DIAGNOSE DU LAC BEAUPORT

Rapport final | Juillet 2020

Préparé pour la Ville de Québec
Par Agiro

AGIRO
initiatives et actions en environnement

Équipe de réalisation

Rédaction et analyse

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

Alexandre Bérubé Tellier, biologiste, B. Sc. A. et LL. B., chargé de projets en limnologie

Sonja Behmel, Ph.D. ATDR, géographe, M. Sc., coordonnatrice scientifique

Échantillonnage et travaux de terrain

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

Alexandre Bérubé-Tellier, biologiste, B. Sc. A. et LL. B., chargé de projets en limnologie

Paul Massé, stagiaire en écogestion des milieux côtiers

Philippe Gosselin, agent de sensibilisation et de végétalisation

Cartographie

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

Révision

Sonja Behmel, Ph.D. ATDR, géographe, M.Sc., coordonnatrice scientifique

Mélanie Deslongchamps, directrice générale

Caroline Simard, B.A., agente de liaison et communication

Anne-Marie Cantin, M.Env., conseillère en environnement, Ville de Québec

Référence à citer

Agiro (2020) Diagnose lac Beauport– 2018, Québec, 44 pages plus annexes.

Description de la photo en page couverture

Vue aérienne du lac Beauport, Mélanie Deslongchamps, 2017.

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 confidentiel et 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.

Table des matières

1 Introduction ... 1
2 Description du lac et de son bassin versant ... 2
3 Méthodologie ... 5
3.1 Caractérisation de la qualité de l'eau du lac Beauport et de ses tributaires ... 5
3.2 Caractérisation de la chaîne alimentaire du lac ... 6
3.2.1 Herbiers aquatiques ... 6
3.2.2 Phytoplancton ... 8
3.2.3 Zooplancton ... 8
3.2.4 Poissons ... 8
3.2.5 Caractérisation des assemblages de diatomées dans les tributaires ... 10
3.3 Caractérisation des rives ... 11
3.4 Analyses des données de l'eau du lac Beauport ... 11
3.5 Analyses de l'eau des tributaires et de l'exutoire du lac Beauport ... 13
3.6 Analyse des données de la chaîne alimentaire ... 14
3.6.1 Herbiers aquatiques ... 15
3.6.2 Phytoplancton ... 15
3.6.3 Zooplancton ... 15
3.6.4 Poissons ... 15
3.6.5 Analyse des assemblages de diatomées dans les tributaires et l'exutoire du lac Beauport 16
3.7 Analyse des bandes riveraines ... 16
4 Résultats ... 17
4.1 Conditions météorologiques ... 17
4.2 Résultats de la qualité de l'eau du lac Beauport ... 18
4.2.1 Résultat des paramètres physico-chimiques de l'eau ... 18
4.2.1.1 Température et oxygène dissous ... 18
4.2.1.2 Transparence ... 20
4.2.1.3 Conductivité spécifique et ions chlorure ... 20
4.2.1.4 pH ... 21
4.2.1.5 Phosphore total et azote total ... 21
4.2.1.6 Chlorophylle a. ... 22
4.3 Analyse de la chaine alimentaire ... 23
4.3.1 Analyse des herbiers aquatiques ... 23
4.3.1.1 Recouvrement ... 23
4.3.1.2 Richesse spécifique ... 25
4.3.1.3 Dominance des espèces ... 26
4.3.2 Analyse de la communauté de phytoplancton ... 26
4.3.3 Analyse de la communauté de zooplancton ... 28
4.3.4 Analyse de la communauté de poissons ... 29
4.3.4.1 Historique des diagnoses ichtyologiques du lac ... 29
4.4 Évaluation de l'état trophique ... 30
4.5 Analyse de la qualité de l'eau des tributaires et l'exutoire du lac Beauport ... 32
4.5.1 Résultats des paramètres physico-chimiques ... 32
4.5.1.1 Conductivité spécifique ... 32
4.5.1.2 Diatomées ... 33

4.5.2 Observations des poissons aux tributaires 33
4.6 Analyse de la bande riveraine 33
5 Conclusion et recommandations 35
5.1 Conclusion 35
5.2 Recommandations 35
6 Références bibliographiques 36
7 Annexes 38

