

# Diagnose du lac Saint-Charles – 2022

---

## Annexe 1 : Méthodologie | 2024



Préparé pour la Ville de Québec  
Par Agiro



## Équipe de réalisation

### Rédaction et analyses

**Maxime Wauthy**, Limnologue, Ph.D. Biologie, Coordonnateur de projets en limnologie

**Laura Côté**, Biologiste, M.Sc. Biologie végétale, Chargée de projets en limnologie

**Tatiana Sarmiento**, M.Env., Chargée de projets en limnologie

### Cartographie

**Gabrielle Gosselin**, Biologiste, M.Sc. Eau, Chargée de projets en géomatique

**Laura Côté**, Biologiste, M.Sc. Biologie végétale, Chargée de projets en limnologie

### Échantillonnage et travaux terrain

**Maxime Wauthy**, Limnologue, Ph.D. Biologie, Coordonnateur de projets en limnologie

**Jérémie Gastrin**, DEC en techniques du milieu naturel, Technicien en limnologie

**Tatiana Sarmiento**, M.Env., Chargée de projets en limnologie

**Laura Côté**, Biologiste, M.Sc. Biologie végétale, Chargée de projets en limnologie

**Thomas Vimbert**, Technicien en gestion des eaux

### Protocole d'échantillonnage

**Sonja Behmel**, Ph.D. ATDR, Géographe, M.Sc., Conseillère scientifique

### Révision

**Marianne Gilbert**, Biologiste, B.Sc., Chargée de projets en restauration et conservation

**Sonja Behmel**, Ph.D. ATDR, Géographe, M.Sc., Coordinatrice scientifique

**Guillaume Auclair**, Directeur général adjoint

**Geneviève R.-Morneau**, Directrice générale

**Sylvie LaRose**, M.Sc. Biologie végétale, Administratrice

**Anne-Marie Cantin**, PAE-DD, Conseillère en environnement, Ville de Québec

### Référence à citer

Agiro (2024) *Diagnose du lac Saint-Charles – 2022. Annexe 1 : Méthodologie*. Québec, 25 pages.

### Description et crédit de la page de couverture

Vue aérienne du lac Saint-Charles, Mélanie Jean, 2021.

### Coordonnées d'Agiro

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

## Glossaire

Abondance	Quantité relative au nombre d'individus d'une espèce donnée
Aquascope	Appareil de visualisation sous-marine
Bassin versant	Ensemble d'un territoire alimentant un lac
Conductivité spécifique	Capacité de l'eau à conduire un courant électrique, normalisée à une température de 25°C
Efflorescence	Augmentation rapide d'une ou plusieurs espèces d'algues ou de cyanobactéries
Épilimnion	Couche supérieure (surface) d'une masse d'eau stratifiée
État trophique	Niveau d'enrichissement en éléments nutritifs d'un lac
Eutrophe	Désigne un lac fortement enrichi en éléments nutritifs
Eutrophisation	Processus de vieillissement naturel d'un lac se caractérisant par un enrichissement progressif en éléments nutritifs ; fortement accéléré par le développement d'activités humaines dans le bassin versant du lac
Herbiers aquatiques	Organismes végétaux visibles à l'œil nu croissant dans l'eau et capables de réaliser la photosynthèse
Hypolimnion	Couche inférieure (fond) d'une masse d'eau stratifiée
Hypoxie	Faible concentration en oxygène dissous dans l'eau (< 2–3 mg/l)
Mésotrophe	Désigne un lac modérément enrichi en éléments nutritifs
Métalimnion	Couche intermédiaire de transition d'une masse d'eau stratifiée
Oligotrophe	Désigne un lac faiblement enrichi en éléments nutritifs
Orthophotographie	Image obtenue par traitement d'un cliché aérien
Photosynthèse	Processus bioénergétique réalisé par les organismes photosynthétiques (incluant les végétaux) et consistant en la conversion de l'énergie lumineuse en provenance du soleil en matière organique
Profil bathymétrique	Profil de profondeur d'un plan d'eau obtenu par sondage
Richesse spécifique	Nombre d'espèces présentes dans un milieu donné
Thermocline	Zone de transition thermique rapide entre les eaux de surface (épilimnion) et le fond (hypolimnion) d'une masse d'eau stratifiée
Zone colonisable	Section du lac où peuvent se développer et croître les herbiers aquatiques (où la profondeur est inférieure à 3 m)

## Tables des matières

<b>1</b>	<b>Contexte de mesures</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Caractérisation de la qualité de l'eau du lac Saint-Charles et de ses tributaires</b>	<b>1</b>
2.1	Échantillonnage du lac Saint-Charles	1
2.2	Échantillonnage des tributaires du lac Saint-Charles	7
2.3	Analyse des données physicochimiques et biologiques	9
2.4	Caractérisation des herbiers aquatiques	10
2.4.1	Recensement des herbiers aquatiques	10
2.4.2	Limitations	11
2.4.3	Analyse des herbiers aquatiques	11
2.5	Interprétation des données physicochimiques et biologiques du lac Saint-Charles	12
2.6	Caractérisation de la qualité de l'eau des tributaires du lac Saint-Charles	14
2.6.1	Indice de qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP)	14
2.6.2	Critères de qualité des eaux de surface	15
2.6.3	Conductivité spécifique et ions chlorure	16
2.7	Pluviométrie	17
2.8	Caractérisation des rives	19
2.8.1	Recensement des zones homogènes	19
2.8.2	Analyse des bandes riveraines	20
<b>3</b>	<b>Méthodes de calculs des débits des tributaires</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Références bibliographiques</b>	<b>24</b>

## Figures

Figure A	Profil bathymétrique et emplacement des stations « lac » et « rive » au lac Saint-Charles	2
Figure B	Catégories de fleurs d'eau d'algues bleu-vert (MELCCFP, 2013)	5
Figure C	Exemple d'une fiche de signalement d'observation de prolifération d'algues nuisibles au lac Saint-Charles, en date du 7 juillet 2022	6
Figure D	Stations d'échantillonnage des tributaires et des petits affluents du lac Saint-Charles	8
Figure E	Méthode d'inventaire des herbiers	10
Figure F	Classes de précipitation attribuées aux sorties d'échantillonnage et proportion sur la saison en 2022	18

## Tableaux

Tableau A	Informations relatives au contexte de la prise des mesures notées pour chaque point d'échantillonnage. ....	1
Tableau B	Stratégies locales derrière le choix de l'emplacement des stations d'échantillonnage. ....	3
Tableau C	Localisation et justification de quelques stations d'échantillonnage répondant à des objectifs spécifiques lors du suivi de qualité de l'eau des tributaires et des petits affluents. ....	7
Tableau D	Paramètres mesurés avec les sondes multiparamétriques (EXO2 pour les stations « lac » et « tributaire », HI98194 pour les stations « rive ») et paramètres dosés en laboratoire pour le lac Saint-Charles en 2022. ....	9
Tableau E	Indicateurs de l'état trophique utilisés pour l'analyse des données physicochimiques et biologiques. ....	13
Tableau F	Classe de qualité de l'eau de l'IQBP. ....	14
Tableau G	Indice de la qualité bactériologique et physicochimique (Hébert, 1997). ....	15
Tableau H	Seuils pour l'évaluation de la qualité de l'eau de surface. ....	15
Tableau I	Seuils pour l'évaluation de la performance des stations d'épuration des eaux usées. ....	16
Tableau J	Classes de conductivité spécifique et de concentration en ions chlorure proposées par Agiro pour le haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles. ....	17
Tableau K	Classification de l'IQBR. ....	20
Tableau L	Détermination du facteur de pondération pour chaque composante des bandes riveraines (MELCCFP, 2022e). ....	21
Tableau M	Méthodes de mesure des débits. ....	23

## 1 Contexte de mesures

L'analyse des données de la qualité de l'eau est modulée en fonction du contexte environnemental décrit lors de la prise de mesures ainsi que sur l'information supplémentaire provenant de diagnostics antérieures ou de communications avec des riverains. Les éléments considérés à chaque visite d'une station d'échantillonnage sont regroupés au Tableau A. Par ailleurs, toutes autres informations qualitatives pouvant être utiles à l'interprétation et aux analyses des données ont été notées (i.e. aspect de l'eau, difficultés techniques avec l'équipement).

**Tableau A Informations relatives au contexte de la prise des mesures notées pour chaque point d'échantillonnage.**

<b>Contexte général</b>
Numéro de la station d'échantillonnage, date, heure de début et de fin, appareils utilisés, équipe en place, température ambiante, pression atmosphérique, précipitations et ensoleillement
<b>Contexte spécifique aux tributaires</b>
Aspect de l'eau et mesure du débit
<b>Contexte spécifique à l'échantillonnage du lac Saint-Charles</b>
Vitesse et direction du vent, vagues, présence d'algues et de poissons morts
<b>Contexte particulier</b>
Construction et/ou ouvrages dans le bassin versant et près des rives, difficultés techniques avec l'équipement
<b>Traitement, validation et archivage des contextes</b>
Numéro de l'entrée de données dans la base Enki, validation et archivage numérique des feuilles de terrain

## 2 Caractérisation de la qualité de l'eau du lac Saint-Charles et de ses tributaires

### 2.1 Échantillonnage du lac Saint-Charles

Sept campagnes d'échantillonnage visant à investiguer la qualité physicochimique et biologique de l'eau du lac Saint-Charles ont eu lieu en 2022 pendant la période sans glace, couvrant du printemps jusqu'à l'automne, en suivant un protocole adapté de la méthodologie développée par Behmel (2010). Réalisées approximativement aux quatre semaines, ces campagnes comprenaient des mesures physicochimiques et des prélèvements effectués à cinq stations situées sur le lac Saint-Charles (dénommés par la suite stations « lac », lesquels incluent C01, C03, C04, C05 et C08) et huit stations en rive (dénommés par la suite stations « rive », lesquels incluent SCA, SCB, SCC, SCD, SCD, SCE, SCF, SCG et SCO). Dans le cas d'efflorescences de cyanobactéries, des échantillonnages additionnels ont également été réalisés aux stations « rive » concernées. En supplément, une huitième sortie d'échantillonnage a été réalisée à C03 à l'hiver 2023, afin d'explorer l'état et la qualité de l'eau du lac Saint-Charles sous le couvert de glace.

