

Diagnose du lac Saint-Charles – 2022

Rapport final | 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

Olivier Chouinard, PAE-DD, Conseiller en environnement, Ville de Québec

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

Référence à citer

Agiro (2024) *Diagnose du lac Saint-Charles – 2022*. Québec, 77 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

Portée et limitations

Ce document est publié conformément et sous réserve d'une entente entre Agiro et la Ville de Québec. Il est limité aux activités mentionnées dans le document d'appel d'offres et préparé en utilisant les niveaux de compétence et de diligence normalement exercés par des scientifiques en environnement dans la préparation d'un tel document. Ce document est destiné à être lu comme un tout et des sections ou des parties ne doivent donc pas être lues, utilisées ou invoquées hors de leur contexte. Le document est la propriété de la Ville de Québec. La reproduction de ce document en entier ou en partie est autorisée sous réserve de faire référence à Agiro comme en étant l'auteur.

Lors de la préparation de ce document, Agiro a suivi une méthodologie et des procédures et pris les précautions appropriées au degré d'exactitude visé, en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent. Agiro est d'avis que les recommandations issues de ce rapport doivent être considérées comme valides avec une marge d'erreur raisonnable pour ce type d'étude.

Toute personne ou organisation qui s'appuie sur ou utilise ce document à des fins ou pour des raisons autres que celles convenues par Agiro et la Ville de Québec sans avoir obtenu au préalable le consentement écrit de la Ville de Québec, le fait à ses propres risques. Agiro décline toute responsabilité envers la Ville de Québec et les tiers en ce qui a trait à l'utilisation (publication, renvoi, référence, citation ou diffusion) du présent document, ainsi que toute décision prise ou action entreprise sur la foi dudit document par quelque tiers que ce soit.

Principaux constats

La **diagnose de 2022** met en lumière l'état **préoccupant** du **lac Saint-Charles** et de ses **tributaires**.

Ces résultats viennent confirmer ceux des diagnoses de 2016 et 2012, et soulignent que le lac ne montre pas encore de signes de stabilisation.

Le lac Saint-Charles est rendu à un stade **méso-eutrophe**. Malgré les efforts mis en place dans le bassin versant, les concentrations en **phosphore** continuent à augmenter. La piste d'une contamination par les **eaux usées** semble la plus vraisemblable, le bassin versant abritant deux **stations d'épuration** d'eaux usées et plusieurs milliers d'**installations septiques autonomes**.

Le fond du lac Saint-Charles connaît des périodes de **carence en oxygène** en été et en hiver. Un tel déficit en oxygène peut entraîner le **relargage** de **phosphore** depuis les **sédiments**, accélérant l'enrichissement du lac.

La teneur en **ions chlorure** continue à augmenter dans le lac, mais à un rythme moins soutenu que par le passé, soulignant que les efforts visant à **limiter l'épandage de sels de voirie** portent leur fruit, mais restent insuffisants.

Une **diminution** du recouvrement des **herbiers aquatiques** a été observé entre 2016 et 2022 ; des analyses ultérieures seront nécessaires pour confirmer si cette diminution se maintient dans le temps, mais si elle venait à se confirmer, elle pourrait **augmenter la fréquence des efflorescences de cyanobactéries**. 32 épisodes de ces efflorescences ont eu lieu en 2022, essentiellement à la baie de l'Écho, au barrage Cyrille-Delage et au secteur de la plage à l'extrémité sud du lac Saint-Charles. Les cyanobactéries responsables de ces efflorescences avaient le potentiel d'émettre des toxines.

Malgré les nombreuses campagnes de soutien et d'aide à la végétalisation des rives, **plus d'un tiers des bandes riveraines** du lac Saint-Charles ne remplissent **pas** de façon **adéquate** leur fonction écologique pour la protection de la qualité de l'eau du lac.

40 % des tributaires du lac Saint-Charles présentent une qualité d'eau « **mauvaise** » à « **très mauvaise** », en raison de l'**urbanisation** du bassin versant.

Il n'est cependant pas trop tard ! Le lac Saint-Charles est un **écosystème extrêmement résilient** ! Les actions entreprises étaient nécessaires, et ont peut-être permis de freiner le rythme de dégradation. Mais elles demeurent insuffisantes pour améliorer l'état de santé du lac. Il reste les actions les plus ambitieuses, mais pour lesquelles des solutions concrètes et applicables existent. Une **mise à jour du plan d'action impliquant tous les acteurs du bassin versant** et basée sur les **recommandations** de ce bilan de santé du lac est nécessaire afin de **protéger l'intégrité écologique** et la **santé** de ce dernier.

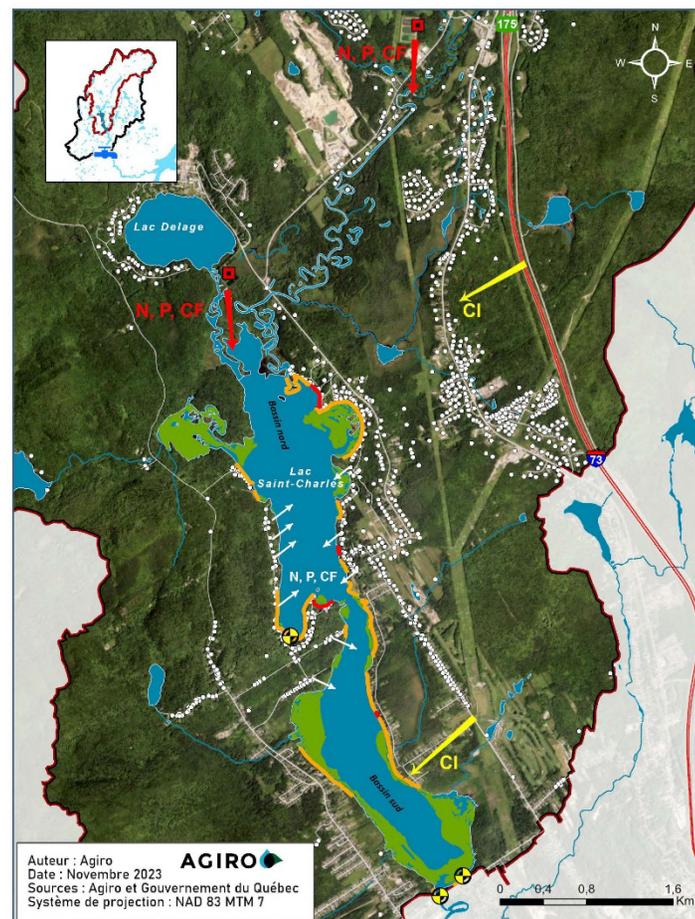


Figure A Principaux enjeux rencontrés au lac Saint-Charles

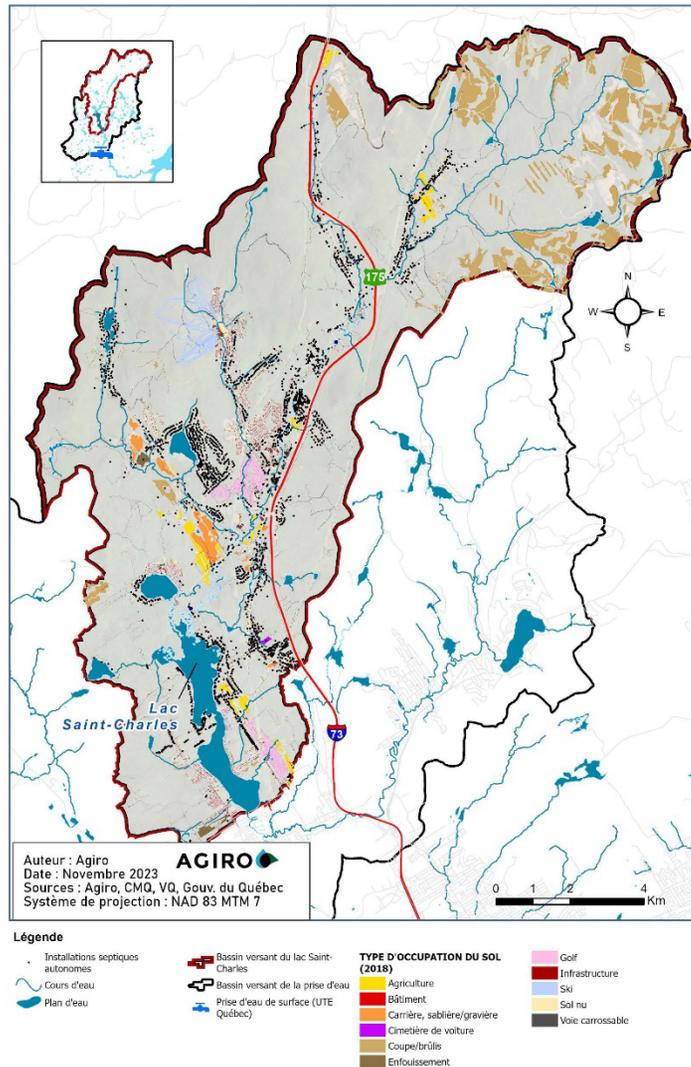


Figure B Pressions anthropiques importantes dans le bassin versant du lac Saint-Charles

Principales recommandations

EAUX USÉES

- Raccorder les usines de traitement des eaux usées des villes de Lac-Delage et de Stoneham-et-Tewkesbury au réseau d'égouts de la Ville de Québec
- Cesser le développement sur installation septique autonome (ISA)
- Assurer le bon fonctionnement et la bonne utilisation des ISA, tout en privilégiant leur raccordement au réseau d'égouts de la Ville de Québec là où cela est possible

ENGRAIS ET PESTICIDES

- Assurer un meilleur encadrement des compagnies d'entretien des pelouses
- Encourager un entretien écologique des pelouses (sans engrais) et proscrire l'application de pesticides dans le bassin versant du lac

SELS DE VOIRIE

- Réaliser un bilan des sources de contamination aux ions chlorure pour les eaux de surface et souterraines
- Réduire l'épandage de sel de déglacage et adapter sa vitesse en hiver

GESTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT

- Mettre en place des ouvrages de gestion des eaux pluviales et optimiser ceux déjà existant

VÉGÉTALISATION

- Végétaliser les berges et les zones où le sol est à nu
- Sensibiliser les riverains quant à l'importance de la restauration des bandes riveraines pour la protection du lac

CONSERVATION ET RESTAURATION

- Établir un seuil de développement urbain à ne pas dépasser garantissant la préservation du lac Saint-Charles, et instaurer un moratoire sur le développement en attendant ces résultats
- Assurer une bonne gestion de l'érosion lors d'un développement urbain
- Conserver au maximum les milieux naturels
- Adopter un plan de conservation des milieux naturels guidant les stratégies de conservation et visant la protection de la quantité et qualité d'eau
- Restaurer les milieux dégradés

PROLIFÉRATION DE PLANTES AQUATIQUES ET CYANOBACTÉRIES

- Réduire les apports en éléments nutritifs
- Surveiller l'expansion de la population de myriophylle à épis
- Mettre en place un plan de gestion des usages du lac

SENSIBILISATION DES CITOYENS

- Informer et sensibiliser les citoyens quant aux bonnes pratiques à adopter

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

1	Introduction	1
2	Description du lac Saint-Charles et de son bassin versant	3
3	État trophique du lac Saint-Charles	10
3.1	Conditions météorologiques – Contexte de mesures	10
3.2	Résultats de la qualité physicochimique de l'eau du lac Saint-Charles	11
3.2.1	Température et oxygène dissous	11
3.2.2	Transparence, turbidité et solubles dissous	19
3.2.3	Conductivité spécifique et ions chlorure	20
3.2.4	Alcalinité et pH	27
3.2.5	Nutriments et chlorophylle a	33
3.3	Caractérisation des herbiers du lac Saint-Charles	35
3.3.1	Recouvrement et densité	35
3.3.2	Richesse spécifique et dominance des espèces	38
3.3.3	Répartition des plantes aquatiques envahissantes	40
3.4	Évaluation de l'état trophique du lac Saint-Charles	42
4	Portrait des efflorescences et des communautés de cyanobactéries au lac Saint-Charles	44
4.1	Suivi et signalement des efflorescences de cyanobactéries au lac Saint-Charles	44
4.1.1	Efflorescences de cyanobactéries signalées aux autorités	44
4.1.1.1	Stations « rive » touchées par les efflorescences de cyanobactéries	45
4.1.1.2	Catégories des efflorescences de cyanobactéries	45
4.1.1.3	Toxicité des efflorescences de cyanobactéries	46
4.1.2	Nombre de journées d'efflorescences de cyanobactéries au lac Saint-Charles	47
4.1.3	Périodes de l'année les plus touchées par les efflorescences	47
4.2	Communautés de cyanobactéries au lac Saint-Charles	48
4.2.1	Communautés de cyanobactéries durant la période libre de glace	48
4.2.2	Communauté de cyanobactéries durant les efflorescences	50
4.3	Vers un meilleur suivi des cyanobactéries au lac Saint-Charles	50
5	Inventaire de l'état des bandes riveraines du lac Saint-Charles	51
6	Suivi de la qualité de l'eau des affluents du lac Saint-Charles	56
6.1	Qualité physicochimique de l'eau	56
6.1.1	Petits affluents	56
6.1.2	Tributaires majeurs	64
6.1.3	Stations de traitement des eaux usées	64
6.2	Quantité d'eau des affluents	67
6.3	Recommandations par problématique pour les affluents du lac Saint-Charles	69
7	Discussion, conclusion et recommandations	70
7.1	Discussion et conclusion	70
7.2	Recommandations	72
8	Références bibliographiques	75

Tableaux

Tableau 1	Caractéristiques hydrologiques du lac Saint-Charles par bassin.....	3
Tableau 2	Classification d'occupation des sols du bassin versant du lac Saint-Charles.....	5
Tableau 3	Pluviométrie recensée lors des journées d'échantillonnage par la Ville de Québec à la station pluviométrique U925 située au 825, boulevard du Lac à Québec, à 4,3 km du lac Saint-Charles.	11
Tableau 4	Transparence de l'eau mesurée aux stations C03 (point le plus profond du bassin nord) et C05 (point le plus profond du bassin sud) au lac Saint-Charles en 2022.	19
Tableau 5	Profondeur moyenne (\pm écart type) à laquelle le disque de Secchi disparaît dans le bassin nord du lac Saint-Charles entre 1980 et 2022.	19
Tableau 6	Conductivité moyenne (\pm écart type) mesurée à 1 m sous la surface (épilimnion) dans le bassin nord (C03) et dans le bassin sud (C05) du lac Saint-Charles entre 2008 et 2022. .	20
Tableau 7	Concentrations en phosphore total (PT), azote total (NT) et chlorophylle <i>a</i> (chl <i>a</i>) à la station C03.	33
Tableau 8	Concentrations en phosphore total (PT), azote total (NT) et chlorophylle <i>a</i> (chl <i>a</i>) à la station C05.	34
Tableau 9	Concentration moyenne (\pm écart type) en phosphore total (PT), azote total (NT) et chlorophylle <i>a</i> (chl <i>a</i>) mesurée à 1 m sous la surface (épilimnion) dans le bassin nord du lac Saint-Charles entre 1980 et 2022.	34
Tableau 10	Superficies et pourcentages de recouvrement des herbiers aquatiques au lac Saint-Charles en 2022.	35
Tableau 11	Espèces de plantes aquatiques observées au lac Saint-Charles en 2022.	38
Tableau 12	Résumé des différents indicateurs pour les bassins nord (C03) et sud (C05) du lac Saint-Charles en fonction de son état trophique.	43
Tableau 13	Nombre d'épisodes d'efflorescences de cyanobactéries par genre aux stations « rive » entre 2017 et 2022.	50
Tableau 14	Répartition des bandes riveraines identifiées en fonction de l'IQBR pour le lac Saint-Charles.....	51
Tableau 15	Description de la bande riveraine du bassin nord du lac Saint-Charles.	54
Tableau 16	Description de la bande riveraine du bassin sud du lac Saint-Charles.....	55
Tableau 17	Résultats de qualité d'eau des petits affluents du lac Saint-Charles et leur classification selon l'IQBP en relation avec la pluviométrie à chaque sortie d'échantillonnage.	58
Tableau 18	Résultats de qualité d'eau des tributaires majeurs du lac Saint-Charles et leur classification en fonction de l'IQBP relativement à la pluviométrie lors de chaque sortie d'échantillonnage.	65
Tableau 19	Résultats de qualité d'eau des stations d'épuration des eaux usées (STEU) situées en amont du lac Saint-Charles et leur performance d'après les critères établis.	66
Tableau 20	Compilation des débits et des hauteurs d'eau annuels mesurés pour les petits tributaires du lac Saint-Charles en 2022.....	67
Tableau 21	Synthèse des problématiques, les stations concernées et les actions recommandées.	69

Figures

Figure 1	Localisation du lac Saint-Charles.....	4
Figure 2	Occupation du sol du bassin versant du lac Saint-Charles en 2018.....	6
Figure 3	Classification des pentes du bassin versant du lac Saint-Charles selon la méthode des normes des inventaires forestiers du Gouvernement du Québec.....	7
Figure 4	Profil bathymétrique et emplacement des stations d'échantillonnage au lac Saint-Charles – stations « lac » et « rive ».....	8
Figure 5	Emplacement des stations d'échantillonnage au lac Saint-Charles – stations « tributaire ».....	9
Figure 6	Températures moyennes (en °C) et précipitations totales (en mm) mensuelles mesurées par Environnement Canada à la station de l'aéroport Jean-Lesage en 2022 en comparaison avec les normales mensuelles entre 2002 et 2021.....	10
Figure 7	Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C03 pour les sorties du (A) 3 mai et (B) 31 mai 2022.....	12
Figure 8	Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C03 pour les sorties du (A) 29 juin et (B) 27 juillet 2022.....	13
Figure 9	Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C03 pour les sorties du (A) 7 septembre et (B) 4 octobre 2022.....	14
Figure 10	Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C03 pour les sorties du (A) 1 ^{er} novembre 2022 et (B) 7 mars 2023.....	15
Figure 11	Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C05 pour les sorties du (A) 3 mai, (B) 31 mai, (C) 29 juin et (D) 27 juillet 2022.....	16
Figure 12	Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C05 pour les sorties du (A) 7 septembre, (B) 4 octobre et (C) 1 ^{er} novembre 2022.....	17
Figure 13	Profil de la température (°C) du lac Saint-Charles en été.....	18
Figure 14	Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C03 pour les sorties du (A) 3 mai et (B) 31 mai 2022.....	21
Figure 15	Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C03 pour les sorties du (A) 29 juin et (B) 27 juillet 2022.....	22
Figure 16	Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C03 pour les sorties du (A) 7 septembre et (B) 4 octobre 2022.....	23
Figure 17	Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C03 pour les sorties du (A) 1 ^{er} novembre 2022 et (B) 7 mars 2023.....	24
Figure 18	Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C05 pour les sorties du (A) 3 mai, (B) 31 mai, (C) 29 juin et (D) 27 juillet 2022.....	25
Figure 19	Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C05 pour les sorties du (A) 7 septembre, (B) 4 octobre et (C) 1 ^{er} novembre 2022.....	26
Figure 20	Profils d'alcalinité (mg CaCO ₃ /l) et de pH à la station C03 pour les sorties du (A) 3 mai et (B) 31 mai 2022.....	27
Figure 21	Profils d'alcalinité (mg CaCO ₃ /l) et de pH à la station C03 pour les sorties du (A) 29 juin et (B) 27 juillet 2022.....	28
Figure 22	Profils d'alcalinité (mg CaCO ₃ /l) et de pH à la station C03 pour les sorties du (A) 7 septembre et (B) 4 octobre 2022.....	29
Figure 23	Profils d'alcalinité (mg CaCO ₃ /l) et de pH à la station C03 pour les sorties du (A) 1 ^{er} novembre 2022 et (B) 7 mars 2023.....	30

Figures (suite)

Figure 24	Profils d'alcalinité (mg CaCO ₃ /l) et de pH à la station C05 pour les sorties du (A) 3 mai, (B) 31 mai, (C) 29 juin et (D) 27 juillet 2022.	31
Figure 25	Profils d'alcalinité (mg CaCO ₃ /l) et de pH à la station C05 pour les sorties du (A) 7 septembre, (B) 4 octobre et (C) 1 ^{er} novembre 2022.	32
Figure 26	Pourcentage de recouvrement des herbiers aquatiques pour le bassin nord du lac Saint-Charles en 2022.	36
Figure 27	Pourcentage de recouvrement des herbiers aquatiques pour le bassin sud du lac Saint-Charles en 2022.	37
Figure 28	Pourcentage des herbiers abritant chaque espèce identifiée au lac Saint-Charles en 2022.	39
Figure 29	(A) Peuplements bistratifiés composés d'espèces flottantes et émergentes dans les marais du Sud, (B) peuplements bistratifiés composés d'espèces flottantes et submergées dans la baie Charles-Talbot, et (C) peuplement composé de l'association de la vallisnérie d'Amérique, du myriophylle à épis, du potamot à grandes feuilles et du potamot de Robbins.	40
Figure 30	Répartition des herbiers colonisés par le myriophylle à épis au lac Saint-Charles en 2022 et en 2016 (APEL, 2019).	41
Figure 31	Répartition des herbiers colonisés par l'élodée du Canada au lac Saint-Charles en 2022 et en 2016 (APEL, 2019).	42
Figure 32	Nombre d'efflorescences au lac Saint-Charles entre 2017 et 2022.	45
Figure 33	Distribution spatiale des épisodes de cyanobactéries au lac Saint-Charles (A) entre 2017 et 2022, et (B) en 2022 exclusivement.	45
Figure 34	Classification des efflorescences selon les catégories du MELCCFP entre 2017 et 2022.	46
Figure 35	Nombre d'épisodes d'efflorescences de cyanobactéries toxiques au lac Saint-Charles par année (2017–2022) basée sur les tests immunochromatographiques semi-quantitatifs (0–10 ppb) ABRAXIS® (Gold Standard Diagnostics).	46
Figure 36	Nombre de journées d'efflorescences de cyanobactéries au lac Saint-Charles entre 2017 et 2022.	47
Figure 37	Répartition par mois des épisodes d'efflorescences de cyanobactéries au lac Saint-Charles entre 2017 et 2022.	47
Figure 38	Diversité et dominance relative des genres cyanobactériens présents au lac Saint-Charles pour les stations « rive » SCA et SCO, ainsi que les stations « lac » C03 et C05 en 2022.	48
Figure 39	Diversité et dominance relative des genres cyanobactériens à la station « rive » SCA ainsi qu'à la surface et dans le fond de la colonne d'eau de la station « lac » C03 en date du 27 juillet 2022.	49
Figure 40	Diversité et dominance relative des genres cyanobactériens à la station « rive » SCO au cours de la période libre de glace de 2022.	49
Figure 41	Exemple de bandes riveraines de faible qualité en raison de la présence de mur de soutènement et/ou d'enrochement (A) ou d'un couvert végétal insuffisant dominé par les surfaces gazonnées (B).	51
Figure 42	Indice de qualité de la bande riveraine pour le bassin nord du lac Saint-Charles.	52
Figure 43	Indice de qualité de la bande riveraine pour le bassin sud du lac Saint-Charles.	53
Figure 44	(A) Conductivité spécifique et (B) concentration en ions chlorure maximales obtenues pour chaque affluent en 2022.	62

Figures (suite)

Figure 45	Turbidité maximale obtenue pour chaque affluent en 2022.	63
Figure 46	Débits moyens relatifs des petits affluents du lac Saint-Charles en 2022, à l'exception de la rivière des Hurons (E01), laquelle a été enlevée par souci de clarté, cette dernière représentant 86 % du débit moyen entrant au lac Saint-Charles.	68

1 Introduction

La principale source d'eau potable de la ville de Québec est la prise d'eau de Château d'eau, située sur la rivière Saint-Charles. Cette rivière est alimentée par le lac Saint-Charles, les rivières Nelson et Jaune, d'autres petits tributaires, ainsi que par le ruissellement des eaux de surface et l'apport en eaux souterraines. Cependant, le lac Saint-Charles constitue le principal réservoir, fournissant en moyenne 42 % de l'eau prélevée à Château d'eau, et jusqu'à 60 % en période d'étiage (APEL, 2019). Au total, ce sont près de 300 000 citoyens qui sont desservis en eau provenant du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles, soulignant le rôle clé du lac Saint-Charles pour la ville de Québec (Ville de Québec, 2023a).

En 2006, le lac Saint-Charles a connu pour la première fois des épisodes d'efflorescences de cyanobactéries (Francoeur, 2006), mettant en évidence une eutrophisation accélérée du lac due aux activités humaines. Cet événement a déclenché une prise de conscience générale quant à la vulnérabilité d'une ressource essentielle pour la ville de Québec, et a mené Agiro (anciennement l'APEL) à réaliser l'*Étude limnologique du haut-bassin de la rivière Saint-Charles* (APEL, 2009) et à mettre en place le *Programme de suivi de la qualité de l'eau du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles*, instauré depuis 2011 en collaboration avec la Ville de Québec (Behmel, 2010 ; Behmel, 2018). Dans le cadre de ce programme, Agiro réalise la diagnose du lac Saint-Charles aux cinq ans. L'objectif global de ces diagnoses vise à suivre l'évolution de l'état du lac et de ses affluents.

Les résultats des suivis et études antérieurs à 2022 révélaient une situation préoccupante du lac Saint-Charles et de ses affluents. Alors que l'étude limnologique réalisée en 2007 et 2008 estimait que le lac Saint-Charles était rendu à un stade mésotrophe (APEL, 2009), la diagnose de 2012 signalait un enrichissement et un vieillissement important de celui-ci sur cinq ans, atteignant désormais un stade méso-eutrophe (APEL, 2014), lequel a été confirmé en 2016 (APEL, 2019). Les concentrations en nutriments (azote, phosphore) et en chlorophylle *a* restaient typiques d'un lac oligo-mésotrophe à mésotrophe. Cependant, la faible transparence de l'eau et l'importante carence en oxygène dans l'hypolimnion du bassin nord indiquaient que le lac Saint-Charles était désormais rendu à un stade méso-eutrophe établi, lequel s'accompagnait d'une expansion importante des herbiers aquatiques entre 2007 et 2016 (APEL, 2019). Par ailleurs, dans un contexte d'épandage de sels de voirie en hiver et suite à l'élargissement à quatre voies de la route 175, la conductivité spécifique du lac avait augmenté de 30 % entre 2011 et 2016 (APEL, 2019).

Bien qu'il soit normal pour un lac de s'enrichir avec le temps, un enrichissement aussi rapide comme celui que connaît le lac Saint-Charles sur les dernières décennies souligne un vieillissement accéléré dans un contexte de pression anthropique trop importante. Cependant, l'étude sédimentaire du lac réalisée dans le cadre de la dernière diagnose du lac Saint-Charles a révélé l'excellente réponse de ce dernier aux interventions humaines visant à réduire les apports externes en nutriments et contaminants, mettant en évidence la bonne résilience du lac (APEL, 2019). Il n'est donc pas trop tard pour agir et garantir une source d'eau potable de qualité pour les décennies et siècles à venir.

La présente diagnose, réalisée en 2022 par Agiro, avait pour objectif de réaliser un comparatif de l'état du lac et de ses affluents avec les études et suivis précédents. De façon plus spécifique, cette étude vise à caractériser :

- La qualité physicochimique de l'eau du lac ;
- Les herbiers aquatiques ;
- L'état trophique du lac ;
- Les efflorescences et les communautés de cyanobactéries ;
- Les bandes riveraines ;
- La qualité de l'eau de ses tributaires.

Pour répondre à cet objectif, ce rapport se divise en plusieurs sections :

- Description du lac Saint-Charles et de son bassin versant ;
- État trophique du lac Saint-Charles, basé sur la qualité physicochimique de son eau et son occupation par les herbiers aquatiques ;
- Portrait des efflorescences et des communautés de cyanobactéries présentes au lac Saint-Charles ;
- Inventaire de l'état des bandes riveraines du lac Saint-Charles ;
- Suivi de la qualité de l'eau des affluents du lac Saint-Charles ;
- Discussion, conclusion et recommandations.

La méthodologie pour chacune des sections présentées ci-dessus est disponible [sur notre site internet](#) en tant que matériel supplémentaire du présent document (Annexe 1 : Méthodologie ; Agiro, 2024a). Le détail des méthodes de chacune des analyses effectuées en laboratoire peut également y être consulté (Annexe 2 : Méthodes analytiques du laboratoire de la Ville de Québec ; Agiro, 2024b).

2 Description du lac Saint-Charles et de son bassin versant

Le lac Saint-Charles est partagé entre le territoire de la municipalité des cantons unis de Stoneham-et-Tewkesbury et celui de la ville de Québec, à la hauteur de l'arrondissement de La Haute-Saint-Charles (Figure 1). Le lac Saint-Charles est alimenté par la rivière des Hurons, son principal affluent, mais également par la décharge du lac Delage ainsi que 38 petits tributaires. Les eaux souterraines constituent également une source importante en eau pour celui-ci. Le seul effluent du lac Saint-Charles est la rivière Saint-Charles, qui traverse la ville de Québec pour se rendre jusqu'au fleuve Saint-Laurent, et dont l'eau est prélevée à 11 km en aval du lac par la Ville de Québec pour son usine de traitement de l'eau potable (Tremblay et al., 2001).

S'étendant du nord au sud sur plus de 5 km, le lac Saint-Charles occupe une superficie de 3,5 km² et se divise en deux bassins totalisant 15 millions de m³ (Tableau 1). De forme conique, le bassin nord comprend la majeure partie du volume d'eau du lac (70 %), avec une profondeur maximale de 17,7 m. Le bassin sud est quant à lui plus plat et peu profond, ne dépassant pas les 6 m de profondeur. Les deux bassins sont connectés entre eux par un étranglement de faible profondeur, créant une séparation physique partielle entre eux (APEL, 2009). Le temps de renouvellement de l'eau est court pour un lac de ce volume, avec 23 jours pour le bassin nord et seulement 8 jours pour le bassin sud (Légaré, 1998), conférant au lac une excellente résilience.

Tableau 1 Caractéristiques hydrologiques du lac Saint-Charles par bassin.

Caractéristiques	Lac Saint-Charles	Bassin nord	Bassin sud
Superficie	3,5 km ²	1,9 km ²	1,6 km ²
Longueur maximale	5 584 m	2 956 m	2 911 m
Profondeur moyenne	4,13 m	5,21 m	2,81 m
Profondeur maximale	17,7 m	17,7 m	6,0 m
Volume	14,8 x 10 ⁶ m ³	10,2 x 10 ⁶ m ³	4,6 x 10 ⁶ m ³
Temps de renouvellement	NA	22,7 jours	7,6 jours

Cependant le lac n'a pas toujours ressemblé à ce qu'il est aujourd'hui. Initialement, seul le bassin nord constituait le lac Saint-Charles, mais l'édification d'un premier barrage en 1934 a entraîné un rehaussement du niveau de l'eau et l'inondation de l'actuel bassin sud, augmentant considérablement la superficie du lac et la quantité d'eau disponible. Les aménagements ultérieurs ont mené à l'édification de l'actuel barrage Cyrille-Delage, lequel maintient le lac Saint-Charles à 4,5 m de plus que son niveau d'origine (APEL, 2019). Le lac Saint-Charles constitue donc un réservoir artificiel, se comportant à mi-chemin entre un milieu lacustre (bassin nord) et fluvial (bassin sud) (Tremblay et al., 2001). Par conséquent, considérer ces deux bassins de manière séparée est nécessaire pour bien comprendre la dynamique et l'état du lac Saint-Charles.

De plus, le lac Saint-Charles connaît un achalandage important en période estivale. Ainsi, lors des fins de semaine ensoleillées des mois chauds de l'été, il n'est pas rare d'avoir plus de 1 500 usagers qui se rendent quotidiennement aux mises à l'eau publiques disponibles sur le pourtour du lac. Diverses activités nautiques telles que le canot, le kayak, la planche à pagaie et la pêche y sont réalisées (ainsi que la baignade, malgré son interdiction). Une telle fréquentation n'est pas sans risque pour l'introduction d'espèces exotiques envahissantes (RAPPEL, 2023) et pour les frayères de poissons (COBALI, 2016). Elle peut également amener certains déchets ou contaminants, organiques ou non, ce qui s'accommode mal pour un lac servant de source d'eau potable à 300 000 citoyens.

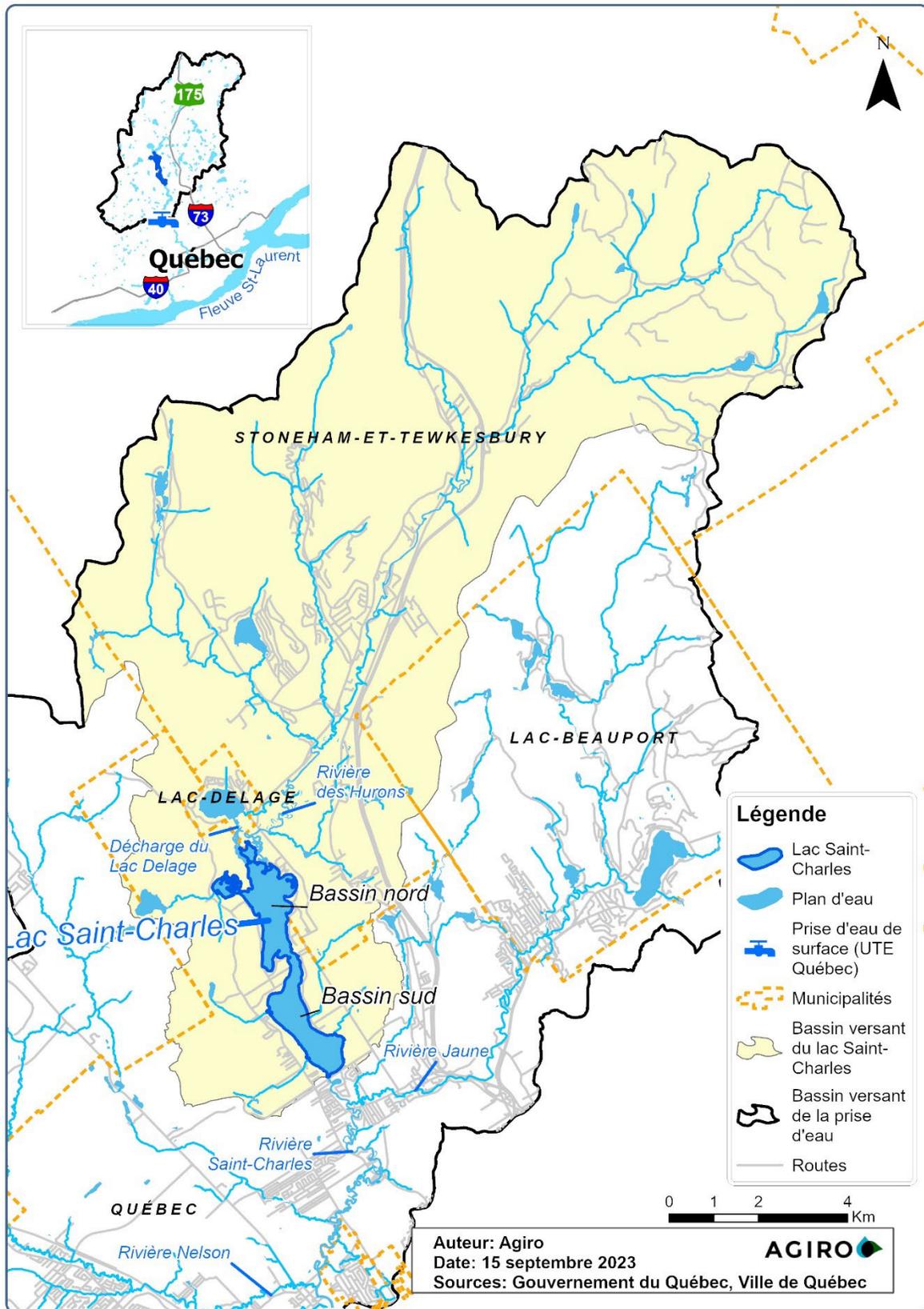


Figure 1 Localisation du lac Saint-Charles.

Le bassin versant du lac Saint-Charles occupe 169 km², chevauchant la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury (80 %) ainsi que la ville de Québec (14 %) et, dans une moindre mesure, les municipalités de Lac-Beauport (3 %), de Saint-Gabriel de Valcartier (2 %) et la ville de Lac-Delage (1 %) (Figure 1). Dans l'ensemble, le lac Saint-Charles est majoritairement entouré de forêts (69,9 %) et de milieux humides (4,6 %) (Tableau 2, Figure 2). Cependant, 21,5 % de la superficie du bassin versant est occupé par des activités humaines, avec 3,9 % de surfaces imperméables, lesquelles amplifient les impacts négatifs d'origine anthropique (MDDEP et MAMROT, 2009). Dans le bassin versant du lac Saint-Charles, la majorité des habitations se situent dans un rayon de 500 m d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau, dont une grande proportion est encore non raccordée à un réseau de collecte sanitaire, mais possédant une installation septique autonome. Deux municipalités, Stoneham-et-Tewkesbury et Lac-Delage, déversent les rejets de leur station d'épuration des eaux usées en amont du lac Saint-Charles. Bien que traitées par leur usine de traitement respective, les eaux usées de ces deux municipalités demeurent chargées en éléments nutritifs (azote et phosphore) et en coliformes fécaux.

