, expliquant le pic de hauteur d'eau dans la noue M-623-A à cette heure.

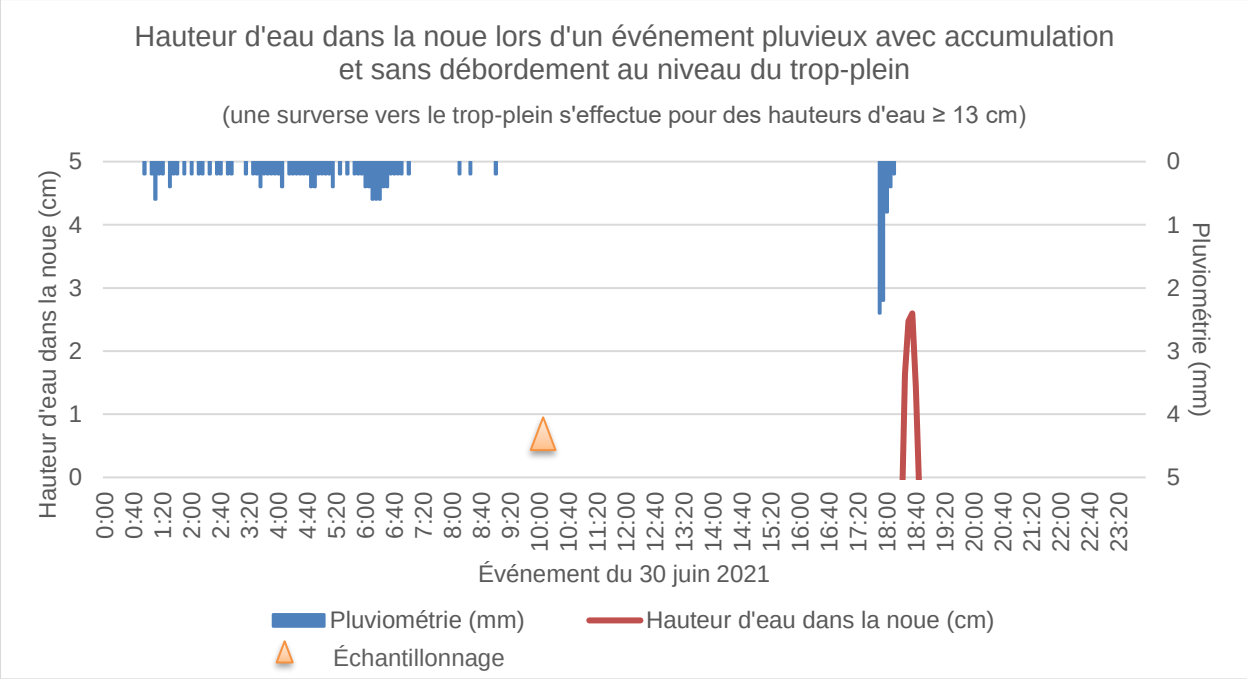

Figure 35 : Hauteur d'eau dans la noue M-623-A en fonction de la pluviométrie pour l'événement du 30 juin 2021 (le trop-plein est situé à 13 cm de hauteur)

3.3.3.3 Cas n°3 : Événement avec accumulation jusqu'à débordement au trop-plein

Lors de ce type d'événement, une accumulation importante d'eau dans les noues engendre un débordement dans les trop-pleins. Dans ce cas-ci, l'événement pluvieux étant intense et court, l'eau n'a pas eu le temps de s'infiltrer suffisamment, ce qui a impliqué une surverse de l'eau de surface dans les trop-pleins des noues. L'événement du 21 juin 2021 a été choisi comme exemple pour illustrer ce cas. La Figure 36 présente la situation à la rue des Moraines.

Figure 36 : Engorgement des noues de la rue des Moraines avec une surverse vers le trop-plein le 21 juin 2021 (crédit : Agiro)

Une analyse plus précise de la noue M-623-A sur la rue des Moraines peut être réalisée. Cependant, il est important de noter que le ponceau à l'est de la noue M-623-A ainsi que le micro-bassin étudié n'est pas entièrement représentatif du comportement des noues en général. Par exemple, les Figures 36 et 37 montrent une nette différence de hauteur d'eau dans la noue M-623-A étudiée.

Figure 37 : Vue de la noue M-623-A végétalisée étudiée de la rue des Moraines le 21 juin 2021

De plus, la réponse de la noue face à un événement pluvieux est quasiment instantanée (Figure 38). L'intervalle de temps entre le début de la pluie et la première hauteur d'eau mesurée dans la noue peut s'expliquer par la topographie de la noue ainsi que par l'emplacement du capteur. En effet, les eaux ruissellent vers la noue depuis ses extrémités. Des mini-bassins sont présents dans les premiers mètres aux extrémités de la noue, permettant une rétention de l'eau dans les premiers instants de la pluie. Il faut qu'il y ait suffisamment d'eau pour que le capteur, situé au centre, détecte une présence d'eau. Ceci explique le délai de 20 à 25 minutes entre le début de l'événement pluvieux et le début d'accumulation d'eau autour du capteur (Figure 38).

Enfin, la hauteur d'eau disparait totalement près de 75 minutes après le début de l'événement pluvieux, suggérant ainsi que l'entièreté de l'eau s'est infiltrée ou est passée en surverse par le trop-plein pendant cet intervalle de temps.