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du lac Beauport 3
Figure 2 : Occupation du sol du bassin versant du lac Beauport en 2018 4
Figure 3 : Emplacement des stations d'échantillonnage au lac Beauport 6
Figure 4 : Protocole d'observation des herbiers aquatiques. 7
Figure 5 : Caractérisation des herbiers aquatiques du lac Beauport à l'aide d'un aquascope, d'une tablette et de fiches d'identification 7
Figure 6 : Engins de pêche utilisés : filet verveux (à gauche) et bourolle (à droite) 8
Figure 7 : Exemple des installations d'un filet verveux 9
Figure 8 : Localisation des stations pour les deux engins de pêche 9
Figure 9 : Technique d'échantillonnage des diatomées 10
Figure 10 : Températures moyennes mensuelles (en °C) mesurées par Environnement Canada à l'aéroport Jean-Lesage en 2018 en comparaison avec les normales mensuelles entre 1998 et 2017 17
Figure 11 : Précipitations totales mensuelles (en mm) mesurées par Environnement Canada à la station de Beauport en 2018 en comparaison avec les normales mensuelles entre 2000 et 2017. 18
Figure 12 : Profil de la température (°C) et d'oxygène dissous à la station BQ04 au lac Beauport en 2018. 19
Figure 13 : Profil de la température (°C) et d'oxygène dissous à la station BQ04 au lac Beauport en 2018 19
Figure 14 : Profils de conductivité et des mesures d'ions chlorure à la station BQ04 au lac Beauport en 2018. 20
Figure 15 : Profils de pH mesuré à la station BQ04 au lac Beauport en 2018. 21
Figure 16 : Données d'azote total, phosphore total et azote ammoniacal à la station BQ04 au lac Beauport en 2018. 22
Figure 17 : Données de chlorophylle a à la station BQ04 au lac Beauport en 2018 22
Figure 18 : Recouvrement des herbiers aquatiques au lac Beauport en 2018 23
Figure 19 : (1) Comparaison des herbiers aquatiques de 2013 et 2018; (2) Pourcentage de recouvrement des herbiers aquatiques au lac Beauport en 2018; (3)Étendue des herbiers de l'espèce dominante les algues Chara et Nitella. 24
Figure 20: Densité des groupes algaux observés à la station BQ04 au lac Beauport en 2018 27
Figure 21 : Distribution des genres de cyanobactéries présentes à la station BQ04 au lac Beauport en 2018. 28
Figure 22 : Densité des principaux groupes de zooplancton observés à la station BQ04 au lac Beauport en 2018 29
Figure 23 : Résumé des différents indicateurs selon leur état trophique. 31
Figure 24 : Les résultats de conductivité et d'ions chlorure des affluents (DLB01, DLB02 et DLB03) et l'exutoire (E25) du lac Beauport en 2018 32
Figure 25 : Corrélation entre les ions chlorure et la conductivité pour les stations des affluents et de l'exutoire du lac Beauport en 2018 33
Figure 26: Répartition des classes d'IQBR. 34
Figure 27 : Répartition des zones homogènes des bandes riveraines au lac Beauport et de leur IQBR respectif en 2018. 34