Tableau 2 Classification d'occupation des sols du bassin versant du lac Saint-Charles¹.

Occupation du sol en 2018			
Classe générale	Classe détaillée	Surface (ha)	%
1	Entrée de cour, route, route en terre battue, stationnement	547	3,2
2	Cabanon, garage, gazebo, résidence unifamiliale	96	0,6
3	Milieu ouvert, pelouse	1 629	9,6
4	Piscine	4	< 0,1
5	Milieu boisé	11 822	69,9
6	Sol nu	107	0,6
7	Milieu humide, marais, marécage, tourbière	779	4,6
8	Étang, lac, rivière, ruisseau	670	4,0
9	Agriculture	102	0,6
10	Infrastructures liées au bâtiment, terrain pavé	23	0,1
11	Coupe ou brûlis	840	5,0
12	Carrière, sablière	84	0,5
13	Cimetière de voitures	3	< 0,1
14	Site d'enfouissement	18	0,1
15	Station de ski	88	0,5
16	Golf	97	0,6
Surface perméable		16 242	96,1
Surface imperméable (voies carrossables, bâtiments et infrastructures)		666	3,9

D'un point de vue géologique, le bassin versant du lac Saint-Charles est localisé sur le bouclier précambrien. Le paysage du bassin est grandement marqué par le passage des glaciers durant la dernière glaciation, qui date d'environ 12 000 ans (Wisconsinien). Le bassin du lac est enchâssé dans une ancienne vallée glaciaire, où les dépôts de surface en altitude sont essentiellement de type morainique, tandis que les alluvions de fond de vallée sont principalement composées de sable et de limon laissés lors du retrait

¹ Données tirées des orthophotographies de la CMQ de 2018 et d'Agiro.

de la mer de Champlain il y a environ 11 300 à 12 400 ans (Magnusson et al., 1997 ; Tremblay et al., 2001). Les dépôts de surface sont habituellement très minces et la roche-mère est souvent affleurante (Gérardin et Lachance, 1997 ; Bolduc et al., 2003). Les eaux de surface retrouvées dans ce genre d’environnement ont généralement une faible charge ionique et, conséquemment, une conductivité naturelle peu élevée, ainsi qu’un faible pouvoir tampon face aux pluies acides (Wetzel, 2001).

Quant au relief du bassin versant du lac Saint-Charles, il est principalement caractérisé par des collines accidentées aux sommets arrondis ayant une altitude qui varie généralement entre 150 et 450 m (Tremblay et al., 2001). Dans la partie amont du bassin versant du lac, les plus hauts sommets culminent à 790 m d’altitude et comportent de fortes pentes (Figure 3). Rappelons qu’une forte pente augmente la vitesse du ruissellement et accentue les risques d’érosion, lesquels sont encore davantage exacerbés par la faible épaisseur du sol.

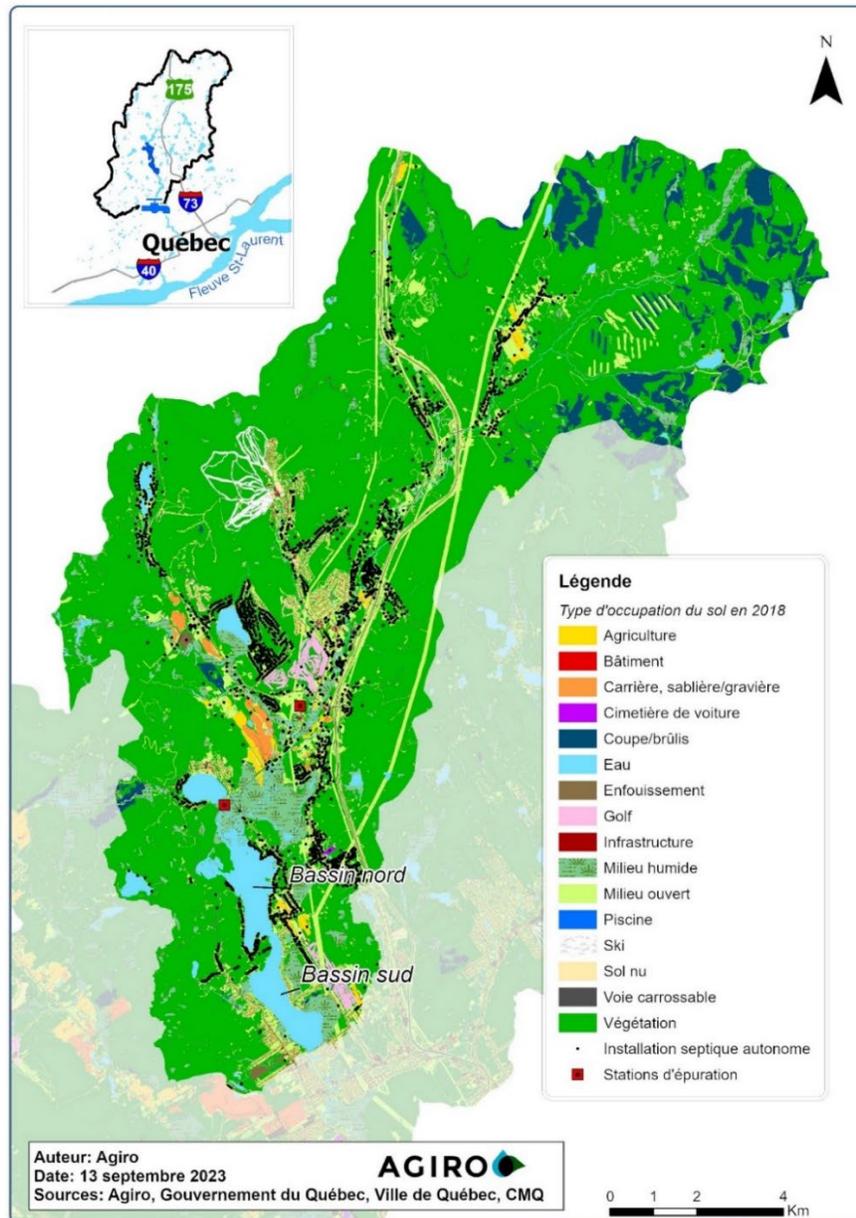


Figure 2 Occupation du sol du bassin versant du lac Saint-Charles en 2018.

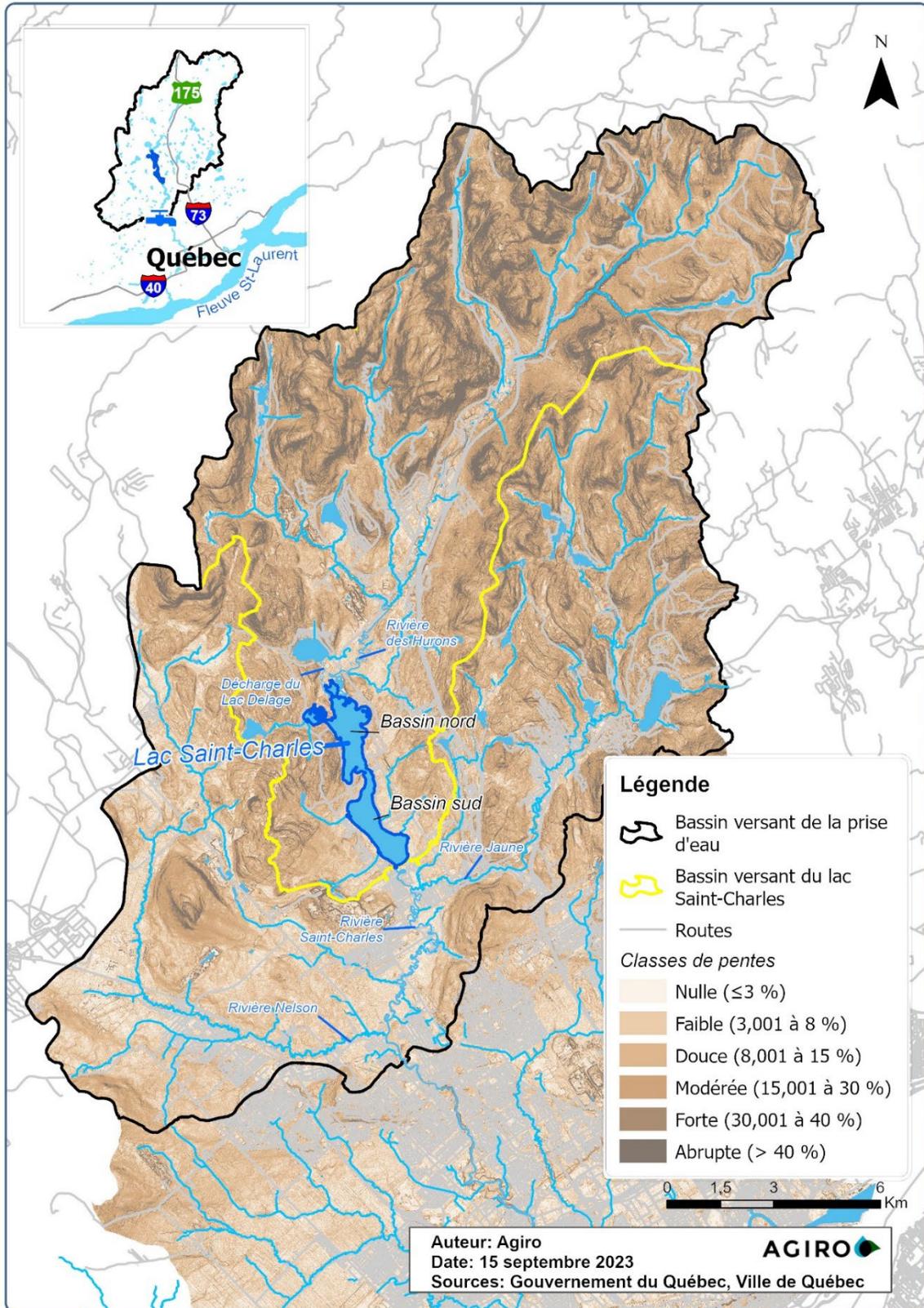


Figure 3 Classification des pentes du bassin versant du lac Saint-Charles selon la méthode des normes des inventaires forestiers du Gouvernement du Québec.

Dans le cadre de cette diagnose, cinq stations en lac (stations « lac »), huit stations en rives (stations « rive ») (Figure 4) et 43 stations sur des affluents (stations « tributaire ») (Figure 5) ont été échantillonnées de mai à novembre 2022. Pour en apprendre davantage sur le choix de ces stations, la fréquence et la méthode d'échantillonnage, veuillez consulter l'Annexe 1 du présent document (Agiro, 2024a).

Dans le cas des stations « lac », l'accent sera mis sur les stations C03 et C05 (Figure 4), lesquelles sont les plus représentatives des bassins nord et sud, respectivement. Les résultats des autres stations « lac » échantillonnées restent cependant disponibles à l'Annexe 3 du présent document (Annexe 3 : Résultats supplémentaires ; Agiro, 2024c). 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.

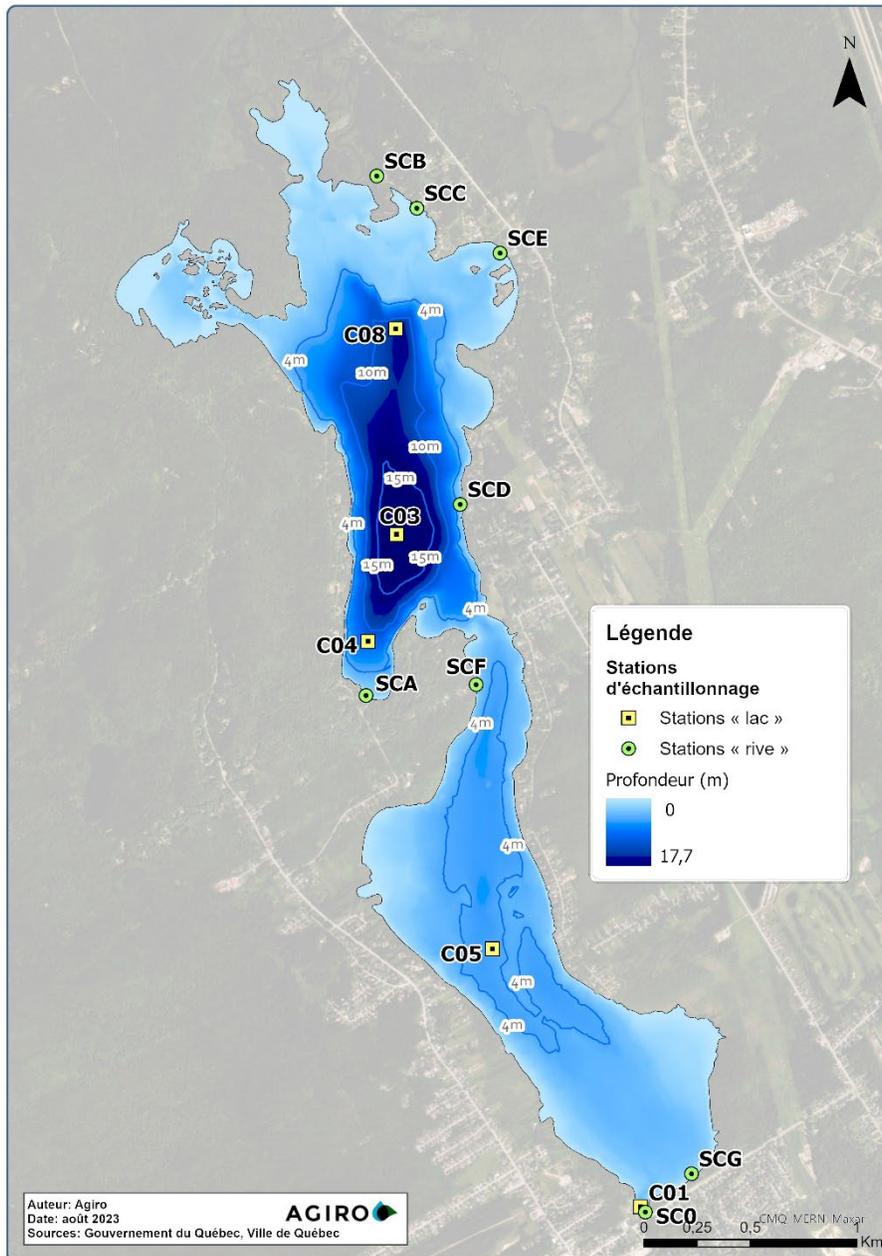


Figure 4 Profil bathymétrique et emplacement des stations d'échantillonnage au lac Saint-Charles – stations « lac » et « rive ».

3 État trophique du lac Saint-Charles

3.1 Conditions météorologiques – Contexte de mesures

Quelques statistiques enregistrées par Environnement Canada tracent un portrait météorologique de l'année 2022 en comparaison avec les données mensuelles moyennes des vingt dernières années (2002–2021) (Figure 6). Les températures estivales moyennes ont connu un patron assez semblable aux données historiques, variant de 13,5°C en septembre à 19,4°C en juillet (Figure 6A). En moyenne, la majorité des mois ont été plus froids, alors que mai, août, octobre et décembre ont été plus chauds.

Dans son ensemble, l'année 2022 fut une année plutôt humide (Figure 6B), recevant 10 % de précipitations en plus comparée à la moyenne historique (précipitations annuelles totales de 1 305,4 mm en 2022 vs. 1 181,6 mm en moyenne pour la période 2002–2021). Ce surplus en précipitations fut observé au cours des quatre saisons, mais fut davantage marqué durant le mois d'août (180,9 mm en 2022 vs. 106,2 mm en moyenne pour la période 2002–2021). A contrario, les mois de septembre et octobre 2022 furent des mois particulièrement secs, recevant près de deux fois moins de précipitations comparativement aux normales saisonnières pour la période 2002–2021 (60,2 mm vs. 110,7 mm en septembre et 67,8 mm vs. 122,6 mm en octobre, respectivement). Les pluies peuvent provoquer un important ruissellement qui peut prendre quelques heures avant de lessiver tout le bassin versant et décharger une grande quantité de sédiments, de matières organiques et de nutriments qui aura un impact sur la turbidité et la transparence de l'eau. Dans le cas de la diagnose du lac Saint-Charles, la grande majorité des sorties d'échantillonnage sur le plan d'eau ont été effectuées en temps sec, ce qui peut entraîner une évaluation de la qualité physicochimique du lac plus optimiste de ce qu'elle est en réalité (Tableau 3).

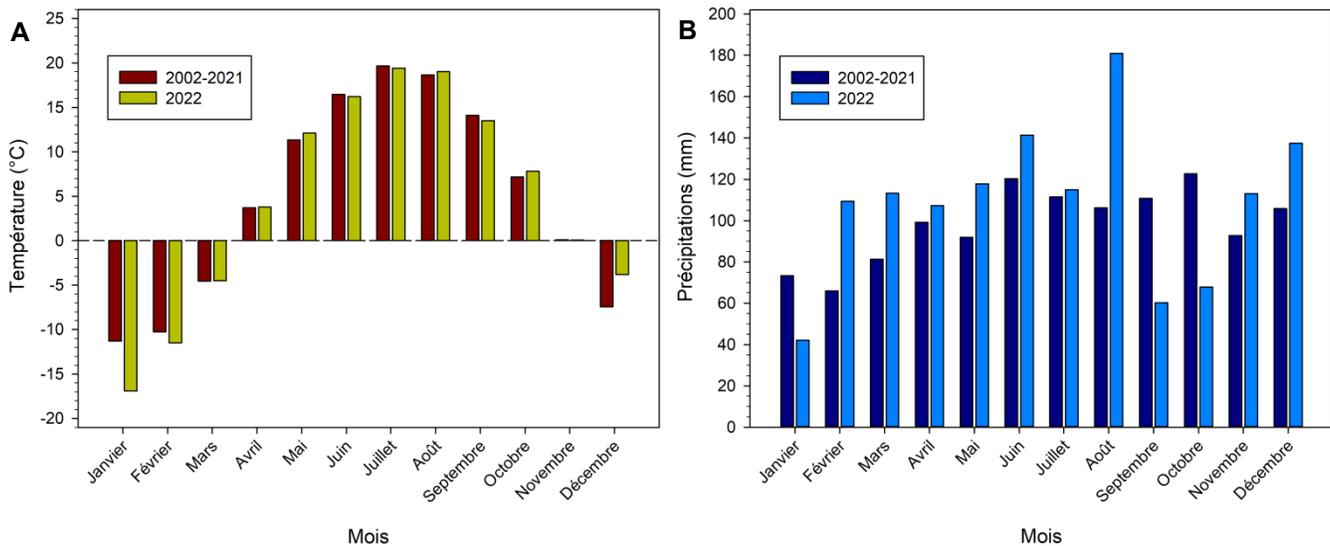


Figure 6 Températures moyennes (en °C) et précipitations totales (en mm) mensuelles mesurées par Environnement Canada à la station de l'aéroport Jean-Lesage en 2022 en comparaison avec les normales mensuelles entre 2002 et 2021.

Tableau 3 Pluviométrie recensée lors des journées d'échantillonnage par la Ville de Québec à la station pluviométrique U925 située au 825, boulevard du Lac à Québec, à 4,3 km du lac Saint-Charles.

Date d'échantillonnage	Précipitations observées sur le terrain (moins de 5 mm est considéré comme un temps sec)	Précipitations		
		Le jour même (mm)	La veille (mm)	L'avant-veille (mm)
3 mai 2022	Pas de pluie dans les dernières 48 heures	0,0	0,0	0,0
31 mai 2022	Pluie la veille	0,2	15,8	0,1
29 juin 2022	Pluie l'avant-veille	0,0	0,0	20,1
27 juillet 2022	Pas de pluie dans les dernières 48 heures	0,0	0,0	1,4
7 septembre 2022	Pas de pluie dans les dernières 48 heures	0,0	0,0	0,0
4 octobre 2022	Pas de pluie dans les dernières 48 heures	0,0	0,0	0,0
1^{er} novembre 2022	Pas de pluie dans les dernières 48 heures	0,0	0,0	0,0
7 mars 2023	Pas de neige dans les dernières 48 heures	0,0	0,0	0,0

3.2 Résultats de la qualité physicochimique de l'eau du lac Saint-Charles

3.2.1 Température et oxygène dissous

Lors de la première sortie d'échantillonnage (3 mai), les profils de température des bassins nord (C03, Figure 7A) et sud (C05, Figure 11A) du lac Saint-Charles indiquent que le mélange printanier était en place et que le lac débutait son processus de stratification. Cependant, une carence en oxygène était déjà observée dans le fond du bassin nord du lac (Figure 7A), suggérant un mélange printanier partiel ne permettant pas à l'ensemble de la masse d'eau du lac de se réoxygéner. Cette situation s'explique probablement par la courte durée du mélange printanier, couplée à une hauteur d'eau conséquente au point le plus profond du lac Saint-Charles (17,7 m).

La stratification était bien en place lors des sorties estivales (31 mai, 29 juin, 27 juillet, 7 septembre et 4 octobre ; Figures 7–9, Figures 11–12). Dans le cas du bassin nord, cette stratification s'accompagnait d'une hypoxie sévère dans les derniers mètres du lac à la fin de l'été (Figure 9). Cette désoxygénation de l'hypolimnion était déjà présente dans les années 1980 (Alain, 1981 ; Belzile, 1987), et montrait une légère aggravation au cours des années avec une survenue de plus en plus précoce (APEL, 2009 ; APEL, 2014 ; APEL, 2019 ; Agiro, 2020). Cependant, en 2022, l'hypoxie au point le plus profond du lac Saint-Charles semble être retourné à son niveau de 2012. Un suivi ultérieur sera nécessaire pour confirmer si cette stabilisation ou amélioration de l'oxygénation dans le fond du lac se confirme dans le temps.

Bien que la saturation en oxygène fût plus faible dans le fond du bassin sud comparé à sa surface au cœur de l'été (Figure 11 C–D), elle n'est pas descendue sous la barre des 40 %, indiquant une bonne réoxygénation du lac rendue possible par la faible hauteur d'eau dans ce bassin.

Lors de la dernière sortie d'échantillonnage de 2022 (1^{er} novembre), le mélange automnal était bien en place (Figure 10A, Figure 12C). En conséquence, le fond du lac était totalement réoxygéné.

Une huitième sortie d'échantillonnage a été réalisée à titre exploratoire le 7 mars 2023 (Figure 10B). Sous le couvert de glace, la stratification inverse est bien visible, avec une eau proche de 0°C en surface et qui se réchauffe jusqu'à 4,8°C dans le fond de la colonne d'eau. À ce stade avancé de l'hiver, la fosse la plus profonde du lac Saint-Charles est déjà en situation d'anoxie, soulignant une productivité biologique non-négligeable malgré les faibles températures de l'hiver et l'impossibilité pour le lac de se réoxygéner en raison du couvert de glace et de neige le séparant de l'atmosphère. Un suivi plus soutenu du lac Saint-Charles durant la saison hivernale nous permettrait de davantage comprendre cette dynamique et d'évaluer plus finement l'étendue de l'hypoxie au fond de la colonne d'eau.

Au vu de son profil de température et d'oxygène, le lac Saint-Charles apparaît comme un lac dimictique clinograde, ce qui signifie qu'il connaît deux périodes de mélange au printemps (mélange partiel) et à l'automne (mélange complet) et une stratification stable durant l'été, avec une diminution de la concentration en oxygène depuis la surface vers le fond (Figure 13). Cependant, les zones du lac peu profondes comme celle du bassin sud montre que cette stratification est davantage sporadique, avec des épisodes de réoxygénation au cours de l'été (Figure 12A–B).

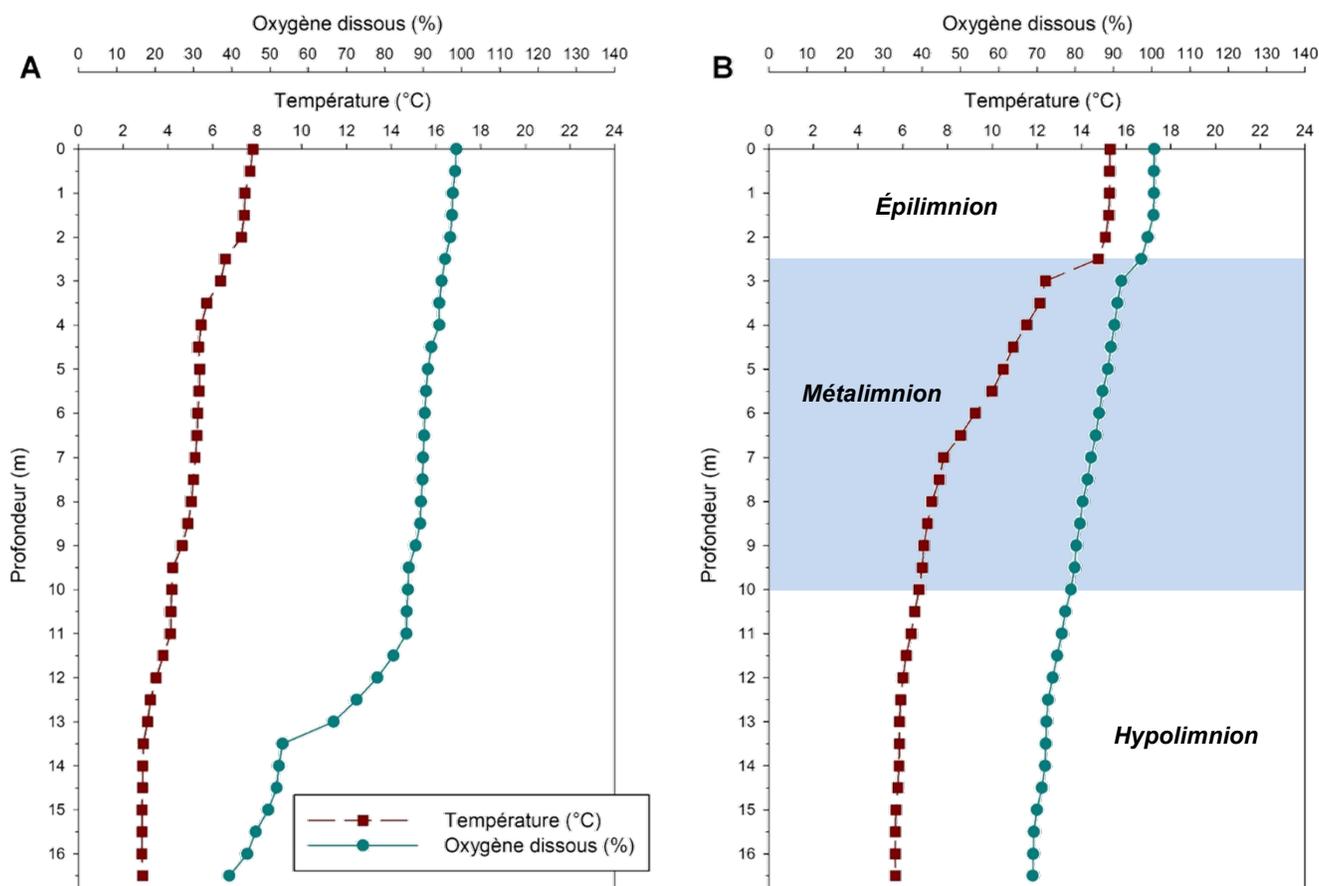


Figure 7 Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C03 pour les sorties du (A) 3 mai et (B) 31 mai 2022.

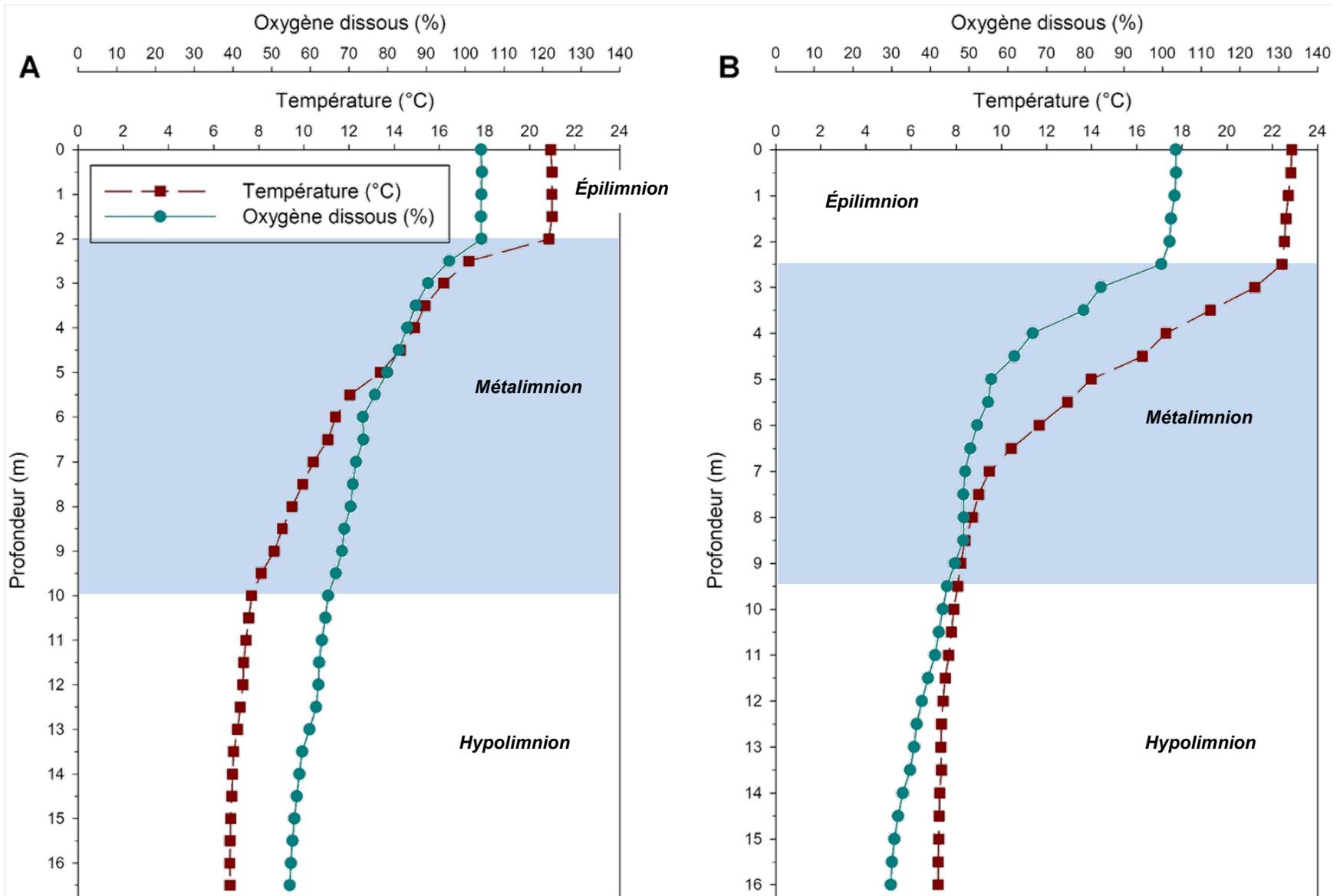


Figure 8 Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C03 pour les sorties du (A) 29 juin et (B) 27 juillet 2022.

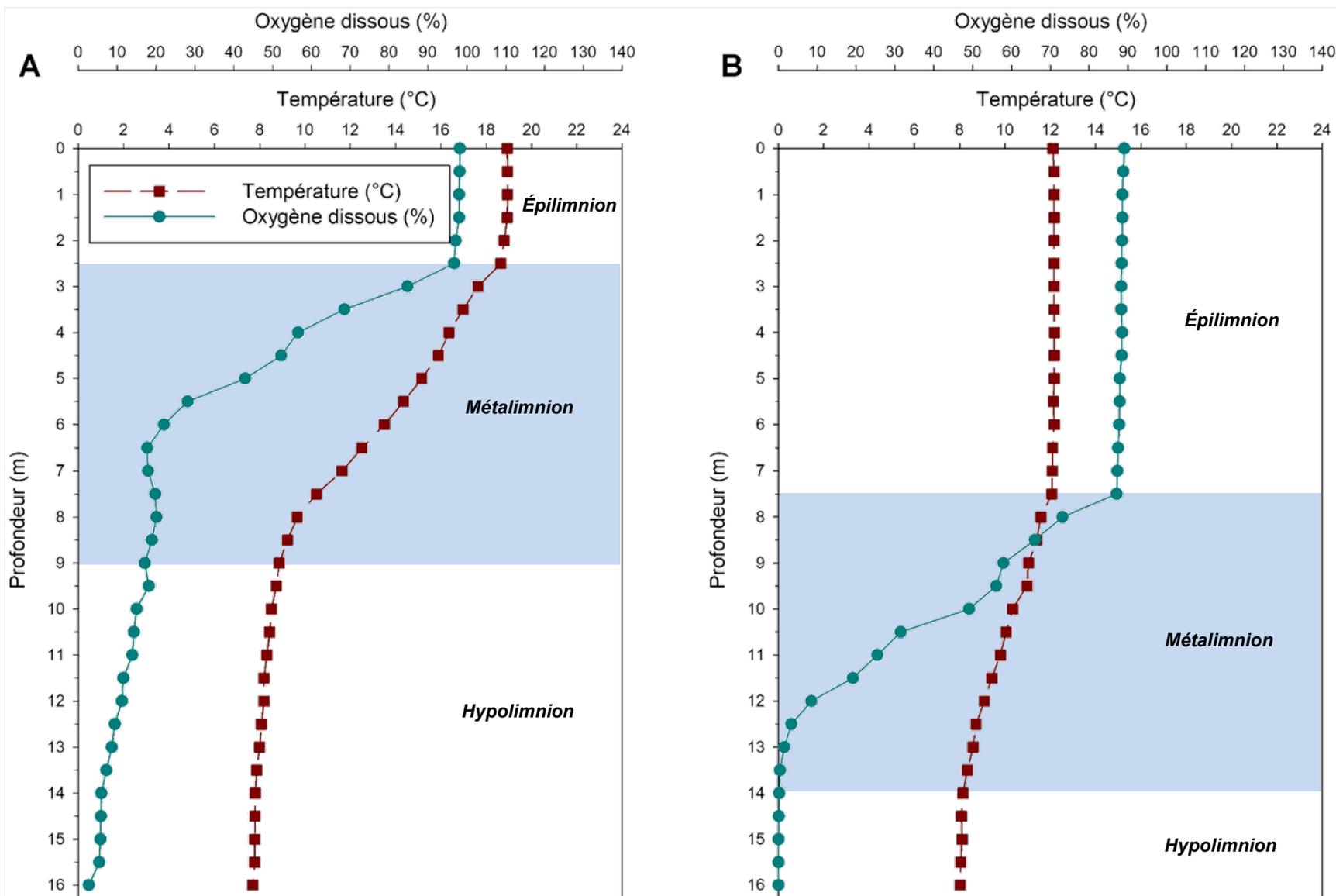


Figure 9 Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C03 pour les sorties du (A) 7 septembre et (B) 4 octobre 2022.