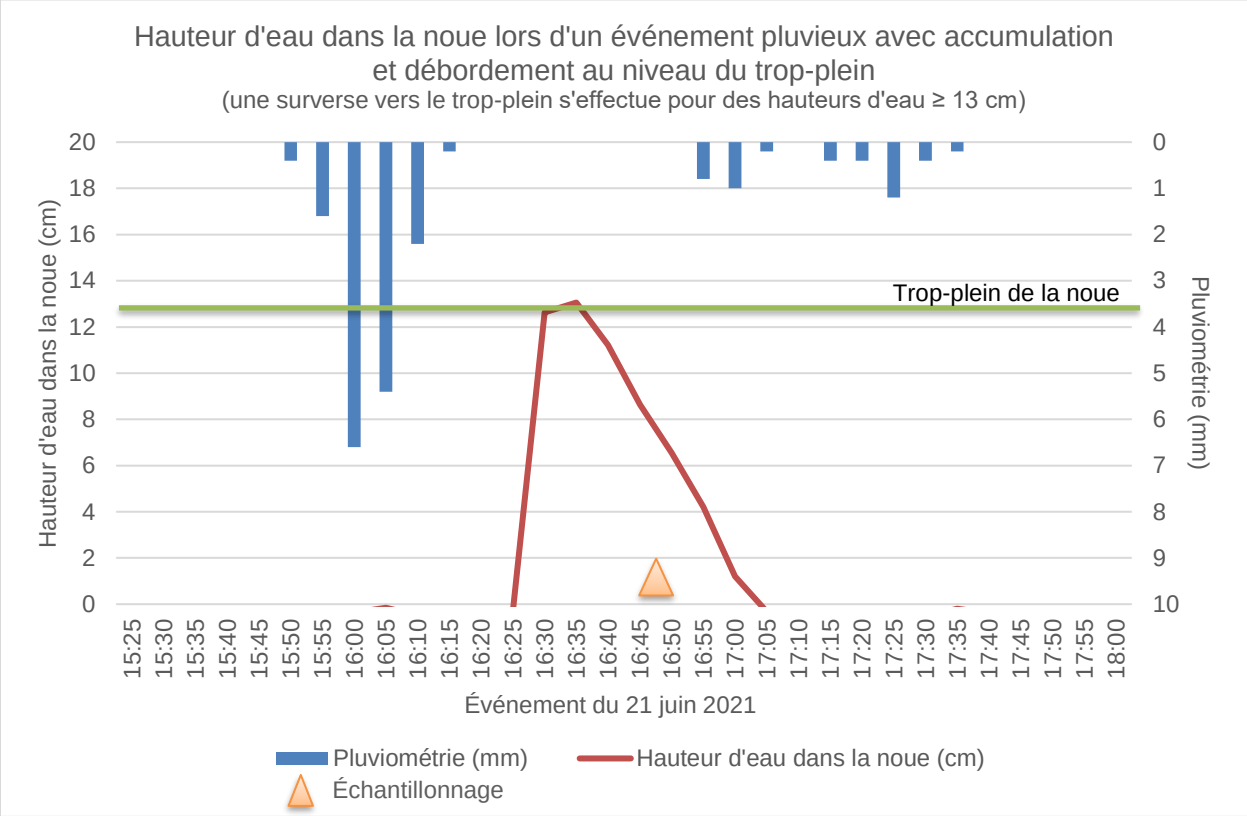

Figure 38 : Hauteur d'eau dans la noue M-623-A en fonction de la pluviométrie pour l'événement du 21 juin 2021

Concernant la teneur en eau volumique, les résultats ne seront pas présentés dans cette étude dus à des incertitudes trop importantes concernant les données (détails à la section 4). Seule une analyse exhaustive sera réalisée. Il est possible d'observer le même profil que sur la Figure 38 pour les trois profondeurs (10, 20 et 30 cm). Il faut 1h35 au sol pour retrouver le même profil hydrique qu'avant l'événement pluvieux. Ainsi, le temps nécessaire pour que le sol retrouve un profil hydrique similaire pré-pluie est inférieur à 2h. Par ailleurs, l'eau dans le sol lors d'un épisode pluvieux ne dépasse jamais 45 % d'humidité relative. À ce stade, le sol a atteint sa capacité au champ, ce qui correspond à la capacité de rétention maximale en eau du sol.

4 Limitations relatives à l'étude

Pour donner suite aux précédentes sections, il était prévu de réaliser une analyse comparative des exutoires C et H avant l'implantation des noues végétalisées et du marais Bellevue (2012 à 2018) et après l'implantation de ces infrastructures (2020 à 2021). Une comparaison entre les résultats à la sortie du drain collecteur des noues et un tributaire ayant un bassin versant non impacté par l'anthropisation était également prévue.

Or, lors de l'analyse des données et de l'étude, des limitations ont été observées, empêchant d'émettre des conclusions sur certains aspects du suivi (Tableau 8). Les difficultés rencontrées sont les suivantes :

Tableau 8 : Limitations relatives à l'étude

Catégories de limitations	Types de limitations	Conséquences des limitations
Changements des ouvrages au cours du projet	Le site à l'étude a été modifié de sa conception initiale.	Ces travaux ont engendré une modification du comportement général de la noue.
Limitations relatives au design du suivi	Le site à l'étude en temps de pluie ne semble pas représentatif du comportement de l'ensemble des noues de la rue en tout temps. Chaque noue est unique et l'environnement autour de la noue pourrait influencer son comportement.	Il est difficile de définir une généralité du comportement des noues basé sur l'analyse spécifique de la noue M-623-A.
Limitations relatives au terrain	Les débits aux exutoires C et H ont été collectés à titre informatif et n'ont pas pu être analysés. Ces débits ont été collectés ponctuellement dans le cadre d'un suivi de la qualité de l'eau des tributaires.	Les débits ne peuvent pas être utilisés étant donné que les objectifs de l'étude sont différents du suivi des tributaires. Les débits ne sont pas adaptés pour répondre aux objectifs de cette étude.
	Chaque événement pluvieux possède ses propres caractéristiques en termes de hauteur d'eau, d'intensité ou encore de durée. Ainsi, un événement pluvieux spécifique engendre une réponse spécifique du comportement des infrastructures. Dans le cadre du suivi des tributaires C et H ou encore à la sortie des drains collecteurs, les échantillons ont été collectés à une date et une heure choisies aléatoirement. Par conséquent, les échantillons peuvent avoir été prélevés au début, au milieu ou à la fin d'une pluie. Ces caractéristiques de l'échantillonnage vont ainsi venir influencer les résultats des paramètres physico-chimiques.	Les résultats des exutoires C et H ne peuvent pas être utilisés étant donné que les objectifs de l'étude sont différents du suivi des tributaires. Ces résultats ne sont pas adaptés pour répondre aux objectifs de cette étude. Concernant les résultats à la sortie des drains collecteurs des noues, ils sont présentés afin d'obtenir un aperçu de la qualité de l'eau.

Catégories de limitations	Types de limitations	Conséquences des limitations
Limitations relatives au terrain	Les débits à la sortie des drains collecteurs des noues n'ont pas pu être collectés.	Les charges journalières ne peuvent pas être calculées. L'analyse des résultats entre les différents événements pluvieux, dépendamment du débit, n'est pas réalisable.
	L'échantillonnage à la sortie des drains collecteurs des noues a été réalisé seulement à 3 reprises.	L'objectif initial de ces échantillonnages était d'obtenir un aperçu de la qualité de l'eau. Pour une meilleure analyse statistiquement significative, un plus grand nombre de sorties et d'événements pluvieux auraient été nécessaires.
Limitations relatives à l'analyse des données	Les analyses des données de capteurs de pression de 2020 n'ont pas abouti à des résultats représentatifs.	L'absence de ces données réduit la capacité d'interprétation des résultats.
	Les analyses des données des capteurs d'humidité de 2020 et 2021 n'ont pas permis une analyse représentative due à une trop grande incertitude dans les résultats.	
	Le nombre de campagnes d'échantillonnage pour l'analyse des stations C et H entre les périodes d'étude (2012 à 2018 et 2020 à 2021) n'est pas égal.	Il n'est pas convenable de présenter les résultats afin d'en réaliser une analyse.
	Le taux de percolation des noues ne peut pas être calculé. En effet, une pluie peut être discontinue dans le temps, engendrant des apports d'eau de ruissellement discontinus dans la noue. Une mesure du taux de percolation peut être interrompue par un nouveau ruissellement arrivant dans la noue.	La capacité de percolation de la noue ne peut être analysée.
Limitation relative aux données manquantes	Les données de phosphore et de certains métaux n'ont pas été analysées.	Ces informations manquantes engendrent une limite dans l'analyse du comportement de l'ouvrage.
Limitation relative aux équipements de mesure	Chaque équipement possède ses propres incertitudes. Par exemple, pour les capteurs de pression dans l'aire de biorétention, toutes les valeurs en dessous de 1 cm de hauteur d'eau ont été écartées.	Ces incertitudes engendrent une limitation dans les données obtenues.