La localisation des points d'échantillonnage est présentée à la Figure A, alors que le Tableau B présente la justification de chacun de ces points.

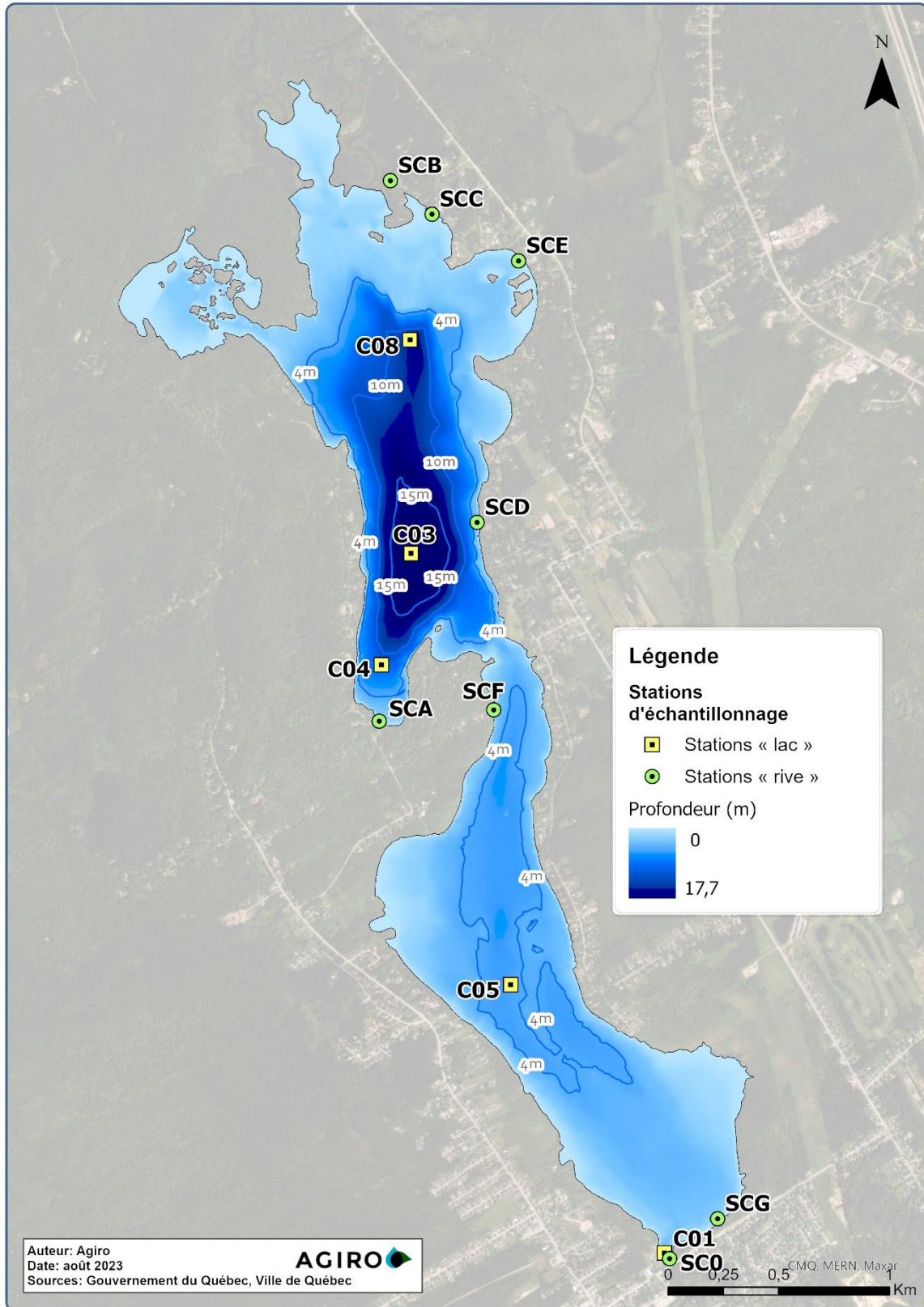


Figure A Profil bathymétrique et emplacement des stations « lac » et « rive » au lac Saint-Charles.



**Tableau B Stratégies locales derrière le choix de l'emplacement des stations d'échantillonnage.**

Station	Description	Justification <sup>1</sup>
<b>C03</b>	Point le plus profond du bassin nord du lac Saint-Charles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Point intégrateur, représentatif d'une bonne partie du volume du bassin nord du lac</li> <li>- Point le plus profond du lac</li> </ul>
<b>C05</b>	Point le plus profond du bassin sud du lac Saint-Charles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Point intégrateur, représentatif d'une bonne partie du volume du bassin sud du lac</li> </ul>
<b>C08</b>	Près de l'affluent principal (la rivière des Hurons)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet d'établir un bilan des flux entrants du lac</li> </ul>
<b>C01</b>	Près de l'effluent principal (la rivière Saint-Charles), au barrage Cyrille-Delage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet d'établir un bilan des flux sortants du lac</li> </ul>
<b>C04</b>	Baie de l'Écho	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Point intégrateur d'une zone hétérogène du lac ; représentatif du volume d'eau de la baie de l'Écho</li> </ul>
<b>SCO</b>	Barrage Cyrille-Delage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi des cyanobactéries (zone propice aux efflorescences)</li> <li>- Permet d'établir un portrait spatio-temporel des paramètres physicochimiques du lac</li> <li>- Permet d'établir un bilan des flux sortants du lac</li> </ul>
<b>SCA</b>	2109, rue du Beau-Site (baie de l'Écho)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi des cyanobactéries (zone propice aux efflorescences)</li> <li>- Permet d'établir un portrait spatio-temporel des paramètres physicochimiques du lac</li> </ul>
<b>SCB</b>	1, chemin des Grands-Hérons	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Influencée par les eaux de la rivière des Hurons</li> <li>- Suivi des cyanobactéries</li> <li>- Permet d'établir un portrait spatio-temporel des paramètres physicochimiques du lac</li> </ul>
<b>SCC</b>	21, chemin des Grands-Hérons	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Influencée par les eaux de la rivière des Hurons</li> <li>- Suivi des cyanobactéries</li> <li>- Permet d'établir un portrait spatio-temporel des paramètres physicochimiques du lac</li> </ul>
<b>SCD</b>	2188, rue des Aigles-Pêcheurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Représente la rive est du bassin nord</li> <li>- Suivi des cyanobactéries</li> <li>- Permet d'établir un portrait spatio-temporel des paramètres physicochimiques du lac</li> </ul>
<b>SCE</b>	1527, chemin de la Grande-Ligne	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Représente la baie Beaulieu</li> <li>- Suivi des cyanobactéries</li> <li>- Permet d'établir un portrait spatio-temporel des paramètres physicochimiques du lac</li> </ul>
<b>SCF</b>	Au bout de la rue Monier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Représentatif du goulet du lac (secteur nord-ouest du bassin sud)</li> <li>- Suivi des cyanobactéries</li> <li>- Permet d'établir un portrait spatio-temporel des paramètres physicochimiques du lac</li> </ul>
<b>SCG</b>	Plage à l'extrémité sud du lac Saint-Charles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi des cyanobactéries (zone propice aux efflorescences)</li> <li>- Permet d'établir un portrait spatio-temporel des paramètres physicochimiques du lac</li> </ul>

<sup>1</sup> Le choix des stations en rive a aussi été influencé par leur accessibilité et par l'historique de signalements d'efflorescences de cyanobactéries.

Les profils physicochimiques verticaux réalisés aux cinq stations « lac » ont été effectués à chaque 0,5 mètre à l'aide d'une sonde multiparamétrique de type EXO2 (YSI Inc., Yellow Springs, Ohio). La transparence de la colonne d'eau a été mesurée à l'aide d'un disque de Secchi. Les échantillons d'eau ont été collectés à l'aide d'une bouteille bêta horizontale (Wildco Instruments, Yulee, Floride) à différentes profondeurs : de l'eau de la couche de **surface** (épilimnion) a été échantillonnée à un mètre de profondeur, de l'eau de la couche **intermédiaire** (métalimnion) à une profondeur variable correspondant au pic de la chlorophylle a (pic lu sur la sonde EXO2) et de l'eau du **fond** (hypolimnion) à un mètre des sédiments<sup>2</sup>.

Pour les stations « rive », une sonde multiparamétrique de type HI98194 (HANNA Instruments, Woonsocket, Rhode Island) a été utilisée pour mesurer divers paramètres in situ de l'eau de surface. Les échantillons d'eau ont été collectés à l'aide d'une bouteille bêta verticale (Wildco Instruments) ou au moyen d'un contenant fixé au bout d'une perche, approximativement 15 cm sous la surface de l'eau.

Tous les instruments utilisés ont été triplement rincés avant de collecter les échantillons.

En cas d'efflorescence de cyanobactéries, un protocole spécifique a été mis en place. Lorsqu'une efflorescence est repérée à une station, une tournée des stations « rive » est effectuée pour évaluer l'étendue spatio-temporelle de cette efflorescence. Agiro utilise les catégories de fleur d'eau d'algues bleu-vert développées par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) pour classer les efflorescences de cyanobactéries (Figure B) (MELCCFP, 2013). En complément, afin d'investiguer le caractère toxique de l'efflorescence en cours, un test immunochromatographique de détection de cyanotoxines était réalisé au moyen d'un kit ABRAXIS® (Gold Standard Diagnostics, Budapest, Hongrie). Ce test semi-quantitatif permet de signaler la présence de microcystine et de nodularine, deux types de cyanotoxines potentiellement synthétisés par les communautés de cyanobactéries présentes au lac Saint-Charles. Cependant, d'autres types de toxines, comme les anatoxines ou les saxitoxines, ne sont pas couverts par ce test. Dans un dernier temps, une fiche de signalement d'observation de prolifération d'algues nuisibles contenant toutes les observations, les résultats des tests immunochromatographique, les photographies et les caractéristiques de l'efflorescence est envoyée à la Ville de Québec ainsi qu'au laboratoire de la Ville de Québec pour diffusion à l'interne (Figure C).