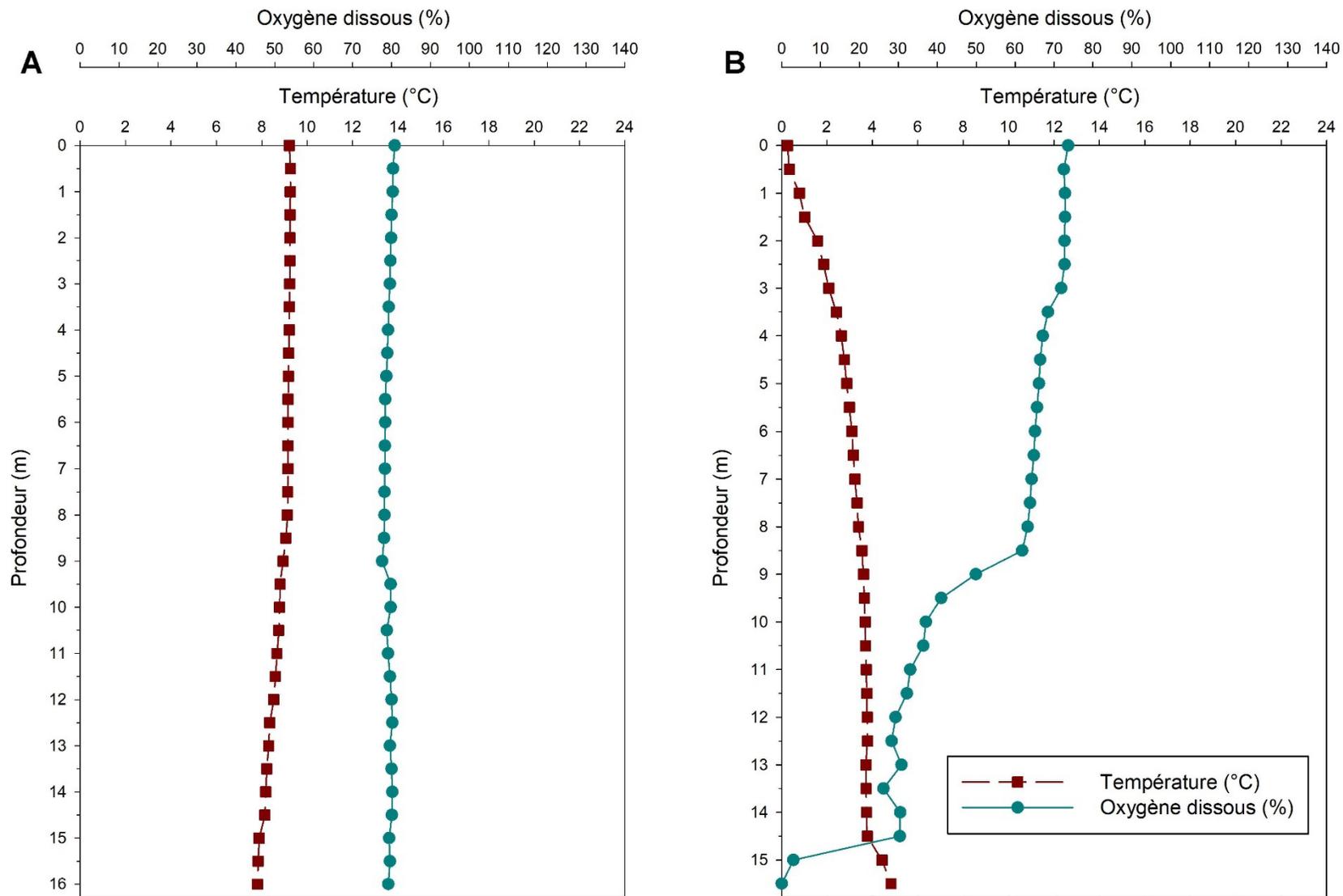


Figure 10 Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C03 pour les sorties du (A) 1^{er} novembre 2022 et (B) 7 mars 2023.

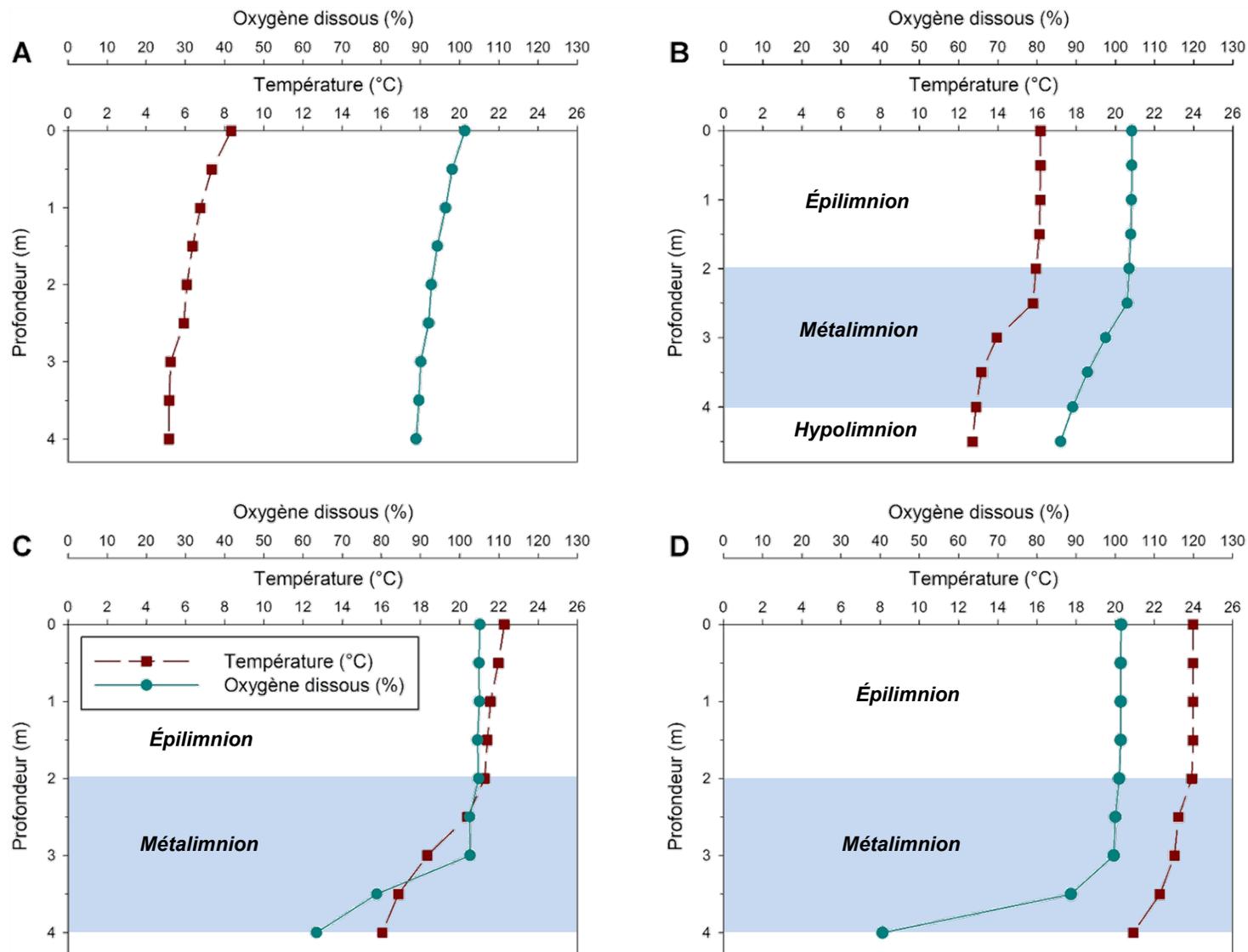


Figure 11 Profils de température (°C) et d’oxygène dissous (%) à la station C05 pour les sorties du (A) 3 mai, (B) 31 mai, (C) 29 juin et (D) 27 juillet 2022.

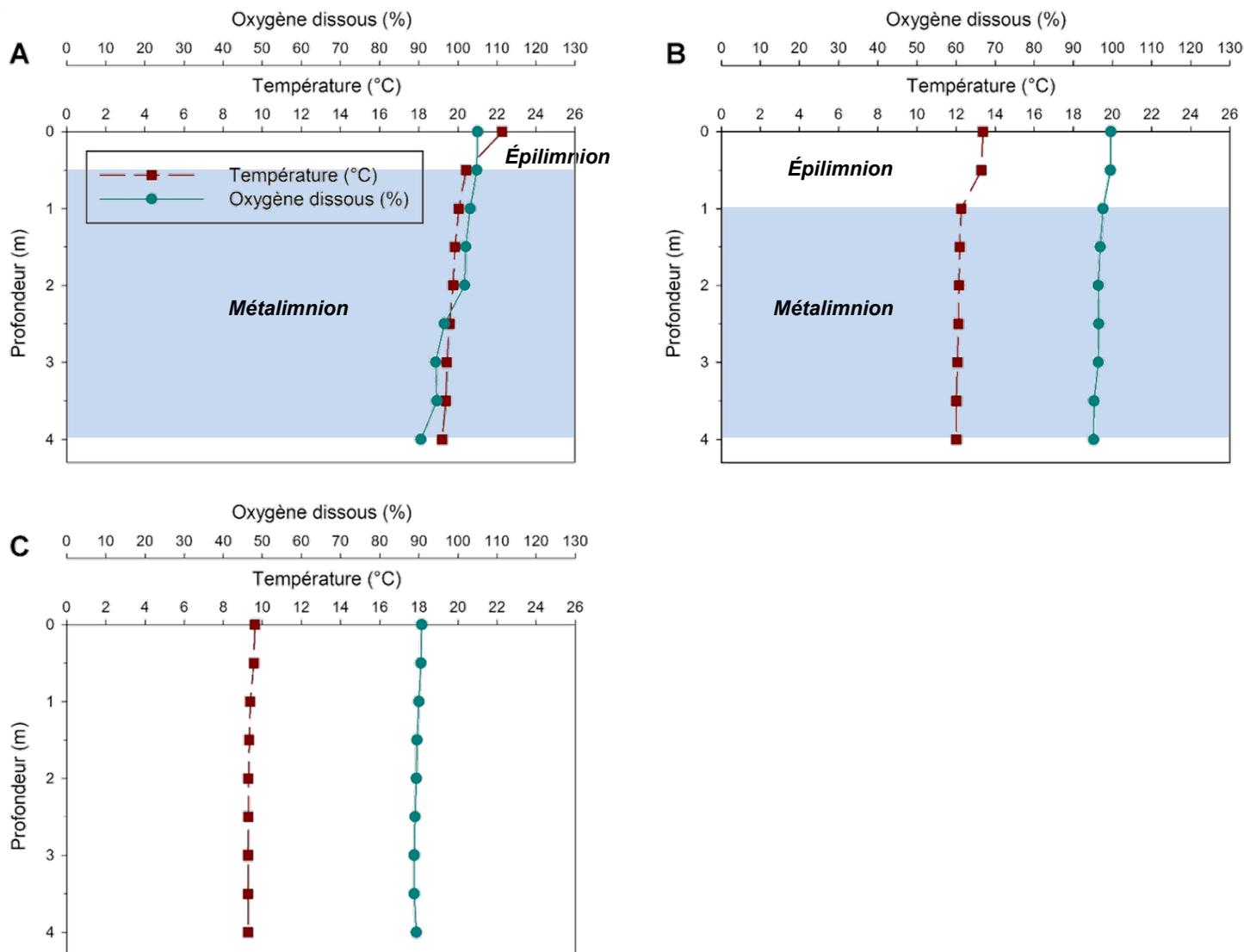


Figure 12 Profils de température (°C) et d'oxygène dissous (%) à la station C05 pour les sorties du (A) 7 septembre, (B) 4 octobre et (C) 1^{er} novembre 2022.

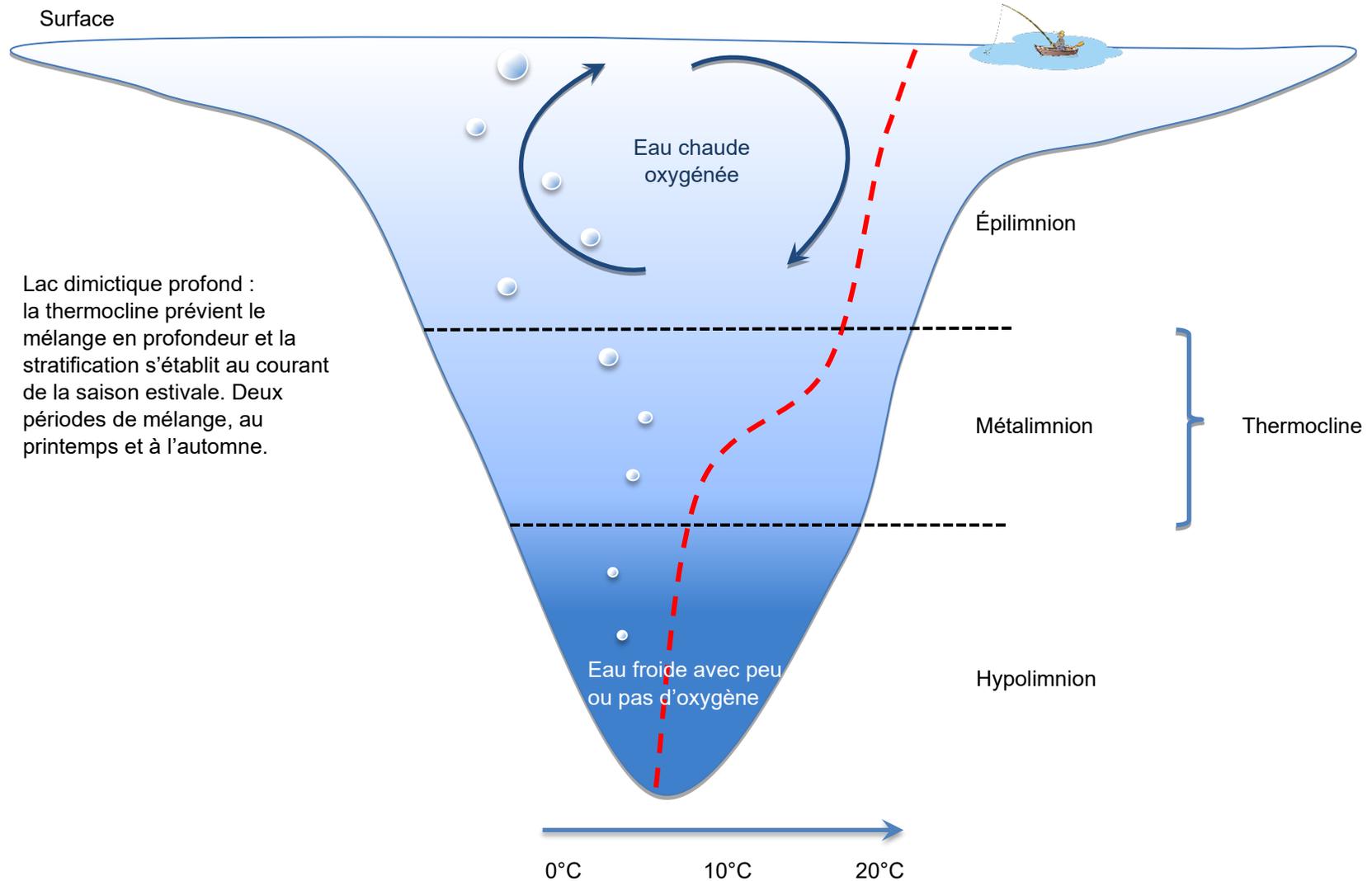


Figure 13 Profil de la température (°C) du lac Saint-Charles en été.

3.2.2 Transparence, turbidité et solubles dissous

La transparence d'un lac est affectée par la présence de matières fines colorées en suspension dans l'eau provenant essentiellement de l'activité biologique ainsi que de l'érosion du bassin versant et du lessivage de sols fragiles ou dégradés. Le disque de Secchi a été utilisé afin d'estimer cette transparence de l'eau du lac Saint-Charles ; plus le disque est visible à une grande profondeur, plus l'eau est considérée comme transparente. Cette transparence de l'eau est affectée par d'autres paramètres indépendants de la qualité du lac, comme l'heure de la journée, la présence de vagues à la surface et les conditions météorologiques. Pour l'ensemble des sorties réalisées au lac Saint-Charles, la prise de mesure de la profondeur à laquelle le disque de Secchi restait visible a été prise par la même personne, à la même heure, à l'ombre du canot et dans des conditions les plus calmes possibles, avec peu de vents.

La profondeur moyenne à laquelle le disque de Secchi restait visible au lac Saint-Charles en 2022 est de 2,5 m pour les bassins nord (C03) et sud (C05) (Tableau 4), suggérant une transparence de l'eau typique d'un lac méso-eutrophe (Annexe 1, Tableau E ; Agiro, 2024a). La transparence moyenne de l'eau était déjà similaire en 1980 (Alain, 1981), et semble stable depuis (Tableau 5).

Tableau 4 Transparence de l'eau mesurée aux stations C03 (point le plus profond du bassin nord) et C05 (point le plus profond du bassin sud) au lac Saint-Charles en 2022.

Date	C03		C05	
	Profondeur disque Secchi (m)	Condition	Profondeur disque Secchi (m)	Condition
3 mai 2022	2,8	Miroir	2,5	Miroir
31 mai 2022	2,3	Calme (ridules)	2,3	Vagues et moutons
29 juin 2022	2,3	Calme (ridules)	2,2	Calme (ridules)
27 juillet 2022	3,1	Calme (ridules)	3,1	Petites vagues
7 sept. 2022	2,5	Calme (ridules)	2,5	Calme (ridules)
4 octobre 2022	2,5	Calme (ridules)	2,6	Calme (ridules)
1 ^{er} nov. 2022	2,3	Calme (ridules)	2,3	Calme (ridules)
Moyenne	2,5		2,5	

Tableau 5 Profondeur moyenne (± écart type) à laquelle le disque de Secchi disparaît dans le bassin nord du lac Saint-Charles entre 1980 et 2022.

	1980 ^a	1987 ^b	1996 ^c	1997 ^c	2007 ^c	2008 ^c	2012 ^d	2016 ^e	2017 ^f	2022
Profondeur disque Secchi (m)	2,5	3,1	2,5 ± 0,5	3,2 ± 0,3	3,0 ± 0,4	2,5 ± 0,4	2,8 ± 0,6	2,6 ± 0,5	2,7 ± 0,7	2,5 ± 0,3

^aAlain, 1981 ; ^bBelzile, 1987 ; ^cAPEL, 2009 ; ^dAPEL, 2014. ^eAPEL, 2019 ; ^fAgiro, 2020

En lien avec la transparence, la turbidité désigne le caractère trouble de l'eau, caractère qui est directement lié à la concentration en matière en suspension dans l'eau, tels les solubles dissous. Au point le plus profond du lac Saint-Charles (C03), la turbidité avait tendance à augmenter progressivement de la surface jusqu'au fond du lac (Annexe 3, Figures I-L ; Agiro 2024c) en temps sec. Cette augmentation de la turbidité dans l'hypolimnion peut être associée à la sédimentation de la matière organique en suspension dans l'eau, matière organique qui s'y fait progressivement dégrader. Cette décomposition explique aussi la diminution de l'oxygène dissous au fond du lac. Cependant, à la suite d'épisodes de précipitations importantes, comme ce fut le cas pour les sorties du 31 mai et du 29 juin, la turbidité apparaissait comme plus faible et stable à travers toute la colonne d'eau, suggérant une dilution importante et une vidange du lac due aux apports importants en eau venant du bassin versant.

Les valeurs de turbidité mesurées en 2022 au point le plus profond du lac Saint-Charles étaient en moyenne de $2,4 \pm 3,1$ NTU (écart type), avec un pic jusqu'à 23,1 NTU mesuré dans l'hypolimnion (Annexe 3, Figure K ; Agiro 2024c). À titre comparatif, la turbidité mesurée au lac Clair, un lac « témoin » de la région (situé dans la réserve Duchesnay) et qui est considéré comme « intact » ou non influencé par les activités humaines, oscille le plus souvent autour de 0,1 NTU.

3.2.3 Conductivité spécifique et ions chlorure

La conductivité spécifique de l'eau constitue un indicateur du niveau de dégradation du milieu aquatique ; des changements notables de conductivité dans un lac ou une rivière indiquent une augmentation des apports en substances dissoutes provenant du bassin versant. Dans un contexte d'hiver rigoureux avec épandage de sels, ces apports en substances dissoutes incluent les ions chlorure, indicateur d'une possible contamination de l'eau par les sels de déglacage utilisés sur les voiries ou les terrains privés.

Les valeurs de conductivité spécifique et d'ions chlorure mesurées en 2022 au lac Saint-Charles variaient respectivement de 51,7 à 273,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et de 10,6 à 56 mg/l pour le bassin nord (C03, Figures 14–17), et de 66,4 à 109,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et de 12,1 à 39 mg/l pour le bassin sud (C05, Figures 18–19). Les valeurs les plus élevées ont été mesurées dans le bassin nord lors de la première sortie d'échantillonnage du 3 mai 2022 (Figure 14A), et ne se reflétaient pas dans le bassin sud (Figure 18A), soulignant l'impact du dégel et de l'apport massif en sels provenant de la rivière des Hurons. À noter également une teneur en sels 23 % plus élevée lors de l'échantillonnage sous la glace effectué le 7 mars 2023 comparée aux sorties estivales de 2022 ($17,8 \pm 1,5$ mg/l vs. $14,6 \pm 2,7$ mg/l). Pour le bassin sud, les profils verticaux de conductivité spécifique et de teneurs en ions chlorure étaient davantage uniformes tout au long de la saison sans glace, mettant en évidence l'important effet de la dilution des sels et autres contaminants une fois rendu dans cette portion du lac.

Pris dans un contexte historique, après une augmentation de la conductivité spécifique de plus de 33 % entre 2008 et 2012, celle-ci a ralenti depuis, passant de 92 ± 17 à 93 ± 17 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 1 m de profondeur pour le bassin nord (C03), et de 90 ± 16 à 96 ± 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 1 m de profondeur pour le bassin sud (C05) (Tableau 6). Cependant, une très légère augmentation de la teneur en ions chlorure est observée dans les deux bassins au cours des dix dernières années, signalant que la problématique n'est pas encore stabilisée (Tableau 6).

Tableau 6 Conductivité moyenne (\pm écart type) mesurée à 1 m sous la surface (épilimnion) dans le bassin nord (C03) et dans le bassin sud (C05) du lac Saint-Charles entre 2008 et 2022.

	Bassin nord (C03)					Bassin sud (C05)			
	2008 ^a	2012 ^b	2016 ^c	2017 ^d	2022	2012 ^b	2016 ^c	2017 ^d	2022
Conductivité spécifique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	69 \pm 3	92 \pm 17	89 \pm 16	96 \pm 29	93 \pm 17	90 \pm 16	86 \pm 16	94 \pm 25	96 \pm 15
Ions chlorure (mg/l)	NA	12 \pm 4	13 \pm 3	14 \pm 5	13 \pm 2	12 \pm 2	13 \pm 3	14 \pm 7	15 \pm 2

^aAPEL, 2009 ; ^bAPEL, 2014. ^cAPEL, 2019 ; ^dAgiro, 2020

À titre comparatif, une moyenne de conductivité spécifique de 22 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est mesurée sur toute la colonne d'eau du lac Clair, lac de la région non affecté directement par l'activité humaine. En revanche, le lac Clément, lac très affecté par les sels de voirie, présente des valeurs de conductivité spécifique et d'ions chlorure de 485 à 2 243 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et de 113 à 540 mg/l, respectivement (Agiro, 2023a). Les valeurs moyennes de conductivité spécifique et d'ions chlorure mesurées au lac Saint-Charles sont donc plus à mi-chemin entre celles d'un lac naturel et d'un lac fortement affecté par de l'épandage hivernal.

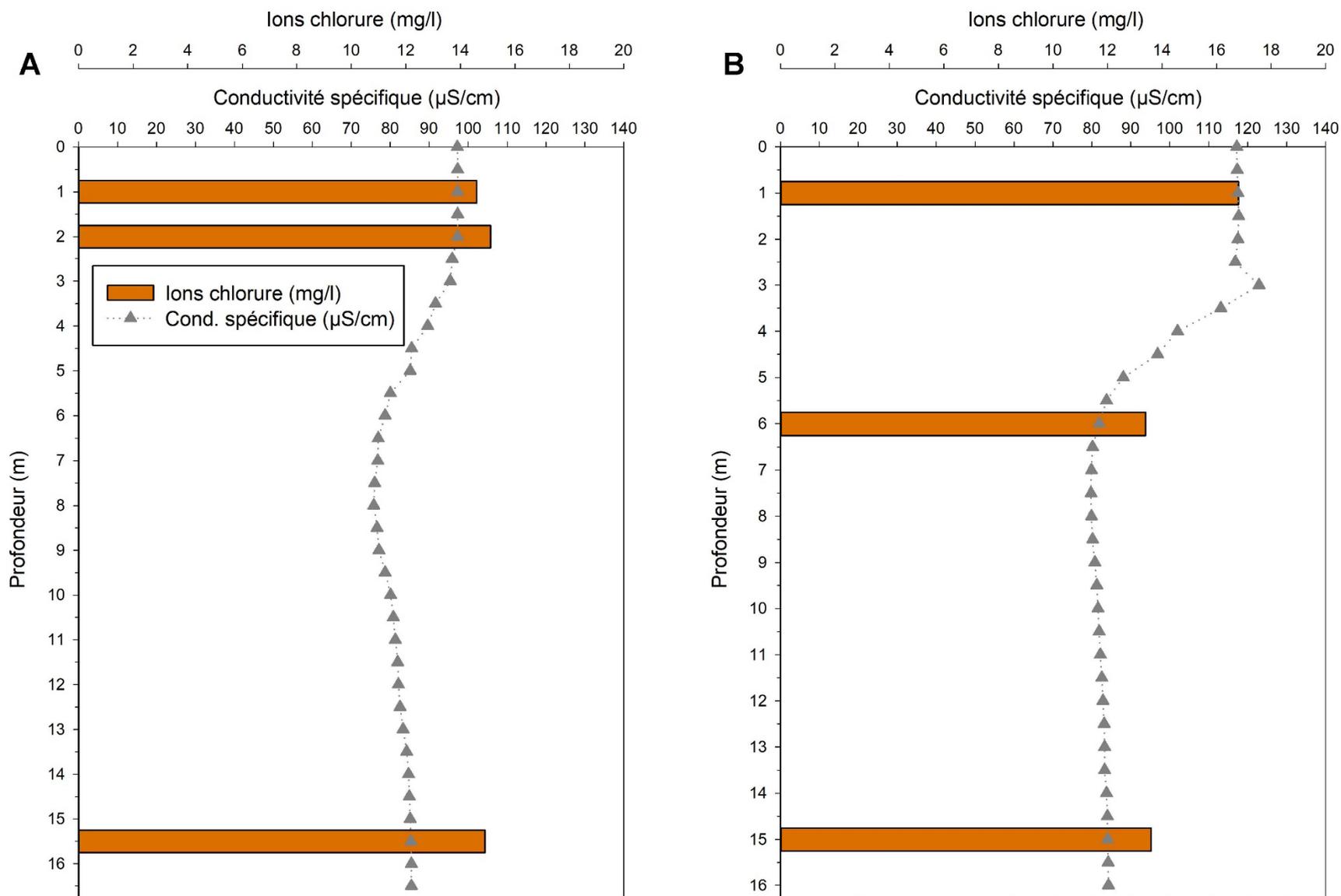


Figure 15 Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C03 pour les sorties du (A) 29 juin et (B) 27 juillet 2022.

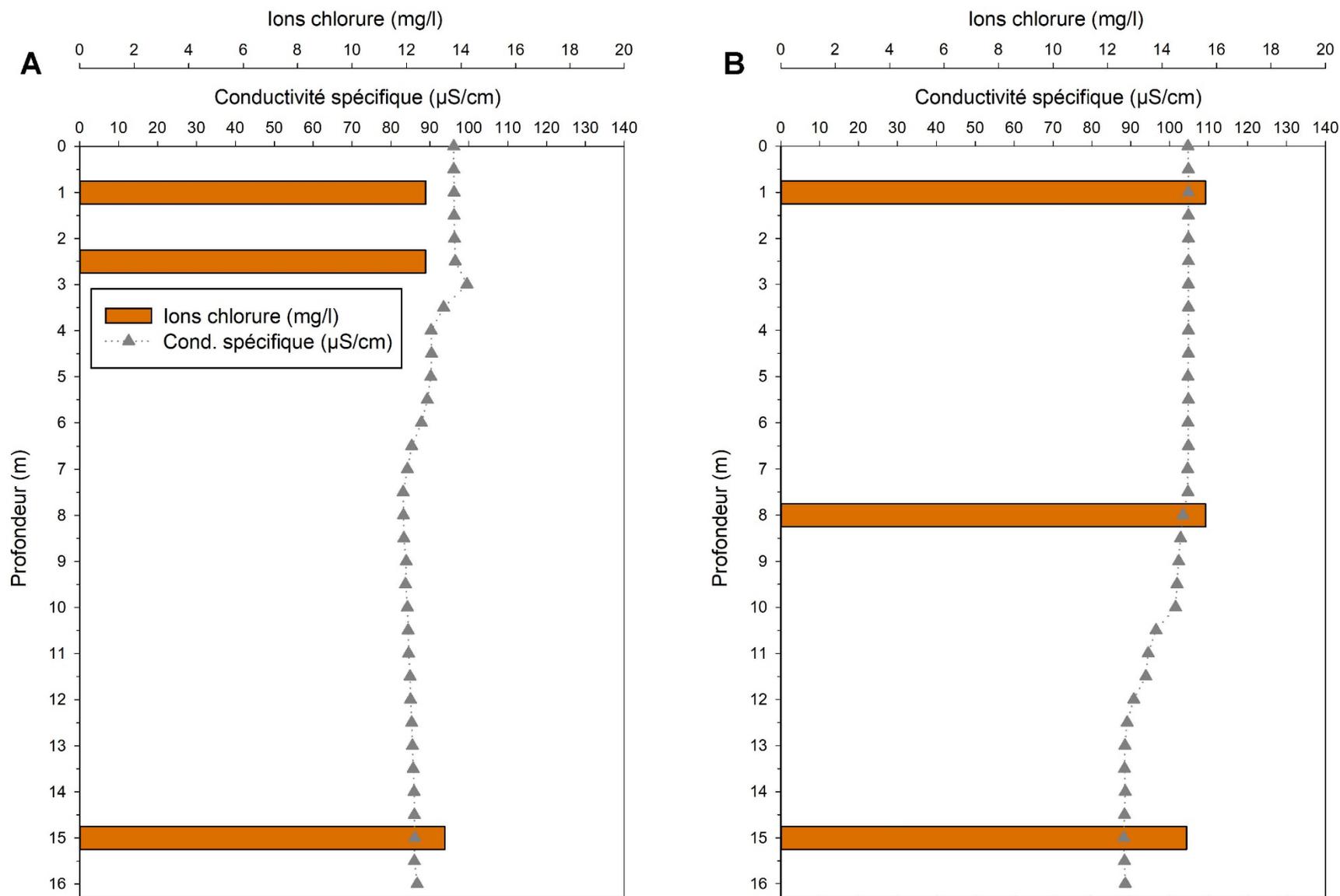


Figure 16 Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C03 pour les sorties du (A) 7 septembre et (B) 4 octobre 2022.

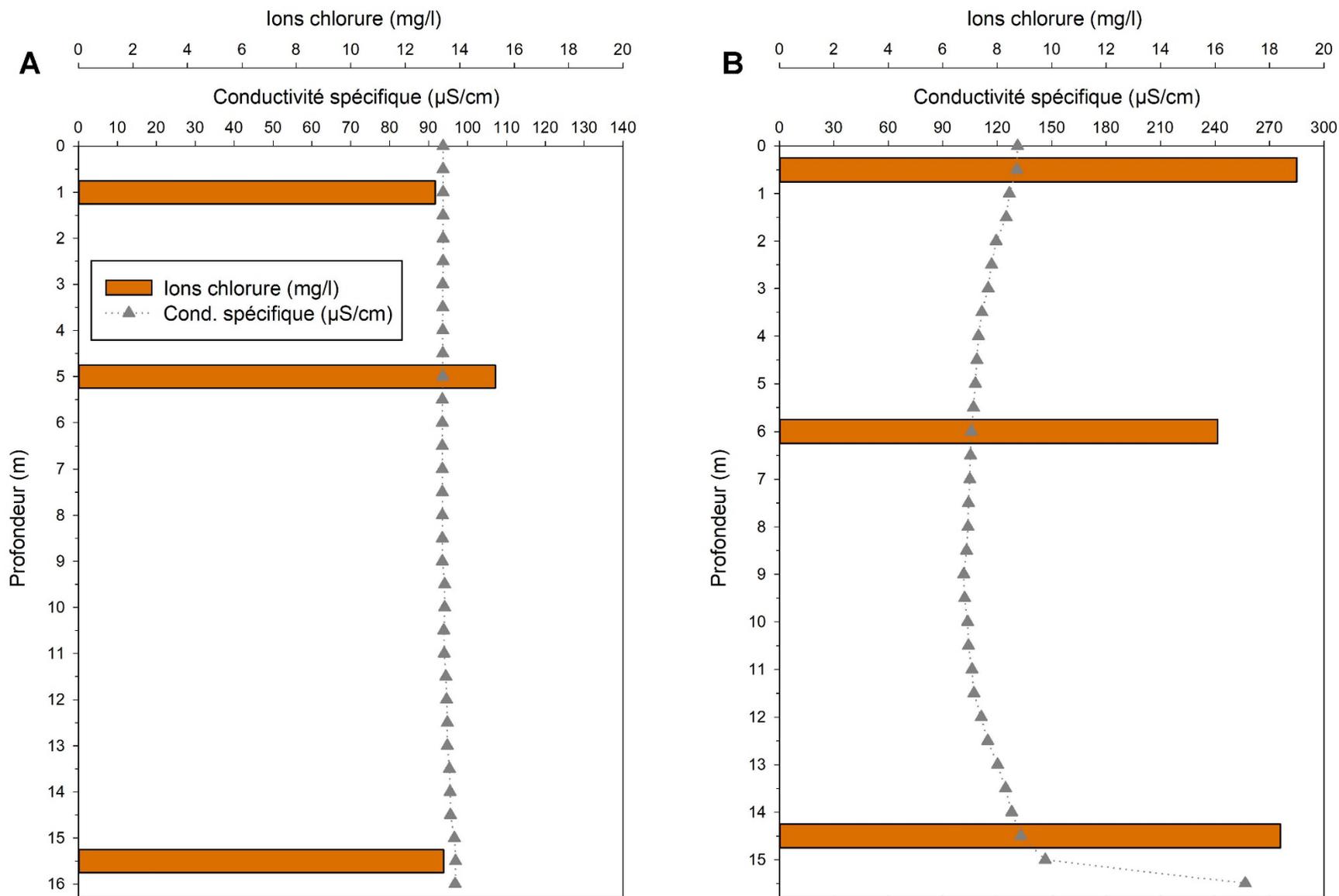


Figure 17 Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C03 pour les sorties du (A) 1^{er} novembre 2022 et (B) 7 mars 2023.

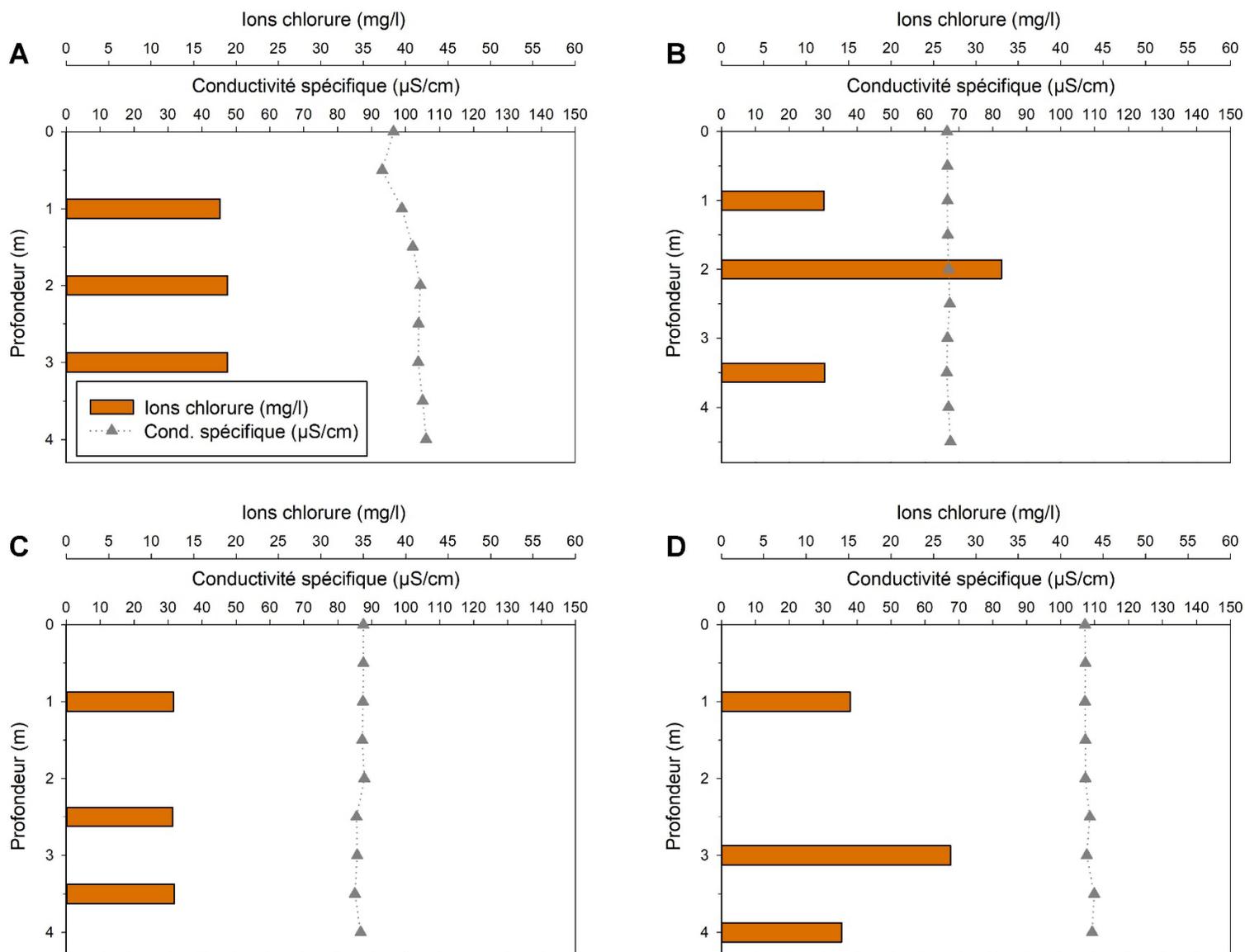


Figure 18 Profils de conductivité spécifique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et ions chlorure (mg/l) à la station C05 pour les sorties du (A) 3 mai, (B) 31 mai, (C) 29 juin et (D) 27 juillet 2022.