5 Conclusion

Le *Suivi de la qualité et de la réduction des volumes d'eau de ruissellement du projet de réaménagement du système de gestion des eaux pluviales par des pratiques de gestion optimales dans six rues du secteur du lac Saint-Charles* s'est déroulé en 2020 et 2021. Les objectifs étaient de fournir un constat quant aux infrastructures mises en place dans les rues à l'étude. Plus précisément, il documente, d'une part, les observations générales (volet 1), d'autre part, la qualité de l'eau (volet 2) et la réduction des volumes d'eau de ruissellement (volet 3) par les pratiques de gestion optimales des eaux pluviales.

L'analyse des données recueillies par les instruments, les campagnes d'échantillonnage et les 32 visites de terrain a permis d'établir les constats suivants (Tableau 9) :

Tableau 9 : Constats généraux de suivi de la qualité et de la réduction des volumes d'eau de ruissellement du projet de réaménagement du système de gestion des eaux pluviales par des pratiques de gestion optimales dans six rues du secteur du lac du Saint-Charles

Catégorie	Constats
Observations générales	• Bien que chaque noue soit unique (topographie spécifique, bassin versant respectif, etc.), la majorité des noues se comportent de façon similaire. • Des correctifs ont été nécessaires pour quelques noues situées dans les zones les plus pentues (ravinement, érosion, seuils) et au sein de l'aire de biorétention de la rue du Canard-Huppé (obstruction à l'entrée du ruissellement). • Des travaux modifiant la conception initiale des noues induisent un changement dans le comportement de ces dernières.
Qualité de l'eau	• Visuellement, la qualité des eaux sortant du drain collecteur des noues comparée à celle du « tout-à-l'égout » du marais Bellevue est meilleure. • Pour les trois sorties d'échantillonnage à la sortie du drain collecteur des noues, la qualité de l'eau est, selon l'IQBP, de « bonne » à « satisfaisante » pour les événements avec accumulation d'eau dans la noue sans débordement au trop-plein. • Les événements pluvieux entrainant un débordement au trop-plein semblent engendrer une meilleure qualité de l'eau à la sortie des drains collecteurs selon la matière en suspension rapportée, et ce comparativement aux événements pluvieux ayant engendré un ruissellement collecté à la sortie d'un réseau de drainage « tout-à-l'égout » du marais Bellevue, comparable au ruissellement alimentant les noues. • Les événements pluvieux provoquant un débordement au trop-plein semblent être à l'origine d'une qualité de l'eau moins bonne à la sortie des drains collecteurs selon la matière en suspension rapportée, et ce comparativement aux événements pluvieux ayant engendré une accumulation d'eau sans débordement au trop-plein. • Les métaux sont peu présents en termes de concentration dans les drains collecteurs à la sortie des noues, excepté pour le fer lors de l'unique événement avec débordement au trop-plein.
Quantité d'eau	• Les noues ont totalement infiltré les précipitations de 68 des 69 événements pluvieux couverts par l'étude. • Un seul événement pluvieux a engendré une surverse dans les trop-pleins des noues. Cet événement est caractérisé par une pluie de « qualité » selon les normes de conception des noues (WSP, 2019).

Catégorie	Constats
Quantité d'eau	• Deux événements pluvieux sont caractérisés par des hauteurs d'eau supérieures à 26 mm. Ces deux événements ne sont donc pas considérés comme des pluies de « qualité » selon les normes de conception des noues (WSP, 2019). Toutefois, ces deux mêmes événements pluvieux n'ont pas engendré de surverses vers les trop-pleins des noues. • L'accumulation d'eau pour la grande majorité des événements de pluie et les noues s'est toujours infiltrée en moins de 120 min. • Le temps nécessaire pour que le sol retrouve un profil hydrique similaire pré-pluie est inférieur à 120 min.

Ces constats permettent de conclure que les noues améliorent la qualité de l'eau et diminuent la quantité de polluants arrivant au lac Saint-Charles.

Des problématiques mineures d'érosion et de ravinement ont été remarquées lors des deux années de suivi et ont été rapportées à la Ville de Québec, qui a effectué les correctifs nécessaires. Il est toutefois recommandé de poursuivre le suivi visuel des PGO au moins pendant une année supplémentaire (2022) afin d'observer l'évolution de l'érosion et du ravinement.

À la suite de cette étude, les recommandations pour le suivi de la qualité et de la réduction des volumes d'eau de ruissellement de noues végétalisées sont présentées dans le Tableau 10 :

Tableau 10 : Recommandations pour un suivi futur de noues végétalisées

Catégorie	Recommandations
Observations générales	• Choisir un site à l'étude qui est le plus représentatif possible de l'ensemble des ouvrages de la rue. Par exemple, bien qu'un terrain engazonné vacant de propriété municipale soit plus facile à suivre, ce dernier n'est pas représentatif des autres noues pour lesquelles il y a des habitations limitrophes car le ruissellement des entrées charretières, des allés d'accès piéton et autre occupation de la cour avant a des impacts sur la qualité et la quantité d'eau de ruissellement.
Suivi des événements pluvieux	• Utiliser un pluviomètre à proximité du site à l'étude afin de réduire l'incertitude des données obtenues. • Suivre précisément les caractéristiques des pluies telles que la hauteur d'eau, l'intensité ou encore la durée, afin de comprendre les comportements des ouvrages. • Comparer la pluie de « qualité » théorique aux caractéristiques des pluies observées.
Visuel	• Documenter, à l'aide de photos et de vidéos, le suivi visuel. • Suivre visuellement plusieurs noues végétalisées dans une rue, en plus de la noue spécifique étudiée, afin de pouvoir comparer le comportement des ouvrages entre eux. En effet, bien que la plupart des noues se ressemblent, chaque noue est unique. • Suivre visuellement les noues pendant plusieurs événements pluvieux afin d'obtenir un aperçu du comportement en fonction des caractéristiques de la pluie. • Observer les exutoires des drains collecteurs des noues lors de chaque événement pluvieux. Une absence d'eau est une information.