---

<sup>2</sup> Au vu de sa faible profondeur (profondeur oscillant entre 2,5 et 3,7 m), seules les couches de surface et de fond ont été échantillonnées pour la station C01.

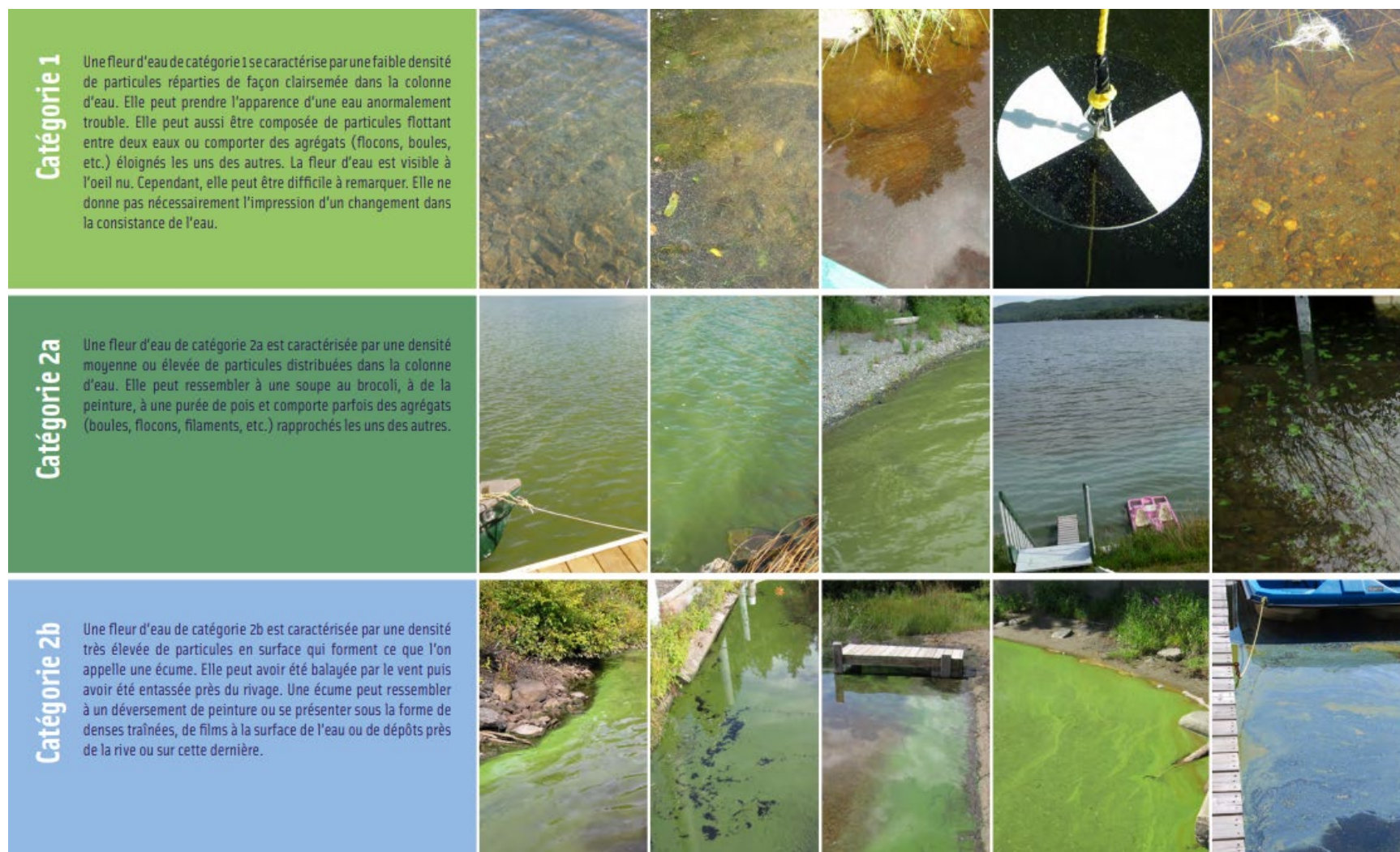




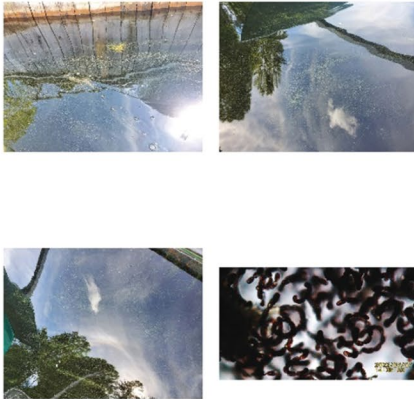
Figure B Catégories de fleurs d'eau d'algues bleu-vert (MELCCFP, 2013).

### Fiche de signalement d'observation de prolifération d'algues nuisibles (26009)

2022-07-07 – 09:35



---

DESCRIPTION DE LA LOCALISATION	TYPE DE PROLIFÉRATION D'ALGUES NUISIBLES	OBSERVATIONS DE TERRAIN
<p>Étendue d'eau <b>Saint-Charles, lac</b></p> <p>Point d'échantillonnage <b>SCD2</b></p>	<p><b>Catégorie 2a (MELCC, 2013)</b> Densité moyenne à élevée de particules distribuées dans la colonne d'eau (soupe au brocoli plus ou moins consistante, purée de pois, agrégats ou amas [boules, flocons, filaments, autres] nombreux ou rapprochés).</p>	<p>Rayons UV -</p> <p>Température de l'eau -</p> <p>Température ambiante <b>19.0 °C</b></p> <p>Type de précipitations <b>Il a plu dans les 48 dernières heures</b></p> <p>État du ciel <b>Beau</b></p> <p>Type de vagues <b>Calme (ridules)</b></p> <p>Type de vent <b>Faible / -</b></p>
<p><b>CARTE DE LA LOCALISATION</b></p> 	<p><b>APPARENCE</b></p> 	<p><b>NOTES</b></p> <p>Fleur d'eau proche du 2180, rue des Aigles Pêcheurs. De nombreuses boules vertes accumulées à la surface de l'eau qui formaient des stries bien claires. Le vent et les vagues poussaient les boules vers le rivage. Floraison d'une dizaine de mètres de largeur par 2 mètres de profondeur. À certains endroits, les cellules étaient réparties dans toute la colonne d'eau et formaient un nuage de boules. Test Abraxis (cyanotoxines) : 0 ppb (sur une échelle de 10 ppb)</p>

Fiche de signalement d'observation de prolifération d'algues nuisibles #809  
Généré le jeudi 23 février 2023 16h59

Figure C Exemple d'une fiche de signalement d'observation de prolifération d'algues nuisibles au lac Saint-Charles, en date du 7 juillet 2022.

## 2.2 Échantillonnage des tributaires du lac Saint-Charles

Le territoire ciblé par le suivi des tributaires et des petits affluents du lac Saint-Charles en 2022 est présenté à la Figure D. Les stations couvrent les deux tributaires majeurs et les principaux ruisseaux, fossés et conduites pluviales qui se déversent dans le lac Saint-Charles, ainsi que les stations d'épuration des eaux usées de Stoneham-et-Tewkesbury et de Lac-Delage. La majorité des stations ont donc été positionnées de manière à obtenir un portrait global de la qualité de l'eau dans les sous-bassins du lac Saint-Charles. Dans l'ensemble, ce sont 38 petits affluents qui ont été échantillonnés entre le 9 mai et le 11 novembre 2022, auxquelles s'ajoutent quelques stations répondant à des objectifs spécifiques (Tableau C).

**Tableau C Localisation et justification de quelques stations d'échantillonnage répondant à des objectifs spécifiques lors du suivi de qualité de l'eau des tributaires et des petits affluents.**

Station	Localisation	Justification
<b>E01</b>	En aval de l'affluent principal, la rivière des Hurons	Suivre la qualité de l'eau du principal tributaire du lac Saint-Charles
<b>E02</b>	Décharge du lac Delage	Suivre la qualité de l'eau du deuxième plus important tributaire du lac Saint-Charles
<b>E50</b>	Dans les Marais du Nord, en aval de la station E54	Vérifier l'impact de l'effluent de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Lac-Delage (E54) sur la qualité de l'eau en provenance du lac Delage (E02)
<b>E54</b>	À l'exutoire de l'usine d'épuration des eaux usées de la ville de Lac-Delage, localisée en aval de la station E02	Évaluer les apports des effluents de l'usine d'épuration des eaux usées de la ville de Lac-Delage
<b>E55</b>	À l'exutoire de l'usine d'épuration des eaux usées de la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury	Évaluer les apports des effluents de l'usine d'épuration des eaux usées de la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury

Les sous-bassins versant EE, JJ et I n'ont pas été échantillonnés lors de la campagne 2022, car ils ne représentent qu'un faible apport hydrique. Depuis la dernière diagnose du lac Saint-Charles, un nouveau tributaire intermittent a été identifié et échantillonné à la station RR (46,94208 ; -71,38331), en face du 2240 rue des Aigles-Pêcheurs. Deux stations distinctes (IIB et IID) ont été échantillonnées pour le sous-bassin versant II en plus de la station CPLSC18, située dans le même sous-bassin versant, mais dont l'eau est généralement stagnante. La station OO, située à l'entrée du marais filtrant du Fossé 33, n'a pas été échantillonnée en 2022, puisque le tracé du cours d'eau a été modifié en septembre 2017, ce qui a aussi modifié la vitesse d'écoulement. Le cours d'eau est échantillonné via la station QQ située plus en amont (46,923665 ; -71,36568), devant l'entrée du Golf Royal Charbourg.