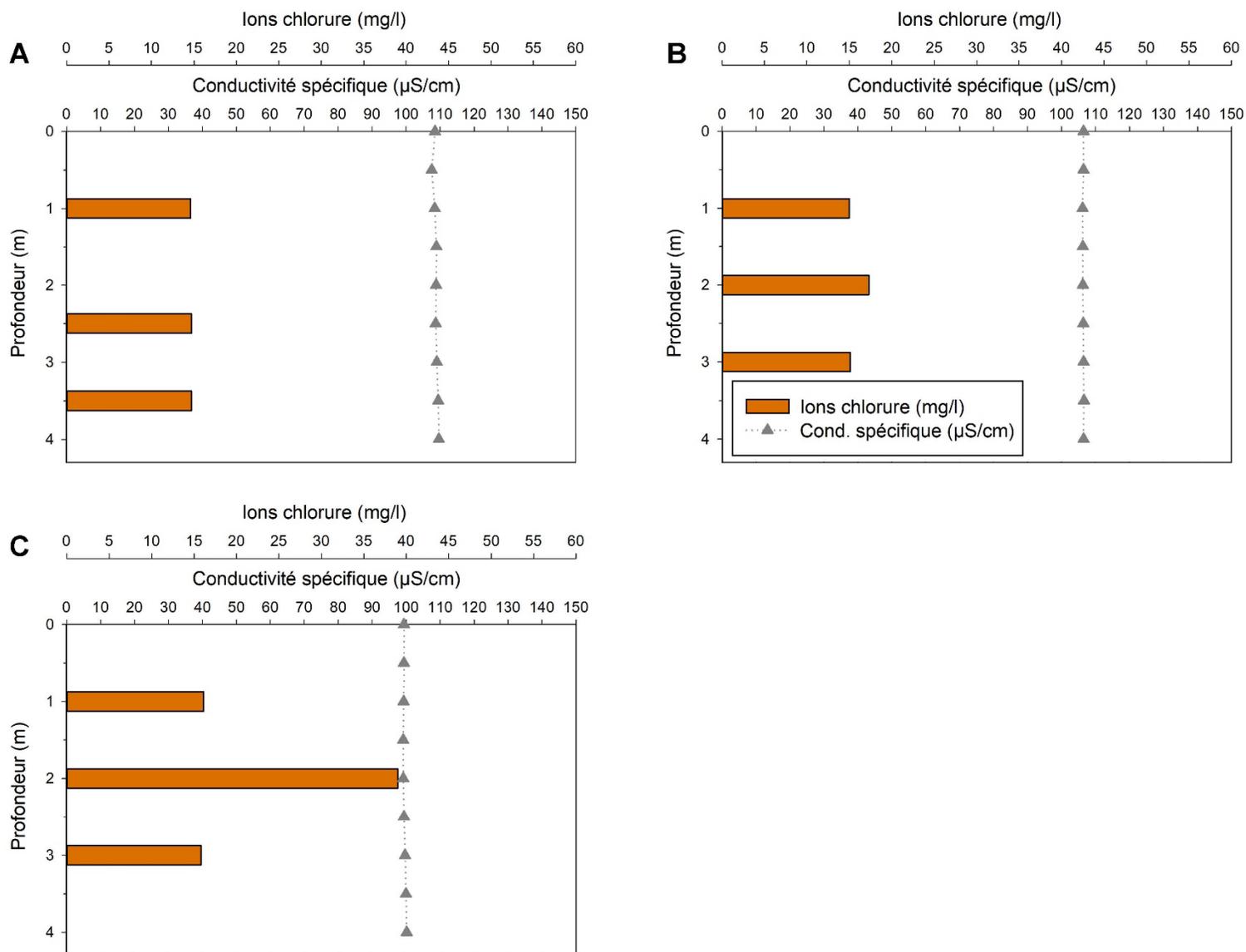


Figure 19 Profils de conductivité spécifique (µS/cm) et ions chlorure (mg/l) à la station C05 pour les sorties du (A) 7 septembre, (B) 4 octobre et (C) 1^{er} novembre 2022.

3.2.4 Alcalinité et pH

L'alcalinité est indicatrice de la teneur en carbonate et bicarbonate de calcium dans l'eau. Plus sa valeur est élevée, plus le pouvoir tampon de l'eau sera important et son pH stable. L'alcalinité de l'eau constitue donc un bon indicateur de la sensibilité d'un lac face à l'acidification. L'alcalinité moyenne mesurée au lac Saint-Charles en 2022 était de $13,8 \pm 4,5$ mg CaCO_3/l (écart type) pour le bassin nord (C03, Figures 20–23) et de $16,6 \pm 5,6$ mg CaCO_3/l (écart type) pour le bassin sud (C05, Figures 24–25), soit des valeurs typiques pour un lac du Bouclier canadien.

Le pH moyen mesuré au lac Saint-Charles en 2022 était de $6,5 \pm 0,4$ (écart type) dans le bassin nord (C03), avec des valeurs oscillant entre 5,9 et 7,5 (Figures 20–23). Le bassin sud (C05) montrait, quant à lui, des valeurs de pH plus élevées, allant de 6,6 à 7,5 (Figures 24–25), pour un pH moyen de $7,1 \pm 0,3$ (écart type). Pour le territoire du Bouclier canadien, il est considéré qu'un lac non acide présente un pH de 6 ou plus (Dupont, 2004). Le lac Saint-Charles se situe donc à la limite inférieure de neutralité. Durant leur phase de stratification estivale, les deux bassins montraient une diminution du pH avec la profondeur, suggérant des eaux plus acides dans l'hypolimnion comparé à la surface. Cette acidification de l'eau dans le fond du lac est probablement liée à une augmentation de l'activité biologique via la décomposition de la matière organique (Wetzel, 2001), ce qui concorde avec la diminution de l'oxygène (Figures 7–10 et 11–12) et la plus grande turbidité (Annexe 3, Figures I–L ; Agiro 2024c) observées dans l'hypolimnion.

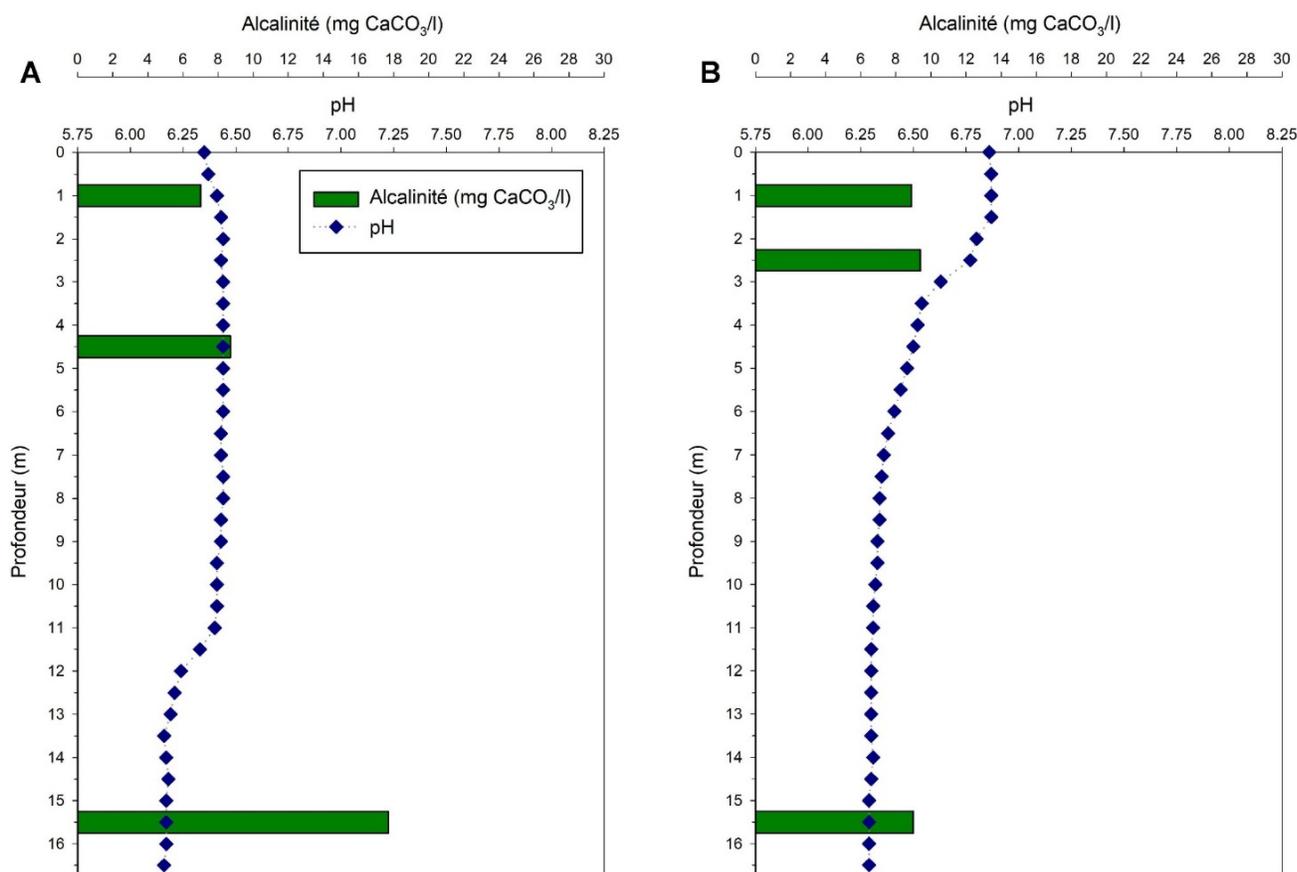


Figure 20 Profils d'alcalinité (mg CaCO_3/l) et de pH à la station C03 pour les sorties du (A) 3 mai et (B) 31 mai 2022.

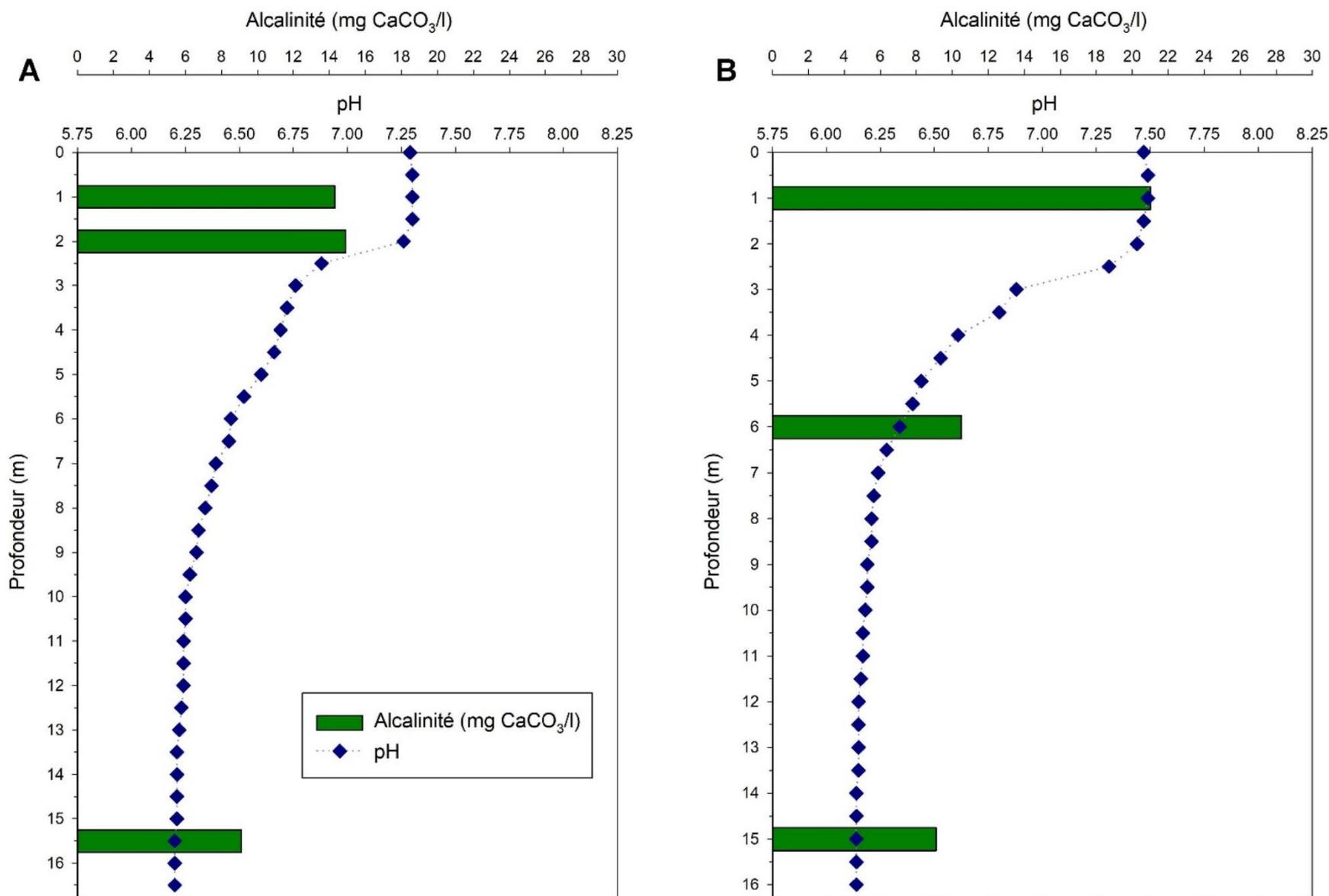


Figure 21 Profils d'alcalinité (mg CaCO₃/l) et de pH à la station C03 pour les sorties du (A) 29 juin et (B) 27 juillet 2022.

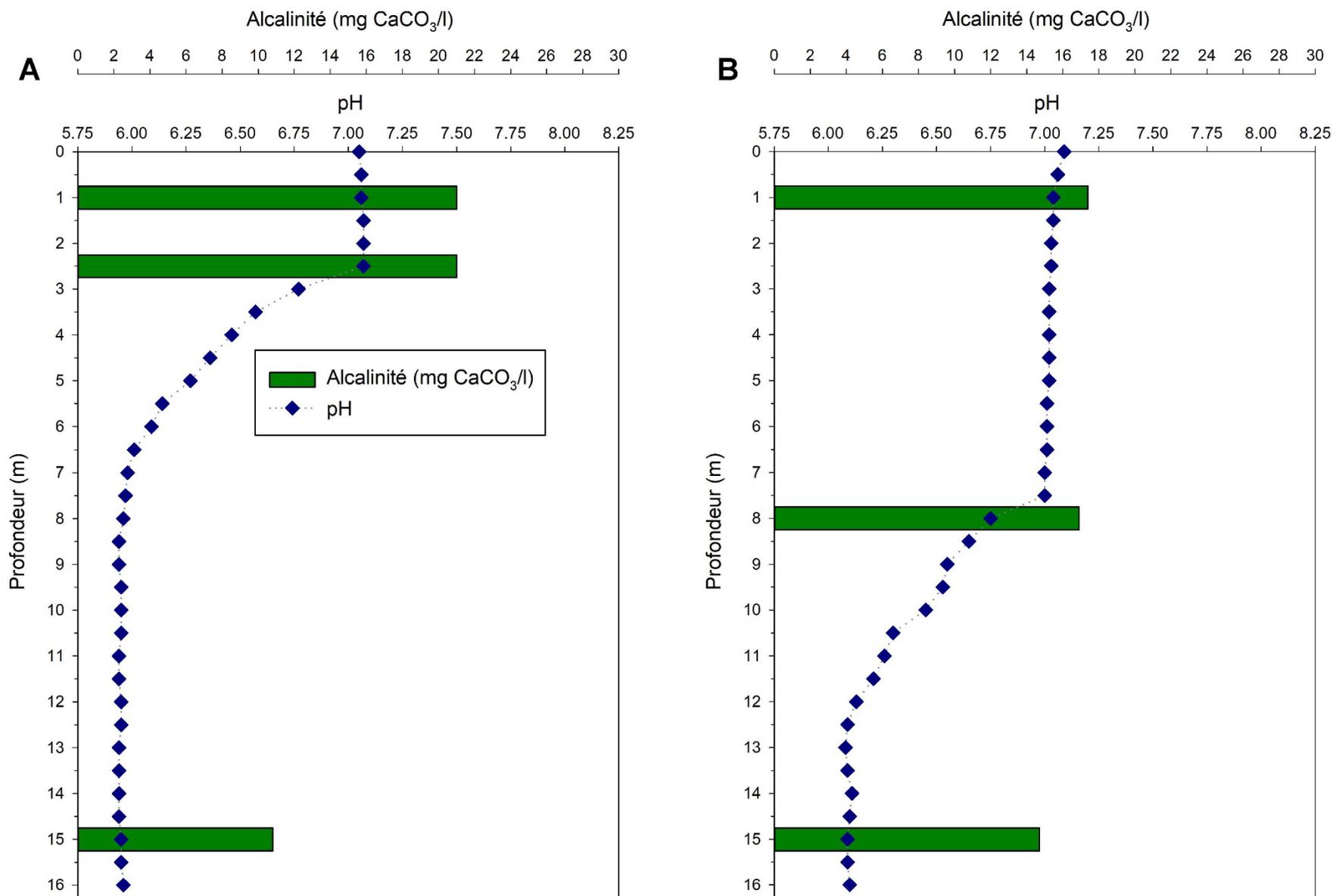


Figure 22 Profils d'alcalinité (mg CaCO₃/l) et de pH à la station C03 pour les sorties du (A) 7 septembre et (B) 4 octobre 2022.

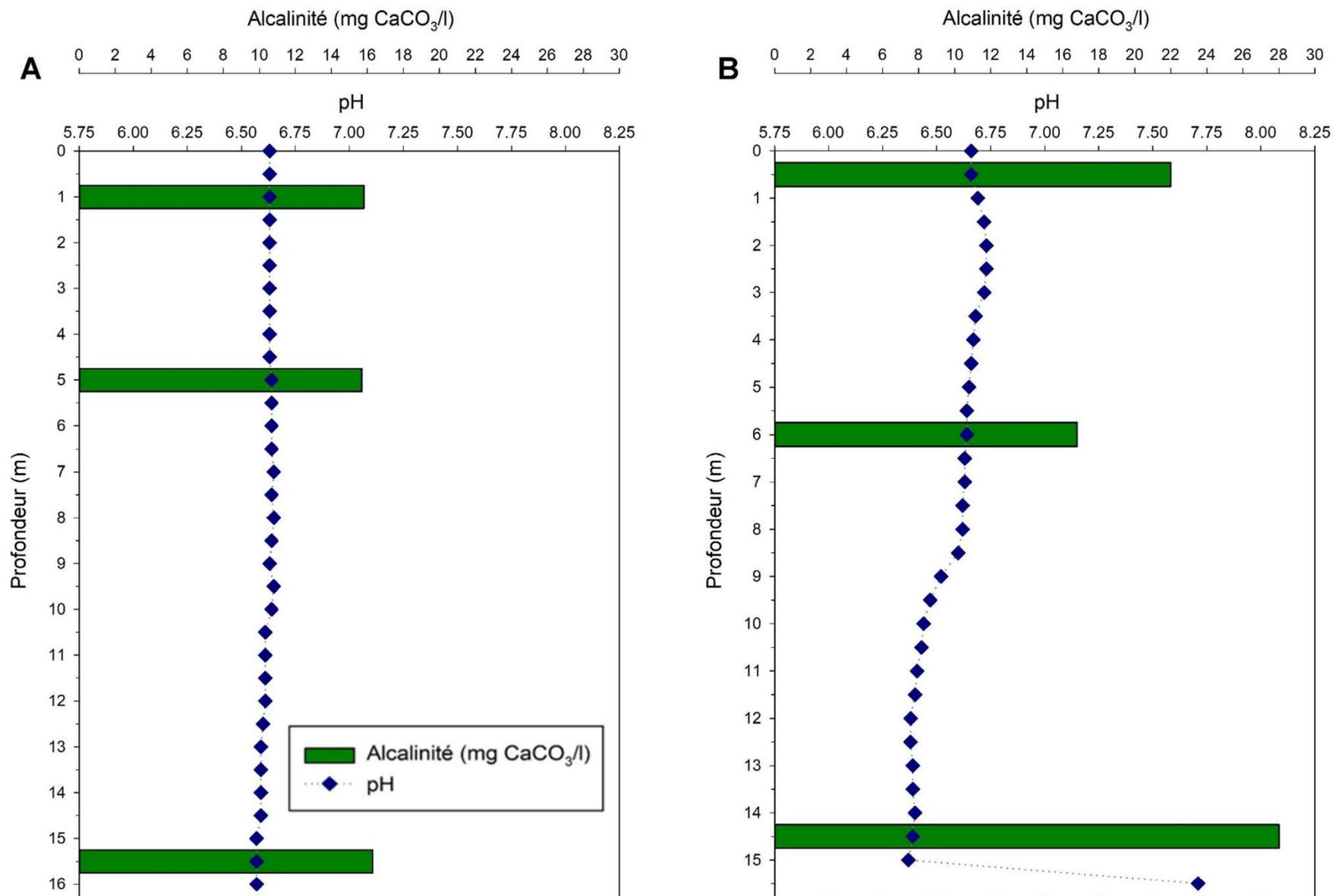


Figure 23 Profils d'alcalinité (mg CaCO₃/l) et de pH à la station C03 pour les sorties du (A) 1^{er} novembre 2022 et (B) 7 mars 2023.

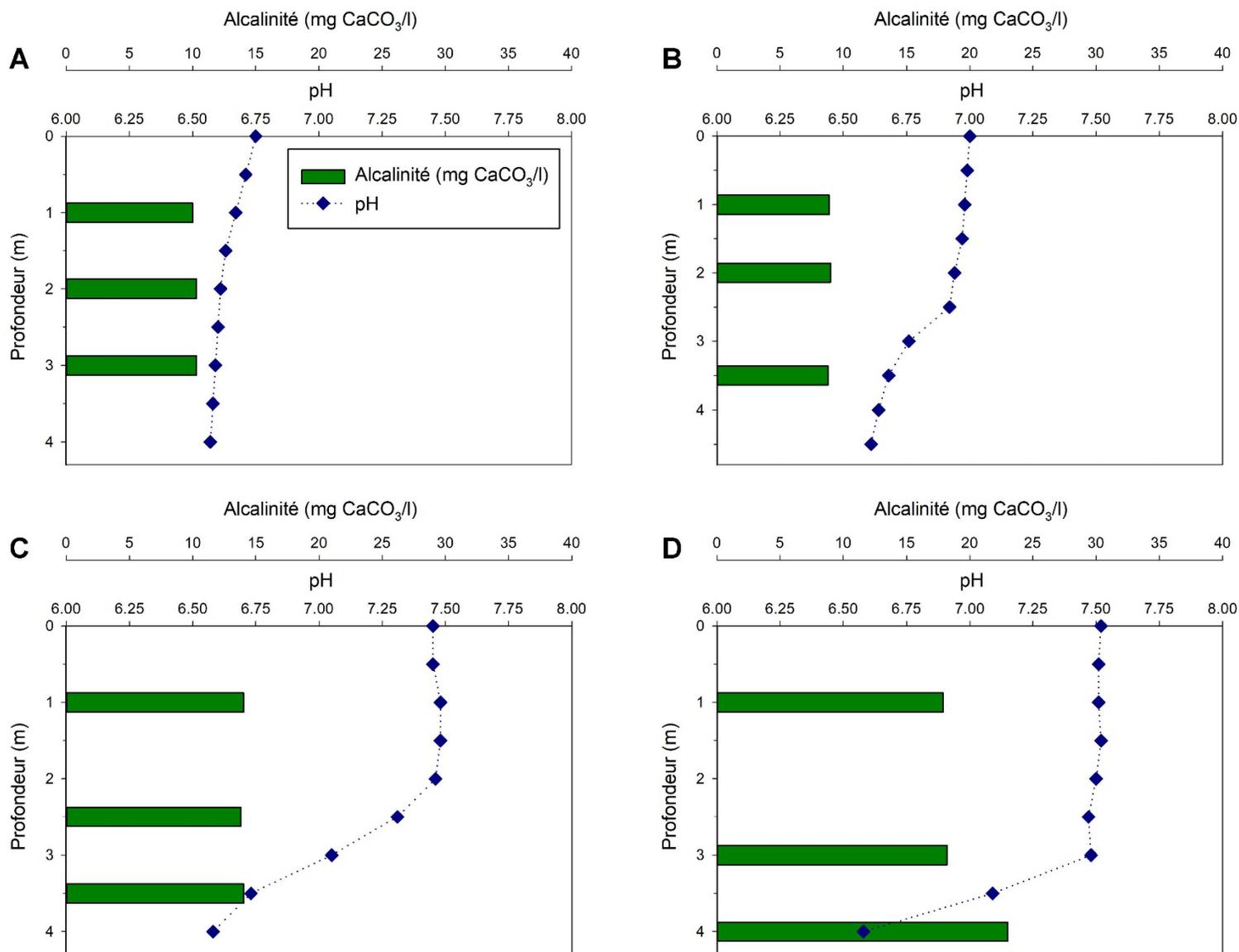


Figure 24 Profils d'alcalinité (mg CaCO₃/l) et de pH à la station C05 pour les sorties du (A) 3 mai, (B) 31 mai, (C) 29 juin et (D) 27 juillet 2022.

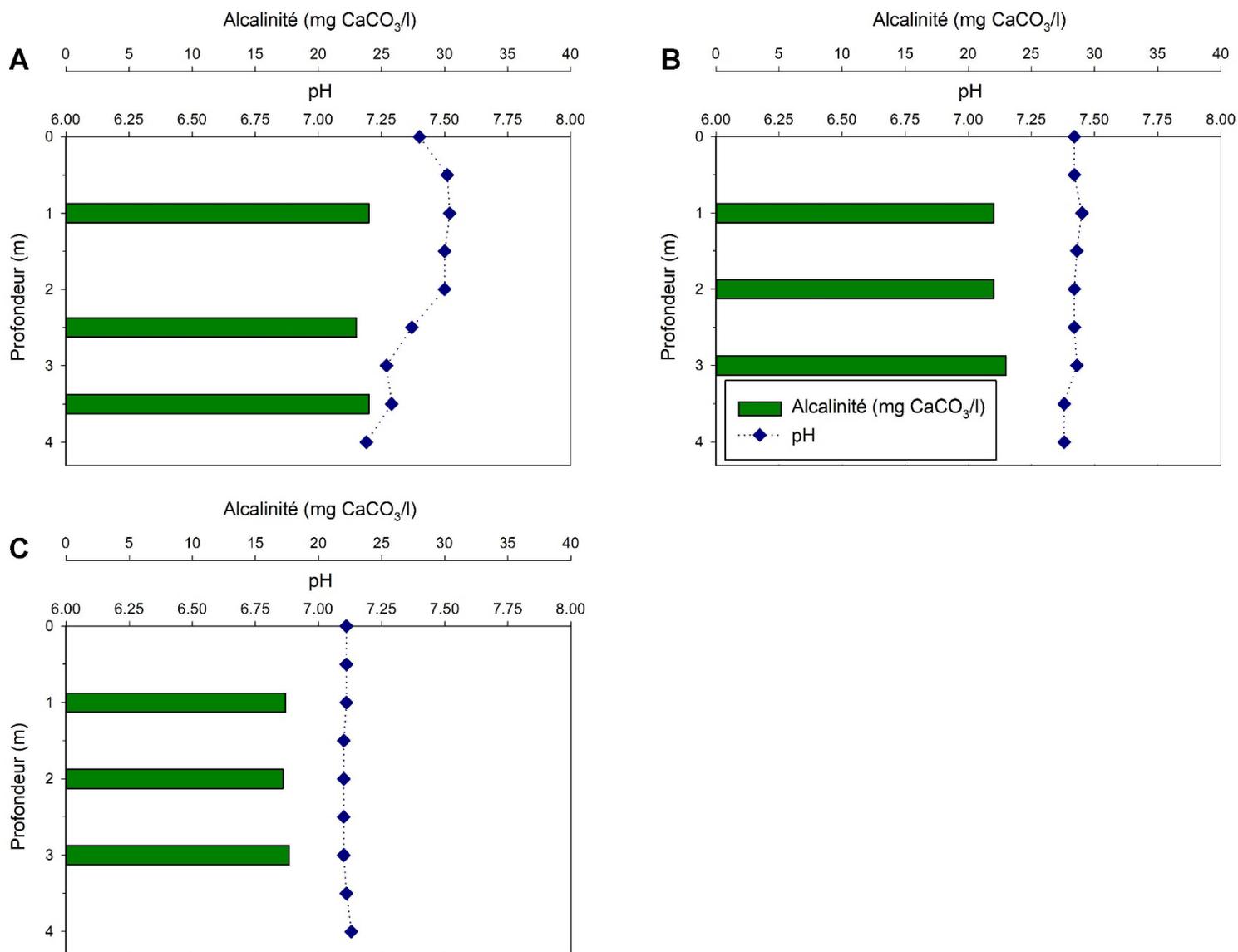


Figure 25 Profils d'alcalinité (mg CaCO₃/l) et de pH à la station C05 pour les sorties du (A) 7 septembre, (B) 4 octobre et (C) 1^{er} novembre 2022.

3.2.5 Nutriments et chlorophylle a

L'azote et le phosphore sont les deux principaux nutriments essentiels pour la croissance des organismes photosynthétiques. Dans un lac enrichi en ces deux éléments nutritifs, la croissance algale n'est plus limitée et devient trop importante, avec des répercussions considérables sur la qualité de l'eau. La chlorophylle a, pigment photosynthétique synthétisé par les algues et plantes aquatiques, constitue un excellent indicateur de la concentration en organismes photosynthétiques dans l'eau et, ainsi, de l'état du lac.

Les tableaux suivants présentent les concentrations en phosphore total (PT), azote total (NT) et chlorophylle a (chl a) mesurées dans les strates du bassin nord (C03, Tableau 7) et du bassin sud (C05, Tableau 8) du lac Saint-Charles en 2022.

Les concentrations moyennes en phosphore et azote total mesurées étaient typiques d'un lac mésotrophe pour les deux bassins du lac Saint-Charles (Tableaux 7–8), alors que la chlorophylle a suggérait un stade oligo-mésotrophe (bassin nord) à mésotrophe (bassin sud) en surface, mésotrophe dans le métalimnion (intermédiaire) et ultra-oligotrophe (bassin nord) à oligo-mésotrophe (bassin sud) dans le fond du lac.

Tableau 7 Concentrations en phosphore total (PT), azote total (NT) et chlorophylle a (chl a) à la station C03.

Date	Surface			Intermédiaire			Fond		
	PT (µg/l)	NT (mg/l)	chl a (µg/l)	PT (µg/l)	NT (mg/l)	chl a (µg/l)	PT (µg/l)	NT (mg/l)	chl a (µg/l)
3 mai 2022	14,4	0,28	0,52	13,9	0,36	0,46	22	0,75	0,10
31 mai 2022	11,8	0,37	1,93	14,2	0,39	2,02	10,5	0,47	0,41
29 juin 2022	13,6	0,31	2,45	19	0,41	5,10	26	0,38	0,39
27 juil. 2022	10,3	0,42	3,78	8,8	0,41	4,55	14,1	0,48	0,66
7 sept. 2022	13,8	0,43	3,88	12,8	0,42	4,32	14,6	0,46	0,64
4 oct. 2022	10,1	0,40	3,91	10,8	0,46	3,22	16,4	0,50	2,04
1 ^{er} nov. 2022	11,8	0,37	1,74	12,5	0,39	1,94	15,4	0,49	1,33
7 mars 2023	11,9	0,89		10,3	0,62		19	0,92	
Moyenne (écart type)²	12,3 (1,7)	0,37 (0,06)	2,60 (1,31)	12,8 (3,1)	0,43 (0,08)	3,09 (1,69)	17,0 (5,2)	0,50 (0,12)	0,80 (0,67)

² Le calcul de la concentration moyenne des nutriments est basé uniquement sur les données sans glace de 2022, afin de pouvoir comparer avec les autres stations et années antérieures. Les données du 7 mars 2023 n'entrent donc pas dans ce calcul et sont données à titre purement indicatif.

Tableau 8 Concentrations en phosphore total (PT), azote total (NT) et chlorophylle a (chl a) à la station C05.

Date	Surface			Intermédiaire			Fond		
	PT (µg/l)	NT (mg/l)	chl a (µg/l)	PT (µg/l)	NT (mg/l)	chl a (µg/l)	PT (µg/l)	NT (mg/l)	chl a (µg/l)
3 mai 2022	18,7	0,43	0,72	20	0,37	0,57	15,3	0,41	0,35
31 mai 2022	10,8	0,36	2,33	8,6	0,35	2,33	9,2	0,41	1,07
29 juin 2022	11,9	0,28	6,23	14,6	0,29	9,38	14,4	0,27	2,89
27 juil. 2022	13,6	0,35	3,78	12,0	0,32	9,54	11,8	0,37	3,68
7 sept. 2022	15,0	0,37	6,64	12,7	0,37	5,02	15,5	0,37	4,63
4 oct. 2022	12,5	0,38	4,57	10,8	0,38	1,24	12,1	0,33	4,71
1 ^{er} nov. 2022	11,9	0,42	4,07	11,9	0,38	2,99	11,1	0,41	2,30
Moyenne (écart type)	13,5 (2,7)	0,37 (0,05)	4,05 (2,08)	12,9 (3,6)	0,35 (0,03)	4,44 (3,71)	12,8 (2,4)	0,37 (0,05)	2,80 (1,68)

Comparée aux diagnostics précédentes (APEL, 2014 ; APEL, 2019 ; Agiro, 2020), la concentration en phosphore total dans le bassin nord³ du lac Saint-Charles est en augmentation progressive de 12 % aux cinq ans (moyenne de 12,3 µg/l en 2022 vs. 11,2 µg/l en 2017 vs. 11,1 µg/l en 2016 vs. 9,7 µg/l en 2012) (Tableau 9). En 1980, le phosphore présentait des concentrations similaires à 2022 (Alain, 1981), mais une seule valeur avait été collectée à l'époque, nous empêchant de tirer des conclusions aussi lointaines. La concentration en azote total est restée davantage stable au fil des années (moyenne de 0,33 mg/l en 1996 vs. 0,31 mg/l en 2017 vs. 0,37 mg/l en 2022). Une érosion intensive, des rejets d'eaux usées traitées (stations d'épuration de Stoneham-et-Tewkesbury et de Lac-Delage, installations septiques surutilisées, mal utilisées et/ou défaillantes), ainsi qu'une utilisation d'engrais et de pesticides dans le bassin versant, pourraient être la cause de cette augmentation. Par ailleurs, les concentrations plus élevées en nutriments observées au fond du bassin nord du lac (Tableau 7) pourraient être expliquées par un relargage de nutriments depuis les sédiments lors d'hypoxie sévère, ainsi qu'un taux de décomposition variant avec la profondeur (Wetzel, 2001). Les concentrations moyennes de chlorophylle a montrent quant à elles une grande variabilité interannuelle, avec aucune tendance clairement définie, même si les records des années 2007–2008, au cœur de la crise des algues bleu-vert, ne sont plus atteints (Tableau 9).

Tableau 9 Concentration moyenne (± écart type) en phosphore total (PT), azote total (NT) et chlorophylle a (chl a) mesurée à 1 m sous la surface (épilimnion) dans le bassin nord du lac Saint-Charles entre 1980 et 2022.

	1980 ^a	1996 ^b	1997 ^b	2007 ^b	2008 ^b	2012 ^c	2016 ^d	2017 ^e	2022
PT (µg/l)	12	NA	10,3 ± 1,2	9,6 ± 2,3	9,4 ± 2,9	9,7 ± 10,8	11,1 ± 2,0	11,2 ± 3,7	12,3 ± 1,7
NT (mg/l)	NA	0,33 ± 0,05	0,27 ± 0,02	0,34 ± 0,07	0,38 ± 0,11	NA	0,35 ± 0,04	0,31 ± 0,05	0,37 ± 0,06
chl a (µg/l)	0,9	1,6 ± 0,3	6,1 ± 4,6	6,2 ± 4,8	8,0 ± 2,9	NA	4,1 ± 2,4	1,5 ± 0,3	2,6 ± 1,3

^aAlain, 1981 ; ^bAPEL, 2009 ; ^cAPEL, 2014. ^dAPEL, 2019 ; ^eAgiro, 2020

³ Uniquement pour le bassin nord, afin d'être en mesure de comparer avec les données historiques.

3.3 Caractérisation des herbiers du lac Saint-Charles

La qualité de l'eau d'un lac étant déterminante pour la croissance des plantes aquatiques, ces dernières constituent un bon indicateur de la santé de celui-ci.