Catégorie	Recommandations
Qualitatif	• Réaliser un suivi de la qualité de l'eau issue de deux rues d'un même secteur présentant des caractéristiques hydrologiques similaires, l'une étant toutefois de type conventionnel et l'autre possédant des ouvrages de biorétention, pourrait être une avenue intéressante afin d'apprécier davantage le potentiel d'amélioration globale de la qualité des eaux de ruissellement issues de rues équipées de ce type d'ouvrage. • Réaliser un maximum de campagnes d'échantillonnage à la sortie des drains collecteurs des noues végétalisées pour établir un portrait de la qualité de l'eau. • Diversifier les campagnes d'échantillonnage en fonction des caractéristiques des pluies. Par exemple, suivre des événements avec ou sans débordement au trop-plein. • Échantillonner à des heures différentes lors d'une même pluie afin d'observer l'évolution de la qualité de l'eau en aval de l'ouvrage. • Collecter les débits aux exutoires des drains collecteurs des noues afin de comparer les résultats de qualité d'eau en termes de charges journalières. • Analyser les métaux peut s'avérer non pertinent si aucune activité majeure rejetant ces éléments n'a cours dans le bassin versant.
Quantitatif	• Utiliser des capteurs de pression permet d'observer les accumulations d'eau dans les noues. Cependant, l'hétérogénéité du niveau du fond de l'ouvrage peut créer des zones d'accumulation d'eau préférentielles. Le choix de l'emplacement des capteurs de pression doit donc tenir compte de cette condition afin que celui-ci demeure représentatif de l'ensemble du comportement de la biorétention. • Utiliser des capteurs d'humidité donne des résultats ayant des incertitudes importantes. La pertinence d'utiliser ce type d'instrumentation dans le cadre de ce type de suivi pourrait être ré-évalué. • Réaliser un suivi régulier des instruments de mesure pour vérifier leur fonctionnalité est nécessaire. • Réaliser un suivi en continu du débit issu de deux rues d'un même secteur présentant des caractéristiques hydrologiques similaires, l'une étant toutefois de type conventionnel et l'autre possédant des ouvrages de biorétention, pourrait être une avenue intéressante afin d'apprécier davantage le potentiel de réduction des volumes d'eau issues de rues équipées de ce type d'ouvrage.

6 Bibliographie

Agiro (2021) *Suivi des rivières du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles - Campagne 2019*.

APEL (2010) *Soutien technique au processus décisionnel relatif à la transformation de fossés et concepts d'amélioration de la gestion des eaux pluviales dans le bassin versant de la prise d'eau de Château-d'Eau*. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec.

APEL (2015) *Propositions pour améliorer la gestion des eaux pluviales dans le secteur sud et sud-ouest du lac Saint-Charles*. Québec.

APEL (2016) *Diagnose du lac Saint-Charles 2016*. Québec.

Behmel S (2010) *Proposition d'un programme de suivi de la qualité d'eau à l'échelle du bassin versant de la rivière Saint-Charles*. Québec, Université Laval, 421 p.

Champagne-Caron J (2021) *Suivi de l'évolution des végétaux et des sols implantés dans des systèmes végétalisés de gestion des eaux pluviales dans le secteur sud-ouest du lac Rapport final 2021*.

Hébert S (1997) *Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec*. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq no EN/970102.

MDDEFP (2002) *Critères de qualité de l'eau de surface.*. [En ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp, (consulté en octobre 2019).

MELCC (2022) *Critères de qualité de l'eau de surface*. [En ligne] http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp, Page consultée le 7 décembre 2020.

WSP (2019) *Réaménagement du système de gestion des eaux pluviales par des pratiques de gestion optimale dans six rues du secteur Lac-Saint-Charles - Rapport de gestion des eaux pluviales*. Préparé pour la Ville de Québec (projet PEV180668). 18 p. et annexes.