Les sorties d'échantillonnage avaient lieu approximativement aux deux semaines, pour un total de 12 sorties par station, et réalisées aussi bien en temps de pluie que par temps sec. Cependant, chaque sortie ne s'accompagnait pas nécessairement d'un prélèvement d'échantillon, certains cours d'eau intermittents étant asséchés au moment de la visite.

La qualité physicochimique de l'eau des tributaires a été caractérisée à l'aide d'une sonde EXO2 (YSI Inc.) au bord du ruisseau ou à la sortie de la conduite, et les échantillons ont été prélevés à l'aide d'un contenant, fixé ou non au bout d'une perche. Les instruments ont été triplement rincés avant de collecter les échantillons.

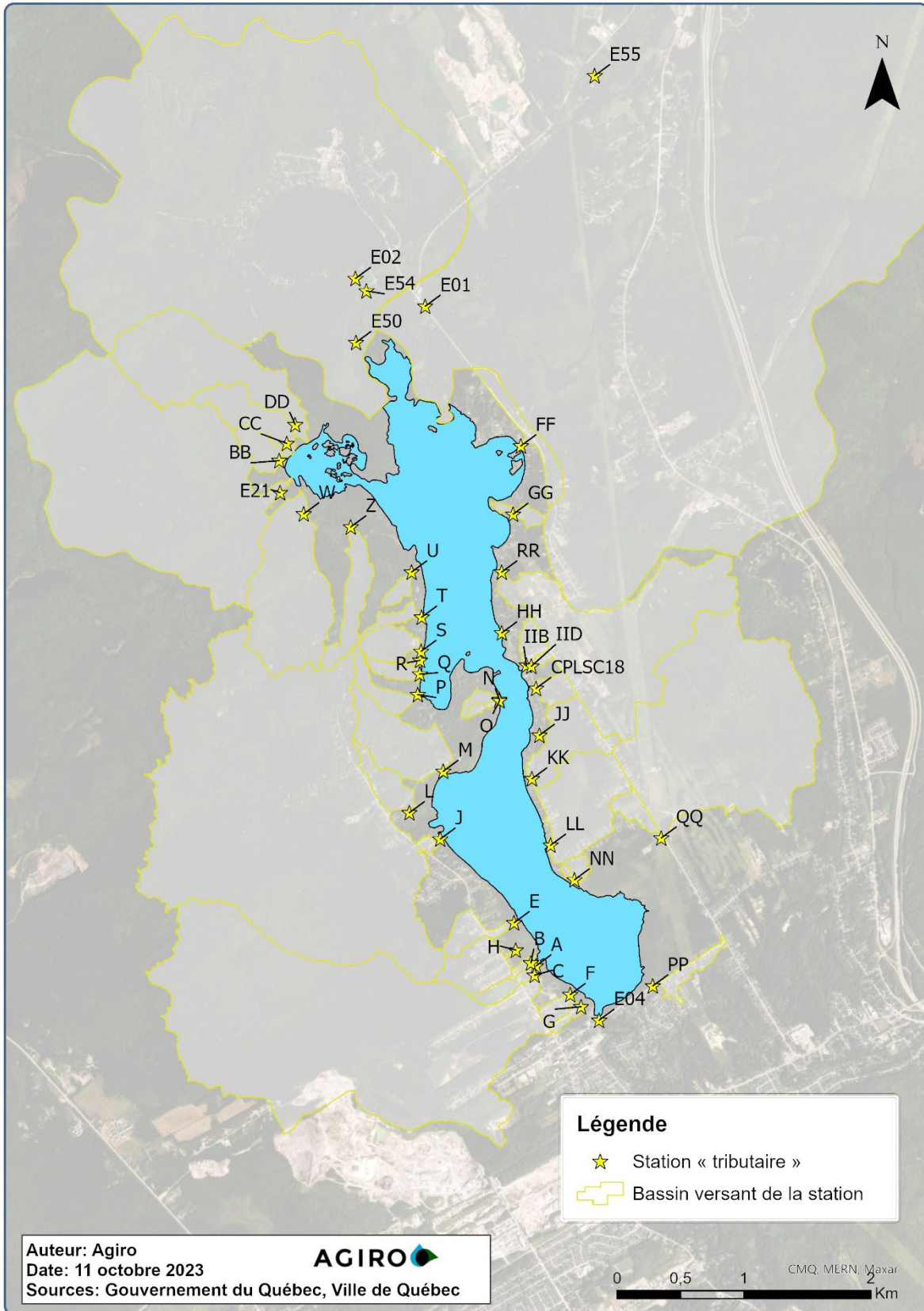


Figure D Stations d'échantillonnage des tributaires et des petits affluents du lac Saint-Charles.

## 2.3 Analyse des données physicochimiques et biologiques

Le Tableau D présente les paramètres mesurés par les sondes et en laboratoire. À l'exception de la chlorophylle *a* qui a été mesurée à l'Aquatic Laboratory de l'UQAC, les paramètres dosés en laboratoire ont été analysés au Laboratoire de la Ville de Québec. Pour plus d'informations concernant ces paramètres, veuillez consulter le *Guide d'introduction aux enjeux de la prise d'eau potable de la rivière Saint-Charles* (APEL, 2014). Les méthodes analytiques de laboratoire utilisées sont décrites à l'Annexe 2 de la diagnose du lac Saint-Charles (Agiro, 2024).

**Tableau D Paramètres mesurés avec les sondes multiparamétriques (EX02 pour les stations « lac » et « tributaire », HI98194 pour les stations « rive ») et paramètres dosés en laboratoire pour le lac Saint-Charles en 2022.**

Paramètres mesurés avec les sondes multiparamétriques				
Paramètre	Unité de mesure	Stations « lac »	Stations « rive »	Stations « tributaire »
Température de l'eau	°C	Profil vertical à chaque 0,5 m pour les stations « lac »	Une mesure de ces paramètres à chaque station	Une mesure de ces paramètres à chaque station
Oxygène dissous (O <sub>2</sub> )	%			
pH				
Conductivité spécifique	µS/cm			
Turbidité	NTU			
Solubles dissous totaux	mg/l			
Paramètres dosés en laboratoire				
Alcalinité	mg CaCO <sub>3</sub> /l	Prélèvement des couches de surface, intermédiaire et de fond pour chaque station « lac »	Un prélèvement à chaque station à l'aide d'un contenant	Un prélèvement à chaque station à l'aide d'un contenant
Ions chlorure	mg/l			
Azote total (NT)	mg/l			
Azote ammoniacal	µg/l			
Nitrites et nitrates	mg/l			
Phosphore total (PT)	µg/l			
Cyanobactéries <sup>3</sup>	cellules/ml			
Chlorophylle <i>a</i> (chl <i>a</i> )	µg/l			
Matière en suspension (MES)	mg/l			
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 ml			

<sup>3</sup> Seulement E01, E02, E54, E55 et E pour les stations « tributaire ».

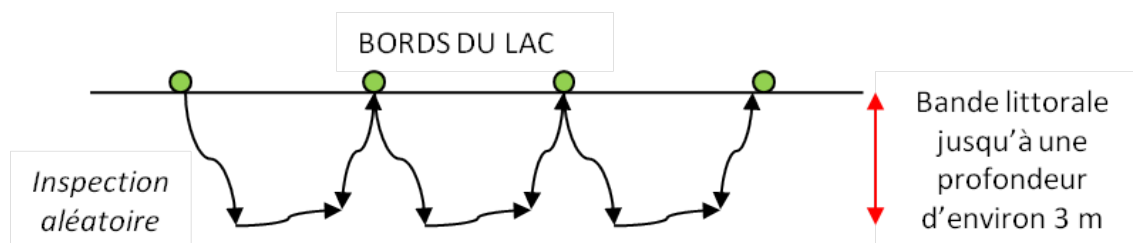
## 2.4 Caractérisation des herbiers aquatiques

La présence d'herbiers aquatiques est un indicateur des apports en nutriments au lac, ces plantes assimilant les nutriments disponibles pour leur croissance. Ainsi, une importante communauté végétale dans un lac signifie une forte productivité. Contrairement aux paramètres physicochimiques, les communautés de plantes aquatiques intègrent à long terme les changements dans l'environnement. Les étudier en complémentarité avec les paramètres physicochimiques permet d'avoir un portrait plus global sur l'état de santé d'un lac.

La caractérisation des communautés de plantes aquatiques vise à suivre leur évolution en analysant leur distribution, leur abondance et leur diversité, ainsi qu'en notant la présence de plantes envahissantes potentiellement problématiques. L'information recueillie permet d'identifier les zones du lac qui sont particulièrement affectées par la croissance de ces plantes et, s'il y a lieu, de suivre l'évolution des espèces envahissantes dans le but d'agir pour restreindre leur propagation. Les herbiers aquatiques se composent de tous les organismes végétaux visibles à l'œil nu capables de faire de la photosynthèse, appelés aussi macrophytes. Ce groupe comprend les plantes aquatiques, les algues macroscopiques et les mousses aquatiques, lesquelles se développent essentiellement dans les eaux peu profondes des lacs.

### 2.4.1 Recensement des herbiers aquatiques

La caractérisation des herbiers aquatiques a été effectuée selon le protocole développé par le MELCCFP (MELCCFP, 2016) pour le Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL). L'identification des herbiers a été réalisée sur l'ensemble du secteur peu profond du lac (profondeur inférieure à 3 m). Ce secteur sera référé par la suite comme étant la zone colonisable, c'est-à-dire la zone où se situent les conditions favorables pour la croissance des macrophytes. L'inventaire a été réalisé à partir d'un canot et à l'aide d'un aquascope selon un trajet aléatoire dans la bande littorale jusqu'à la visibilité le permettait (Figure E, tirée du protocole de caractérisation des herbiers du MELCCFP (2016)).