3.3.1 Recouvrement et densité

Le lac Saint-Charles possède une superficie totale de 3,5 km². Les plantes aquatiques colonisent le fond du lac, généralement entre 0 et 3 m de profondeur, voire plus pour certaines espèces. Au lac Saint-Charles, cette zone colonisable correspond à une superficie de 1,7 km², ce qui représente environ 47 % de la surface totale du lac. Le Tableau 10 présente les superficies totales et le recouvrement des herbiers aquatiques par rapport à la surface colonisable du lac Saint-Charles, ainsi que pour chaque bassin pris individuellement.

Tableau 10 Superficies et pourcentages de recouvrement des herbiers aquatiques au lac Saint-Charles en 2022.

		Lac Saint-Charles		Bassin nord		Bassin sud	
		m²	%	m²	%	m²	%
Par rapport à la superficie totale	Superficie totale	3 512 292	-	1 889 888	54	1 622 403	46
	Superficie colonisable (< 3 m de profondeur)	1 651 010	47	900 261	26	750 749	21
	Superficie inspectée	1 311 566	37	560 817	16	750 749	21
	Recouvrement des herbiers aquatiques (sur la superficie totale)	863 487	24	336 609	18	526 878	32
Par rapport à la surface colonisable	Recouvrement des herbiers aquatiques (sur la surface colonisable)	863 487	52	336 609	37	526 878	70
	Recouvrement des herbiers ajusté à la densité	619 281	38	265 416	29	353 865	47
	Recouvrement des plantes submergées	527 801	32	190 039	21	319 452	43
	Recouvrement du myriophylle à épis	79 430	5	22 038	2	57 392	8
	Recouvrement de l'élodée du Canada	60 980	4	38 256	4	22 725	3
	Recouvrement des plantes émergentes	19 319	1	45 363	5	10 731	1
	Recouvrement des plantes flottantes	68 128	4	8 426	1	22 757	3
	Recouvrement spécifique médian (densité)	-	80	-	70	-	90

En 2022, les herbiers aquatiques occupent environ 24 % de la superficie totale du lac Saint-Charles. En comparaison, le recouvrement total était évalué à seulement 5 % lors de l'inventaire de 2007 (APEL, 2009), avant de grimper respectivement à 42 % en 2012 et à 40 % en 2016 (APEL, 2014 ; APEL, 2019). Le recouvrement grimpe à 52 % lorsque l'on considère uniquement la zone colonisable (section du lac où la profondeur est inférieure à 3 m) occupée par des herbiers aquatiques (Tableau 10). Dans le bassin nord, les herbiers sont présents sur 37 % de la surface colonisable, alors qu'ils en occupent 70 % dans le bassin sud.

Une telle diminution peut être mise en relation avec l'augmentation de la fréquence des efflorescences de cyanobactéries (*Section 4 – Portrait des efflorescences et des communautés de cyanobactéries au lac Saint-Charles*) ; 32 épisodes d'efflorescences ont été répertoriés au lac Saint-Charles en 2022, alors que l'on ne dénombrait respectivement que 22 et 3 épisodes d'efflorescences en 2012 et 2016, lorsque les herbiers étaient particulièrement abondants (APEL, 2014 ; APEL, 2019). La relation antagoniste existant entre les cyanobactéries et les macrophytes est bien documentée dans la littérature scientifique (Hasler et Jones, 1949 ; Mohamed, 2017), bien que les causes soient encore peu claires (compétition pour les ressources, ombrage, condition météorologique, allélopathie) (Kurashov et al., 2021).

Le pourcentage de recouvrement spécifique médian (densité) des herbiers aquatiques était de 80 % pour le lac Saint-Charles, ce qui correspond à la classe B caractéristique d'un lac mésotrophe (Annexe 1, Tableau E ; Agiro 2024a). La Figure 26 présente le pourcentage de recouvrement spatial des herbiers aquatiques dans le bassin nord du lac Saint-Charles, alors que la Figure 27 présente celle du bassin sud. Ajusté à la densité des herbiers, 38 % de la zone colonisable (< 3 m) du lac Saint-Charles était occupée par des plantes aquatiques (Tableau 10), ce qui est caractéristique d'un lac mésotrophe également (Annexe 1, Tableau E ; Agiro, 2024a). Ce recouvrement pondéré passe à 29 % pour le bassin nord et à 47 % pour le bassin sud.

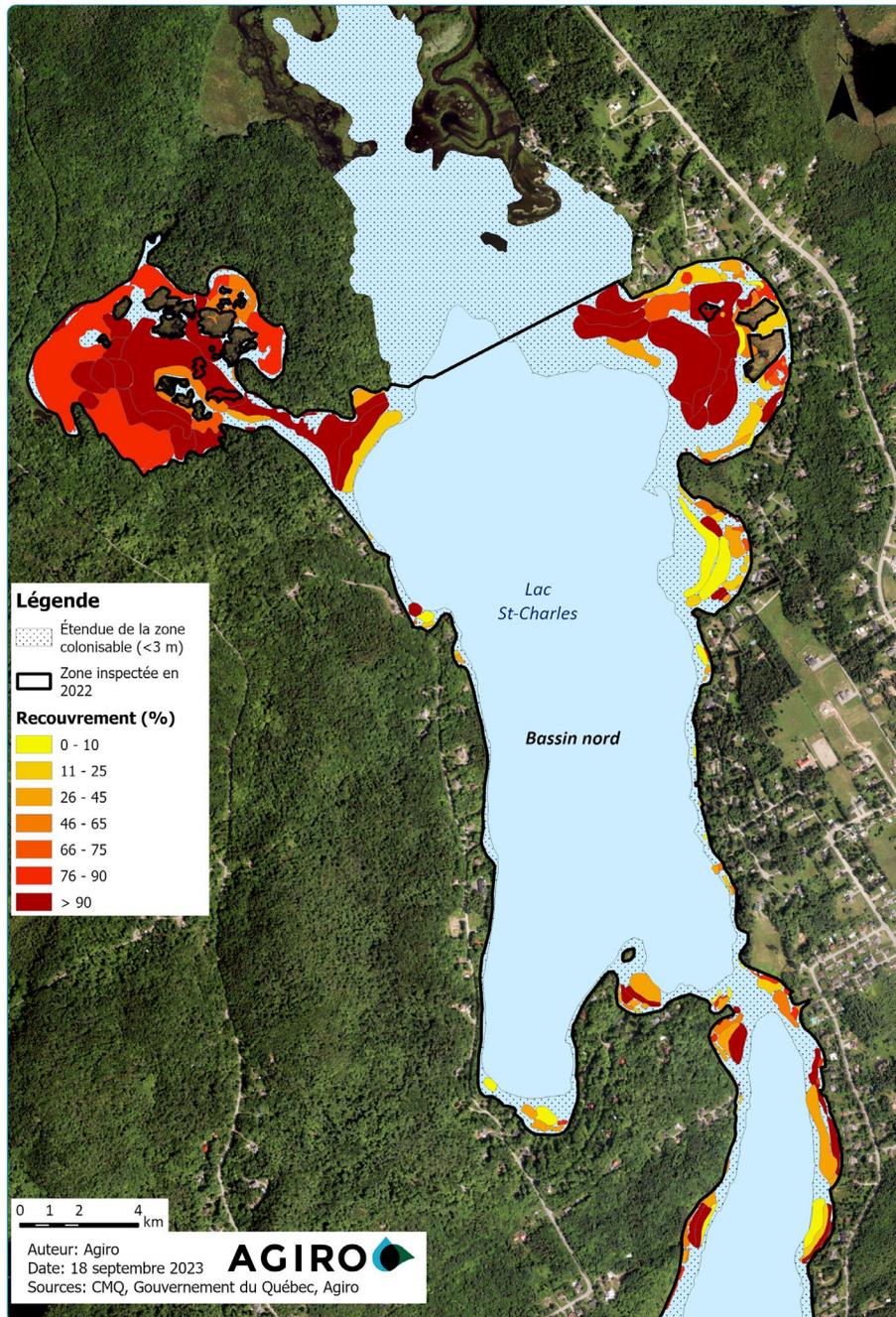


Figure 26 Pourcentage de recouvrement des herbiers aquatiques pour le bassin nord du lac Saint-Charles en 2022.

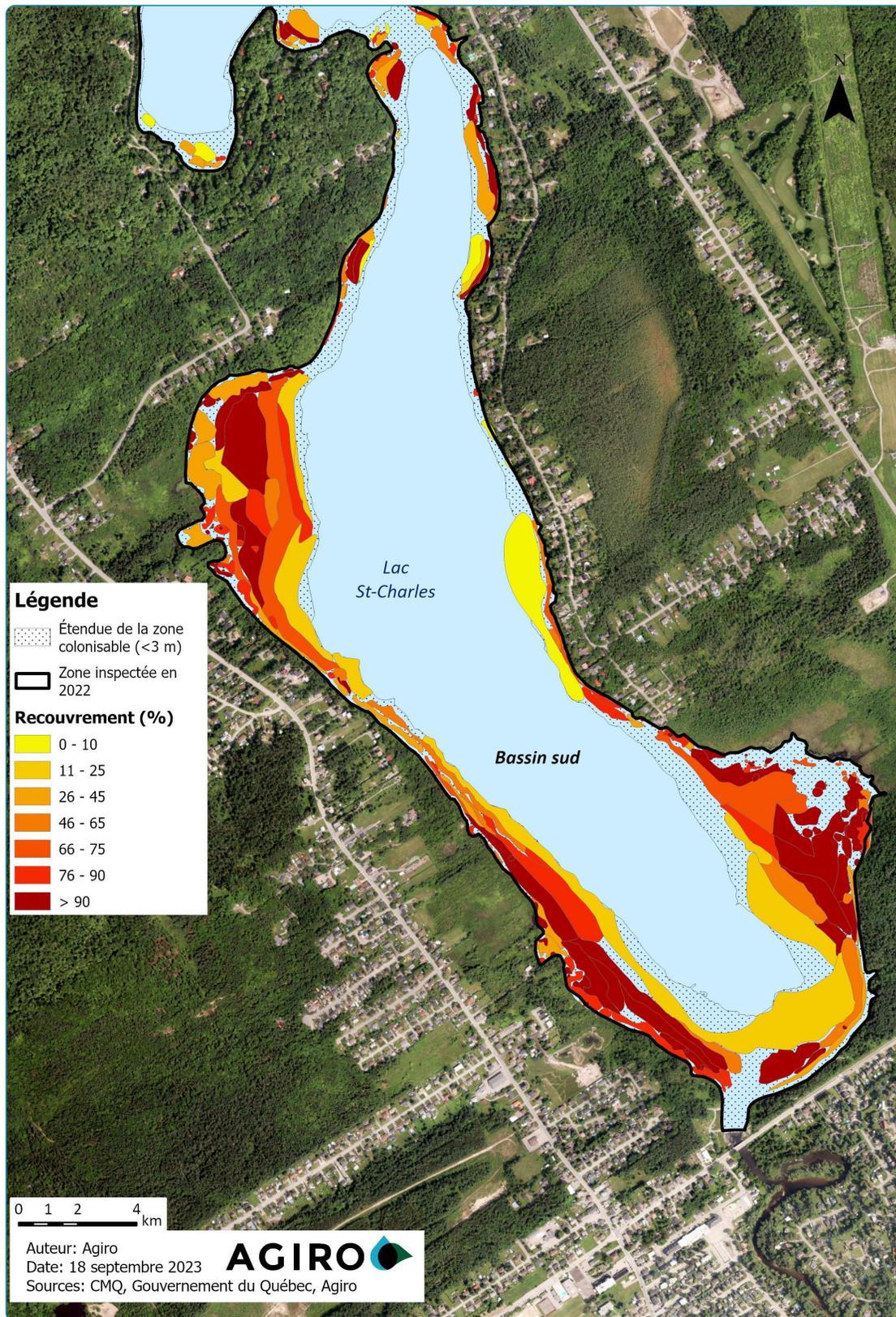


Figure 27 Pourcentage de recouvrement des herbiers aquatiques pour le bassin sud du lac Saint-Charles en 2022.

3.3.2 Richesse spécifique et dominance des espèces

En 2022, 30 espèces de plantes aquatiques ont été observées au lac Saint-Charles, ce qui correspond à une richesse spécifique caractéristique d'un lac mésotrophe (Annexe 1, Tableau E ; Agiro 2024a). Le Tableau 11 liste le nom, la fréquence d'observation, la préférence de niveau trophique et l'état phénologique de celles-ci. En comparaison, ce sont 43 espèces de plantes aquatiques qui avaient été identifiées en 2007 (APEL, 2009), alors que seulement 27 espèces de macrophytes avaient été dénombrées en 2012 (APEL, 2014) et 2016 (APEL, 2019). La diversité des herbiers semble donc avoir chuté entre 2007 et 2012, mais se serait stabilisée depuis.

Tableau 11 Espèces de plantes aquatiques observées au lac Saint-Charles en 2022.

Nom vernaculaire français	Nom scientifique latin	Nombre d'observations / 233 herbiers	Préférence de niveau trophique	État phénologique le plus souvent observé
PLANTES SUBMERGÉES (HYDROPHYTES)				
Myriophylle à épis	<i>Myriophyllum spicatum</i>	179	M/E*	Présence localisée de fruits
Élodée du Canada	<i>Elodea canadensis</i>	103	O/M/E	État végétatif
Vallisnérie d'Amérique	<i>Vallisneria americana</i>	100	M*/E	État végétatif
Potamot à grandes feuilles	<i>Potamogeton amplifolius</i>	80	E	État végétatif
Potamot de Robbins	<i>Potamogeton de Robbinsii</i>	75	O/M	État végétatif
Potamot nain	<i>Potamogeton pusillus</i>	36	O/M/E	État végétatif
Utriculaire vulgaire	<i>Utricularia vulgaris</i>	30	O/M*/E*	État végétatif
Potamot filiforme	<i>Potamogeton filiformis</i>	23		État végétatif
Algue Chara	<i>Chara sp.</i>	22	O*/M	État végétatif
Sagittaire graminioïde	<i>Sagittaria graminoides</i>	12	O	État végétatif
Isoète à spores épineuses	<i>Isoetes echinospora</i>	12		État végétatif
Algue Nitella	<i>Nitella sp.</i>	11	O/M	État végétatif
Utriculaire gibbeuse	<i>Utricularia gibba</i>	8		État végétatif
Myriophylle alterniflore	<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	8		État végétatif
Potamot émergé	<i>Potamogeton epihydrus</i>	7	O*/M/E	Présence localisée de fruits
Myriophylle hétérophylle	<i>Myriophyllum heterophyllum</i>	5		État végétatif
Naïde flexible	<i>Najas flexilis</i>	5		État végétatif
Myriophylle grêle	<i>Myriophyllum tenellum</i>	3		État végétatif
Total des hydrophytes		18 espèces		
PLANTES ÉMERGENTES (HÉLOPHYTES)				
Rubaniér (émergent)	<i>Sparganium sp.</i>	68	O/M*/E	Présence localisée de fruits
Pontédérie cordée	<i>Pondetaria cordata</i>	43	M/E*	Présence localisée de fleurs
Quenouille	<i>Typha sp.</i>	17		Présence localisée de fruits
Lobélie de Dortmann	<i>Lobellia dortmanni</i>	6	O/M	Présence localisée de fleurs
Éléocharis des marais	<i>Eleocharis palustris</i>	3	O/M	Présence localisée de fleurs
Sagittaire latifoliée	<i>Sagittaria latifolia</i>	2	M/E	État végétatif
Cypéracée	Cyperaceae	1		État végétatif
Éricaulon septangulaire	<i>Ericaulon aquaticum</i>	1	O/M	Présence localisée de fruits
Total des hélrophytes		8 espèces		
PLANTES FLOTTANTES				
Brasénie de Schrebber	<i>Brasenia schreberi</i>	110	M/E*	Présence localisée de fleurs
Rubaniér flottant	<i>Sparganium fluctuans</i>	36	M/E	Présence localisée de fruits
Grand nénuphar jaune	<i>Nuphar variegata</i>	25	O/M/E	Présence localisée de fleurs
Petit nénuphar jaune	<i>Nupahr microphylla</i>	1		État végétatif
Total des flottantes		4 espèces		

O = Oligotrophe ; M = Mésotrophe ; E = Eutrophe ; * = Niveau trophique le plus favorable

Le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*) et l'élodée du Canada (*Elodea canadensis*), deux espèces à fort potentiel envahissant, sont les plus fréquentes dans les herbiers du lac Saint-Charles. La vallisnérie d'Amérique (*Vallisneria americana*), le potamot à grande feuilles (*Potamogeton amplifolius*) et le potamot de Robbins (*Potamogeton robinssii*) arrivent ensuite parmi les espèces hydrophytes, alors que la brasénie de Schrebber (*Brasenia Schreberi*) et le rubaniér (*Sparganium sp.*) dominent parmi les espèces flottantes

et hélrophytes. Somme toute, les macrophytes submergés dominent au lac Saint-Charles avec un total de 18 espèces. En effet, ceux-ci occupent 21 % du bassin nord et 43 % du bassin sud (Tableau 10). Néanmoins, huit espèces de macrophytes émergents et quatre espèces flottantes ont été recensées.

Lors de l’inventaire de 2022, 233 herbiers aquatiques (variation dans la composition) ont été caractérisés. Le pourcentage des herbiers du lac Saint-Charles abritant chaque espèce est présenté à la Figure 28.

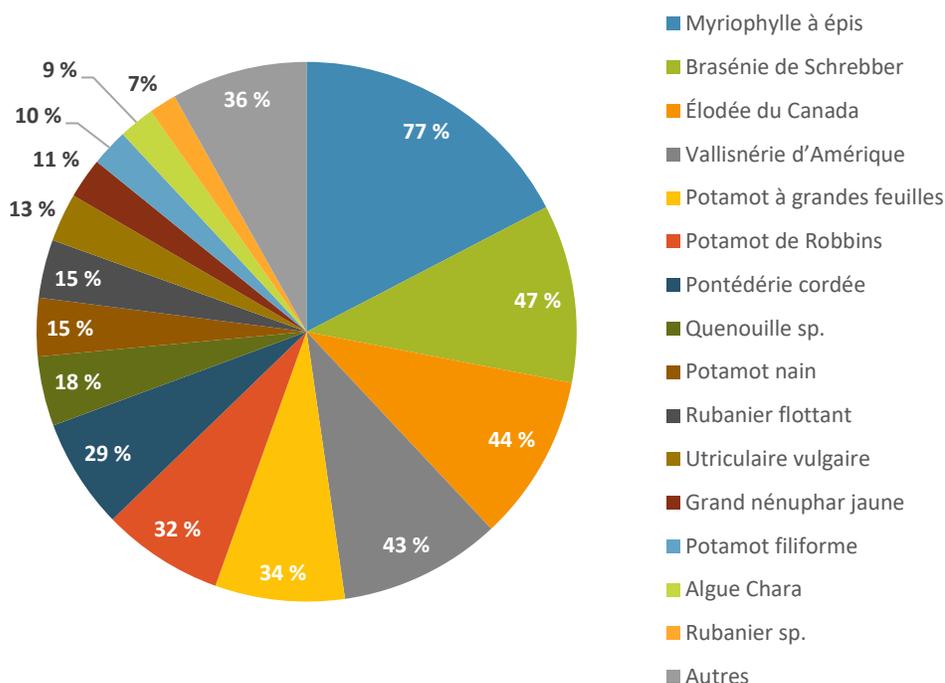


Figure 28 Pourcentage des herbiers abritant chaque espèce identifiée au lac Saint-Charles en 2022.

Les herbiers du lac Saint-Charles se composent généralement d'une à huit espèces distinctes (Annexe 3 Figure MM ; Agiro, 2024c). Dans la baie du Nord-Ouest, la baie Beaulieu et la baie Charles-Talbot, le potamot de Robbins (*Potamogeton robbinsii*), la vallisnérie d'Amérique, le myriophylle à épis et le potamot à grandes feuilles forment des peuplements de type « champs submergés » qui tapissent le fond de l'eau. Les peuplements de type « flottants » ou « émergents », davantage mono-spécifiques et dominés par la brasénie de Schreber, le rubanier et la pontédérie cordée (*Pondetaria cordata*), occupent les marais du Sud (Figure 29A–B).

Certaines associations interspécifiques sont plus fréquentes (Annexe 3, Figure NN ; Agiro, 2024c). Les peuplements composés de la vallisnérie d'Amérique, du myriophylle à épis, du potamot à grandes feuilles et du potamot de Robbins est fréquente (Figure 29C). La vallisnérie d'Amérique et le myriophylle à épis sont souvent visibles ensemble (généralement jusqu'à 1 m de profondeur), de même pour le potamot à grandes feuilles et le myriophylle à épis (généralement entre 2 et 3 m de profondeur). Ces espèces semblent même se faire compétition pour la lumière, le potamot à grande feuilles pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur tout comme le myriophylle à épis. À noter que ces deux espèces ont une préférence pour les habitats eutrophes (Tableau 11). Les espèces identifiées lors du dernier inventaire en 2016 l'ont également été en 2022. Cependant, certaines espèces préférant des milieux oligotrophes, comme la Lobélie de Dortmann, étaient moins abondantes dans la présente diagnose.

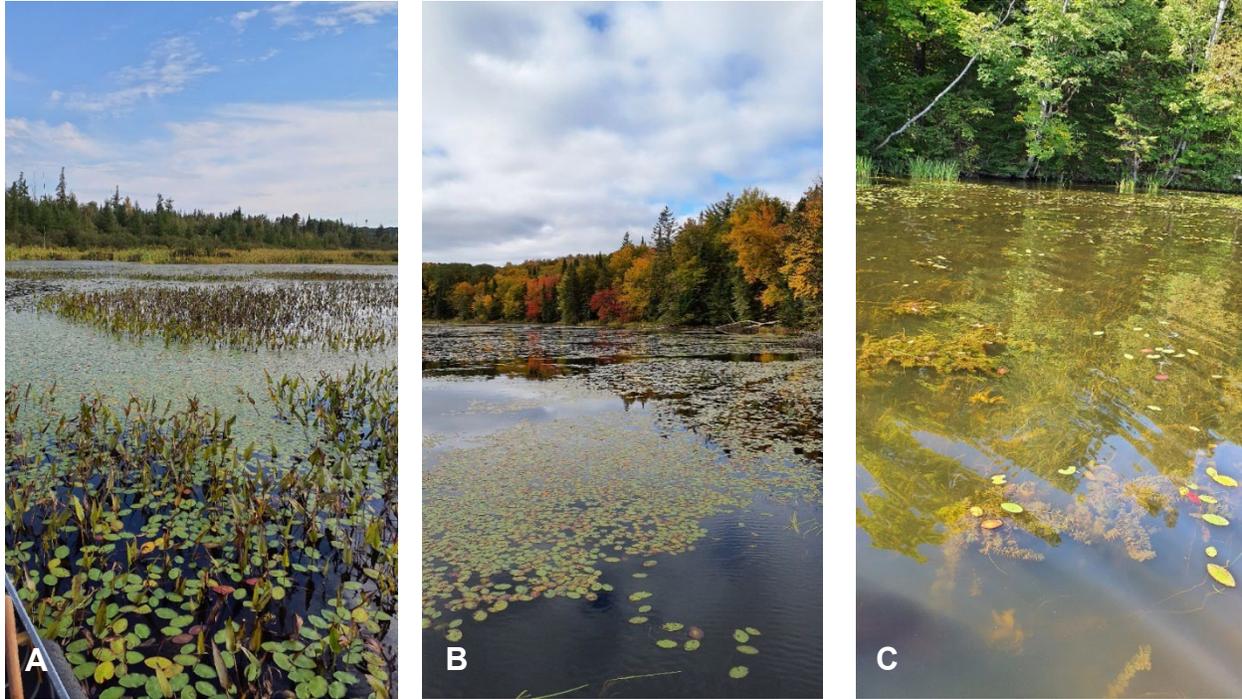


Figure 29 (A) Peuplements bistratifiés composés d’espèces flottantes et émergentes dans les marais du Sud, (B) peuplements bistratifiés composés d’espèces flottantes et submergées dans la baie Charles-Talbot, et (C) peuplement composé de l’association de la vallisnérie d’Amérique, du myriophylle à épis, du potamot à grandes feuilles et du potamot de Robbins.

3.3.3 Répartition des plantes aquatiques envahissantes

Le myriophylle à épis est une espèce exotique envahissante ayant été observée pour la toute première fois en 2007 au lac Saint-Charles. En 2022, le myriophylle à épis a été identifié dans 77 % des herbiers du lac Saint-Charles (Tableau 11), ce qui est supérieur au 46 % de présence dans les herbiers identifiés en 2016. Or, le recouvrement réel (pondéré par la densité) de l’espèce est de seulement 5 % (Tableau 10), ce qui se rapproche davantage du recouvrement observé en 2007 que celui des inventaires de 2012 et 2016. En effet, comparé à la dernière diagnose du lac Saint-Charles réalisée en 2016 (APEL, 2019), l’étendue des herbiers colonisés par le myriophylle à épis a diminué de 36 % en 2022 (Figure 30). L’élodée du Canada, autre espèce de plantes aquatiques envahissantes présentes au lac Saint-Charles, montre également une diminution entre 2016 et 2022, cependant moins marquée que pour le myriophylle à épis (Figure 31).

Les suivis visuels effectués au cours de la saison suggéraient déjà que les herbiers avec présence de plantes envahissantes étaient moins nombreux que lors de l’année précédente (2021) et que le recouvrement à l’intérieur de ceux-ci était également plus faible, notamment dans la baie de l’Écho et dans le secteur de la plage, à l’extrémité sud du lac Saint-Charles. Cela suggère que la répartition de ces espèces et leur capacité à se densifier pourraient varier annuellement en fonction des conditions environnementales. Par ailleurs, Carpenter (1980) avait mis en évidence que l’invasion d’un écosystème lacustre par le myriophylle à épis pouvait être ondulatoire au cours du temps, avec des phases de colonisation intensives et des phases de déclin. La diminution observée lors de cet inventaire devra être validée lors des prochaines diagnoses, mais si elle venait à se confirmer, elle pourrait avoir un impact important sur le développement et la fréquence des efflorescences de cyanobactéries ainsi que l’émission de cyanotoxines dans l’environnement (*Section 4 – Portrait des efflorescences et des communautés de cyanobactéries au lac Saint-Charles*).

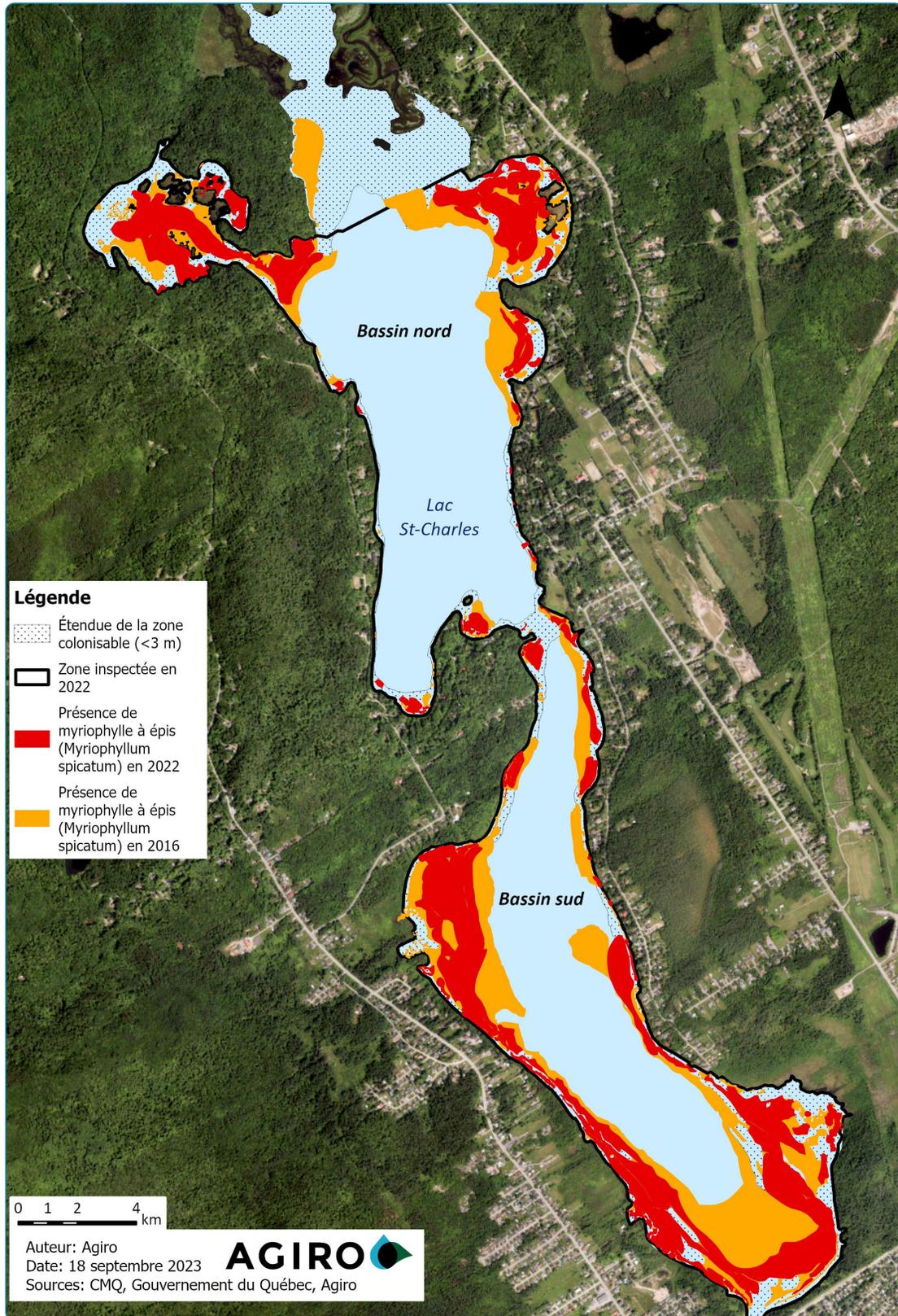


Figure 30 Répartition des herbiers colonisés par le myriophylle à épis au lac Saint-Charles en 2022 et en 2016 (APEL, 2019).

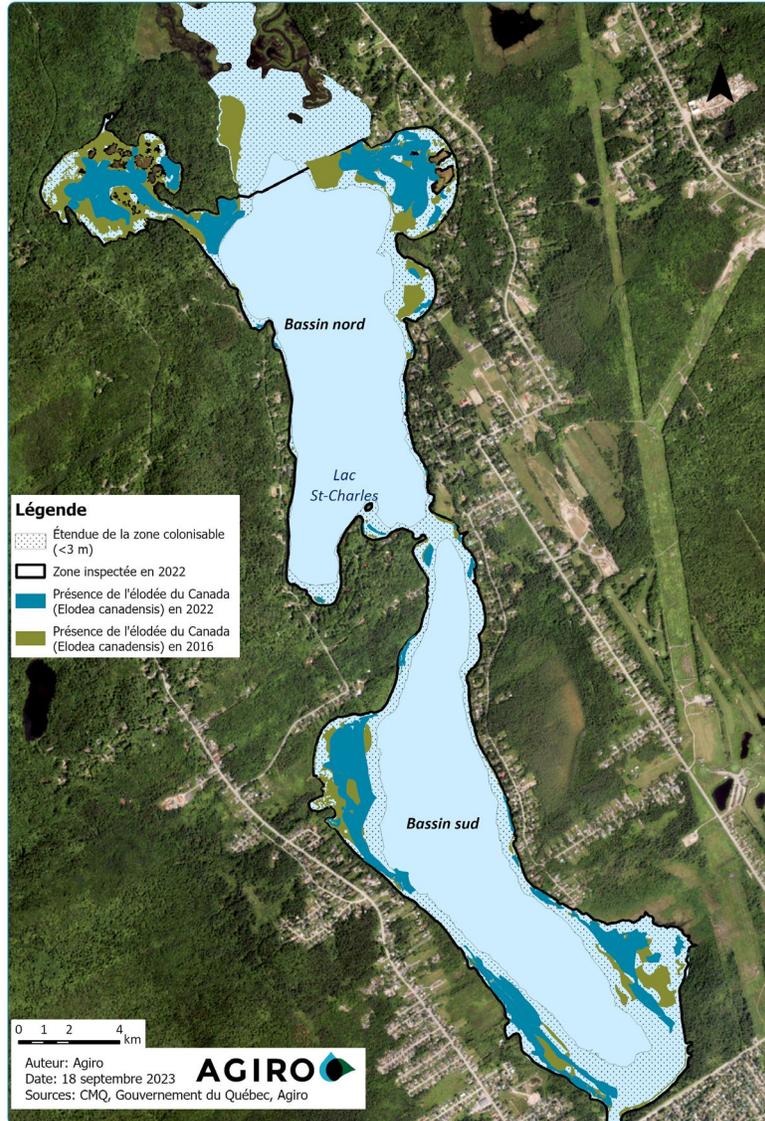


Figure 31 Répartition des herbiers colonisés par l'élodée du Canada au lac Saint-Charles en 2022 et en 2016 (APEL, 2019).

3.4 Évaluation de l'état trophique du lac Saint-Charles

Selon les résultats obtenus en 2022, les bassins nord et sud du lac Saint-Charles sont rendus au même niveau trophique. Les concentrations en nutriments et en chlorophylle a situent le lac Saint-Charles à un stade mésotrophe, alors que la transparence de l'eau et le profil vertical de l'oxygène le situent à un stade méso-eutrophe à eutrophe. La richesse et la densité des herbiers aquatiques le situent plutôt dans une tendance mésotrophe (Tableau 12).

Pris dans leur ensemble, les indicateurs de l'état trophique suggèrent que le lac Saint-Charles serait rendu à un stade méso-eutrophe. Celui-ci a donc connu un enrichissement au cours des quinze dernières années, passant d'un état mésotrophe en 2007 (APEL, 2009) à méso-eutrophe en 2012 (APEL, 2014) et qui a été confirmé en 2016 (APEL, 2019) et 2022. Bien qu'il soit normal pour un lac de s'enrichir avec le temps, un enrichissement aussi rapide comme celui que connaît le lac Saint-Charles sur les dernières décennies souligne un vieillissement accéléré dans un contexte de pressions anthropiques trop importantes.

Tableau 12 Résumé des différents indicateurs pour les bassins nord (C03) et sud (C05) du lac Saint-Charles en fonction de son état trophique.

INDICATEURS	CLASSES TROPHIQUES						
	Ultra-oligotrophe	Oligotrophe	Oligo-mésotrophe	Mésotrophe	Méso-eutrophe	Eutrophe	Hyper-eutrophe
Profil oxygène		Orthograde		Hétérograde positif		Clinograde	
Ratio épilimnion:hypolimnion		< 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 – Prof. Disque Secchi (m)	> 12	12–5	6–4	5–2,5	3–2	2,5–1	< 1
Richesse spécifique des herbiers		Moyenne		Élevée		Faible	
Densité des herbiers		Faible		Intermédiaire		Très dense et étendue	
Superficie de la zone colonisable du lac occupée par des herbiers, ajustée à la densité		Faible		Intermédiaire		Élevée	

4 Portrait des efflorescences et des communautés de cyanobactéries au lac Saint-Charles

Les cyanobactéries, bien que naturellement présentes dans les écosystèmes aquatiques, peuvent proliférer de manière excessive et donner lieu à des efflorescences⁴. Ces efflorescences peuvent produire des toxines, appelées cyanotoxines, lesquelles peuvent s'avérer dangereuses pour la faune aquatique, la qualité de l'eau ainsi que la santé humaine. En surveillant attentivement la croissance des cyanobactéries, sa variation spatio-temporelle et la formation d'efflorescences, il devient possible de détecter rapidement les situations de risque et d'alerter les autorités compétentes. Ainsi, le suivi de cyanobactéries contribue à la gestion proactive de problèmes environnementaux, à la protection de la biodiversité aquatique et à la prévention des risques pour la santé publique. Un tel suivi est d'autant plus important dans le contexte des changements climatiques, où une augmentation de la fréquence d'épisodes d'efflorescences toxiques est attendue (Erratt, 2023).

Depuis 2010, un suivi des cyanobactéries a été mis en place au lac Saint-Charles, avec pour objectif principal la détection précoce des efflorescences de cyanobactéries et la transmission rapide des informations aux autorités. Le suivi vise aussi à approfondir la compréhension du comportement des communautés cyanobactériennes au lac Saint-Charles.

L'objectif de cette section est de procéder à une analyse des données recueillies au cours des dernières années (2017–2022) et de renforcer notre compréhension de la répartition spatio-temporelle des cyanobactéries, d'identifier les espèces dominantes et d'évaluer leur potentiel de toxicité. Ces informations contribueront à l'approfondissement des connaissances et serviront de fondement pour la prise de décisions adéquates en vue de prévenir les efflorescences cyanobactériennes futures, garantie nécessaire pour protéger la santé des utilisateurs de l'eau du lac Saint-Charles.

4.1 Suivi et signalement des efflorescences de cyanobactéries au lac Saint-Charles

Afin de mieux appréhender l'incidence des efflorescences de cyanobactéries au lac Saint-Charles, cette première sous-section sera organisée en trois volets : (1) le nombre d'épisodes d'efflorescences signalés, leur classification, et les secteurs touchés ; (2) le nombre de jours par année comportant de tels épisodes ; et (3) les périodes de l'année les plus touchées par ces épisodes.