7 Annexes

Annexe 1 Points d'échantillonnage des trois rues étudiées

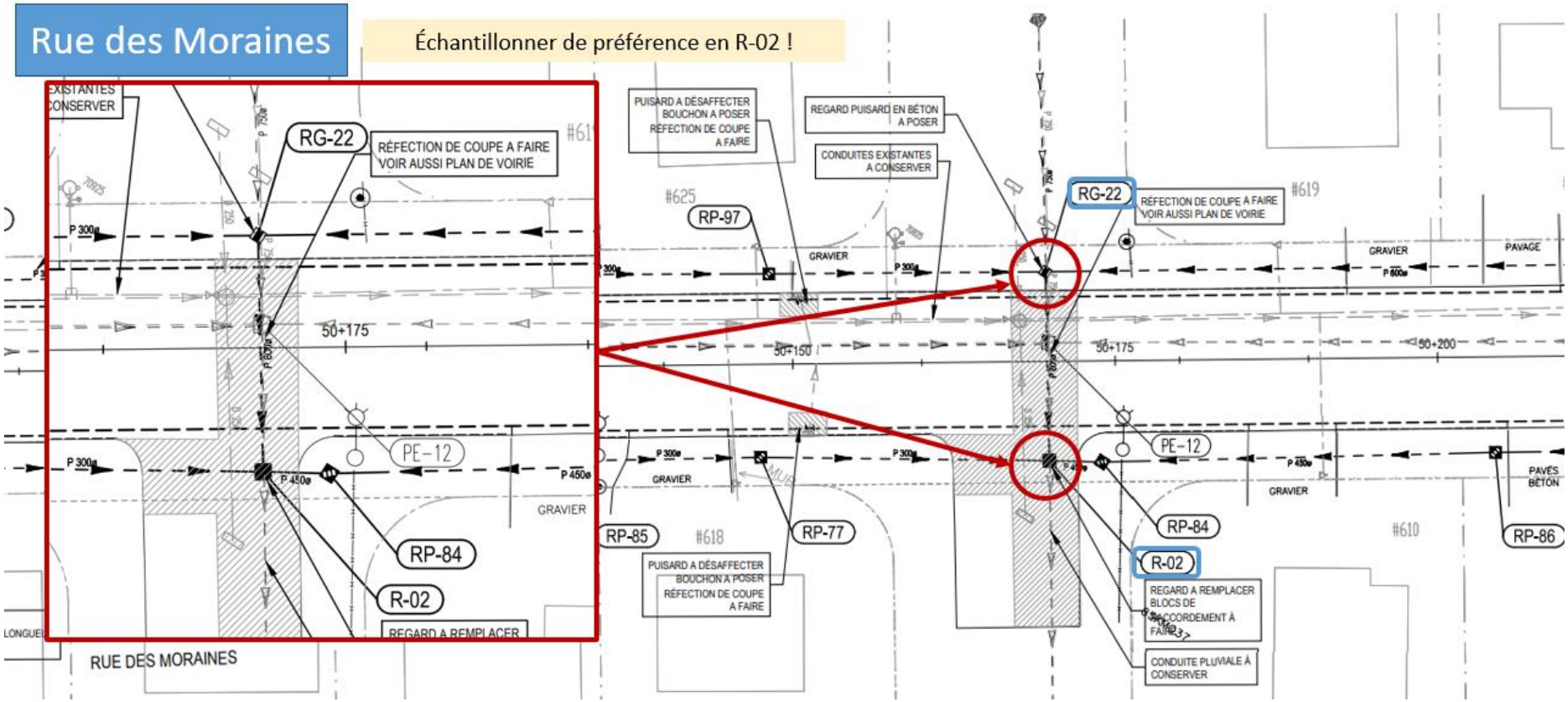

Figure 39 : Points d'échantillonnage de la rue des Moraines

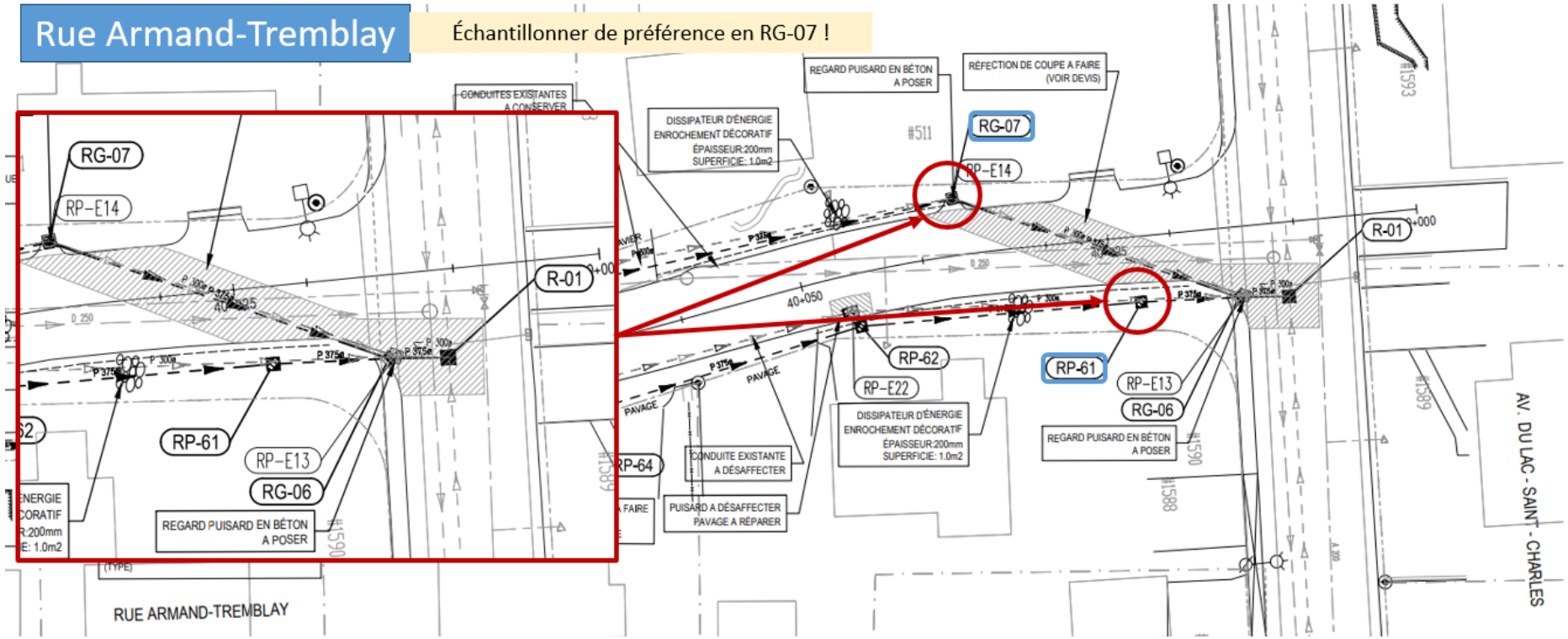

Figure 40 : Points d'échantillonnage de la rue Armand-Tremblay

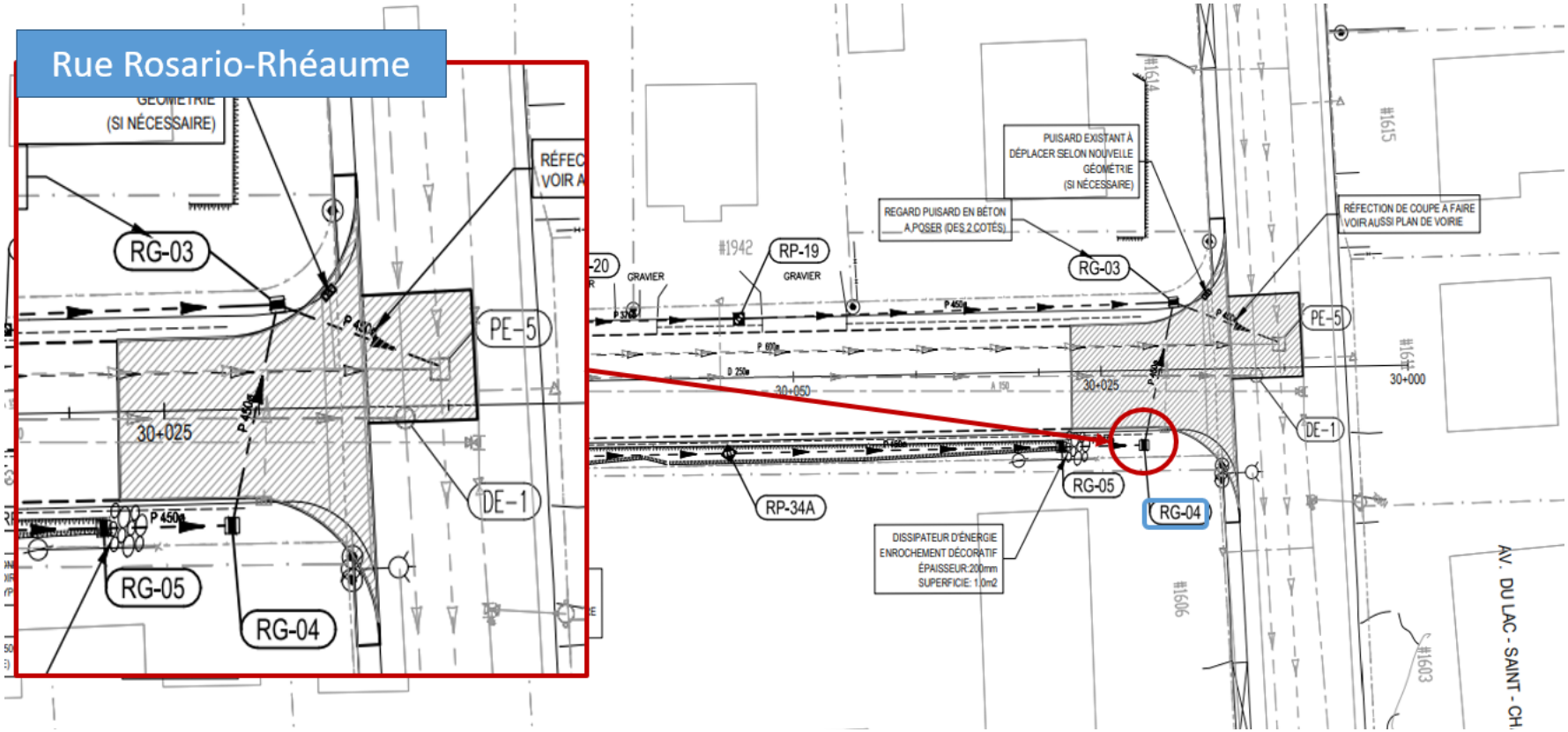

Figure 41 : Points d'échantillonnage de la rue Rosario-J.-Rhéaume

Annexe 2 Équipements utilisés

Le Tableau 11 présente les instruments utilisés et une description de leurs utilités.