**Figure E** Méthode d'inventaire des herbiers.

Afin d'optimiser l'identification des espèces et leur superficie de recouvrement, l'inventaire est généralement réalisé au mois de septembre, période à laquelle les plantes aquatiques sont pleinement développées (tiges, feuilles, fleurs, fruits, rhizomes, etc.). Dans le cas du lac Saint-Charles, il est convenu de réaliser l'inventaire environ 18 semaines après la date de fonte des glaces. En 2022, le couvert de glace a disparu à 75 % le 28 avril pour les bassins nord et sud. La caractérisation des herbiers fut dès lors réalisée entre le 9 et le 20 septembre, soit précisément 19 semaines (135 jours) après la fonte printanière. Des conditions météorologiques favorables à la visibilité dans l'eau, soit un temps ensoleillé et peu venteux, étaient priorisées. Chaque herbier a été délimité et dessiné directement sur une carte numérique à l'aide d'une tablette munie d'une antenne GPS Arrow 100 GNSS (Eos Positioning Systems, Terrebonne, Québec) et de l'application ArcGIS Field Maps 22.4.0 (Esri Inc., Redlands, Californie). Cette dernière affiche la position de l'embarcation en temps réel avec une précision aux cinq centimètres, permettant de délimiter l'étendue des herbiers simultanément à leur observation. Un profondimètre Echotest (Plastimo, Lorient, France), des repères visuels et des orthophotographies facilitent également la délimitation.



Dans le but d'atteindre une plus grande précision dans l'analyse, la limite des herbiers a été fixée à l'endroit où il y a un changement d'espèce dominante ou du recouvrement total. L'objectif n'était pas d'identifier toutes les petites variations dans les communautés de plantes aquatiques, mais bien de visualiser les grandes tendances des communautés végétales et des zones occupées par les plantes aquatiques. La composition des herbiers est ensuite détaillée dans une fiche numérique comportant différents champs à compléter.

Les inventaires floristiques réalisés pour chaque herbier incluent :

- Les espèces présentes ;
- Le pourcentage de recouvrement total et propre à chaque espèce ;
- Le prélèvement d'échantillon lorsque difficilement identifiable sur place ;
- La prise de photos des échantillons sur place et au laboratoire d'Agiro.

## 2.4.2 Limitations

La méthodologie employée pour la caractérisation des herbiers aquatiques est fortement dépendante de la météorologie et comporte plusieurs défis matériels, logistiques et de ressources humaines, ce qui engendre des limitations :

- Bien qu'il préfère croître en eaux peu profondes (1 à 3 m), le myriophylle à épis peut se développer jusqu'à des profondeurs de 10 m (MELCCFP, 2023). La présence de myriophylle à épis au-delà de 3 m a été vérifiée aux endroits où l'espèce avait été détectée par le passé ou lorsqu'il y avait occurrence de celle-ci à l'intérieur de la zone colonisable pour un secteur donné. Malgré tout, le recouvrement de cette espèce est certainement sous-estimé, étant donné le manque de visibilité dans les zones du lac où la profondeur dépasse les 3 m.
- Certains secteurs difficilement accessibles en embarcation dû à la faible profondeur d'eau n'ont pas été caractérisés (marais du Sud et Baie Charles-Talbot), de même que l'entrée des Marais du Nord. Par conséquent, la zone inspectée ne couvre pas complètement la superficie colonisable du lac.
- La fréquence élevée des événements pluvieux de forte intensité a pour effet d'augmenter l'apport de matière particulaire au lac Saint-Charles. Cela se reflète sur la turbidité et la transparence de l'eau. On remarque que la visibilité fut réduite à partir de 2,5 m de profondeur par moment, nuisant ainsi à l'observation des herbiers aquatiques.
- La fréquence à laquelle sont conduites les diagnoses de lac (approximativement aux cinq ans) entraîne un biais d'observation lié aux ressources humaines en plus de l'évolution des technologies. Ainsi, l'équipe d'observateurs, le matériel et la technologie étaient différentes de celles de 2016, 2012 et 2007.

## 2.4.3 Analyse des herbiers aquatiques

La cartographie finale des herbiers aquatiques a été réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS Pro 3.0.3 (Esri Inc.), d'orthophotographies et de données bathymétriques. Cette démarche a permis d'évaluer l'étendue des herbiers aquatiques et la superficie de la zone colonisable du lac occupée par les plantes aquatiques, ajustée à la densité des herbiers selon la formule suivante :

$$SAD = \sum \left( \frac{R_i \times S_i}{100} \right)$$

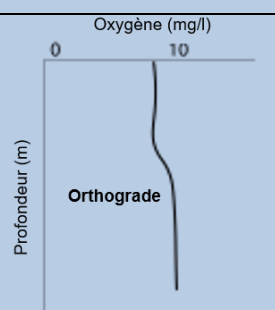
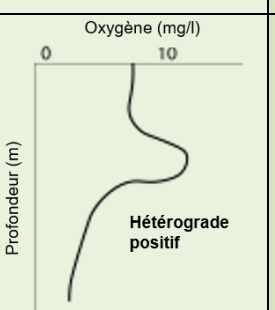
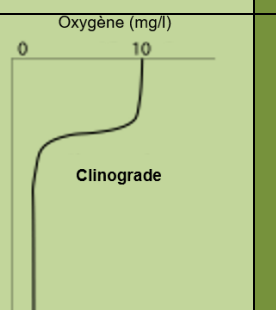
où SAD désigne la superficie de la zone colonisable (profondeur < 3 m) du lac occupée par les plantes aquatiques ajustée à la densité des herbiers, *i* désigne nième herbier, *R<sub>i</sub>* désigne le pourcentage de recouvrement du nième herbier, et *S<sub>i</sub>* désigne la superficie de la zone colonisable du lac occupée par le nième herbier.

La richesse spécifique, les abondances relatives des espèces végétales, la localisation des espèces problématiques et la densité des herbiers (pourcentage de recouvrement spécifique médian des herbiers) ont également été analysées afin de déterminer l'état trophique du lac en complément des paramètres physicochimiques (Tableau E).

## 2.5 Interprétation des données physicochimiques et biologiques du lac Saint-Charles

Le niveau trophique d'un lac est un indice de son état de vieillissement et/ou de son niveau de dégradation. Une synthèse de l'analyse et de l'interprétation des résultats physicochimiques et biologiques est présentée dans le Tableau E. À noter que chaque indicateur ne peut être pris individuellement pour catégoriser l'état trophique d'un lac ; il est essentiel de considérer ces indicateurs dans leur ensemble afin d'évaluer correctement son état de santé.

**Tableau E Indicateurs de l'état trophique utilisés pour l'analyse des données physicochimiques et biologiques.**

Indicateurs	Classes trophiques						
	<i>Ultra-oligotrophe</i>	<i>Oligotrophe</i>	<i>Oligo-mésotrophe</i>	<i>Mésotrophe</i>	<i>Méso-eutrophe</i>	<i>Eutrophe</i>	<i>Hyper-eutrophe</i>
Profil O <sub>2</sub>							
Volume Épi/Hypo		< 1				> 1	
Phosphore total (µg/l)	< 4	4–10	7–13	10–30	20–35	30–100	> 100
Azote total (mg/l)		< 0,35		0,35–0,65		0,65–1,20	> 1,20
Chlorophylle a (µg/l)	< 1	1–3	2,5–3,5	3–8	6,5–10	8–25	> 25
Transparence – Profondeur disque de Secchi (m)	> 12	12–5	6–4	5–2,5	3–2	2,5–1	< 1
Richesse spécifique des herbiers		Moyenne (10–15 espèces)		Élevée (> 15 espèces)		Faible (< 10 espèces)	
Densité des herbiers		C Faible (0–19 %)		B Intermédiaire (20–89 %)		A Très dense (90–100 %)	
Superficie de la zone colonisable du lac occupée par des herbiers, ajustée à la densité		C Faible (0–29 %)		B Intermédiaire (30–69 %)		A Élevée (70–100 %)	
Tableau adapté de Eberly (1964), Hébert et Légaré (2000), Lampert et Sommer (1999), MELCCFP (2022a), Pott et Remy (2000) et Schwoerbel et Brendelberger (2005).							

## 2.6 Caractérisation de la qualité de l'eau des tributaires du lac Saint-Charles

### 2.6.1 Indice de qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP)

Afin d'identifier les apports en nutriments qui contribuent à la dégradation de l'état d'un lac et affectent son niveau trophique, l'eau des tributaires du lac Saint-Charles a été échantillonnée (Tableau D). Des mesures ont été prises à l'aide de la sonde EXO2 et des échantillons ont été récoltés pour être analysés en laboratoire. L'analyse des paramètres physicochimiques de l'eau prélevée dans les tributaires est basée sur l'indice de qualité bactériologique et physicochimique (IQBP) du MELCCFP (Hébert, 1997)<sup>4</sup>. Cet indice évalue la qualité générale de l'eau des cours d'eau en intégrant les neuf paramètres présentés au Tableau F. À noter que pour cette diagnose, la concentration en chlorophylle *a* (chl *a*) des tributaires n'a pas été mesurée, et n'entre donc pas en compte dans la caractérisation de la qualité de leur eau basée sur l'IQBP. De même, le critère d'acidité de l'eau (pH) a également été mis de côté, étant donné le pH naturellement bas des cours d'eau présents sur le Bouclier canadien.

La fréquence et l'intensité des dépassements permettent de calculer l'IQBP correspondant et ainsi qualifier l'eau de « bonne » à « très mauvaise » (Tableau G).