4.1.1 Efflorescences de cyanobactéries signalées aux autorités

Un épisode d'efflorescence implique une augmentation rapide du nombre de cyanobactéries dans l'une des stations du lac Saint-Charles. Il est donc possible d'avoir plusieurs épisodes en une seule journée, dans différents secteurs du lac. Pour être signalé aux autorités, l'épisode doit pouvoir être classé dans l'une des trois catégories du MELCCFP (Annexe 1, Figure B ; Agiro, 2024a). Des visites quotidiennes sont effectuées tout au long des épisodes, jusqu'à ce que le nombre de cellules de cyanobactéries diminue de manière significative.

De 2017 à 2022 inclusivement, un total de 83 épisodes d'efflorescences de cyanobactéries a été enregistré au lac Saint-Charles (Figure 32), avec une augmentation marquée au cours des années 2021 (30 épisodes) et 2022 (32 épisodes).

⁴ Les efflorescences de cyanobactéries sont communément appelées « fleurs d'eau ». Cependant, ces efflorescences ne ressemblent en rien à une fleur ! Ce terme prêtant à confusion, il n'a pas été repris dans cette diagnose ; nous parlerons plutôt d'**efflorescence de cyanobactéries**.

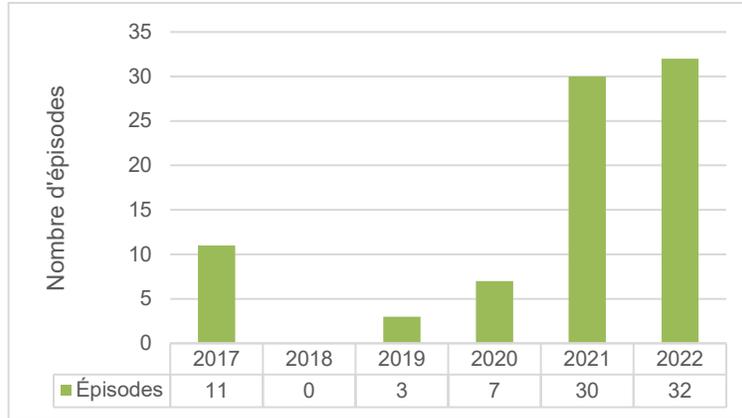


Figure 32 Nombre d'efflorescences au lac Saint-Charles entre 2017 et 2022.

4.1.1.1 Stations « rive » touchées par les efflorescences de cyanobactéries

Lors de l'analyse de la distribution spatiale de ces efflorescences, les stations qui présentent le plus d'épisodes entre 2017 et 2022 comprennent la baie de l'Écho (SCA) avec 44 épisodes (53 % des signalements), le barrage Cyrille-Delage (SCO) avec 20 épisodes (24 %), et le secteur de la plage à l'extrémité sud du lac Saint-Charles (SCG) avec 11 épisodes (13 %) (Figure 33A).

Pour l'année 2022 exclusivement, la répartition spatiale des efflorescences de cyanobactéries est similaire, avec un peu plus de la moitié des épisodes enregistrés dans la baie de l'écho (SCA) (Figure 33B).

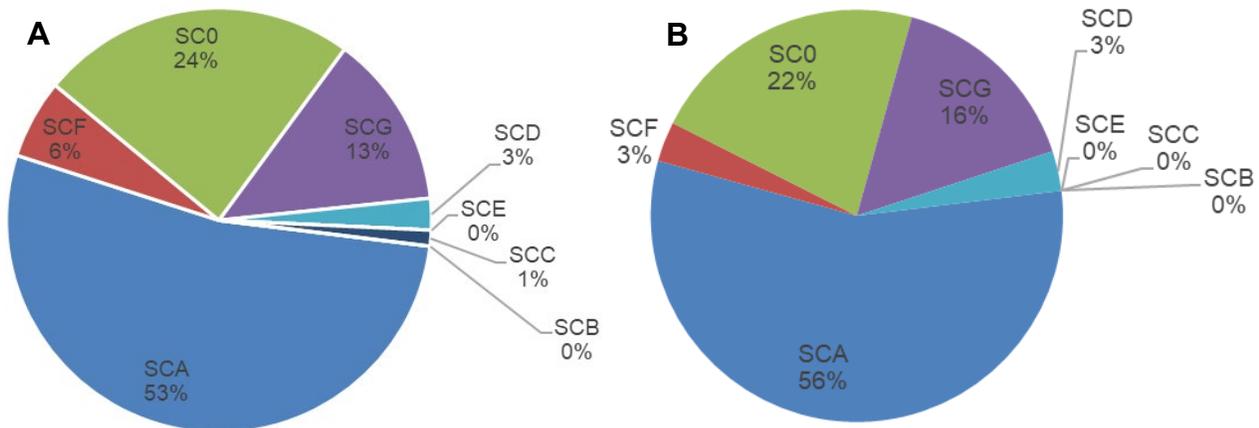


Figure 33 Distribution spatiale des épisodes de cyanobactéries au lac Saint-Charles (A) entre 2017 et 2022, et (B) en 2022 exclusivement.

4.1.1.2 Catégories des efflorescences de cyanobactéries

Les catégories définies par le MELCCFP (Annexe 1, Figure B ; Agiro, 2024a) sont employées pour classer les efflorescences. Entre 2017 et 2022, les efflorescences signalées ont majoritairement été décrites comme de « Catégorie 1 », soit caractérisées par une faible densité de particules (Figure 34).

En 2022, des efflorescences de « Catégorie 1 » de « Catégorie 2a » ont été répertoriées, cette dernière indiquant une densité moyenne à élevée de particules réparties dans la colonne d'eau.

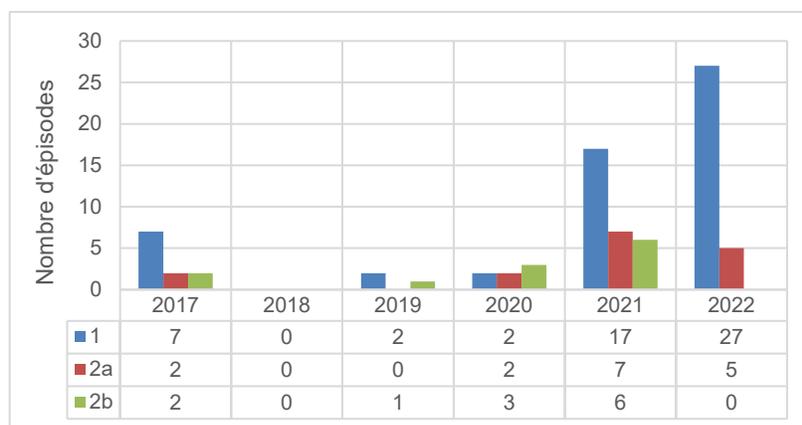


Figure 34 Classification des efflorescences selon les catégories du MELCCFP entre 2017 et 2022.

4.1.1.3 Toxicité des efflorescences de cyanobactéries

Des tests immunochromatographiques ABRAXIS® (Gold Standard Diagnostics, Budapest, Hongrie) sont utilisés afin d'évaluer la toxicité des efflorescences (veuillez consulter l'Annexe 1 pour davantage d'informations sur ces tests ; Agiro, 2024a). Depuis 2017, 13 % des épisodes se sont révélés toxiques sur base de ces test (11 épisodes au total, Figure 35). Ces épisodes toxiques ont uniquement été enregistrés en 2017 (6 épisodes) et en 2021 (5 épisodes). Aucun épisode toxique n'a été enregistré en 2022.

Il est essentiel de souligner que les tests immunochromatographiques réalisés au lac Saint-Charles permettent de détecter deux types de cyanotoxines, la microcystine et la nodularine. Or les cyanobactéries peuvent également produire d'autres types de toxines. Les tests effectués ne nous permettent donc pas d'affirmer qu'un épisode d'efflorescence testé négativement était bel et bien non toxique. En ce sens, il est crucial de signaler que le suivi des cyanotoxines réalisé actuellement au lac Saint-Charles demeure insuffisant.

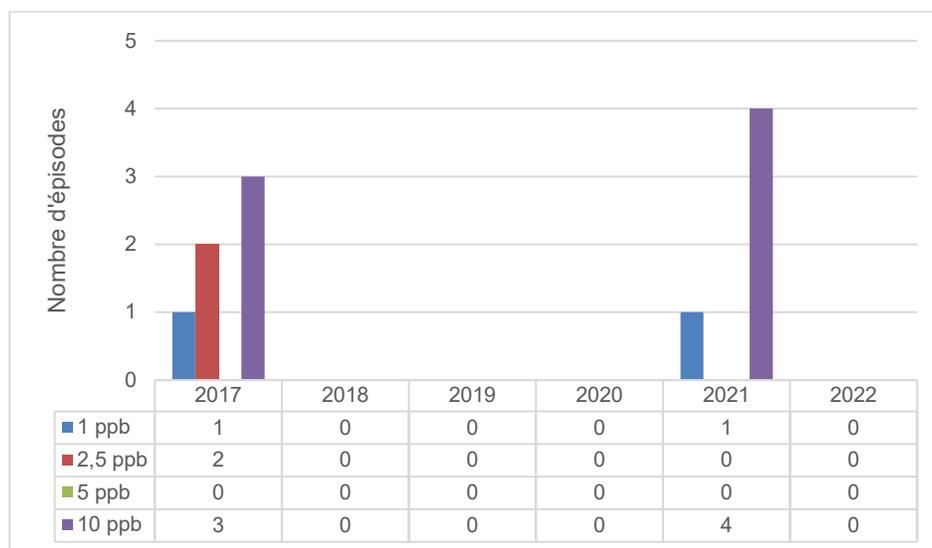


Figure 35 Nombre d'épisodes d'efflorescences de cyanobactéries toxiques au lac Saint-Charles par année (2017–2022) basée sur les tests immunochromatographiques semi-quantitatifs (0–10 ppb) ABRAXIS® (Gold Standard Diagnostics).

4.1.2 Nombre de journées d'efflorescences de cyanobactéries au lac Saint-Charles

Entre 2017 et 2022, le lac Saint-Charles a connu 48 journées affectées par des efflorescences de cyanobactéries. La majorité de ces journées se concentre sur les années 2021 et 2022 (Figure 36). Cette tendance met en évidence une augmentation notable de la fréquence de ces épisodes au cours des deux dernières années. Un suivi continu du lac dans les années à venir semble donc toujours d'actualité et essentiel pour établir si cette tendance perdure.

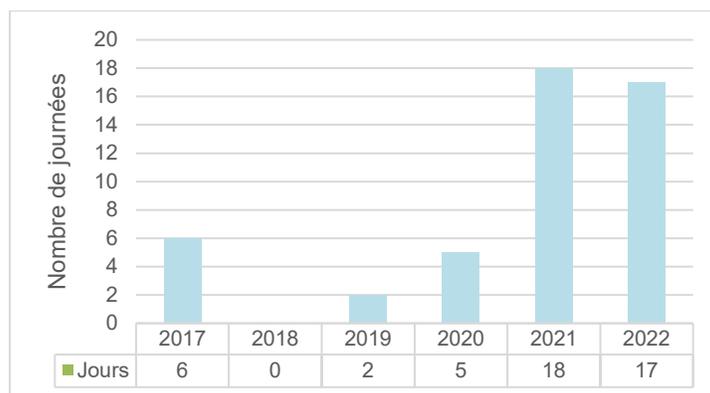


Figure 36 Nombre de journées d'efflorescences de cyanobactéries au lac Saint-Charles entre 2017 et 2022.

4.1.3 Périodes de l'année les plus touchées par les efflorescences

La répartition temporelle des efflorescences de cyanobactéries présente une certaine variabilité d'une année à l'autre (Figure 37). Ainsi, alors que l'essentiel des efflorescences de 2017 ont été observées durant les mois chauds de l'été, les années 2021 et, dans une moindre mesure, 2022 ont connu la majorité des épisodes d'efflorescences au cours des mois de septembre et octobre. Aucune efflorescence n'a été enregistrée durant le mois de mai sur la période 2017–2022.

Il est à rappeler que le suivi des cyanobactéries n'a lieu que durant la période libre de glace, soit de la mi-avril/mi-mai jusqu'à la fin du mois de novembre. Bien qu'elles restent présentes naturellement dans le lac, aucune donnée n'est disponible concernant la communauté des cyanobactéries durant les mois d'hiver. Pour obtenir une vue d'ensemble complète et pour mieux comprendre la dynamique de cette communauté, mener des campagnes d'échantillonnage pendant la saison hivernale serait nécessaire.

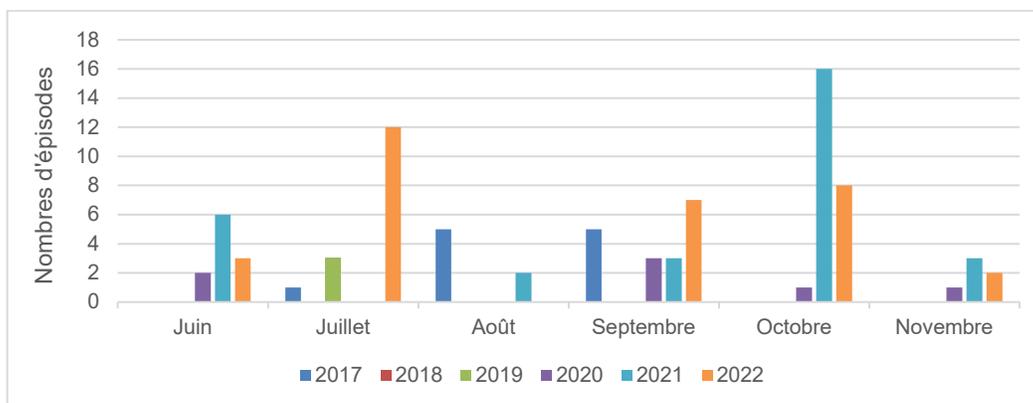


Figure 37 Répartition par mois des épisodes d'efflorescences de cyanobactéries au lac Saint-Charles entre 2017 et 2022.

4.2 Communautés de cyanobactéries au lac Saint-Charles

4.2.1 Communautés de cyanobactéries durant la période libre de glace

Entre 2017 et 2022, 35 genres de cyanobactéries ont été recensés à l'ensemble des stations « lac » et « rives » du lac Saint-Charles (Annexe 3, Tableau E ; Agiro, 2024c). En 2022 exclusivement, ce sont 28 genres de cyanobactéries qui ont été identifiés. Cette diversité est considérée comme grande et comparable à celle de 2016 (APEL, 2019). Malgré la grande variabilité interannuelle observée sur la période 2017–2022, un certain patron peut s'observer au sein de la communauté de cyanobactéries présentes, les genres dominants étant *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp., *Dolichospermum* sp. et *Microcystis* sp., lesquels constituent 70 % des observations (Figure 38).

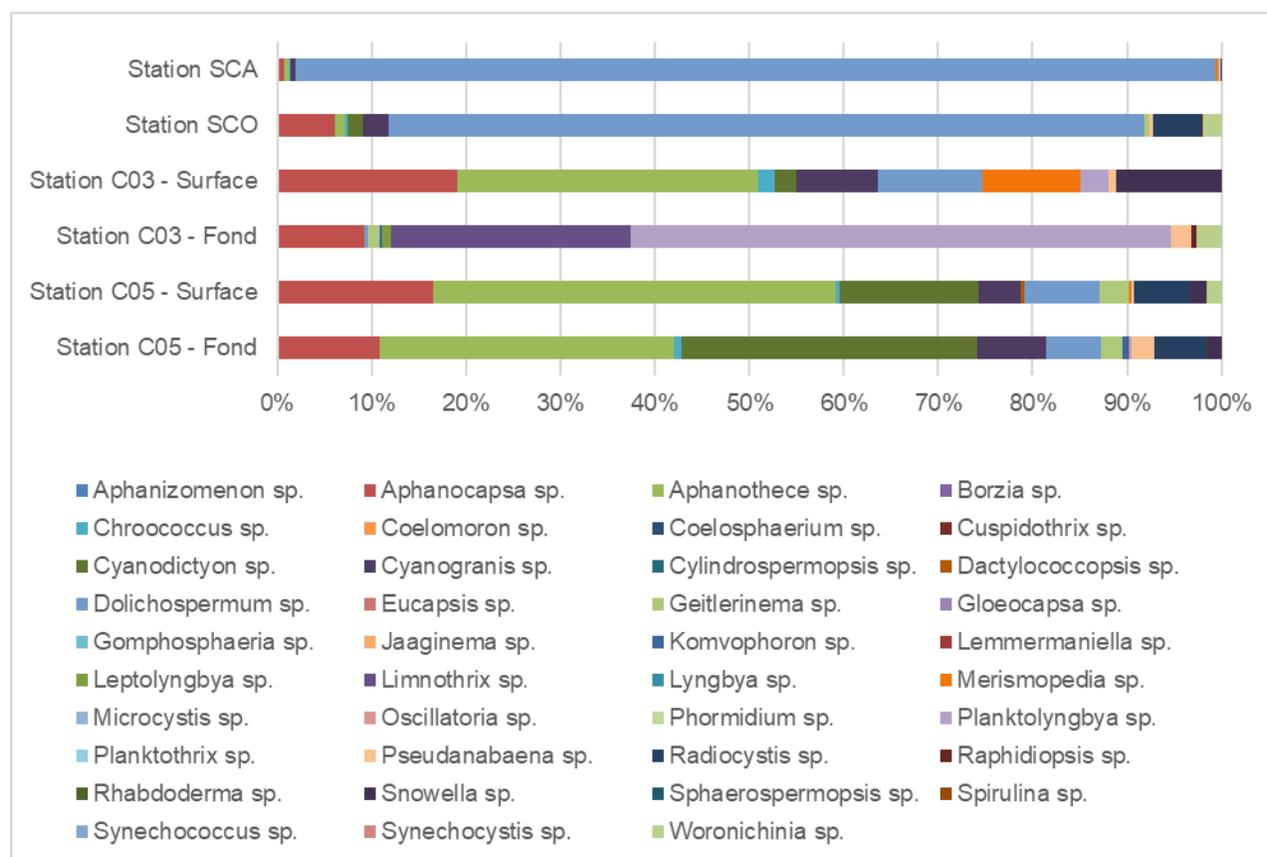


Figure 38 Diversité et dominance relative des genres cyanobactériens présents au lac Saint-Charles pour les stations « rive » SCA et SCO, ainsi que les stations « lac » C03 et C05 en 2022.

Il est à souligner que d'importantes variations spatiales (entre secteurs du lac) et intra-annuelles (entre périodes d'une même année) existent. Ainsi, à titre d'exemple, la Figure 39 illustre cette variabilité spatiale en comparant la dominance relative de la communauté de cyanobactéries à la station « rive » SCA à celle se développant en surface et dans le fond de la station « lac » C03 en date du 27 juillet 2022 ; alors qu'*Aphanothece* sp. domine la communauté de cyanobactéries en surface de la station C03 et à SCA, le patron observé dans le fond de la colonne d'eau à C03 est très différent, indiquant une dominance de *Aphanocapsa* sp. et *Planktolynghya* sp. La diversité annuelle des communautés de cyanobactéries des stations « rive » et « lac » pour la période 2017–2022 est disponible dans le matériel supplémentaire (Annexe 3, Figures OO–SS ; Agiro, 2024c). La Figure 40 met quant à elle en évidence la variabilité intra-annuelle pour la station SCO en 2022.

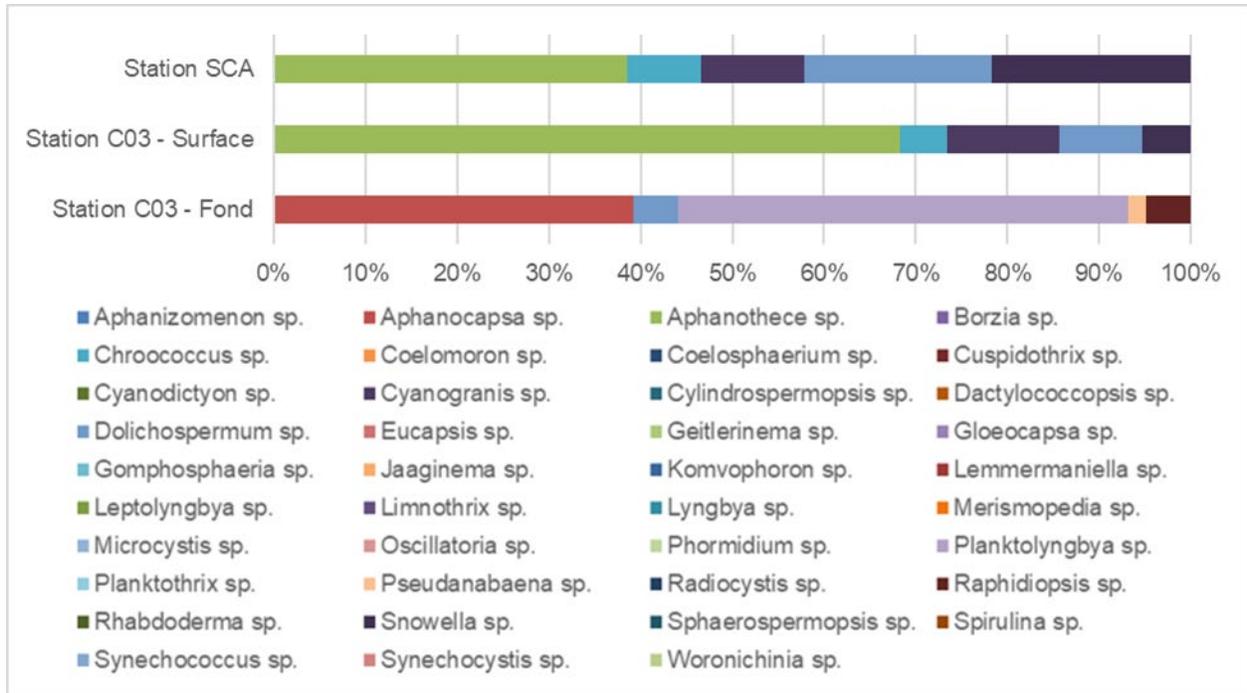


Figure 39 Diversité et dominance relative des genres cyanobactériens à la station « rive » SCA ainsi qu'à la surface et dans le fond de la colonne d'eau de la station « lac » C03 en date du 27 juillet 2022.

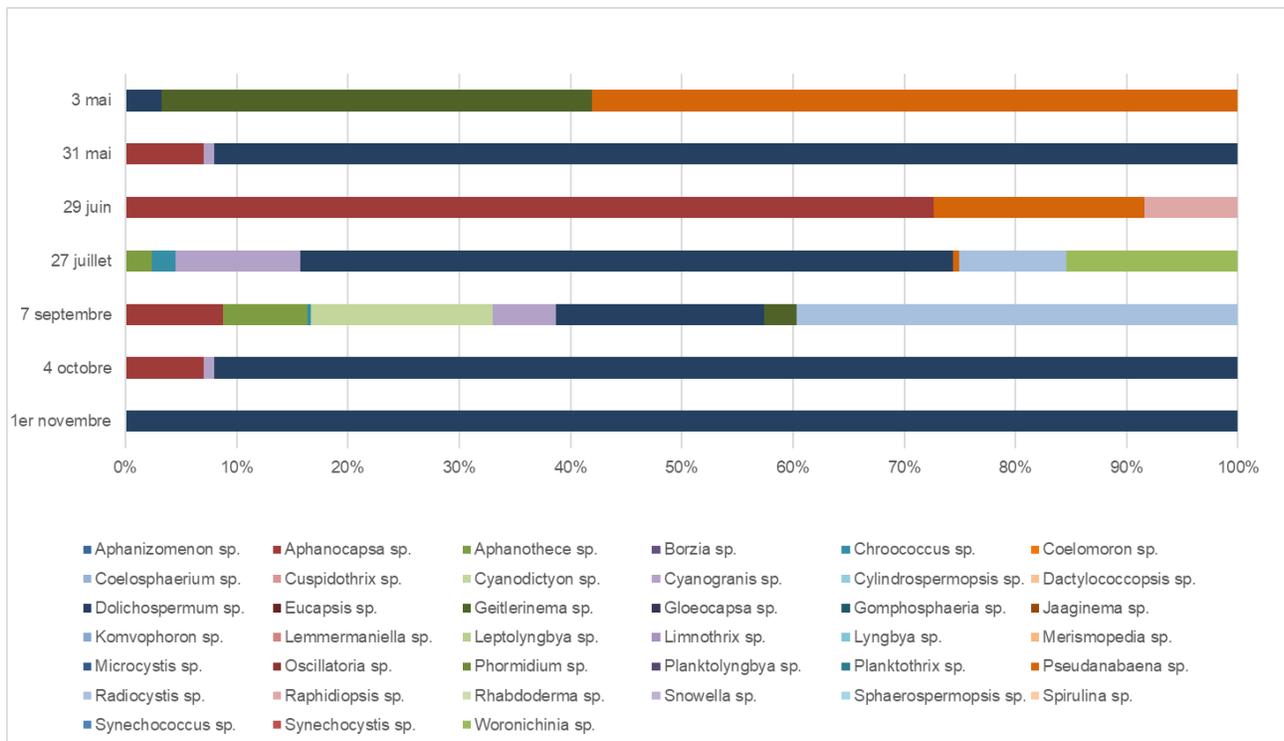


Figure 40 Diversité et dominance relative des genres cyanobactériens à la station « rive » SCO au cours de la période libre de glace de 2022.

4.2.2 Communauté de cyanobactéries durant les efflorescences

Lorsque les conditions sont réunies, une ou plusieurs espèces cyanobactériennes peuvent croître de manière exponentielle jusqu'à former une efflorescence. Sur la période 2017–2022, le genre responsable de la majorité des efflorescences était *Dolichospermum* (Tableau 13). Ainsi, en 2022, 30 des 32 épisodes d'efflorescences de cyanobactéries étaient l'œuvre de ce dernier. Tous les genres de cyanobactéries responsables d'efflorescences au lac Saint-Charles sur la période 2017–2022 avaient le potentiel d'émettre des toxines (Jakubowska et Szelağ-Wasielewska, 2015 ; Health Canada, 2022).

Tableau 13 Nombre d'épisodes d'efflorescences de cyanobactéries par genre aux stations « rive » entre 2017 et 2022.

	SCA						SCO						SCG						Autres							
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
<i>Aphanocapsa</i> sp.	1						1												SCF							
<i>Aphanothece</i> sp.																			SCC							
<i>Dolichospermum</i> sp.	4		2	3	12	17				1	6	7	1					4.5	4			SCF		SCF+SCD	SCF+SCD	
<i>Microcystis</i> sp.	1				1						3							0.5		SCF						
<i>Pseudanabaena</i> sp.						1													1							
<i>Woronichinia</i> sp.										1																
Total d'événements	6		2	3	13	18	1			2	9	7	1					5	5	3		1			2	2

4.3 Vers un meilleur suivi des cyanobactéries au lac Saint-Charles

Le programme de suivi des cyanobactéries au lac Saint-Charles permet la collecte de données précieuses et indispensables à une compréhension approfondie des dynamiques biologiques au lac. Grâce à ce suivi régulier, il devient possible d'identifier les variations à court et à long terme dans la dynamique des cyanobactéries, permettant une réponse rapide et ciblée en cas de besoin. Ainsi, ce suivi contribue à la prise de décisions visant à préserver la santé publique et celle de l'écosystème.

Cependant, au vu des résultats obtenus, nous pouvons identifier certains points susceptibles d'améliorer le suivi des cyanobactéries au lac Saint-Charles à court et moyen terme :

- Peu d'informations sont disponibles concernant la communauté de cyanobactéries sous la glace ou les éventuelles efflorescences en profondeur. Réaliser un suivi pendant la période hivernale permettrait une meilleure connaissance et compréhension de la dynamique des populations de cyanobactéries, tout en s'assurant que le lac Saint-Charles n'est pas à risque d'émettre des cyanotoxines sous le couvert de glace.
- Le test de toxicité réalisé actuellement dans le cadre du programme de suivi ne permet pas de quantifier précisément la concentration ni de détecter un large éventail des types de cyanotoxines existant. Ce champ d'expertise est cependant en constante évolution ; en attendant le développement de tests efficaces et accessibles financièrement, affiner notre compréhension quant au potentiel toxique via des études génomiques sur la communauté cyanobactérienne présente au lac Saint-Charles constitue une avenue intéressante.
- La classification des efflorescences de cyanobactéries proposées par le MELCCFP est limitée (MELCCFP, 2013). Tenir compte de l'étendue de l'efflorescence, de sa composition spécifique ou de son caractère toxique constituent des éléments qui permettraient une meilleure catégorisation des efflorescences.

5 Inventaire de l'état des bandes riveraines du lac Saint-Charles

Dans le cadre de cette diagnose, le périmètre du lac Saint-Charles a été inventorié sur une largeur d'environ 15 mètres à partir de la rive. Le Tableau 14 résume la classification des bandes riveraines selon l'indice de qualité de la bande riveraine (IQBR) (MELCCFP, 2022a).

Tableau 14 Répartition des bandes riveraines identifiées en fonction de l'IQBR pour le lac Saint-Charles.

Capacité de la bande riveraine à remplir ses fonctions écologiques	IQBR	Nombre de sections homogènes	Longueur approximative (m)	% de rive ⁵
Excellente	90–100	11	2 383	13
Bonne	75–89	21	4 044	21
Moyenne	60–74	25	5 871	31
Faible	40–59	31	5 900	31
Très faible	17–39	4	615	3

En 2022, la qualité de l'habitat riverain du lac Saint-Charles était moyenne à faible selon l'IQBR (Tableau 14). Alors que plus d'un tiers des bandes riveraines sont considérées comme « excellentes » ou « bonnes », 31 % étaient de qualité « moyennes » tandis que 34 % étaient qualifiées de « faibles » à « très faibles » (contre 43 % en 2012). Les indices de qualité faible ou très faible observés sur le pourtour du lac Saint-Charles étaient associés à des bandes riveraines dominées par des infrastructures ou de larges surfaces gazonnées (Figure 41). Alors que les bandes riveraines s'étaient sensiblement améliorées entre 2007 et 2016 (APEL, 2009 ; APEL, 2019), cette amélioration semble s'être ralentie depuis, et certains secteurs parmi les plus développés restent problématiques (Figures 42–43). À noter cependant qu'il existe une légère sous-estimation de l'IQBR en 2022 comparée aux résultats de 2012 et 2016, laquelle est associée à un observateur au jugement plus sévère.



Figure 41 Exemple de bandes riveraines de faible qualité en raison de la présence de mur de soutènement et/ou d'enrochement (A) ou d'un couvert végétal insuffisant dominé par les surfaces gazonnées (B).

⁵ La somme des pourcentages n'équivaut pas à 100 % ; il manque en effet moins de 1 %, qui correspond aux portions des berges du lac non-évaluées (barrage Cyrille-Delage).

Une description détaillée de chaque section de bandes riveraines est disponible au Tableau 15 pour le bassin nord et au Tableau 16 pour le bassin sud.

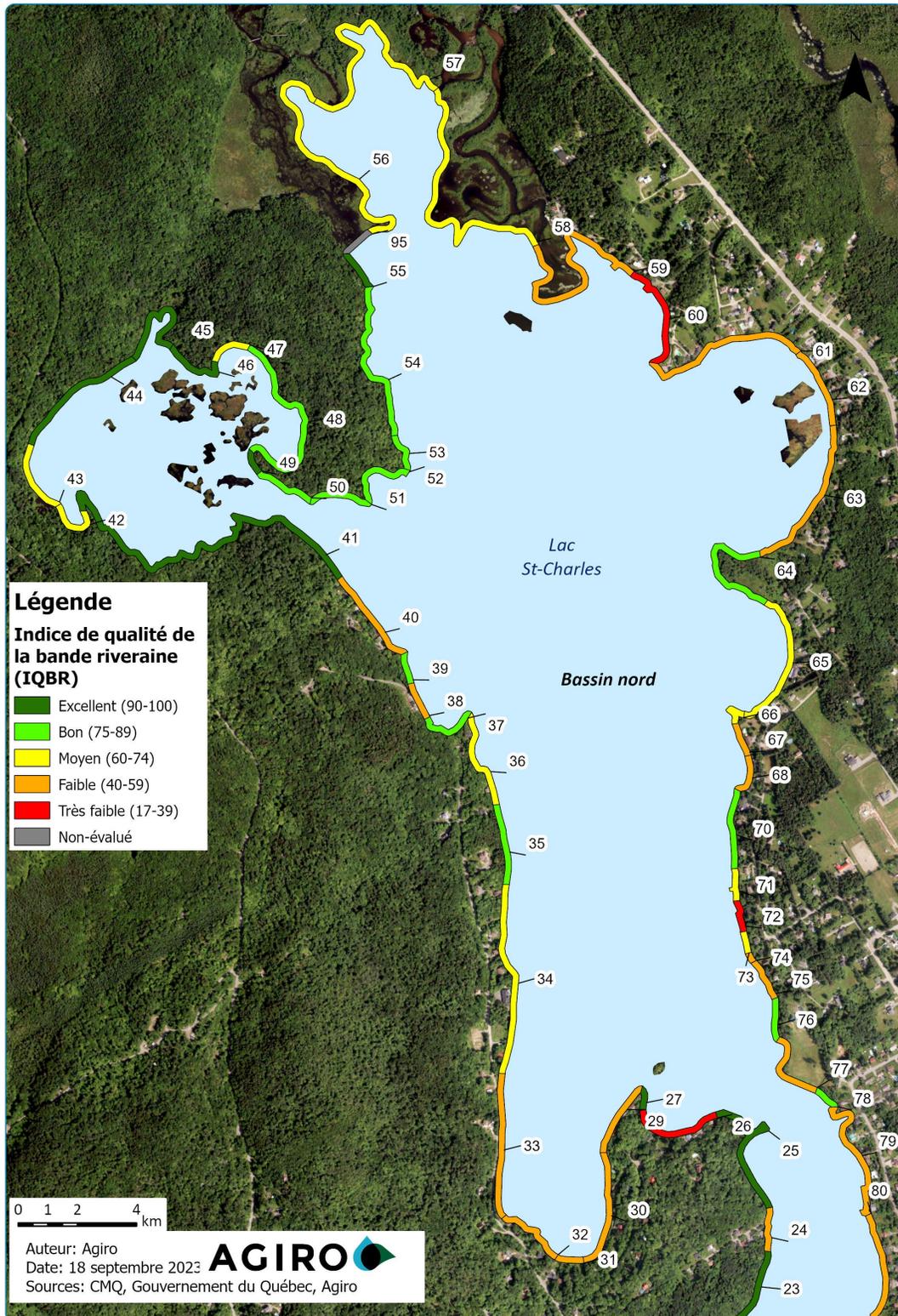


Figure 42 Indice de qualité de la bande riveraine pour le bassin nord du lac Saint-Charles.

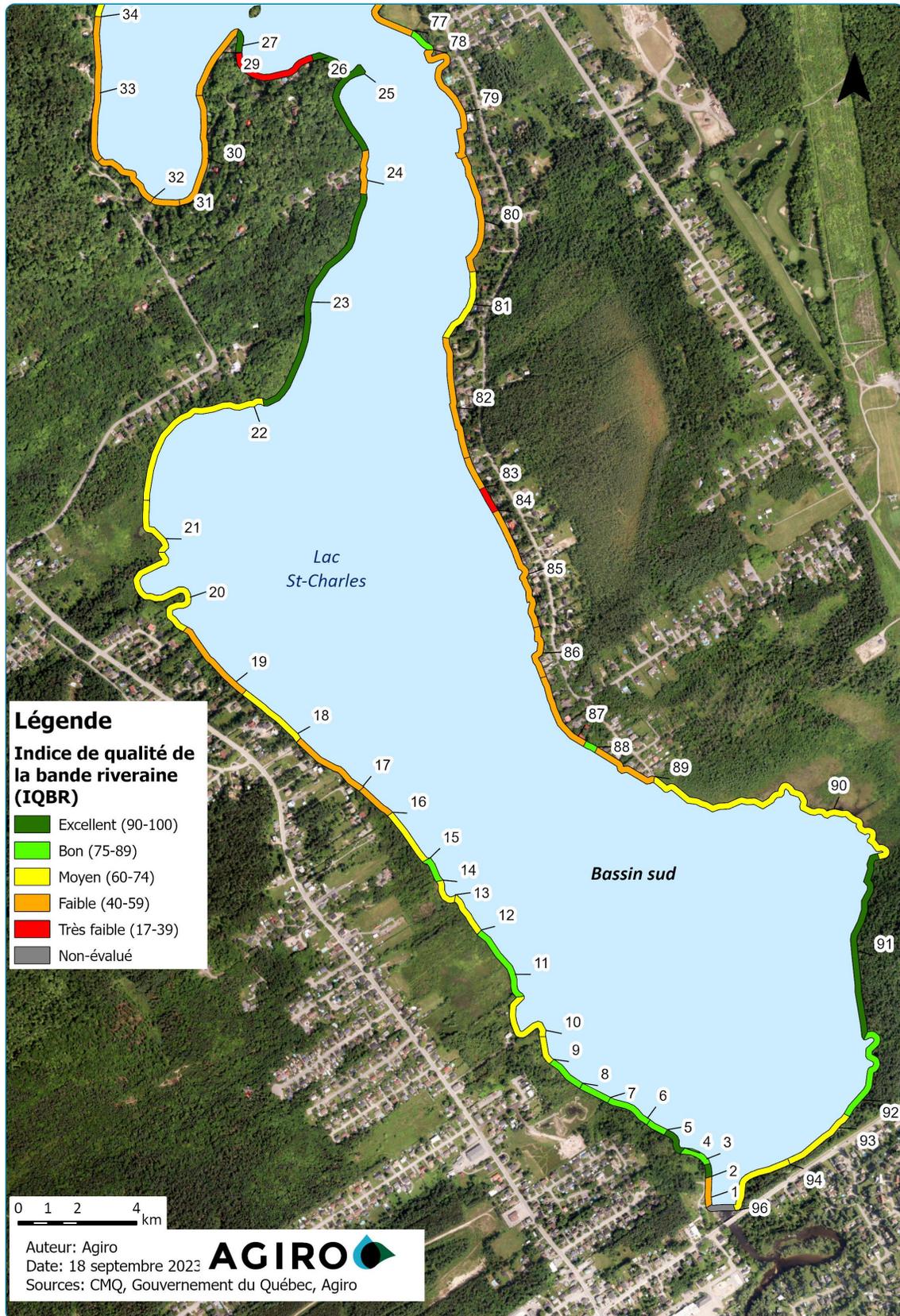


Figure 43 Indice de qualité de la bande riveraine pour le bassin sud du lac Saint-Charles.