Tableau 11 : Équipements utilisés lors de l'étude

Équipement	Description
Capteurs de pression Onset HOBO U20	Un capteur de pression enregistre à un intervalle de temps déterminé la pression absolue (en Pascal) d'une colonne d'eau et d'air. En connaissant la pression atmosphérique, il est possible d'estimer la hauteur d'eau en utilisant l'équation suivante : $$h = \frac{P_{CP} - P_A}{\mu g}$$ où h est la hauteur d'eau (mètre), P_{CP} est la pression mesurée par le capteur de pression (Pascal), P_A est la pression atmosphérique (Pascal), μ est la masse volumique de l'eau (1000 km/m^3 à 4°C) et g est l'accélération gravitationnelle (9,81 m/s^2). Le logiciel Hoboware permet l'extraction des données. L'intervalle de temps des données est de 5 minutes.
Capteur d'humidité Em5b - Soil moisture 10S	Un data logger possédant 5 ports (Em5b) connecte 3 sensors 10S enterrés à différentes profondeurs. Ces appareils appartiennent à l'Université Laval et ont été empruntés pour la période d'étude. La précision associée aux capteurs dans le sol est de ±3 %. Les capteurs mesurent un volume d'1 litre de sol. Le logiciel ECH2O Utility permet l'extraction des données. L'intervalle de temps des données est de 5 minutes.
Pluviomètre INRS ONSET RG3-M	Le pluviomètre à auget basculant ONSET RG3-M appartient à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS). Les données ont été partagées entre Agiro et l'INRS pour la période d'étude. Il est situé à quelques centaines de mètres du site à l'étude. L'intervalle de temps des données est de 5 minutes.
Station météo Ville de Québec (Marais du Sud)	Une station météorologique appartenant à la Ville de Québec est installée sur la rive sud-est du lac Saint-Charles, à proximité des Marais du Sud. La station fournit des données en temps réel (collecte à 1 minute d'intervalle, normalisée aux moyennes horaires) telles que la température, les précipitations (et l'équivalent neige), l'humidité relative, la pression, l'indice UV, la vitesse et la direction du vent. La station a été installée en 2017 et a produit des données ininterrompues. La station a été installée dans le but de traiter plus spécifiquement le microclimat du bassin versant du lac Saint-Charles, et donc de fournir des données à plus haute résolution des événements météorologiques affectant le territoire. En 2021 la gestion de la station est passée sous le contrôle des données du MELCC et est accessible publiquement sur le site régional : https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/donnees/OQcarte.asp à l'adresse http://172.102.17.182:49153/meteo_dev.php

Annexe 3 Dispositif expérimental

Les Figures 42, 43 et 44 présentent les dispositifs expérimentaux de la noue étudiée et de l'aire de biorétention.

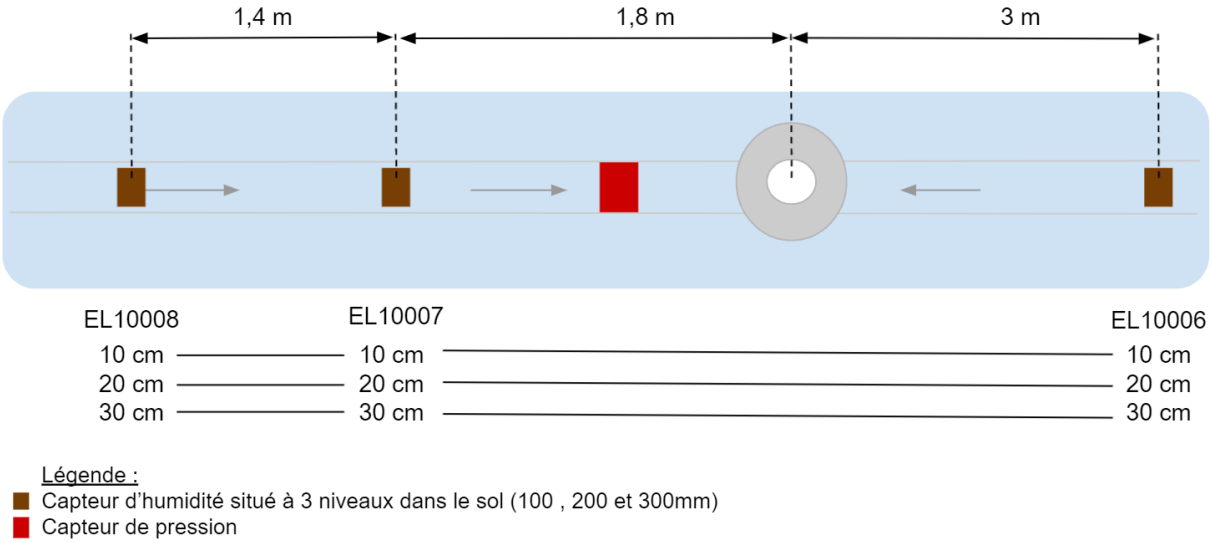

Figure 42 : Dispositif expérimental de la noue végétalisée (vue du dessus)

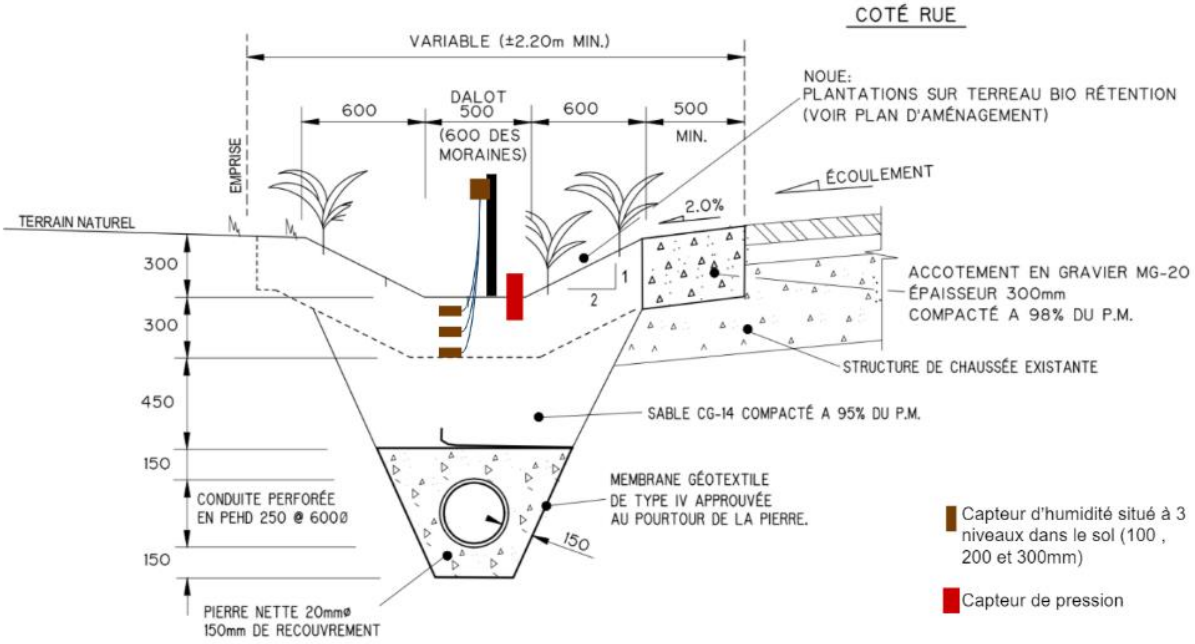

Figure 43 : Dispositif expérimental de la noue végétalisée (vue de profil)