**Tableau F Classe de qualité de l'eau de l'IQBP.**

Classe	CF / <i>E. coli</i> <sup>5</sup> (UFC/100ml)	Phosphore total (µg/l)	Matière en suspension (mg/l)	O <sub>2</sub> dissous (%)	pH	chl <i>a</i> (µg/l)	Turbidité (NTU)	Nitrites et nitrates (mg/l)	Azote ammoniacal (mg/l)
Bonne	≤ 200	≤ 30	≤ 6	88–124	6,9–8,6	≤ 5,70	≤ 2,3	≤ 0,50	≤ 0,23
Satisfaisante	201–1 000	31–50	7–13	80–87 ou 125–130	6,5–6,8 ou 8,7–9,0	5,71– 8,60	2,4–5,2	0,51– 1,00	0,24–0,50
Douteuse	1 001–2 000	51–100	14–24	70–79 ou 131–140	6,2–6,4 ou 9,1–9,3	8,61– 11,10	5,3–9,6	1,01– 2,00	0,51–0,90
Mauvaise	2 001–3 500	101–200	25–41	55–69 ou 141–150	5,8–6,1 ou 9,4–9,6	11,11– 13,90	9,7–18,4	2,01– 5,00	0,91–1,50
Très mauvaise	> 3 500	> 200	> 41	< 55 ou > 150	< 5,8 ou > 9,6	> 13,90	> 18,4	> 5,00	> 1,50

<sup>4</sup> À noter qu'une mise à jour de l'IQBP basé sur seulement six paramètres est désormais conseillée par le MELCCFP (MELCCFP, 2022b). Cependant, par souci de comparaison avec les précédentes diagnoses, il a été décidé de garder l'ancienne version de l'IQBP datant de 1997 (Hébert, 1997).

<sup>5</sup> À noter que depuis 2018, ce sont les *E. coli* qui sont mesurés par le laboratoire de la Ville de Québec. Frédéric Aubin, microbiologiste au laboratoire de la Ville de Québec, a indiqué qu'avec l'expérience des techniciens, les coliformes fécaux (CF) identifiés dans les années antérieures à 2018 étaient à 90–95% des *E. coli*. Ainsi, pour l'analyse des données, les seuils pour les coliformes fécaux seront appliqués aux données d'*E. coli*.

**Tableau G Indice de la qualité bactériologique et physicochimique (Hébert, 1997).**

IQBP	Classes de qualité de l'eau
A (80–100)	Eau de bonne qualité
B (60–79)	Eau de qualité satisfaisante
C (40–59)	Eau de qualité douteuse
D (20–39)	Eau de mauvaise qualité
E (0–19)	Eau de très mauvaise qualité

### 2.6.2 Critères de qualité des eaux de surface

En plus des critères de l'IQBP, le MELCCFP offre également des critères de qualité pour les eaux de surface (MELCCFP, 2022a). On considère qu'il y a un dépassement lorsque la concentration d'un des paramètres dépasse les valeurs seuils compilées au Tableau H. Il est à noter que le seuil d'azote total utilisé est celui du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) datant de 2012, et ce, même si ce dernier l'a aboli depuis. Ce seuil a été conservé à des fins de comparaisons entre les campagnes d'échantillonnage. Selon ce critère, l'hypothèse d'un rejet démesuré en azote vers le milieu aquatique récepteur peut être avancée lorsque la concentration d'azote total est supérieure à 1 mg/l. Afin d'évaluer la performance des stations d'épuration des eaux usées, les seuils proposés par le MELCCFP (Hébert, 1997 ; MELCCFP, 2022c ; MELCCFP, 2022d) ainsi que ceux tirés de la littérature (Schwoerbel et Brendelberger, 2005) ont été utilisés (Tableau I).

**Tableau H Seuils pour l'évaluation de la qualité de l'eau de surface.**

Paramètre	Seuil	Description
CF / <i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	≤ 200	Permet tous les usages récréatifs (MELCCFP, 2022a)
	201–1 000	Les usages où il y a contact direct avec l'eau sont compromis (MELCCFP, 2022a)
	> 1 000	Tous les usages récréatifs sont compromis (MELCCFP, 2022a) Valeur maximale de la classe « satisfaisante » de l'IQBP (Hébert, 1997)
PT <sup>6</sup> (µg/l)	30	Valeur recommandée par le ministère. Vise à limiter la croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques dans les ruisseaux et les rivières (MELCCFP, 2022a)
MES (mg/l)	13	Valeur maximale de la classe « satisfaisante » de l'IQBP (Hébert, 1997)
NT (mg/l)	1	Seuil du MDDEP datant de 2012 maintenant aboli, mais utilisé à titre de comparaisons interannuelles
Nitrites-nitrates (mg/l)	1	Valeur maximale de la classe « satisfaisante » de l'IQBP (Hébert, 1997)
Azote ammoniacal (µg/l)	500	Valeur maximale de la classe « satisfaisante » de l'IQBP (Hébert, 1997)

<sup>6</sup> Cette valeur protectrice pour les cours d'eau n'assure pas toujours la protection des lacs en aval.

**Tableau I Seuils pour l'évaluation de la performance des stations d'épuration des eaux usées.**

Paramètre	Seuil	Description
MES (mg/l)	25	Norme de performance pancanadienne (Position sur les normes de performance de la Stratégie pancanadienne pour la gestion des effluents d'eaux usées municipales (MELCCFP, 2022c))
PT (µg/l)	300	Exigence pour un rejet existant en amont d'un lac prioritaire (Position ministérielle sur la réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées domestiques (MELCCFP, 2022d))
NT (mg/l)	2–4	Seuil proposé des rejets d'eaux usées traitées pour la protection des lacs (Schwoerbel et Brendelberger, 2005)
Nitrites-nitrates (mg/l)	1	Valeur maximale de la classe « satisfaisante » de l'IQBP (Hébert, 1997)
Azote ammoniacal (µg/l)	500	Valeur maximale de la classe « satisfaisante » de l'IQBP (Hébert, 1997)

### 2.6.3 Conductivité spécifique et ions chlorure

La conductivité spécifique est utilisée comme paramètre intégrateur et permet souvent de déceler des variations de la qualité de l'eau entre des secteurs non perturbés, faiblement urbanisés ou à forte occupation anthropique (Dow et Zampella, 2000). En effet, la conductivité spécifique est un indice de la charge de l'eau en matières dissoutes totales et elle permet de détecter certaines contaminations par des éléments qui ne sont pas pris en compte dans le cadre du calcul de l'IQBP<sup>7</sup>. La charge en ions chlorure est un exemple de paramètre exclu du calcul de l'IQBP, mais qui peut contribuer à augmenter la conductivité spécifique.

Les sels de déglacement peuvent entraîner des conséquences importantes sur l'eau et l'environnement (Fournier, 2021). Les différents paliers gouvernementaux ont défini des critères de concentration pour les ions chlorure afin de protéger la qualité de l'eau et la vie aquatique. Les recommandations du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) sont de 120 mg/l pour une exposition chronique et de 630 mg/l pour une exposition aiguë (CCME, 2011). Le MELCCFP propose quant à lui des seuils de 230 mg/l et de 860 mg/l respectivement pour prévenir les effets chronique et aigu sur la faune aquatique (MELCCFP, 2022a). De plus, le critère québécois visant à conserver les propriétés organoleptiques de l'eau est établi à 250 mg/l. Ces recommandations peuvent être utiles pour comparer les valeurs de référence pour une région donnée. Or, à une échelle plus fine, les concentrations réelles observées dans les lacs et les rivières sont généralement plus faibles que les seuils recommandés et varient en fonction du degré d'urbanisation de la zone observée (Fournier, 2021). Cela peut induire un faux sentiment que les plans d'eau et leur écosystème sont peu ou pas affectés par les sels de déglacement. Il y a donc lieu de définir une classification basée sur les données récoltées in situ depuis 2012 par Agiro afin de mieux évaluer la vulnérabilité de chaque sous-bassin versant aux apports de sels de déglacement et faciliter la priorisation des actions.

Pour évaluer la conductivité spécifique et la concentration en ions chlorure, une classification issue de dix années de données récoltées par Agiro dans le cadre du programme de suivi de la qualité de l'eau a été mise en place (Tableau J). Cette classification d'Agiro est spécifique au bassin versant de la rivière Saint-Charles, situé sur le Bouclier canadien. Son utilisation dans d'autres bassins versants présentant des propriétés géologiques différentes doit donc se faire avec la plus extrême vigilance.

<sup>7</sup> À noter qu'il n'est pas possible d'identifier les éléments exerçant une influence potentielle sur la conductivité spécifique sans analyses supplémentaires.

**Tableau J Classes de conductivité spécifique et de concentration en ions chlorure proposées par Agiro pour le haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles.**

Classe	Conductivité spécifique ( $\mu\text{S/cm}$ )	Ions chlorure (mg/l)
Classe 1	0,00–49,99	0,00–9,99
Classe 2	50,00–99,99	10,00–19,99
Classe 3	100,00–149,99	20,00–49,99
Classe 4	150,00–249,99	50,00–79,99
Classe 5	250,00–399,99	80,00–149,99
Classe 6	400,00–999,99	150,00–249,99
Classe 7	> 1 000,00	> 250,00

La classification utilisée pour la conductivité spécifique est adaptée de Pott et Remy (2000). Noter que la conductivité spécifique peut autant être influencée par les ions chlorure provenant des sels de déglacage et les abrasifs que par l’apport, entre autres, d’éléments nutritifs comme les phosphates ainsi que les nitrites et nitrates. Sans influence anthropique, la conductivité spécifique de l’eau devrait être inférieure à 50  $\mu\text{S/cm}$ . La conductivité spécifique de l’eau pure est égale à 0. Pour les eaux de lacs de tête et à l’état naturel du Bouclier canadien, la conductivité spécifique se situe entre 20 et 50  $\mu\text{S/cm}$ , voir même inférieure à 20  $\mu\text{S/cm}$  (Fournier, 2021).