Tableau 15 Description de la bande riveraine du bassin nord du lac Saint-Charles.

IQBR	N° segment	Observations
Très faible	S26, S60, S72	<p>S26 : segment caractérisé par la présence de surfaces gazonnées et d'envrochement artificiel.</p> <p>S60 : segment caractérisé par la présence de socle rocheux naturel et d'envrochement artificiel ainsi qu'un faible couvert forestier.</p> <p>S72 : segment caractérisé par la présence d'un muret de bois et d'envrochement sur environ 30 mètres. La profondeur de la bande riveraine est insuffisante considérant la pente estimée qui est supérieure à 30 %. La strate herbacée est dominante alors que le couvert arborescent est insuffisant.</p>
Faible	S29 à S33, S38, S40, S59, S61 à S63, S67 et S68, S74 et S75	<p>S29 à S31, S38 et S40 : ces segments sont caractérisés par la présence de bâtiments dans la bande riveraine. Les segments S29 et S30 sont situés dans une pente supérieure à 15 %.</p> <p>S59 : quelques bâtiments empiètent dans la bande riveraine et le couvert forestier est faible, ce qui diminuent la valeur de l'indice.</p> <p>S61 à S63 : les bandes riveraines comprennent de larges surfaces gazonnées avec un faible couvert forestier.</p> <p>S67 et S68 : ces segments sont caractérisés par la présence d'envrochements artificiels (garage de bateau à S67) et par un couvert majoritairement arbustif.</p> <p>S74 : la présence d'un muret en bois en mauvais état et d'un garage à bateau fait diminuer la valeur de l'indice.</p> <p>S75 : la bande riveraine est caractérisée par de grandes superficies gazonnées et un couvert arbustif.</p>
Moyen	S34, S36, S42 et S43, S47, S56 à S58, S65 et S66, S71, S73	<p>S34 et S36 : segments caractérisés par un couvert majoritairement forestier avec présence occasionnelle d'infrastructures et d'envrochements.</p> <p>S42, S43 et S47 : ces segments remplissent entièrement leur fonction écologique, malgré la présence d'un couvert herbacé. La présence d'un barrage de castor (S43) pourrait altérer la qualité de la bande riveraine dans ce secteur de la baie Charles-Talbot.</p> <p>S56 à S58 : ces segments font partie de la réserve naturelle des Marais du Nord dont les bandes riveraines sont dans l'ensemble bien végétalisées.</p> <p>S65 et S66 : ce secteur possède un faible couvert forestier et on y retrouve de grandes surfaces gazonnées.</p> <p>S71 et S73 : présence d'envrochements artificiels, de surfaces gazonnées et d'un couvert majoritairement arbustif dans une pente de 5 à 15 %.</p>
Bon	S35, S 37, S39, S48, S50, S51, S52, S53, S54, S64, S70, S76, S78	Aucun changement notable pour ces segments, la bande riveraine est adéquate.
Excellent	S41, S44, S45, S46, S27	Aucun changement notable pour ces segments, la bande riveraine est adéquate.

Tableau 16 Description de la bande riveraine du bassin sud du lac Saint-Charles.

IQBR	N° segment	Observations
Très faible	S84	S84 : un muret de béton avec un garage pour bateau.
Faible	S1, S16, S17, S19, S24, S77, S79, S80, S81, S83, S85, S86, S87, S89	S1, S16, S17, S19 : segments caractérisés par la présence de quais et de surfaces gazonnées. S77, S79, S80, S81, S83, S85, S86, S87, S89 : rives caractérisées par la proximité des infrastructures, la présence de murets ou une bande riveraine dominée par les strates arbustives et/ou herbacées et un faible couvert forestier. Néanmoins, grâce aux efforts de revégétalisation, la bande riveraine est en bonne voie pour remplir adéquatement ses fonctions.
Moyen	S10, S12, S13, S15, S90, S94	S10 : segment de bande riveraine reboisée par la Ville de Québec ; malgré la proximité de la résidence, la bande riveraine remplit ses fonctions écologiques. S12, S13, S15, S90 : segments caractérisés par une strate davantage arbustive qu'herbacée. S94 : la proximité de la route fait diminuer la valeur de l'indice.
Bon	S3, S5, S6, S7, S8, S14, S92	Aucun changement notable pour ces segments, la bande riveraine est adéquate.
Excellent	S2, S4, S23, S25, S27, S91, S96	Aucun changement notable pour ces segments, la bande riveraine est adéquate.

6 Suivi de la qualité de l'eau des affluents du lac Saint-Charles

La méthodologie utilisée pour l'échantillonnage des affluents du lac Saint-Charles est détaillée dans le matériel supplémentaire (Annexe 1 ; Agiro, 2024a). La Figure D illustre la localisation des stations d'échantillonnage tandis que le Tableau C explique la justification du choix de quelques stations d'échantillonnage répondant à des objectifs spécifiques. Les paramètres mesurés au moyen d'une sonde multiparamétrique et analysés au laboratoire sont quant à eux décrits au Tableau D.

6.1 Qualité physicochimique de l'eau

6.1.1 Petits affluents

La qualité physicochimique des petits affluents du lac Saint-Charles a été évaluée sur base de l'indice de qualité bactériologique et physicochimique (IQBP) du MELCCFP (Annexe 1, Tableau F ; Agiro, 2024a). Celui-ci a été calculé pour l'ensemble des stations d'échantillonnage, mais les résultats détaillés de qualité d'eau, les valeurs de l'IQBP globale et par sortie, ainsi que le(s) paramètre(s) limitant(s) sont présentés au Tableau 17 pour les tributaires problématiques seulement. Les valeurs accompagnées d'une couleur jaune, orange ou rouge indiquent un dépassement du critère de qualité de l'eau de surface ou du seuil « satisfaisant » pour un paramètre donné. À noter que la classe de l'IQBP obtenue demeure un indicateur global de la santé du tributaire et ne constitue pas une preuve irréfutable de la présence d'une problématique, ni de l'absence de celle-ci. Par ailleurs, l'indice est sensible aux pics de dépassement occasionnés par un prélèvement durant le premier flot (« first flush »), soit le premier rinçage du territoire durant une pluie. Cela se répercute sur la valeur de l'IQBP pour un événement donné. Cependant, le suivi des affluents du lac Saint-Charles réalisé lors de cette diagnose n'a pas été conçu pour capter ce premier rinçage pour toutes les stations, ce qui a un impact sur les résultats de qualité d'eau et limite les comparaisons interannuelles possibles, ainsi que les comparaisons entre tributaires. Les suivis ultérieurs devraient corriger ce biais en captant ce premier flot pour chacun des tributaires du lac Saint-Charles.

Selon les critères de l'IQBP, la qualité de l'eau était « bonne » à « satisfaisante » pour la majorité des petits affluents du lac Saint-Charles, alors qu'elle est « douteuse » à « très mauvaise » pour 40 % d'entre eux. Les concentrations en composés azotés (nitrites, nitrates et azote ammoniacal) ne dépassaient pas la valeur maximale de la classe « satisfaisante », à l'exception de quelques valeurs « douteuses » et « mauvaises » de nitrites-nitrates dans les tributaires HH et H, ainsi que M, J et PP dans une moindre mesure (Figure 5). La teneur en phosphore est un paramètre limitant pour la qualité de l'eau de la plupart des tributaires problématiques. Elle était très élevée pour les tributaires PP et RR, avec des valeurs « très mauvaise » de respectivement 460 et 710 µg/l le 21 juillet. La teneur en phosphore était aussi élevée pour la station GG le 26 septembre (740 µg/l) et le 14 octobre (240 µg/l).

Dans l'ensemble, les concentrations en matière en suspension ne dépassaient le critère « satisfaisant » que par temps de pluie. Les tributaires B, RR et GG présentaient le plus grand nombre de dépassements, avec des valeurs allant jusque 640 mg/l. Finalement, au moins un dépassement du critère « satisfaisant » pour les bactéries *E. coli* a été mesuré pour les stations classées « douteuse » à « très mauvaise » (à l'exception de la station J), lesquels surviennent par temps de pluie. Les concentrations pour le tributaire G variaient de 760 à 11 000 UFC/100 ml, avec un seul échantillon sous la barre des 1 000 UFC/100 ml. Le tributaire N avait la valeur la plus élevée avec 33 000 UFC/100 ml lors de la sortie du 22 septembre, après l'accumulation de seulement 17 mm de pluie dans les 48 heures précédant l'échantillonnage. De telles valeurs suggèrent un lessivage d'une ou plusieurs installations septiques via les eaux souterraines.

Les classes de conductivité spécifique et de concentration en ions chlorure proposées par Agiro pour le haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles sont disponibles dans le matériel supplémentaire (Annexe 1, Tableau J ; Agiro, 2024a). Les valeurs maximales de conductivité spécifique et d'ions chlorure obtenues à chaque affluent sont illustrées par la classe à laquelle elles appartiennent à la Figure 44. Les tributaires H et PP montrent les valeurs de conductivité spécifique les plus élevées (classe 7), atteignant jusqu'à 1 055 et 1 564 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivement. La conductivité maximale obtenue se situait dans les classes 4 à 6 pour 15 des 22 tributaires du bassin sud et pour 8 des 16 tributaires du bassin nord. À l'embouchure de la rivière des Hurons (station E01), la conductivité spécifique ne dépassait pas la classe 4. En ce qui concerne les ions chlorure, la plupart des tributaires présentaient des valeurs maximales de classe 4 ou moins alors que les tributaires FF, IIB, L, E, C se situaient dans la classe 5. Tout comme pour la conductivité, les tributaires H et PP montrent les concentrations les plus élevées en ions chlorure (classe 7), atteignant un maximum de 260 et 300 mg/l, respectivement. Les valeurs maximales de turbidité obtenues à chaque affluent sont quant à elles illustrées par la classe de l'IQBP à laquelle elles appartiennent à la Figure 45.

Tableau 17 Résultats de qualité d'eau des petits affluents du lac Saint-Charles et leur classification selon l'IQBP en relation avec la pluviométrie à chaque sortie d'échantillonnage.

Station et classe IQBP	Date	Pluviométrie			Données brutes					Résultats		Explications (événement, pluie, débits, etc.)
		Pluie journalière (mm)	Cumulée 48 h (mm)	Qualitative	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	Azote ammoniacal (mg/l)	Nitrites et nitrates (mg/l)	Phosphore total (mg/l)	Matière en suspension (mg/l)	Valeur de l'IQBP ₅	Paramètre limitant	
G (n = 5)	2022-08-31	18,9	49,4	Jour même	6 500	0,05	0,134	0,057	8,2	0	EC	<ul style="list-style-type: none"> Raccordements croisés potentiels sur la rue du Grand-Héron Absence d'eau en temps sec
	2022-09-14	10,0	13,9	Jour même	8 000	0,035	0,055	0,033	5,4	0	EC	
	2022-09-20	3,9	8,8	Deux jours	5 300	0,35	0,24	0,055	3,8	4	EC	
	2022-09-27	16,6	30,7	Jour même	11 000	0,043	0,137	0,036	5,4	0	EC	
	2022-10-18	13,7	13,7	< 24 h	760	0,046	0,27	0,058	7,6	56	PT	
B (n = 5) Avenue du lac Saint-Charles	2022-08-31	18,9	49,4	Jour même	110	0,034	0,041	0,105	50	14	MES	<ul style="list-style-type: none"> Eau stagnante en temps sec Phosphore lié à la matière particulaire
	2022-09-14	10,0	13,9	Jour même	4 400	0,0107	0,038	0,124	47	10	EC	
	2022-09-20	3,9	8,8	Deux jours	36	0,004	0,081	0,06	48	15	MES	
	2022-09-27	16,6	30,7	Jour même	70	0,004	0,041	0,064	15	53	PT	
	2022-10-18	13,7	13,7	< 24 h	2	0,004	0,035	0,032	15	56	MES	
RR (n = 5) Rue des Aigles-Pêcheurs	2022-06-08	35,2	36,6	< 24 h	5 800	0,0102	0,3	0,2	44	1	EC	<ul style="list-style-type: none"> Absence d'eau en temps sec Accumulation de sédiments visible dans la conduite Contamination bactériologique
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	4 300	0,029	0,49	0,71	420	0	PT	
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	170	0,0159	0,116	0,032	2	77	PT	
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	410	0,031	0,053	0,137	28	31	PT	
	2022-10-14	41,8	0,0	Jour même	7 800	0,0106	0,27	0,184	31	0	EC	
H (n = 12) Chemin de la Grande-Ligne	2022-05-10	0,0	0,0	Sec	0	0,05	0,68	0,065	13	52	PT	<ul style="list-style-type: none"> Apports de phosphore et d'azote en temps sec et en temps de pluie Travaux en amont de la conduite ; fuite expliquerait PT et MES plus élevé le 18 octobre
	2022-05-24	0,0	0,9	Sec	9	0,122	2,8	0,022	2,1	32	NOX	
	2022-06-07	1,3	12,4	24–48 h	6	0,143	2,8	0,031	2,2	32	NOX	
	2022-07-06	3,9	12,6	< 24 h	210	0,095	2,8	0,023	2,1	32	NOX	
	2022-07-19	1,1	14,8	< 24 h	20	0,093	2,9	0,021	2	32	NOX	
	2022-08-02	4,6	4,6	< 24 h	3 300	0,02	2,8	0,037	5,8	22	EC	
	2022-08-31	18,9	49,4	Jour même	340	0,062	1,59	0,063	6,5	46	NOX	
	2022-09-14	10,0	13,9	< 24 h	160	0,083	2	0,034	4,8	40	NOX	
	2022-09-20	3,9	8,8	Deux jours	76	0,072	2	0,038	3,8	40	NOX	
	2022-09-27	16,6	30,7	Jour même	900	0,031	1,8	0,035	5,8	42	NOX	
	2022-10-12	0,1	0,1	Sec	18	0,131	3,2	0,039	2	30	NOX	
	2022-10-18	13,7	13,7	< 24 h	1 500	0,038	0,62	0,27	49	13	PT	

Station et classe IQBP	Date	Pluviométrie			Données brutes					Résultats		Explications (événement, pluie, débits, etc.)
		Pluie journalière (mm)	Cumulée 48 h (mm)	Qualitative	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	Azote ammoniacal (mg/l)	Nitrites et nitrates (mg/l)	Phosphore total (mg/l)	Matière en suspension (mg/l)	Valeur de l'IQBP ₅	Paramètre limitant	
MM (n = 5) Chemin de la Grande-Ligne	2022-06-08	35,2	36,6	< 24 h	640	0,023	0,88	0,049	7,2	62	PT	▪ Coupe forestière en terre privée toujours active, nouveau développement prévu
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	3 500	0,0135	0,187	0,06	5,8	19	EC	
	2022-08-08	31,4	34,0	< 24 h	2 300	0,148	0,2	0,091	4,4	36	EC	
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	560	0,155	0,39	0,045	2,8	65	PT	
	2022-10-14	41,8	0,0	Jour même	1 400	0,004	0,24	0,166	7,2	26	PT	
GG (n = 7) Rue du Martin-Pêcheur	2022-05-11	0,0	0,0	Sec	1	0,004	0,074	0,032	5,8	77	PT	▪ Faible écoulement en temps sec ▪ Dépassements surviennent surtout en temps de pluie ▪ Lessivage possible d'ISA le 14 octobre
	2022-06-08	35,2	36,6	< 24 h	180	0,004	0,154	0,097	25	38	MES	
	2022-06-21	0,0	0,0	Sec	25	0,004	0,149	0,039	5,3	70	PT	
	2022-07-21	39	40,1	Jour même	1 500	0,0108	0,3	0,167	36	25	MES	
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	200	0,0091	0,4	0,045	23	41	MES	
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	400	0,03	0,22	0,74	640	0	PT	
HH (n = 5) Rue des Aigles-Pêcheurs	2022-06-08	35,2	36,6	< 24 h	770	0,004	0,72	0,076	4,1	47	PT	▪ Dépassements surviennent surtout en temps de pluie
	2022-06-21	0,0	0,0	Sec	1	0,004	2,6	0,0153	2	34	NOX	
	2022-07-21	39	40,1	Jour même	530	0,0115	0,55	0,131	21	32	PT	
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	13	0,004	2	0,0118	2	40	NOX	
	2022-10-14	41,8	0,0	Jour même	1 500	0,004	1,03	0,036	2,6	50	EC	
N* (n = 4) Rue Monier	2022-05-09	0,0	0,0	Sec	1	0,004	0,037	0,047	2	63	PT	▪ Eau plutôt stagnante en temps sec ▪ Lessivage probable d'ISA le 22 septembre
	2022-06-09	13,6	50,1	Jour même	280	0,004	0,174	0,068	7,2	51	PT	
	2022-06-23	11,8	11,8	Jour même	250	0,06	0,122	0,134	15	32	PT	
	2022-09-22	13,2	17,3	Deux jours	33 000	0,004	0,131	0,096	3,8	0	EC	
F* (n = 4) Chemin de la Grande-Ligne	2022-09-14	10,0	13,9	Jour même	220	0,0178	0,12	0,049	4,4	62	PT	▪ Absence d'eau par temps sec ▪ Raccordements croisés potentiels sur les rues Philippe-Bédard et Pelletier
	2022-09-20	3,9	8,8	Deux jours	7 100	0,021	0,27	0,067	11	0	EC	
	2022-09-27	16,6	30,7	Jour même	410	0,081	0,123	0,056	10	57	PT	
	2022-10-18	13,7	13,7	< 24 h	36	0,0146	0,22	0,149	9	29	PT	
J* (n = 3) Rue des Milans	2022-08-31	18,9	49,4	Jour même	360	0,0144	1,05	0,079	6,6	14	MES	▪ Eau infiltrée dans le sol par temps sec ▪ Nouvelles noues végétalisées sur la rue des Milans (2022)
	2022-09-14	10,0	13,9	< 24 h	170	0,102	0,34	0,073	4,6	10	EC	
	2022-09-27	16,6	30,7	Jour même	9	0,02	0,39	0,101	12	15	MES	

Station et classe IQBP	Date	Pluviométrie			Données brutes					Résultats		Explications (événement, pluie, débits, etc.)
		Pluie journalière (mm)	Cumulée 48 h (mm)	Qualitative	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	Azote ammoniacal (mg/l)	Nitrites et nitrates (mg/l)	Phosphore total (mg/l)	Matière en suspension (mg/l)	Valeur de l'IQBP ₅	Paramètre limitant	
CPLSC18 (n = 11) Rue des Épinettes-Rouges	2022-05-11	0,0	0,0	Sec	0	0,049	0,117	0,055	18	50	MES	<ul style="list-style-type: none"> Eau stagnante en temps sec Apports de sédiments et de phosphore par temps sec et temps de pluie Lessivage possible d'ISA le 21 juillet
	2022-06-08	35,2	36,6	< 24 h	2 000	0,0151	0,092	0,053	7,4	41	EC	
	2022-06-21	0,0	0,0	Sec	64	0,085	0,119	0,081	22	43	MES	
	2022-07-07	0,0	12,6	Deux jours	27	0,121	0,13	0,08	7	46	PT	
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	15 000	0,016	0,118	0,145	25	0	EC	
	2022-08-08	31,4	34,0	< 24 h	820	0,058	0,105	0,098	18	40	PT	
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	480	0,043	0,101	0,055	2,8	58	PT	
	2022-09-13	3,9	3,9	Jour même	3 400	0,004	0,063	0,2	12	20	PT	
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	120	0,036	0,079	0,034	36	25	MES	
	2022-10-14	41,8	0,0	Jour même	720	0,0142	0,109	0,093	9	42	PT	
2022-11-10	15,4	15,4	Sec	60	0,03	0,22	0,058	5,9	56	PT		
PP (n = 11) Rue Delage	2022-05-11	0,0	0,0	Sec	0	0,058	1,09	0,022	2,6	58	NOX	<ul style="list-style-type: none"> Faible écoulement par temps sec Phosphore lié à la matière particulaire en suspension (temps de pluie) Apports en azote globalement élevés ; lessivage d'engrais probable
	2022-05-26	12,5	12,5	Sec	9	0,069	1,14	0,021	3,5	57	NOX	
	2022-06-08	35,2	36,6	Jour même	400	0,037	1,2	0,033	2	55	NOX	
	2022-06-21	0,0	0,0	Sec	29	0,039	1,2	0,046	3,4	55	NOX	
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	540	0,179	0,26	0,46	260	1	MES	
	2022-08-08	31,4	34	< 24 h	240	0,004	0,51	0,025	3,6	78	EC	
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	0	0,004	1,54	0,064	4,4	47	NOX	
	2022-09-13	3,9	3,9	< 24 h	2 800	0,35	0,113	0,12	40	21	MES	
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	150	0,112	0,21	0,072	14	49	PT	
	2022-10-14	41,8	0,0	Jour même	380	0,07	0,29	0,078	3,8	47	PT	
2022-11-10	15,4	15,4	Sec	180	0,34	0,22	0,152	45	17	MES		
FF (n = 8) Chemin de la Grande-Ligne	2022-06-08	35,2	36,6	< 24 h	5 100	0,027	0,23	0,051	4	5	EC	<ul style="list-style-type: none"> Absence d'eau en temps sec Contamination bactériologique le 8 juin expliquée par la pluie cumulée, le débit étant plus important lors de cette sortie.
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	1 700	0,0097	0,23	0,19	41	20	MES	
	2022-08-08	31,4	34,0	< 24 h	600	0,004	0,3	0,093	63	6	MES	
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	27	0,004	0,36	0,0143	2	85	NOX	
	2022-09-13	3,9	3,9	Jour même	170	0,4	0,61	0,047	15	56	MES	
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	180	0,22	0,178	0,026	10	69	MES	
	2022-10-14	41,8	0,0	Jour même	29	0,004	0,149	0,073	3,5	49	PT	
2022-11-10	15,4	15,4	Sec	2	0,106	0,29	0,0168	2	88	NOX		

Station et classe IQBP	Date	Pluviométrie			Données brutes					Résultats		Explications (événement, pluie, débits, etc.)
		Pluie journalière (mm)	Cumulée 48 h (mm)	Qualitative	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	Azote ammoniacal (mg/l)	Nitrites et nitrates (mg/l)	Phosphore total (mg/l)	Matière en suspension (mg/l)	Valeur de l'IQBP ₅	Paramètre limitant	
M (n = 12) Rue du Beau-Site	2022-05-09	0,0	0,0	Sec	16	0,051	0,2	0,038	2	71	PT	<ul style="list-style-type: none"> Absence d'eau en temps sec Apports de matière en suspension par temps de pluie surtout Contamination bactériologique et apports en phosphore (temps sec et temps de pluie) Lessivage et fuite d'ISA possibles sur la rue du Beau-Site
	2022-05-25	0,0	0,0	Sec	490	0,076	0,2	0,029	2	70	EC	
	2022-06-09	13,6	50,1	Jour même	390	0,031	0,131	0,098	31	30	MES	
	2022-06-23	11,8	11,8	Jour même	1 400	0,081	0,19	0,09	20	42	PT	
	2022-07-04	0,0	0,5	Sec	220	0,045	0,2	0,026	6,3	79	EC	
	2022-07-18	13,7	13,7	Jour même	470	0,077	0,52	0,059	13	55	PT	
	2022-08-03	0,0	4,6	< 24 h	3 200	0,168	0,16	0,065	34	23	EC	
	2022-08-18	7,9	8,2	Jour même	1 200	0,112	0,33	0,15	26	29	PT	
	2022-08-29	5,3	5,3	Sec	210	0,104	0,22	0,036	6,8	73	PT	
	2022-09-22	13,2	17,3	Deux jours	2 000	0,131	0,22	0,055	4,8	41	EC	
	2022-10-07	4,8	4,8	< 24 h	1 700	0,24	1,06	0,073	8	46	EC	
2022-11-11	1,1	16,5	< 24 h	410	0,081	0,32	0,031	2,4	73	EC		
NN (n = 9) Rue des Alisiers	2022-05-11	0,0	0,0	Sec	1	0,033	0,32	0,03	3,2	79	PT	<ul style="list-style-type: none"> Eau plutôt stagnante en temps sec Contamination bactériologique expliquée par la pluie cumulée Apports de phosphore par temps sec et temps de pluie (fuite d'ISA possible)
	2022-06-08	35,2	36,6	< 24 h	3 000	0,0109	0,082	0,042	2	26	EC	
	2022-07-07	0,0	12,6	Deux jours	210	0,054	0,3	0,045	2	65	PT	
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	13 000	0,086	0,29	0,123	11	0	EC	
	2022-08-08	31,4	34,0	< 24 h	220	0,0124	0,135	0,036	5,1	73	PT	
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	450	0,004	0,018	0,047	2	63	PT	
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	440	0,05	0,175	0,054	3,6	58	PT	
	2022-10-14	41,8	0,0	Jour même	190	0,004	0,039	0,054	2	58	PT	
2022-11-10	15,4	15,4	Sec	11	0,004	0,057	0,053	4,1	59	PT		

EC : *Escherichia coli* (*E. coli*) mesuré en place des coliformes fécaux (Annexe 1, Tableau F ; Agiro, 2024a)

MES : Matière en suspension

PT : Phosphore total

NOX : Composés azotés organiques (nitrates et nitrites)

NH₃ : azote ammoniacal

ISA : Installation septique autonome

*Le calcul des IQBP est effectué à titre indicatif seulement puisque le nombre de valeurs est insuffisant pour l'utilisation de cet indice.

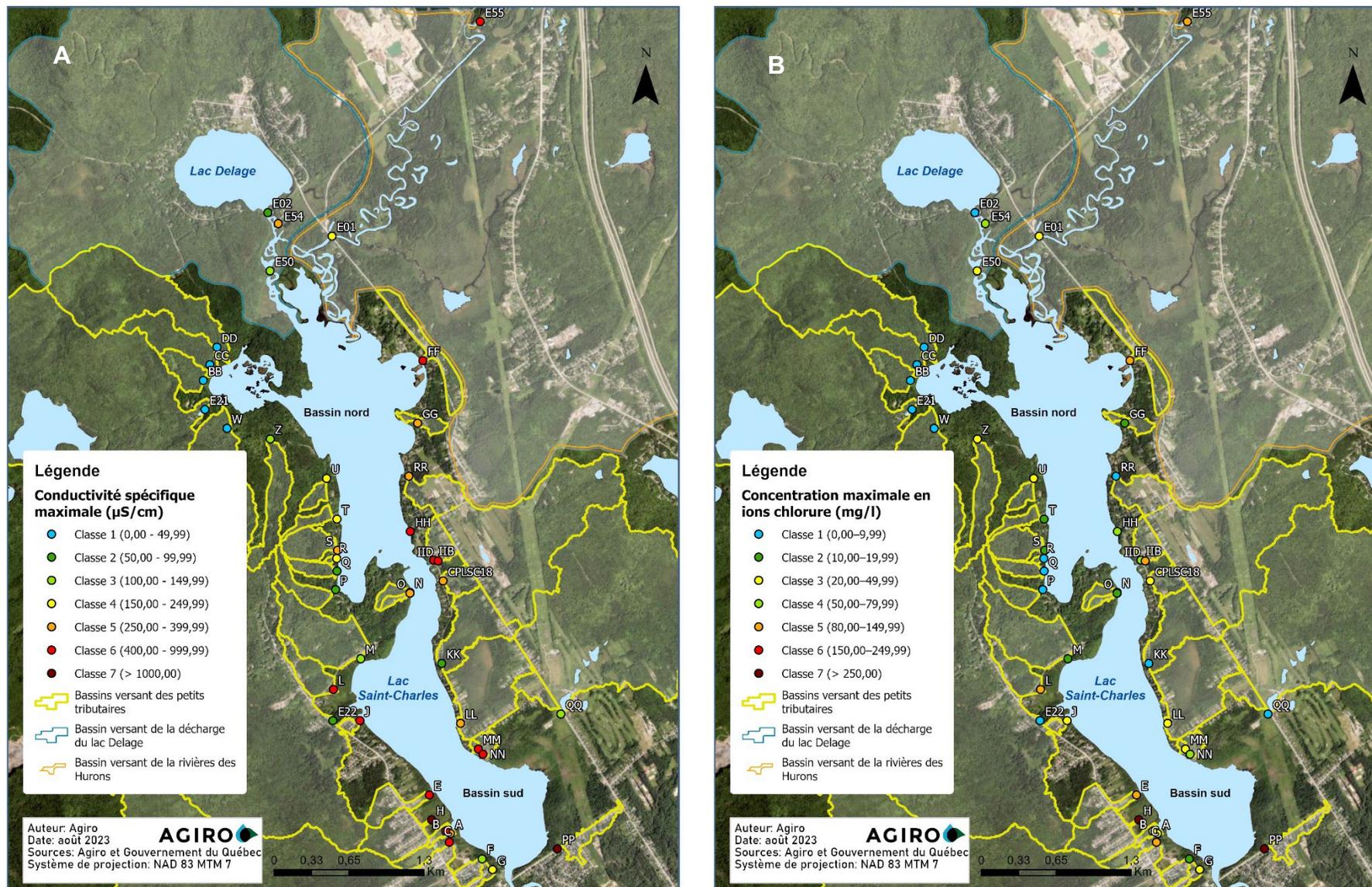


Figure 44 (A) Conductivité spécifique et (B) concentration en ions chlorure maximales obtenues pour chaque affluent en 2022.

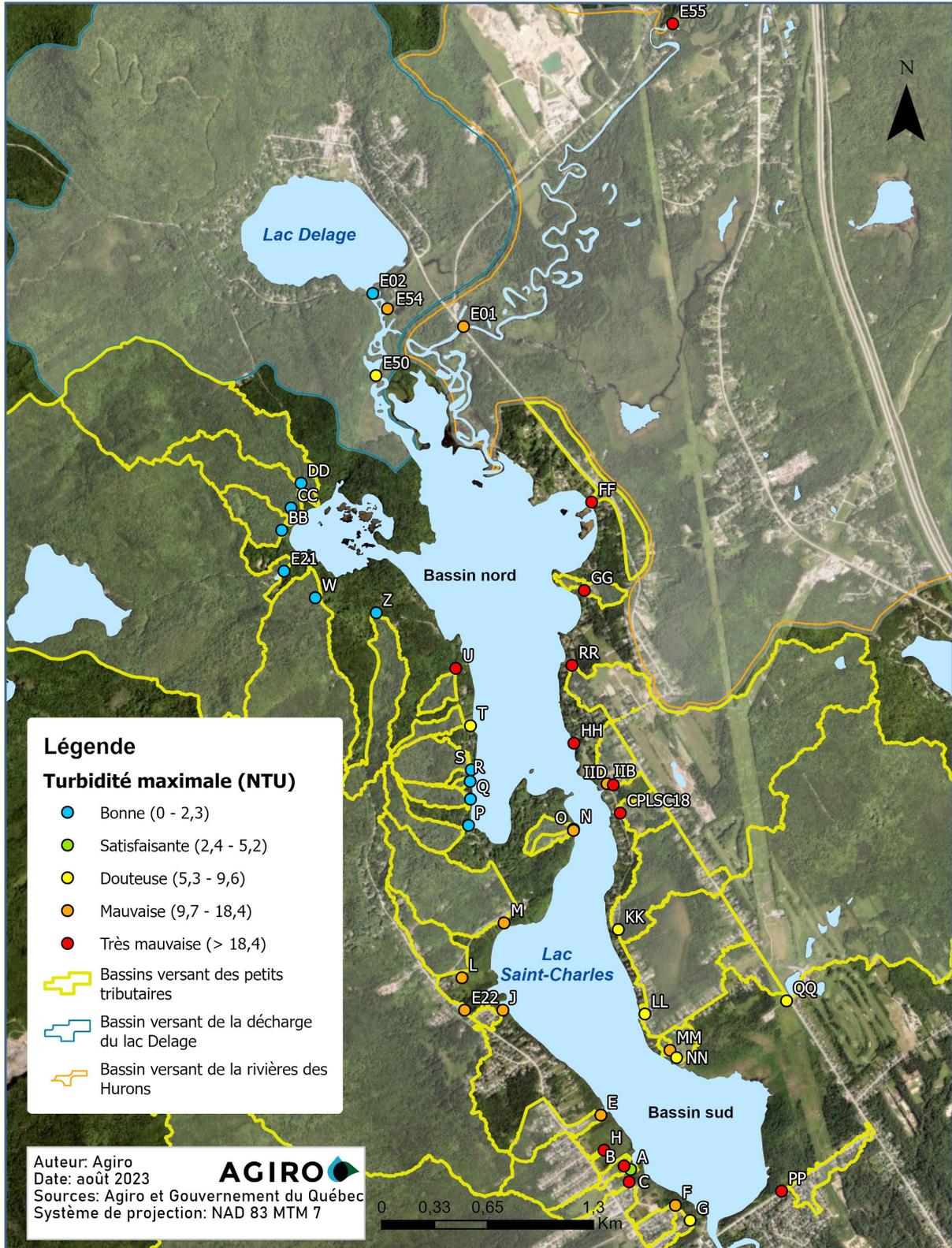


Figure 45 Turbidité maximale obtenue pour chaque affluent en 2022.

6.1.2 Tributaires majeurs

Selon les critères de l'IQBP (Annexe 1, Tableau F ; Agiro, 2024a), la qualité de l'eau des tributaires majeurs du lac Saint-Charles, la rivière des Hurons (E01) et la décharge du lac Delage (E02), est « bonne » (Tableau 18). Seulement deux valeurs obtenues à la station E01 se retrouvent dans la classe « douteuse », soit une valeur de 63 µg/l pour le phosphore (26 mai) et une concentration de 18 mg/l pour la matière en suspension (8 juin) associée à un important événement pluvieux. Dans l'ensemble, les concentrations en *E. coli* dans les tributaires majeurs respectent le critère de baignade de 200 UFC/100 ml du ministère, mais des dépassements surviennent ponctuellement à l'embouchure de la rivière des Hurons et dans les Marais du Nord lors d'événements pluvieux intenses (Tableau 18).

Bien que ces cours d'eau présentent un meilleur IQBP que les petits tributaires, il n'en reste pas moins des sources majeures de contaminants pour le lac Saint-Charles. En effet, étant donné le débit très important de la rivière des Hurons (Tableau 20), sa charge en contaminants est très élevée comparée aux autres petits tributaires, et ce même si la concentration des dits contaminants y est moindre.

6.1.3 Stations de traitement des eaux usées

La performance des stations d'épuration des eaux usées est évaluée suivant les seuils proposés par le ministère (Hébert, 1997 ; MELCCFP, 2022b ; MELCCFP, 2022c), ainsi que ceux tirés de la littérature (Schwoerbel & Brendelberger, 2005) disponibles dans le matériel supplémentaire (Annexe 1 ; Tableau I).

La concentration en *E. coli* mesurée à la sortie de l'usine de la ville de Lac-Delage (E54) dépassait le critère de baignade (200 UFC/100 ml) trois fois sur douze échantillons prélevés, avec des valeurs oscillant entre 330 et 420 UFC/100 ml lors de ces dépassements (Tableau 19), majoritairement en temps de pluie. Le critère pour le phosphore total (0,3 mg/l) fut dépassé lors de 75 % des sorties d'échantillonnage. Les valeurs en azote ammoniacal et en composés azotés organiques (nitrites et nitrates) excédaient les seuils prévus dans 67 % et 100 % des échantillons prélevés, respectivement. Finalement, 50 % des échantillons dépassaient le critère de 25 mg/l pour la matière en suspension, et ce autant par temps sec que par temps de pluie.