(Carte adaptée de WSP, 2019)

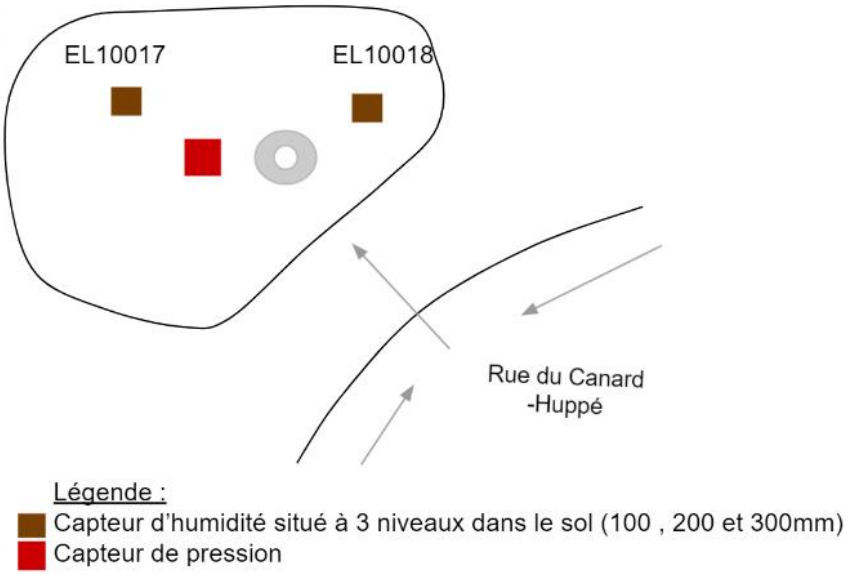

Figure 44 : Dispositif expérimental de l'aire de biorétention (vue du dessus)

Annexe 4 Méthodes de laboratoire

Tableau 12 : Résumé des méthodes analytiques utilisées dans les laboratoires de la Ville de Québec dans le cadre du projet de suivi de la qualité de l'eau des affluents du lac Saint-Charles (Campagne 2020-2021)

Secteur	Paramètre	Méthode	Principe analytique	Interférences	LDM 2021	Accréditation CEAEQ ISO-17025
Chimie	Azote ammoniacal	ILQ-NH3-AA	L'ion ammonium contenu dans l'échantillon est analysé au moyen d'un analyseur automatisé par colorimétrie; l'ammoniac réagit avec le salicylate de sodium et un oxydant organique, le dichloroisocyanurate, en milieu basique tamponné (pH 12.8-13), en présence de nitroferricyanure de sodium, pour former un complexe analogue à l'indophénol bleu. La couleur bleu-verte produite est mesurée à 660 nm. L'analyse quantitative est effectuée par le biais d'une courbe d'étalonnage. Les échantillons ne sont pas distillés préalablement à l'analyse. Si des interférences sont suspectées, l'échantillon sera distillé.	La plupart des interférences peuvent être retirées par le processus de distillation.	8 µg N/l	Non accrédité
Chimie	Azote total	ILQ-NT	L'échantillon est oxydé dans un premier temps par combustion à 900ºC. Durant cette première oxydation, l'azote est oxydé sous forme de monoxyde d'azote. Le monoxyde d'azote produit réagit par la suite avec de l'ozone pour former du dioxyde d'azote sous forme excité. Le photon émis lors de la relaxation du dioxyde d'azote excité est détecté par infrarouge dans la plage de 650 à 900 nm. L'analyse quantitative est effectuée par le biais d'une courbe d'étalonnage. L'analyse de l'azote total dissous implique, préalablement à l'analyse de l'échantillon, une filtration de l'échantillon sur un filtre en fibre de verre (calciné et lavé) de 0.7 µm. L'analyse de l'azote total dissous n'a pas été validée spécifiquement.	Une présence importante en sulfate dans l'échantillon peut sous-estimer la mesure de l'azote total. Le volume d'échantillon injecté sur l'instrument a été optimisé afin de minimiser les effets d'une concentration en sulfates trop importante.	0.04 mg N/l	Non accrédité
Chimie	Azote total dissous				0.04 mg N/l	Non accrédité
Chimie	Chlorures	ILQ-CHLORURES-AA	Le chlorure présent dans l'échantillon vient se substituer au groupement thiocyanate dans le mercure de thiocyanate. L'ion thiocyanate libéré réagit avec l'ion ferrique pour former le complexe coloré [Fe(SCN)] 2+. La concentration de complexe formée est directement proportionnelle à la concentration en chlorure présent dans l'échantillon. L'absorbance de ce complexe est mesurée à 480 nm.	À priori, il n'y a pas d'interférence significative à cette méthode.	1 mg/l	Domaine 60

Secteur	Paramètre	Méthode	Principe analytique	Interférences	LDM 2021	Accréditation CEAEQ ISO-17025
Chimie	Nitrites-Nitrates	ILQ-NO2NO3-AA	Les ions nitrates présents dans l'échantillon sont réduits quantitativement en ions nitrite en présence de cadmium granulaire. La concentration des nitrites produits est analysée comme un complexe azonium (composé rosé) qui absorbe à 520 nm après sa diazotisation avec la sulfanilamide et son couplage avec le N-(1-naphthyl) éthylènediamine. Cette réaction a lieu en milieu acide. Lors du dosage, les échantillons seront dilués au besoin.	La turbidité et les matières en suspension peuvent restreindre le débit dans la colonne de réduction. Des concentrations élevées en fer, cuivre et en d'autres métaux réduisent l'efficacité de la réaction. Les huiles et les graisses peuvent recouvrir la surface du cadmium et nuire à la réduction des nitrates en nitrites. Le recours à une membrane de dialyse dans le circuit d'analyse sur l'appareil permet d'éliminer ces interférences. Une extraction liquide avec un solvant organique permet d'éviter la contamination croisée entre échantillons sur l'appareil lorsqu'ils sont plus concentrés en huiles et graisses. Les échantillons contenant du sulfure ne peuvent être analysés par cette méthode sans enlever préalablement les sulfures par précipitation avec des sels de cadmium. Pour les faibles concentrations en sulfures, une simple agitation en tube fermé, de 15 – 30 minutes, transforme les oxydes en acide sulfurique et permet d'éliminer cette interférence. Le chlore résiduel peut interférer en oxydant le cadmium. L'ajout de thiosulfate de sodium élimine cette interférence.La couleur et les matières en suspension présentes dans les échantillons sont enlevées par la membrane de dialyse.	0.002 mg N/l	Domaine 11