La classification utilisée pour la concentration moyenne en ions chlorure est établie en fonction de :

- La teneur en ions chlorure dans le milieu naturel, équivalente à 0 mg/l ;
- Le seuil maximal recommandé par le MELCCFP (250 mg/l) pour la protection de l’eau ;
- Les conséquences d’une augmentation de la concentration en ions chlorure soulevées dans l’étude de Fournier (2021) ;
- Les caractéristiques de la distribution de données historiques disponibles pour les petits tributaires dans le haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles (moyenne et écart type standard).

À noter également que la comparaison interannuelle entre les classes doit se faire en tenant compte du régime d’écoulement au moment de l’échantillonnage. Ainsi, un débit faible ou une eau stagnante auront inévitablement un impact sur la conductivité spécifique et la concentration en ions chlorure.

## 2.7 Pluviométrie

L’analyse de corrélation entre les données de pluviométrie et les données de qualité d’eau est réalisée sur une base qualitative et quantitative.

Ainsi, une classe qualitative de temps de pluie est systématiquement attribuée à chaque sortie d’échantillonnage, ce qui permet de planifier celles-ci de façon à recueillir suffisamment de données par temps de pluie. La définition qualitative utilisée pour évaluer l’effet de la pluie sur les résultats de qualité d’eau permet de classer les précipitations en cinq régimes.

Les deux premiers sont qualifiés de *temps sec* :

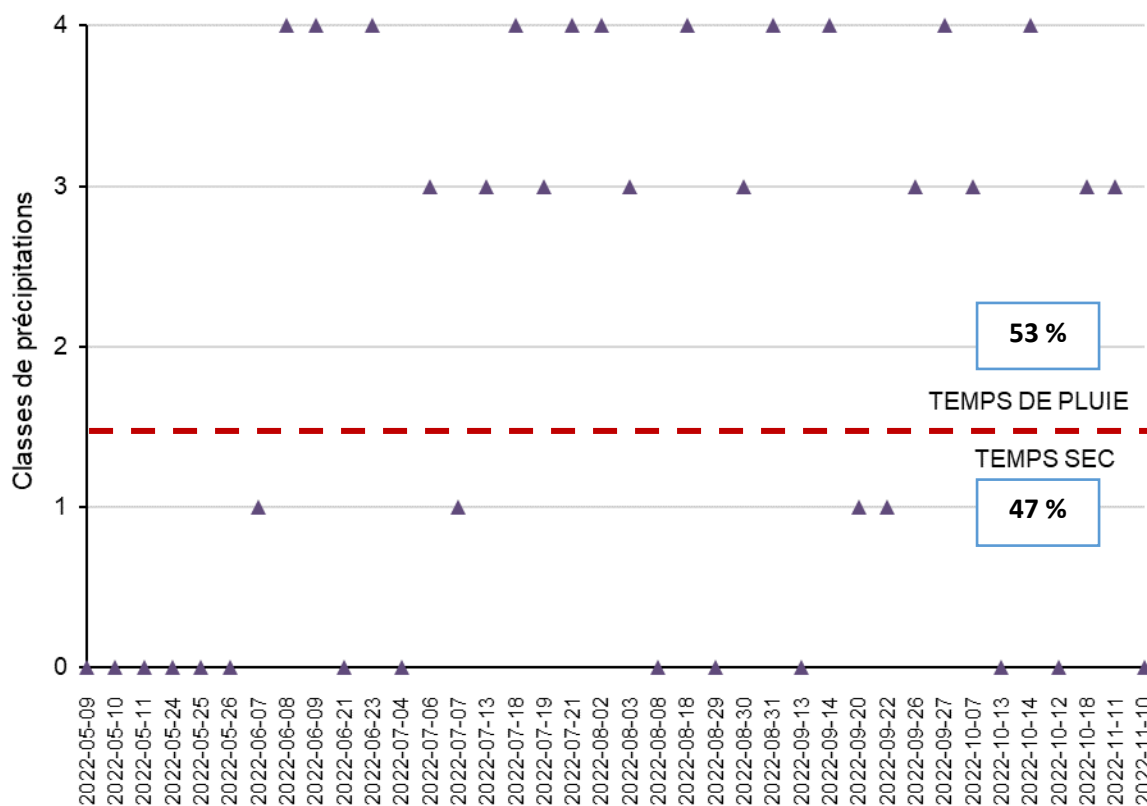
**0** pas de pluie dans les 0 à 48 heures précédant l’échantillonnage

- 1 *il a plu dans les 0 à 48 heures précédant l'échantillonnage (faible pluie pendant les deux jours précédant l'échantillonnage)*

Les trois autres régimes sont qualifiés de temps de pluie :

- 2 *il a plu dans les 24 à 48 heures précédant l'échantillonnage*
- 3 *il a plu dans les 24 dernières heures*
- 4 *il a plu au moment de l'échantillonnage*

Les classes attribuées à chaque sortie d'échantillonnage sont présentées à la Figure F. L'objectif, atteint en 2022, est d'obtenir au moins 50 % de classes 2 à 4 pour l'ensemble des sorties d'échantillonnage.



**Figure F** Classes de précipitation attribuées aux sorties d'échantillonnage et proportion sur la saison en 2022.

La définition quantitative utilisée pour évaluer l'effet de la pluie sur les résultats de qualité d'eau permet de classer les précipitations en trois régimes :

<b>Temps sec</b>	0 à 4,9 mm dans les 0 à 48 heures précédant l'échantillonnage ou > 48 h sans pluie
<b>Faible pluie</b>	5 à 9,9 mm dans les 0 à 48 heures précédant l'échantillonnage
<b>Pluie</b>	10 mm ou plus dans les 0 à 48 heures précédant l'échantillonnage

Dans la majorité des cas, les observations qualitatives de terrain et les données quantitatives des stations pluviométriques concordent.



Mentionnons toutefois qu'une pluie inférieure à 5 mm peut influencer négativement la qualité d'un cours d'eau de faible débit, tel qu'un ruisseau. En fonction du degré de perméabilité du territoire, les débits des conduites et des fossés peuvent être influencés même par de petits événements pluvieux, ce qui est le cas de plusieurs petits tributaires du lac Saint-Charles. Ainsi, l'hypothèse de la pluviométrie pourrait être avancée pour expliquer de mauvais résultats de qualité d'eau dans le cas où il se produit une importante variation de débit, et ce même si la pluie est inférieure à 5 mm lors des deux jours précédant l'échantillonnage.

## 2.8 Caractérisation des rives

La bande riveraine est la zone terrestre qui borde le lac. Pour remplir son rôle de protection du lac, elle doit être végétalisée afin de filtrer les polluants, freiner le ruissellement des sédiments, retenir le sol, faire de l'ombrage sur le milieu aquatique et permettre à l'eau de pluie de s'infiltrer. La caractérisation des bandes riveraines vise trois objectifs principaux :

- Déterminer les zones homogènes d'occupation du sol dans la bande riveraine ;
- Estimer l'intégrité de l'écosystème riverain ;
- Recenser les points les plus critiques et dégradés en vue d'une intervention.

### 2.8.1 Recensement des zones homogènes

La caractérisation des rives des lacs a été réalisée en suivant le Protocole de caractérisation de la bande riveraine, établi par le MELCCFP et le Conseil régional de l'environnement (CRE) des Laurentides (MELCCFP et CRE Laurentides, 2007). Sur une bande de 15 mètres de largeur, à partir de la rive vers les terres, des sections homogènes de la bande riveraine ont été identifiées selon la classe d'occupation du sol dominante. Une fois la section déterminée, la méthode de l'indice de qualité de la bande riveraine (IQBR) a été utilisée afin d'analyser la rive selon le pourcentage de la superficie occupée par les neuf composantes suivantes (MELCCFP, 2022e) :

- Strate arborescente (forêt) ;
- Strate arbustive ;
- Strate herbacée ;
- Coupes forestières ;
- Friche et pelouse ;
- Cultures ;
- Sol nu ;
- Socle rocheux ;
- Infrastructures d'origine anthropique.

La caractérisation de la bande riveraine a été réalisée au lac Saint-Charles par deux employés d'Agiro à partir d'une embarcation entre le 1<sup>er</sup> et le 15 juin 2022. Comme pour la caractérisation des herbiers, chaque section homogène de bandes riveraines a été délimitée et dessinée directement sur une carte numérique à l'aide d'une tablette munie d'une antenne GPS Arrow 100 GNSS (Eos Positioning Systems) et de l'application ArcGIS Field Maps 22.4.0 (Esri Inc.). Les observations ont également été notées sur des fiches de terrain. Les problématiques spécifiques et ponctuelles ont également été relevées.

## 2.8.2 Analyse des bandes riveraines

Les résultats sont présentés selon l'IQBR (Tableau K) et visent à estimer la condition écologique des rives selon l'importance de chacune des composantes (MELCCFP, 2022e). Ainsi, un facteur de pondération est attribué à chaque composante selon ses capacités à remplir les fonctions écologiques d'une bande riveraine (Tableau L). La valeur de l'IQBR est obtenue selon la formule suivante :

$$IQBR = \left[ \sum (\%_i \times P_i) \right] / 10$$

où i est la nième composante (p. ex. forêt, arbustaie, etc.), %<sub>i</sub> est le pourcentage du secteur couvert par la nième composante, et P<sub>i</sub> est le facteur de pondération de la nième composante.

Plus spécifiquement, en détaillant les neuf composantes et leur facteur de pondération respectif, l'IQBR peut être calculé comme suit :

$$IQBR = \left[ (\%_{\text{forêt}} \times 10) + (\%_{\text{arbustaie}} \times 8,2) + (\%_{\text{herbacée naturelle}} \times 5,8) + (\%_{\text{coupe forestière}} \times 4,3) \right. \\ \left. + (\%_{\text{friche_fourrage_pâturage_pelouse}} \times 2,2) + (\%_{\text{culture}} \times 1,9) + (\%_{\text{sol nu}} \times 1,7) \right. \\ \left. + (\%_{\text{socle rocheux}} \times 3,8) + (\%_{\text{infrastructure}} \times 1,9) \right] / 10$$

Plus l'IQBR sera élevé, plus la qualité de l'habitat riverain sera bonne (MELCCFP, 2022e).