La concentration en *E. coli* mesurée à la sortie de l'usine de la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury (E55) dépassait le critère de baignade (200 UFC/100 ml) deux fois sur dix échantillons prélevés, avec une valeur maximale de 12 000 UFC/100 ml (Tableau 19). Ce dépassement eut lieu en temps sec (pluie fine seulement), lequel devrait proscrire tout usage récréatif. Le critère pour le phosphore total (0,3 mg/l) fut dépassé deux fois et coïncidait avec les dépassements des seuils pour *E. coli*. Les valeurs en azote ammoniacal et en composés azotés organiques (nitrites et nitrates) excédaient les seuils prévus dans 90 % et 70 % des échantillons prélevés, respectivement. Finalement, 30 % des échantillons dépassaient le critère de 25 mg/l pour la matière en suspension, et ce autant par temps sec que par temps de pluie.

Tableau 18 Résultats de qualité d'eau des tributaires majeurs du lac Saint-Charles et leur classification en fonction de l'IQBP relativement à la pluviométrie lors de chaque sortie d'échantillonnage.

Station	Date	Pluviométrie			Données brutes					Résultat	
		Pluie journalière (mm)	Cumulée 48 h (mm)	Qualitative	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	Azote ammoniacal (mg/l)	Nitrites et nitrates (mg/l)	Phosphore total (mg/l)	Matière en suspension (mg/l)	Valeur de l'IQBP ₅	Paramètre limitant
E01 (Rivière des Hurons) (n = 12)	2022-05-11	0,0	0,0	Sec	20	0,034	0,181	0,021	2,6	91	PT
	2022-05-26	12,5	12,5	Sec	69	0,28	0,23	0,063	2	53	PT
	2022-06-08	35,2	36,6	Jour même	350	0,059	0,21	0,05	18	50	MES
	2022-06-21	0,0	0,0	Sec	23	0,137	0,25	0,0126	2	88	NH3
	2022-07-07	0,0	12,6	Deux jours	58	0,039	0,27	0,0132	2	89	NOX
	2022-07-13	0,0	0,0	< 24 h	210	0,186	0,21	0,023	2,8	80	EC
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	220	0,31	0,4	0,0177	8,8	72	MES
	2022-08-08	31,4	34,0	Sec	190	0,107	0,39	0,0176	2	81	EC
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	150	0,046	0,36	0,0134	2	83	EC
	2022-09-13	3,9	3,9	Sec	42	0,023	0,4	0,0094	2	83	NOX
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	150	0,032	0,33	0,0079	2	83	EC
	2022-10-13	7,4	7,5	Sec	18	0,028	0,24	0,017	2	90	NOX
2022-11-10	15,4	15,4	Sec	4	0,067	0,34	0,0108	2	86	NOX	
E02 (Décharge du lac Delage) (n = 12)	2022-05-11	0,0	0,0	Sec	3	0,021	0,13	0,0167	2	95	NOX
	2022-05-26	12,5	12,5	Sec	6	0,0089	0,014	0,0064	2	96	MES
	2022-06-08	35,2	36,6	Jour même	10	0,019	0,022	0,0099	2	96	MES
	2022-06-21	0,0	0,0	Sec	0	0,004	0,007	0,0107	2	96	MES
	2022-07-07	0,0	12,6	Deux jours	1	0,0136	0,016	0,0067	2	96	MES
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	27	0,004	0,027	0,0118	2	95	EC
	2022-08-08	31,4	34,0	< 24 h	170	0,019	0,134	0,035	6,2	74	PT
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	4	0,004	0,017	0,0084	2	96	MES
	2022-09-13	3,9	3,9	Sec	14	0,004	0,012	0,0058	2	96	MES
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	4	0,0108	0,006	0,0056	2	96	MES
	2022-10-13	7,4	7,5	Sec	1	0,004	0,006	0,009	2	96	MES
	2022-11-10	15,4	15,4	Sec	0	0,0114	0,021	0,0089	2	96	MES
E50 (Marais du Nord) (n = 12)	2022-05-11	0,0	0,0	Sec	20	0,035	0,175	0,0162	2	93	NOX
	2022-05-26	12,5	12,5	Sec	31	0,153	0,166	0,0139	2	87	NH3
	2022-06-08	35,2	36,6	Jour même	260	0,067	0,184	0,043	11	66	MES
	2022-06-21	0,0	0,0	Sec	23	0,166	0,182	0,0162	2	86	NH3
	2022-07-07	0,0	12,6	Deux jours	68	0,056	0,24	0,022	2	90	PT
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	74	0,162	0,26	0,025	2	86	PT
	2022-08-08	31,4	34,0	< 24 h	73	0,064	0,37	0,0168	2	85	NOX
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	71	0,03	0,149	0,0129	2	90	EC
	2022-09-13	3,9	3,9	Jour même	52	0,023	0,25	0,0142	2	90	NOX
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	800	0,033	0,24	0,0107	2	64	EC
	2022-10-14	41,8	0,0	Jour même	11	0,042	0,164	0,0169	2	93	NOX
	2022-11-10	15,4	15,4	Sec	3	0,077	0,22	0,0164	2	91	NOX

Tableau 19 Résultats de qualité d'eau des stations d'épuration des eaux usées (STEU) situées en amont du lac Saint-Charles et leur performance d'après les critères établis.

Station	Date	Pluviométrie			Données brutes				
		Pluie journalière (mm)	Cumulée 48 h (mm)	Qualitative	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	Azote ammoniacal (mg/l)	Nitrites et nitrates (mg/l)	Phosphore total (mg/l) Seuil : 0,3 mg/l	Matière en suspension (mg/l) Seuil : 25 mg/l
E54 (STEU Lac-Delage) (n = 12)	2022-05-11	0,0	0,0	Sec	6	2,9	1,21	0,134	27
	2022-05-26	12,5	12,5	Sec	12	2,7	2,6	0,134	4,8
	2022-06-08	35,2	36,6	Jour même	190	6,4	3,2	0,25	6,6
	2022-06-21	0,0	0,0	Sec	58	6,8	3,5	0,33	17
	2022-07-07	0,0	12,6	Deux jours	46	1,9	4,4	0,41	30
	2022-07-21	39,0	40,1	Jour même	400	0,66	4,2	0,61	60
	2022-08-08	31,4	34,0	Sec	330	1,64	3,7	0,73	71
	2022-08-30	25,2	30,5	< 24 h	420	1,25	3,2	0,37	18
	2022-09-13	3,9	3,9	Sec	38	0,3	3,1	0,37	25
	2022-09-26	13,8	14,1	Jour même	40	0,053	3,3	0,46	30
2022-10-13	7,4	7,5	Sec	60	0,0084	4	0,36	22	
2022-11-10	15,4	15,4	Sec	20	0,072	5,3	0,31	23	
Pourcentage de dépassement du critère					25 %	67 %	100 %	75 %	50 %
E55 (STEU Stoneham-et-Tewkesbury) (n = 10)	2022-05-11	0,0	0,0	Sec	54	23	0,28	0,22	110
	2022-05-26	12,5	12,5	Sec	12 000	27	0,181	0,95	46
	2022-06-21	35,2	36,6	Jour même	820	35	0,52	0,83	52
	2022-07-21	0,0	0,0	Sec	180	37	2	0,27	8,4
	2022-08-08	0,0	12,6	Deux jours	90	18	13,4	0,075	3,7
	2022-08-30	39,0	40,1	Jour même	0	4,1	15,8	0,065	7,5
	2022-09-13	31,4	34,0	Sec	28	1,05	9,8	0,24	19
	2022-09-26	25,2	30,5	< 24 h	5	0,23	8,1	0,058	6,9
	2022-10-13	3,9	3,9	Sec	2	1,9	6,3	0,036	2
2022-11-10	13,8	14,1	Jour même	2	3,9	6,8	0,05	2	
Pourcentage de dépassement du critère					20 %	90 %	70 %	20 %	30 %

6.2 Quantité d'eau des affluents

Afin de fournir une estimation de la quantité d'eau apportée par chaque tributaire au lac Saint-Charles au moment de l'étiage et en temps de pluie, le Tableau 20 compile les débits minimaux et maximaux ainsi que les hauteurs d'eau moyennes et maximales mesurées lors de la saison d'échantillonnage pour les tributaires du lac Saint-Charles. Les débits moyens relatifs sont quant à eux représentés graphiquement à la Figure 46.

Tableau 20 Compilation des débits et des hauteurs d'eau annuels mesurés pour les petits tributaires du lac Saint-Charles en 2022.

Station	Bassin	N	Débit minimal (m ³ /s)	Débit moyen (m ³ /s)	Débit maximal (m ³ /s)	Hauteur d'eau moyenne (cm)	Hauteur d'eau maximale (cm)
E01	Nord	11	0,74835439	3,4107981	16,1437429	-	-
E21	Nord	12	0,0245181	0,16124696	0,700500	22,5	31
E02	Nord	10	0,0359175	0,13193417	0,2708943	38,3	57
N	Sud	3	0,0002531	0,1046437	0,308086	5,5	13
Q	Nord	10	0,0000038	0,0725759	0,458139	8,6	14
QQ	Sud	12	0,0187461	0,0485738	0,198954	19,3	50
DD	Nord	12	0,0009781	0,0402549	0,32357	15,0	29
Z	Nord	12	0,0016182	0,033678	0,229417	7,3	18
W	Nord	11	0,0016305	0,0229044	0,135591	3,3	11,5
A	Sud	3	0,0015609	0,0195336	0,033207	5,2	6,5
M	Sud	12	0,0020403	0,0156779	0,038	10,5	24,5
IIB	Nord	6	0,0007419	0,0155929	0,045782	1,9	3,5
KK	Sud	12	0,0001118	0,0155545	0,095744	4,2	11
E22	Sud	12	0,0187186	0,00994138	0,0681784	58,9	96
L	Sud	12	0,0009098	0,0082652	0,042679	8,1	13
CPLSC18	Sud	10	0,0001368	0,0076891	0,023112	8,3	18
FF	Nord	7	0,0000505	0,0076319	0,046476	16,0	33
RR	Nord	5	0,0000073	0,0061471	0,015458	5,9	10
C	Sud	11	0,0000867	0,0057464	0,052695	5,6	19
H	Sud	11	0,0001212	0,0043086	0,040591	1,5	13
BB	Nord	12	0,0003262	0,0042881	0,036195	3,0	5,5
CC	Nord	12	0,0000117	0,003652	0,024564	8,6	21
O	Sud	1	0,0018943	0,0018943	0,001894	5,5	5,5
S	Nord	12	0,0001429	0,0017401	0,015034	3,5	3,5
T	Nord	11	0,0000691	0,0015661	0,013162	4,0	4
U	Nord	12	0,0001436	0,0014554	0,009907	3,5	4
P	Nord	12	0,0001354	0,0009601	0,006165	3,0	3
GG	Nord	7	0,0000658	0,0009306	0,004431	2,8	6
F	Sud	3	0,000253	0,0008445	0,001134	9,3	10
G	Sud	5	0,0000781	0,0004408	0,001491	-	-
R	Nord	1	0,0004021	0,0004021	0,000402	-	-
HH	Nord	5	0,0000112	0,000312	0,001343	-	-
MM	Sud	5	0,0000277	0,0001765	0,000481	-	-

Le nombre de débits mesurés est insuffisant pour les stations en rouge.

Dans le bassin nord, la rivière des Hurons (E01), l'effluent du lac du Sud-Ouest (E21) et la décharge du lac Delage (E02) sont les tributaires qui contribuent le plus à l'apport en eau au lac Saint-Charles en regard des débits moyens qui y sont mesurés. Les tributaires Q, DD, Z et W sont situés en pente, ce qui explique les débits moyens parmi les plus élevés, variant de 0,02 à 0,07 m³/s. Dans le bassin sud, le tributaire QQ obtient le débit moyen le plus élevé (environ 0,05 m³/s). À l'exception de la rivière des Hurons (E01), le ruisseau Courte-Botte (E22) est le tributaire qui possède la plus grande hauteur d'eau, et ce pendant toute l'année, la hauteur moyenne étant de 59 cm et la hauteur maximale de 96 cm.

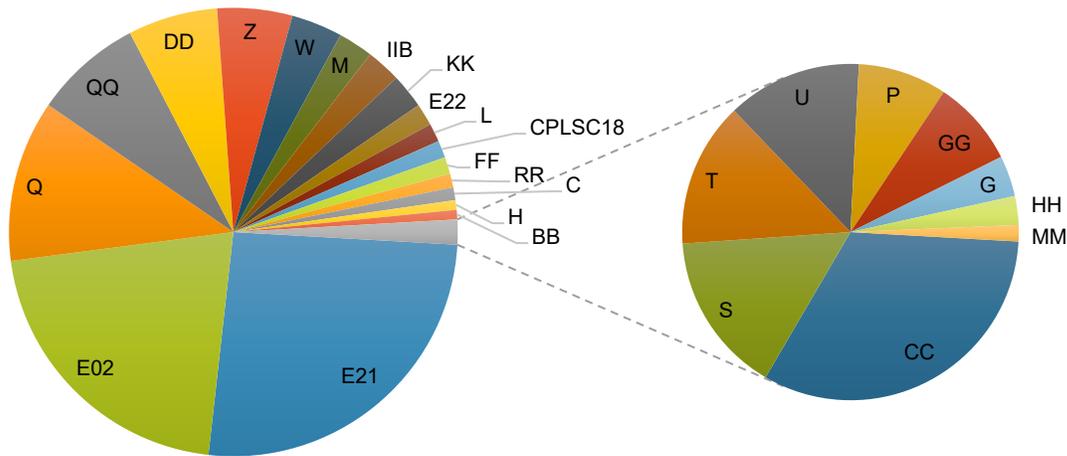


Figure 46 Débits moyens relatifs des petits affluents du lac Saint-Charles en 2022, à l'exception de la rivière des Hurons (E01), laquelle a été enlevée par souci de clarté, cette dernière représentant 86 % du débit moyen entrant au lac Saint-Charles.

Les derniers profils transversaux mesurés pour certains tributaires sont également présentés sous forme de schémas afin d'illustrer la configuration de ceux-ci (Annexe 3, Figures TT–VV ; Agiro, 2024c). À noter que le type de substrat et la vitesse d'écoulement influencent constamment la stabilité du lit du cours d'eau et que celui-ci varie donc dans le temps. Néanmoins, ces schémas permettent de visualiser l'importance de l'apport en eau d'un tributaire vis-à-vis d'un autre en fonction de la hauteur d'eau.

6.3 Recommandations par problématique pour les affluents du lac Saint-Charles

Tableau 21 Synthèse des problématiques, les stations concernées et les actions recommandées.

Problématique	Affluents concernés	Actions à entreprendre	Parties prenantes	Priorité
Contamination bactériologique et nutriments	G, RR, N E01, E54, E55	Sensibiliser les propriétaires d'installations septiques sur les bonnes pratiques à adopter pour limiter l'impact sur les plans d'eau avoisinants ; Vérifier la présence de raccords croisés à l'est du bassin nord ; Raccorder les usines de traitements des eaux usées de Stoneham-et-Tewkesbury et Lac-Delage au réseau d'égouts municipal de la ville de Québec.	Ville de Québec, Service de la prévention et qualité du milieu	1
Sels de voirie	H, PP, L, E, C, IIB	Échantillonner les exutoires pluviaux se déversant dans les petits tributaires, principalement au printemps, pour vérifier la charge en sels apportés au moment de la fonte ; Installer des caméras sur la voie routière pour vérifier la fréquence des applications de mélanges d'abrasifs et effectuer une surveillance visuelle avec prise de photographies ; Sensibiliser les citoyens à l'impact de l'utilisation des abrasifs commerciaux pour le déglçage et proposer des solutions alternatives.	Ville de Québec, ministère des Transports et de la Mobilité durable, Agiro (service des eaux pluviales)	2
Ouvrages de gestion des eaux pluviales	J, C, E22, RR, H	Poursuivre le suivi des ouvrages de gestion des eaux pluviales existants dans le bassin versant du lac Saint-Charles et évaluer le potentiel d'implantation de nouveaux ouvrages ; Assurer l'entretien des ouvrages de gestion des eaux pluviales (maintien de la végétation, nettoyage des grilles et des conduites, vidange des bassins de rétention, etc.).	Agiro, Ville de Québec, Société de la rivière Saint-Charles	3
Globale	Tous	Limiter le développement résidentiel dans les sous-bassins versants ; Faire davantage de sensibilisation sur l'impact des activités récréatives dans le bassin versant de la prise d'eau potable ; Créer un fond pour encourager les citoyens à limiter les surfaces imperméables.	Ville de Québec, Brigade de l'eau, Agiro	En tout temps

7 Discussion, conclusion et recommandations

7.1 Discussion et conclusion

Cette diagnose de 2022 avait pour objectif principal d'évaluer l'état trophique et la qualité de l'eau du lac Saint-Charles. Outre l'analyse physicochimique de la colonne d'eau du lac et de ses affluents, un suivi des épisodes d'efflorescences de cyanobactéries, un inventaire des herbiers aquatiques et une caractérisation de la bande riveraine ont également été réalisés.

Dans son ensemble, la présente diagnose classe le lac Saint-Charles à un stade méso-eutrophe. Malgré les efforts mis en place dans le bassin versant en vue de protéger le principal réservoir d'eau potable de la ville de Québec (Ville de Québec, 2023b), cette diagnose et ses prédécesseurs mettent en évidence un enrichissement du lac au cours des quinze dernières années (APEL, 2009 ; APEL, 2014 ; APEL, 2019 ; Agiro, 2020). Les concentrations en phosphore continuent ainsi à augmenter progressivement (Tableau 9), soulignant que les mesures de mitigation restent insuffisantes pour stabiliser l'état du lac Saint-Charles, et que davantage d'efforts sont nécessaires. Le rejet en amont du lac des eaux usées traitées, mais encore riches en nutriments, des stations d'épuration des villes de Stoneham-et-Tewkesbury et de Lac-Delage constituent une source importante de phosphore pour le lac, affectant inévitablement la qualité de son eau (APEL, 2015 ; Agiro, 2023b ; Agiro, 2023c). À cela s'ajoutent les pressions exercées par les nombreuses installations septiques surutilisées, mal utilisées et/ou défailtantes, par l'érosion intensive due à un développement important en amont du lac, ou encore par l'utilisation d'engrais et de pesticides dans le bassin versant (Agiro, 2023b), lesquelles pourraient également être la cause de cette augmentation. Cependant, la piste d'une contamination par les eaux usées semble plus vraisemblable, étant donné une agriculture marginale dans le bassin versant du lac Saint-Charles, ainsi que la teneur en azote relativement stable sur les dernières années (Tableau 9).

Les carences en oxygène observées dans le fond du bassin nord du lac Saint-Charles constituent un autre problème significatif (Figure 9). Outre les répercussions néfastes de cette hypoxie sur les populations de poissons, un tel déficit en oxygène au fond d'un lac peut être propice au relargage de nutriments depuis les sédiments. Ainsi, les concentrations plus élevées en phosphore observées au fond du bassin nord du lac pourraient être expliquées par ce phénomène (Tableau 7). Cette hypoxie résulte d'une stratification très stable de la colonne d'eau, limitant la capacité de ce dernier à se mélanger et ainsi à se réoxygéner complètement, notamment au printemps (Figure 7A). Ce déficit en oxygène est également corrélé à son niveau de productivité biologique (Wetzel, 2001). Ainsi, plus un lac est productif, plus il y a consommation d'oxygène pour décomposer cette biomasse. L'augmentation de l'apport nutritif au lac favorise la production de biomasse et accentue ainsi l'hypoxie, laquelle risque donc d'augmenter à son tour l'apport nutritif, par effet boule de neige. Cependant, l'étendue de l'hypoxie observée en 2022 est moins importante que celle de 2016 et semble être retournée à son niveau de 2012. Il est cependant trop tôt pour tirer des conclusions, cette tendance devant se confirmer lors des diagnoses ultérieures.

Alors que la conductivité spécifique et les concentrations en ions chlorure mesurées au lac Saint-Charles avaient connues une forte augmentation entre 2008 et 2012 (APEL, 2009 ; APEL, 2014), cette dernière semble s'être ralentie depuis (Tableau 6), soulignant que les efforts visant à limiter l'épandage de sels de voirie dans le bassin versant semblent porter leur fruit. Cependant, les teneurs en ions chlorure continuent à augmenter légèrement à chaque année, indiquant que la problématique n'est pas encore réglée et que davantage de mesures correctrices (utilisation d'abrasifs moins riches en sels, route blanche, sensibilisation des citoyens, etc.) sont encore nécessaires afin de stabiliser la situation.

Plus spécifiquement, les analyses de la qualité de l'eau du lac Saint-Charles en 2022 révélaiet que :

- Les concentrations en phosphore étaient en hausse (Tableau 9) et suggèrent une contamination par des eaux usées dans le bassin versant du lac et/ou un apport depuis les sédiments lors des déficits importants en oxygène ;
- Une carence en oxygène s'était produite dans l'hypolimnion du bassin nord du lac (Figure 9), liée à un niveau de productivité biologique moyen ainsi qu'à la profondeur plus grande dans ce secteur du lac ;
- La conductivité spécifique était supérieure à celle de lacs naturels, indiquant un enrichissement en ions chlorure (Tableau 6) ;
- La transparence de l'eau était typique de lac moyennement à hautement enrichi, mais semble stable depuis les années 1980 (Tableau 5) ;
- Le pH était bas, mais typique des lacs du Bouclier canadien (Figures 20–25);
- Malgré une grande variabilité interannuelle, les concentrations en chlorophylle a n'atteignaient plus les valeurs observées lors des épisodes d'efflorescences des années 2007–2008 (Tableau 9).

Les analyses des herbiers aquatiques illustraient que :

- Les plantes aquatiques colonisaient 24 % du lac Saint-Charles, avec un recouvrement médian mesuré de 80 % typique de lac mésotrophe (Tableau 10) ;
- Le myriophylle à épis et l'élodée du Canada, plantes à haut potentiel envahissant, étaient les deux espèces dominantes, formant de nombreuses colonies ; malgré tout, les herbiers aquatiques rencontrés au lac Saint-Charles présentaient une diversité importante (Tableau 11) ;
- Une diminution du recouvrement des herbiers aquatiques a été observé entre 2016 et 2022 (Figures 30–31) ; des analyses ultérieures seront nécessaires pour confirmer si cette diminution se maintient dans le temps, mais si elle se confirme, elle pourrait contribuer à augmenter la fréquence des efflorescences de cyanobactéries ainsi que la libération de cyanotoxines dans l'environnement.

Le portrait des efflorescences de cyanobactéries mettait en évidence que :

- 32 épisodes d'efflorescences de cyanobactéries ont eu lieu en 2022 (Figure 32), essentiellement à la baie de l'Écho, au barrage Cyrille-Delage et au secteur de la plage à l'extrémité sud du lac Saint-Charles (Figure 33) ; le genre *Dolichospermum* était responsable de 30 de ces 32 épisodes ;
- Aucun épisode toxique n'a été enregistré en 2022 selon les tests immunochromatographiques ABRAXIS® (Gold Standard Diagnostics), mais ces derniers ne nous permettent pas d'affirmer le caractère non-toxique de ces efflorescences étant donné que ces tests ne permettent la détection que de deux types de cyanotoxines (Figure 35) ;
- Tous les genres de cyanobactéries responsables d'efflorescences au lac Saint-Charles sur la période 2017–2022 avaient le potentiel d'émettre des toxines.

La caractérisation des bandes riveraines montrait que :

- Plus d'un tiers des bandes riveraines du lac Saint-Charles ne remplissaient pas de façon adéquate leur fonction écologique pour la protection de la qualité de l'eau du lac (filtration des éléments nutritifs, frein contre le ruissellement, ombrage, etc.) (Tableau 14) ;
- Ces bandes riveraines problématiques étaient dominées par des infrastructures (routes, murets de soutènement, quais, clôtures, cabanons, etc.) ou recouvertes par une grande superficie gazonnée (Figure 41) ;
- Alors que les bandes riveraines s'étaient sensiblement améliorées entre 2007 et 2016 (APEL, 2009 ; APEL, 2019), cette amélioration semble s'être ralentie depuis, et certains secteurs parmi les plus développés restent problématiques.

Enfin, l'analyse de la qualité et de la quantité d'eau arrivant au lac Saint-Charles par ses nombreux affluents révélait que :

- Selon les critères de l'IQBP (Hébert, 1997), 40 % des tributaires du lac Saint-Charles présentaient une qualité d'eau « mauvaise » à « très mauvaise » (Tableau 17) ;
- Sur ses 40 affluents, le lac Saint-Charles est principalement alimenté par la rivière des Hurons, cette dernière fournissant 86 % de son eau de surface en 2022 (Tableau 20).

À la lumière de cette diagnose, nous observons que le **lac Saint-Charles** présente des **signes de vieillissement**. Plus spécifiquement, bien que la concentration en chlorophylle *a* reste stable comparée à 2016 (APEL, 2019), l'augmentation progressive de la concentration en phosphore souligne une **eutrophisation accélérée**. Le lac Saint-Charles est encore à un stade méso-eutrophe, mais la dégradation de ce dernier au cours des dernières décennies est préoccupante et ne montre **pas encore de signes de stabilisation** pour toutes ses variables. Une mise à jour du plan d'action basé sur les recommandations de ce rapport et prenant en compte l'adaptation aux changements climatiques semble nécessaire afin de protéger l'intégrité écologique et la santé du lac.

7.2 Recommandations

À la suite des résultats obtenus pour la diagnose du lac Saint-Charles et selon les grands enjeux, Agiro recommande, pour chacune des thématiques suivantes, de :

Eaux usées

- Raccorder les usines de traitement des eaux usées des villes de Lac-Delage et de Stoneham-et-Tewkesbury au réseau d'égouts de la Ville de Québec ;
- Cesser le développement sur installation septique autonome ;
- Pour les 2 587 installations septiques déjà existantes dans le bassin versant du lac, assurer leur bon fonctionnement et leur bonne utilisation, tout en privilégiant de raccorder les résidences non desservies au réseau d'égouts de la Ville de Québec là où la situation géographique le permet.

Le contexte hydrogéologique du bassin versant, en plus d'être relativement vulnérable à la contamination de surface, ne constitue pas un milieu idéal pour assurer le traitement des eaux usées avec les systèmes conventionnels d'installation septique. Ces systèmes doivent, en effet, compter sur la qualité du sol naturel pour traiter, filtrer et transformer les différents constituants chimiques et microbiologiques contenus dans les eaux usées avant qu'ils n'atteignent l'aquifère.

Engrais et pesticides

- Sensibiliser les citoyens de la ville de Québec quant à l'interdiction d'épandre de l'engrais dans un rayon de 300 m autour du lac et de ses affluents ;
- Assurer un meilleur encadrement des compagnies d'entretien des pelouses ;
- Encourager un entretien écologique des pelouses (sans engrais) et proscrire l'application de pesticides dans le bassin versant du lac.

Sels de voirie

- Réaliser un bilan des sources de contamination aux ions chlorure pour les eaux de surface et souterraines ;
- Diminuer drastiquement les applications de sels et d'abat-poussières dans le bassin versant, aussi bien autour du lac et les entrées de cour que sur les axes routiers ;
- Multiplier les routes blanches et sensibiliser les usagers à réduire leur vitesse en hiver ;
- Nettoyer les rues au printemps afin de récupérer les abrasifs avant la fonte.

Gestion des eaux pluviales

- Optimiser les ouvrages de gestion des eaux pluviales déjà existant dans le bassin versant du lac ;
- Mettre en place d'autres ouvrages de gestion des eaux pluviales à des endroits stratégiques du bassin versant, afin de limiter le ruissellement et l'apport en contaminants au lac.

Végétalisation

- Végétaliser les terrains en bordure du lac et de ses tributaires;
- Végétaliser les zones où le sol est à nu afin de limiter le ruissellement ;
- Développer un partenariat entre les villes de Québec, Lac-Delage et Stoneham-et-Tewkesbury afin d'étendre le territoire couvert par le programme de végétalisation des rives à l'ensemble du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles ;
- Étendre le règlement de l'agglomération sur la renaturalisation des berges du lac Saint-Charles à l'ensemble du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles ;
- Promouvoir le reboisement des terrains ouverts ;
- Poursuivre la sensibilisation pour la protection et la restauration des bandes riveraines.

Conservation et restauration des milieux naturels

- Établir un seuil de développement urbain à ne pas dépasser garantissant la préservation du lac Saint-Charles, et instaurer un moratoire sur le développement en attendant ces résultats ;
- Assurer une bonne gestion de l'érosion lors d'un développement urbain ;
- Conserver au maximum les milieux naturels (couvert forestier, milieux humides), déminéraliser et végétaliser les zones nues du bassin versant, particulièrement dans les zones en forte pente, afin de limiter le ruissellement ;
- Poursuivre l'acquisition, la conservation, la restauration et la mise en valeur de terrains ;
- Adopter un plan de conservation des milieux naturels guidant les stratégies de conservation et visant la protection de la quantité et qualité d'eau ;
- Mettre en réserve naturelle une grande quantité de terrains publics de grande valeur écologique ;
- Restaurer les milieux dégradés.

Prolifération de plantes aquatiques et cyanobactéries

- Réduire les apports en éléments nutritifs (voir les recommandations précédentes) ;
- Surveiller l'expansion de la population de myriophylle à épis et éviter l'introduction de plantes exotiques envahissantes (interdiction des embarcations venant de l'extérieur du lac, inspection des embarcations, sensibilisation, etc.) ;
- Mettre en place un plan de gestion des usages du lac ;
- Améliorer notre capacité à détecter les cyanotoxines dans l'eau du lac Saint-Charles, afin de déterminer avec plus de certitude la toxicité des épisodes d'efflorescences de cyanobactéries.

Acquisition de connaissances

- Réaliser une nouvelle diagnose du lac en 2027, afin de vérifier s'il y a une évolution de son état trophique, ainsi qu'une nouvelle étude sur l'intégrité écologique, dix ans après la dernière.

Sensibilisation des citoyens

- Informer les citoyens sur les bonnes pratiques d'utilisation d'une installation septique, et favoriser leur remplacement, leur suivi et leur entretien ;
- Sensibiliser la population aux espèces envahissantes pour limiter leur expansion ;
- Informer les citoyens quant à l'importance de limiter au maximum l'épandage de sels de déglçage sur les chemins, allées et cours privés ; suggérer l'utilisation de produits alternatifs moins nocifs pour le lac et l'environnement ;
- Encourager les riverains à rejoindre l'Association des riverains du lac Saint-Charles (ARLSC).

8 Références bibliographiques

- Agiro (2020) *Intégrité écologique du lac Saint-Charles et des milieux hydriques qui y sont connectés – 2017*. Québec, 418 pages.
- Agiro (2024a) *Diagnose du lac Saint-Charles – 2022. Annexe 1 : Méthodologie*. Québec, 31 pages
- Agiro (2024b) *Diagnose du lac Saint-Charles – 2022. Annexe 2 : Méthodes analytiques du laboratoire de la Ville de Québec*. Québec, 6 pages.
- Agiro (2024c) *Diagnose du lac Saint-Charles – 2022. Annexe 3 : Résultats supplémentaires*. Québec, 59 pages.
- Agiro (2023a) *Diagnose du lac Clément – 2022*. Québec, 56 pages.
- Agiro (2023b) *Rapport d'enquête sur les sources de contamination et l'érosion du bassin versant de la rivière des Hurons*. Rapport présenté à la Municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury et à la Ville de Québec, Québec, 106 pages + annexes.
- Agiro (2023c) *Suivi des rivières du bassin versant de la rivière Saint-Charles – Campagne 2021*. Québec, 155 pages.
- Alain, J. (1981) *Projet assainissement : diagnose du lac Saint-Charles*. Direction générale des inventaires et de la recherche, ministère de l'Environnement du Québec, Québec, 25 pages.
- APEL (2009) *Étude limnologique du haut-bassin de la rivière Saint-Charles, rapport final*. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 354 pages.
- APEL (2014) *Diagnose du lac Saint-Charles – 2012*. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 519 pages.
- APEL (2015) *Calcul de la charge en phosphore transportée par la rivière des Hurons*. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 84 pages.
- APEL (2019) *Diagnose du lac Saint-Charles – 2016*. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 377 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.
- Behmel, S. (2018) *Intelligent decision support system to optimize, manage and plan water quality monitoring programs based on a participative approach*. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 267 pages.
- Belzile, L. (1987) *Évaluation de la cote trophique du lac Saint-Charles, près de Québec*. Schooner et Associés Inc., Québec, 12 pages.
- Bolduc, A. M., Paradis, S. J., Parent, M., Michaud, Y. et Cloutier, M. (2003) *Géologie des formations superficielles, Québec, Québec*. Commission géologique du Canada, dossier public 3835, échelle 1/50 000 (version révisée).

- Carpenter, S. R. (1980) *The decline of Myriophyllum spicatum in a eutrophic Wisconsin lake*. Canadian Journal of Botany, 58(5): 527–535.
- COBALI (2016) *Frayères à préserver ! Guide pratique pour amateurs de poissons*. Comité du bassin versant de la rivière du Lièvre, Mont-Laurier, 24 pages.
- Dupont, J. (2004) *La problématique des lacs acides au Québec*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq no ENV/2004/0151, collection no QE/145, Québec, 18 pages.
- Erratt, K. J., Creed, I. F., Lobb, D. A., Smol, J. P., et Trick, C. G. (2023) *Climate change amplifies the risk of potentially toxic cyanobacteria*. Global Change Biology, 29: 5240–5249.
- Francoeur, L.-G. (2006) *71 lacs contaminés au Québec*. Publié dans Le Devoir, 17 octobre 2006.
- Gérardin, Y. et Lachance, Y. (1997) *Vers une gestion intégrée des bassins versants. Atlas du cadre écologique de référence du bassin versant de la rivière Saint-Charles, Québec, Canada*. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec - Ministère de l'Environnement du Canada, 58 pages.
- Hasler, A. D. et Jones E. (1949) *Demonstration of the antagonistic action of large aquatic plants on algae and rotifers*. Ecology, 30: 359–364.
- Health Canada (2022) *Guidelines for Canadian recreational water quality – cyanobacteria and their toxins*. Santé Canada, Ottawa, 71 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.
- Jakubowska, N. et Szeląg-Wasielewska, E. (2015) *Toxic picoplanktonic cyanobacteria – review*. Marine Drugs, 13:1497–1518.
- Kurashov, E., Krylova, J. et Protopopova, E. (2021) *The use of allelochemicals of aquatic macrophytes to suppress the development of cyanobacterial “blooms”*. Publié dans P. Leonel et G. Ana Marta [éditeurs], *Plankton Communities*. IntechOpen, Rijeka, Croatie.
- Légaré, S. (1998) *Étude limnologique du lac Saint-Charles*. Rapport GREPAUL 98-238, Université Laval, Sainte-Foy, 106 pages.
- Magnuson, J. J., Webster, K. E., Assel, R. A., Bowser, C. J., Dillon, P. J., Eaton, J. G., Evans, H. E., Fee, E. J., Hall, R. I., Mortsch, L. R., Schindler, D. W. et Quinn, F. H. (1997) *Potential effects of climate changes on aquatic systems: Laurentian Great Lakes and Precambrian shield region*. Hydrological Processes, 11: 825–871.
- MDDEP et MAMROT (2009) *Guide de gestion des eaux pluviales*. Québec, 386 pages.
- MELCCFP (2013) *Catégories de fleurs d'eau d'algues bleu-vert*. Québec, 2 pages.
- MELCCFP (2022a) *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

- MELCCFP (2022b) *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 (2022c) *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>
- Mohamed, Z. A. (2017) *Macrophytes-Cyanobacteria allelopathic interactions and their implications for water resources management—a review*. *Limnologica*, 63: 122–132.
- RAPPEL (2023) *Espèces exotiques envahissantes*. [En ligne] Consulté en septembre 2023. <https://rappel.qc.ca/fiches-informatives/especes-exotiques-envahissantes/>
- Schwoerbel, J. et Brendelberger, H. (2005) *Einführung in die Limnologie*. Elsevier Spektrum Akademischer Verlag (éd.), 9^{ème} édition, Munich, 252 pages.
- Tremblay, R., Légaré, S., Pienitz, R., Vincent, W. F. et Hall, R. I. (2001) *Étude paléolimnologique de l'histoire trophique du lac Saint-Charles, réservoir d'eau potable de la Communauté Urbaine de Québec*. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 14 (4): 489–510.
- Ville de Québec (2023a) *Bassins versants et sources d'eau potable*. [En ligne] Consulté en août 2023. <https://www.ville.quebec.qc.ca/citoyens/environnement/eau/protection-cours-deau/bassins-versants-et-sources-deau-potable/>
- Ville de Québec (2023b) *Synthèse des actions pour la protection du lac Saint-Charles et de la prise d'eau – Bilan 2022*. Service de la planification de l'aménagement et de l'environnement, Division du développement durable, Québec, 27 pages + annexes.
- Wetzel, R. G. (2001) *Limnology - Lake and river ecosystems*. Academic Press (ed.), 3^{ème} édition, Londres, 1006 pages.