Secteur	Paramètre	Méthode	Principe analytique	Interférences	LDM 2021	Accréditation CEAEQ ISO-17025
Chimie	Fer extractible à l'acide	ILQ-Métaux-MS	Les échantillons sont acidifiés avec de l'acide nitrique ainsi que de l'acide chlorhydrique, puis digéré au micro-ondes à 175°C avant leur analyse par spectrophotométrie d'émission au plasma. La mesure des intensités du signal se fait par un spectromètre de masse selon des masses spécifiques à l'élément analysé. L'analyse quantitative est effectuée par le biais d'une courbe d'étalonnage pour chacun des éléments analysés.	Les principales interférences liées à cette méthode sont d'ordres spectrométriques, physiques (obstruction du nébuliseur), chimiques (composés ou oxydes réfractaires) et liés à une forte teneur en solides totaux dissous de l'échantillon.	0.06 mg/l	Domaine 64
Chimie	Matières en suspension	ILQ-MES	Une portion de l'échantillon est filtrée à travers un filtre Whatman 934-AH préalablement conditionné (lavé, séché à 105 °C et pesé). Lorsque la filtration est terminée, le filtre et le résidu piégé sur le filtre sont séchés à 105 °C puis repesés. La quantité de matières en suspension (MES) est obtenue en faisant la différence des poids. Pour déterminer le taux de matières en suspension volatiles (MESV), le filtre et le résidu sec sont placés dans un four à moufle réglé à 550 °C pendant 2 heures. Le taux de MESV s'obtient en faisant la différence entre le poids à 550 °C et celui à 105 °C.	Les échantillons contenant plusieurs phases sont sujets à des erreurs de mesure. La présence de résidu hygroscopique peut induire des biais positifs.	3 mg/l	Non accrédité
Chimie	Métaux solubles à l'acide	ILQ-Métaux-MS	Les échantillons sont acidifiés avec de l'acide nitrique (pH < 2) avant leur analyse par spectrophotométrie d'émission au plasma. La mesure des intensités du signal se fait par un spectromètre de masse selon des masses spécifiques à l'élément analysé. L'analyse quantitative est effectuée par le biais d'une courbe d'étalonnage pour chacun des éléments analysés.	Les principales interférences liées à cette méthode sont d'ordres spectrométriques, physiques (obstruction du nébuliseur), chimiques (composés ou oxydes réfractaires) et liés à une forte teneur en solides totaux dissous de l'échantillon.	Relative à l'élément[1]	Non accrédité

[1]

Paramètre	LDM 2020-2021
Cadmium	0.000002 mg/l
Cuivre	0.00002 mg/l
Fer	0.0003 mg/l
Nickel	0.00003 mg/l
Plomb	0.00002 mg/l
Zinc	0.0001 mg/l

Annexe 5 Caractérisation de l'ensemble des événements pluvieux observés pendant la période d'étude

Tableau 13 : Ensemble des 69 événements pluvieux recensés lors de la période d'étude et leurs caractéristiques

Date (2021)	Durée de l'événement (min)	Hauteur d'eau (mm)	Intensité moyenne (mm/h)
13-mai	40	0,8	1,2
16-mai	5	0,2	2,4
23-mai	160	10	2,5
26-mai	805	8	0,4
26-mai	15	1	4,0
31-mai	395	1,4	0,1
31-mai	70	0,4	0,2
01-juin	45	4,6	6,1
02-juin	20	0,6	1,8
03-juin	580	7,4	0,5
04-juin	5	0,2	2,4
05-juin	125	0,6	0,2
14-juin	455	10,8	0,9
15-juin	730	13,2	0,7
19-juin	740	20,6	1,0
19-juin	55	4,8	5,2
19-juin	5	0,2	2,4
21-juin	25	0,6	1,4
21-juin	30	16,4	32,8
21-juin	45	4,6	6,1
22-juin	5	0,2	2,4
23-juin	5	0,2	2,4
26-juin	125	0,8	0,2
26-juin	555	24,4	1,6
27-juin	320	34,2	3,9
27-juin	5	0,2	2,4
27-juin	5	1,4	16,8
28-juin	265	11	1,6
28-juin	35	0,6	1,0
29-juin	5	0,2	2,4
30-juin	490	15,6	1,2
30-juin	25	6	14,4
06-juil	50	10,2	12,2
09-juil	695	34,4	1,8

Date (2021)	Durée de l'événement (min)	Hauteur d'eau (mm)	Intensité moyenne (mm/h)
11-juil	25	2,8	6,7
14-juil	90	11,6	5,4
14-juil	5	0,2	2,4
14-juil	40	5,4	8,1
14-juil	20	9,2	27,6
16-juil	315	10,6	1,2
21-juil	220	1,6	0,3
21-juil	5	0,2	2,4
23-juil	15	6,6	26,4
25-juil	295	25,8	3,4
25-juil	40	6,6	9,9
26-juil	15	5,2	20,8
26-juil	115	5,4	2,1
27-juil	5	0,2	2,4
29-juil	100	0,6	0,3
29-juil	120	0,8	0,2
30-juil	5	0,2	2,4
09-août	5	0,2	2,4
11-août	5	0,2	2,4
11-août	305	2,8	0,3
23-août	5	0,2	2,4
26-août	5	0,2	2,4
26-août	60	2	1,2
29-août	5	0,2	2,4
30-août	805	15,8	0,7
02-sept	255	2,8	0,4
05-sept	365	17,2	1,7
06-sept	20	1,2	3,6
06-sept	285	4,4	0,6
07-sept	5	0,2	2,4
08-sept	525	8,6	0,6
10-sept	5	0,2	2,4
10-sept	5	0,2	2,4
12-sept	225	10,2	1,8
12-sept	15	2,2	8,8

Annexe 6 Classes de qualité de l'eau pour chaque paramètre entrant dans le calcul de l'IBQP

Tableau 14 : Classes de qualité de l'eau pour chaque paramètre de l'IBQP (Hébert, 1997)

Classes de qualité IQBP	CF (UFC/100 ml)	PT (µg/L P)	MES (mg/L)	Oxygène dissous (%)	pH	Chlorophylle *a* (µg/L)	Turbidité (NTU)	Nitrites et nitrates (mg/L N)	Azote ammoniacal (mg/L N)
Bonne	≤ 200	≤ 30	≤ 6	88 – 124	6,9 – 8,6	≤ 5,7	≤ 2,3	≤ 0,5	≤ 0,23
Satisfaisante	201 – 1000	31 – 50	7 – 13	80 – 87 ou 125 – 130	6,5 – 6,8 ou 8,7 – 9,0	5,71 – 8,6	2,4 – 5,2	0,51 – 1,0	0,24 – 0,5
Douteuse	1001 – 2000	51 – 100	14 – 24	70 – 79 ou 131 – 140	6,2 – 6,4 ou 9,1 – 9,3	8,61 – 11,1	5,3 – 9,6	1,01 – 2,0	0,51 – 0,9
Mauvaise	2001 – 3500	101 – 200	25 – 41	55 – 69 ou 141 – 150	5,8 – 6,1 ou 9,4 – 9,6	11,1 – 13,9	9,7 – 18,4	2,01 – 5,0	0,91 – 1,5
Très mauvaise	> 3500	> 200	> 41	< 55 ou > 150	< 5,8 ou > 9,6	> 13,9	> 18,4	> 5,0	> 1,5