**Tableau K Classification de l'IQBR.**

Capacité de la bande riveraine à remplir ses fonctions écologiques	IQBR
Excellente	90–100
Bonne	75–89
Moyenne	60–74
Faible	40–59
Très faible	17–39

**Tableau L Détermination du facteur de pondération pour chaque composante des bandes riveraines (MELCCFP, 2022e).**

FONCTIONS ÉCOLOGIQUES	FORÊT	ARBUSTAIE	HERBAÇAIE	COUPE FORESTIÈRE	PELOUSE	CULTURE	SOL NU	SOCLE ROCHEUX	INFRASTRUCTURE
Rétention : sédiments, nutriments, contaminants	7	7	7	5	3	3	1	1	1
Stabilisation des berges	7	5	3	3	1	1	1	7	1
Protection contre l'érosion des sols	7	5	3	5	3	1	1	7	3
Régularisation de la température du cours d'eau	7	5	1	1	1	1	1	1	1
Réduction de l'évapotranspiration	7	5	5	5	1	1	1	1	1
Limite de la productivité autochtone au cours d'eau	7	5	3	1	1	1	1	1	1
Source d'apports allochtone au cours d'eau	7	7	7	3	1	1	1	1	1
Régularisation de l'hydrosystème et recharge de la nappe phréatique	7	5	1	1	1	1	1	1	1
Création d'habitats dans le cours d'eau (substrats, abris, refuges)	7	5	3	3	1	1	1	1	3
Maintien de la biodiversité (aquatique et terrestre)	7	7	5	3	1	1	1	1	1
Préservation de l'habitat naturel	7	7	7	3	3	3	3	7	1
Potentiel réel : (potentiel maximal : 77) <sup>5</sup>	77	63	45	33	17	15	13	29	15
Facteur de pondération	10	8,2	5,8	4,3	2,2	1,9	1,7	3,8	1,9

### 3 Méthodes de calculs des débits des tributaires

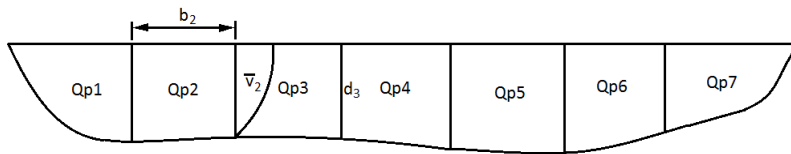
Les données de débit instantané permettent d'étudier la relation entre le débit des cours d'eau et les différents paramètres de qualité d'eau mesurés. Cette analyse vise à déterminer si la variation de la concentration en contaminants est surtout attribuable au débit. Pour plus d'informations sur les méthodes de mesure de débit, veuillez-vous référer au Tableau M.

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour mesurer les débits de chaque affluent en fonction des conditions expérimentales, de la vitesse d'écoulement, de la profondeur d'eau et de la configuration du lit. La méthode des débits instantanés consiste à mesurer l'aire transversale du cours d'eau ainsi que la vitesse d'écoulement à intervalles réguliers le long d'un transect. Il est possible de calculer la durée moyenne que met un flotteur pour parcourir une distance donnée pour connaître la vitesse d'écoulement, tandis que l'utilisation d'un courantomètre (Swoffer Model 3000, Swoffer Instruments Inc., Sumner, Washington) permet de le faire directement. En présence d'une conduite ou d'un tuyau, on peut également employer la méthode volumétrique qui consiste à mesurer le temps de remplissage d'un récipient dont le volume est connu. La mesure du débit est, autant que possible, répétée à chaque visite d'échantillonnage, mais il arrive qu'il n'y ait pas assez d'eau à la station, particulièrement pour les cours d'eau intermittents. La méthode utilisée peut alors varier non seulement entre les stations, mais aussi pour une même station.

**Tableau M Méthodes de mesure des débits.**

**Méthode aire-vitesse avec courantomètre**

Cette méthode consiste à mesurer la profondeur ( $d$ ) en plusieurs points du cours d'eau. Les distances ( $b$ ) qui séparent les profondeurs mesurées sont ensuite multipliées par la profondeur moyenne. Ensuite, l'aire calculée est multipliée par la vitesse moyenne ( $\bar{v}$ ) de ce panneau ( $Q_p$ ). Ici, la vitesse moyenne est directement obtenue par l'intégration du profil de vitesse avec le courantomètre. Finalement, les débits partiels ( $Q_{pi}$ ) de chaque panneau sont additionnés afin d'obtenir le débit total du cours d'eau ( $Q$ ).



Les débits partiels ( $Q_{pi}$ ) se calculent suivant cette équation :

$$Q_{pi} = \frac{\bar{v}_i + \bar{v}_{i+1}}{2} * \frac{d_i + d_{i+1}}{2} * b$$

Dans le cas des panneaux aux berges ( $Q_{p1}$  et  $Q_{p7}$ ), le débit partiel se calcule comme suit :

$$Q_{p1} = \frac{2}{3} \bar{v}_1 * \frac{1}{2} (d_0 + d_1) * b$$

Le débit total :

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_{pi}$$

où  $n$  est le nombre de panneaux selon les dimensions du cours d'eau.

**Méthode aire-vitesse avec flotteurs**

Lorsque le niveau d'eau est trop bas ou que la vitesse d'écoulement est trop faible pour l'utilisation du courantomètre, des flotteurs sont utilisés pour mesurer la vitesse ( $v$ ). La vitesse se calcule en mesurant le temps ( $t$ ) que prend le flotteur pour parcourir une distance fixe ( $d$ ). Le débit ( $Q$ ) est calculé en multipliant l'aire de la section ( $A$ ), mesurée sur place, par la vitesse.

$$v = \frac{d}{t}$$

$$Q = v * A$$

**Méthode volumétrique**

Cette méthode consiste à calculer le débit en utilisant un récipient de volume connu ( $V$ ) et en mesurant le temps ( $t$ ) nécessaire pour le remplir. Il est possible d'utiliser cette méthode lorsque l'eau chute d'une conduite et que le débit est faible.

$$Q = \frac{V}{t}$$

## 4 Références bibliographiques

- Agiro (2024) *Diagnose du lac Saint-Charles – 2022. Annexe 2 : Méthodes analytiques du laboratoire de la Ville de Québec*. Québec, 4 pages.
- APEL (2014) *Guide d'introduction aux enjeux de la prise d'eau potable de la rivière Saint-Charles*. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 12 pages.
- 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*. Essai de maîtrise, Université Laval, Québec, 434 pages.
- CCME (2011) *Canadian water quality guidelines : chloride ion*. Scientific criteria document, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, 224 pages.
- Dow, C. L. et Zampella, R. A. (2000) *Specific conductance and pH as indicators of watershed disturbance in streams of the New Jersey Pinelands, USA*. *Environmental management*, 26(4): 437–445.
- Eberly, W. R. (1964) *Further studies on the metalimnetic oxygen maximum, with special reference to its occurrence throughout the world*. *Investigations of Indiana Lakes and Streams*, 5:103–139.
- Fournier, I. (2021) *Salinisation des écosystèmes lacustres par les sels de voirie : perturbations chimiques et réponses des communautés microbiennes*. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 185 pages.
- Hébert, S. (1997) *Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau pour les rivières du Québec*. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq n° EN/970102, Québec, 20 pages.
- Hébert, S. et Légaré, S. (2000) *Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau*. Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Envirodoq n° ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, Québec, 24 pages.
- Lampert, W. et Sommer, U. (1999) *Limnoökologie, 2. neu bearbeitete Auflage*. Georg Thieme Verlag (éd.), Stuttgart, New York, 489 pages.
- MELCCFP (2013) *Catégories de fleurs d'eau d'algues bleu-vert*. Québec, 2 pages.
- MELCCFP (2016) *Protocole de détection et de suivi des plantes aquatiques exotiques envahissantes (PAEE) dans les lacs de villégiature du Québec*. Direction de l'information sur les milieux aquatiques, Direction de l'expertise en biodiversité, Québec, 54 pages.
- MELCCFP (2022a) *Critères de qualité de l'eau de surface*. [En ligne] Consulté en mars 2022. [http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres\\_eau/index.asp](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp)
- MELCCFP (2022b) *Guide d'interprétation de l'indice de la qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP<sub>5</sub> et IQBP<sub>6</sub>)*. Québec, 21 pages.
- MELCCFP (2022c) *Position sur les normes de performance de la Stratégie pancanadienne pour la gestion des effluents d'eaux usées municipales*. [En ligne] Consulté en mars 2022. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/strat-pancan/index.htm>

MELCCFP (2022d) *Position ministérielle sur la réduction du phosphore dans les rejets d'eau usées d'origine domestique*. [En ligne] Consulté en mars 2022.

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/reduc-phosphore/index.htm>

MELCCFP (2022e) *Indice de qualité de la bande riveraine (IQBR)*. [En ligne] Consulté en janvier 2022.

[http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/IQBR/index.htm](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/IQBR/index.htm)

MELCCFP (2023) *Prévention et lutte contre le myriophylle à épis – Guide d'accompagnement*. Québec, 52 pages.

MELCCFP et CRE Laurentides (2007) *Protocole de caractérisation de la bande riveraine*. Québec, 19 pages.

Pott, R. et Remy, D. (2000) *Gewässer des Binnenlandes - Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer aus geobotanischer Sicht*. Ulmer (éd.), Stuttgart, 255 pages.

Schwoerbel, J. et Brendelberger, H. (2005) *Einführung in die Limnologie*. Elsevier Spektrum Akademischer Verlag (éd.), 9<sup>ème</sup> édition, Munich, 252 pages.