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques du lac Beauport 2
Tableau 2 : Évolution de l'occupation du sol depuis 2008 3
Tableau 3 : Paramètres mesurés avec la sonde EXO 2 et paramètres dosés au laboratoire de la Ville de Québec pour le lac Beauport en 2018. 5
Tableau 4 : Indicateurs de l'état trophique utilisés pour l'analyse des données physico-chimiques et biologiques (Chl a) 12
Tableau 5 : Classes de qualité pour chaque paramètre entrant dans le calcul de l'IQBP 13
Tableau 6 : Classes de la conductivité spécifique proposées par Agiro et utilisées à titre indicatif. 14
Tableau 7 : Paramètres étudiés dans l'eau du lac Beauport selon le classement des niveaux d'eutrophisation 14
Tableau 8 : Classes de couleur et intégrité biologique associées aux valeurs de l'IDEC neutre 16
Tableau 9 : Classes de salinité proposées 16
Tableau 10 : Classification de l'IQBR 17
Tableau 11: Pluviométrie recensée lors des journées d'échantillonnage 18
Tableau 12 : Transparence de l'eau mesurée à la station BQ04 au lac Beauport en 2018. 20
Tableau 13 : Superficie totale colonisable et pourcentage de recouvrement des herbiers au lac Beauport en 2018 23
Tableau 14 : Les espèces observées au lac Beauport en 2013 et en 2018 25
Tableau 15 : Valeurs de l'Indice planctonique enregistrées à la station BQ04 du lac Beauport en 2018 .. 26
Tableau 16. Sommaire des captures réalisées au lac Beauport entre le 23 au 25 juillet 2018 selon la CPUE et la BPUE des engins de pêche utilisés. 29
Tableau 17 : Présentation des poissons capturés au lac Beauport en 2018 selon les classes de taille utilisées dans l'étude de 2006 30
Tableau 18: IDEC pour chaque station 33
Tableau 19 : Description, localisation, profondeur et heure de pêche des filets verveux utilisés sur le lac Beauport. 38
Tableau 20 : Localisation, profondeur et heure de pêche des bourolles utilisées sur le lac Beauport. 39
Tableau 21 : Coefficients de qualité des différents groupes taxonomiques(Qi) 40
Tableau 22 : Coefficients de qualité des différents groupes taxonomiques 40
Tableau 23 : Correspondance entre l'Indice Planctonique et le niveau trophique 40
Tableau 24 : Valeurs associées à l'abondance de chacun des taxons et à la chlorophylle a pour le calcul de l'index du phytoplancton 41
Tableau 25 : Indices biotiques et leur relation avec l'eutrophisation, accompagnés des valeurs moyennes, minimales et maximales enregistrées dans des lacs du Parc du Mont-Tremblant 42
Tableau 26 : Détermination du facteur de pondération pour chaque composante des bandes riveraines (MDDELCC, 2018b). 43

1 Introduction

Dans le cadre du programme de suivi de la qualité de l'eau du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles, instauré depuis 2010 en collaboration avec la Ville de Québec, Agiro (anciennement l'APEL) effectue les diagnoses des lacs du bassin versant. À l'exception des lacs Saint-Charles et Clément, les diagnoses sont effectuées aux cinq ans.

Parmi les lacs étudiés dans le bassin versant de la rivière Saint-Charles se trouve le lac Beauport. Ce lac est particulièrement connu pour les promenades en embarcations motorisées et la pratique de diverses activités nautiques, telles que le ski nautique, la planche nautique, le canot, la baignade et la pêche. Au fil des années, les pressions anthropiques sur le lac et son bassin versant se sont accentuées, notamment par le développement résidentiel et la pratique d'activités nautiques effectuées à l'aide d'embarcations motorisées.

La dernière diagnose réalisée par l'APEL en 2013 a amené aux constats suivants (APEL, 2014a):

- À la suite des analyses des données de qualité d'eau du lac Beauport en 2013, selon les critères du MDDEFP, l'état trophique du lac pouvait être qualifié d'oligo-mésotrophe avec une tendance d'avancement de l'état trophique;
- La valeur moyenne de l'azote total (NT) du lac était de 0,53 mg/l, classant le lac dans un état mésotrophe;
- La valeur moyenne du phosphore total (PT) du lac était de 8,02 µg/l, classant le lac dans un état oligo-mésotrophe;
- La moyenne de transparence de l'eau du lac était de 5,9 mètres indiquant un état oligo-mésotrophe;
- Un accroissement majeur de la densité et de la surface couverte par des herbiers aquatiques a été observé par rapport à l'étendue répertoriée dans l'étude de Bolduc (2000), suggérant un état mésotrophe;
- Les valeurs élevées de phycocyanine (UFR de 0,7), le nombre de cellules mesurées (moyenne de 71 436 cell/ml) par la sonde YSI 6600-V2, la couleur verte de l'eau et les observations des cellules de cyanobactéries au microscope, notamment de Cyanodictyon sp., suggèrent une importante concentration en cyanobactéries durant la période estivale;
- La conductivité de l'eau du lac se situait entre 252 µS/cm et 309 µS/cm, suggérant la présence d'ions chlorure en provenance de l'entretien hivernal des routes;
- Au total, 57 % des bandes riveraines ne remplissaient pas une fonction écologique adéquate pour la protection du lac.

Cinq en plus tard, soit en 2018, le lac Beauport a été étudié dans l'objectif de comparer son état avec les résultats de 2013. En 2018, des paramètres supplémentaires ont été introduits afin d'évaluer intégrité écologique[1] du lac. L'eutrophisation[2], la chaîne trophique[3], ainsi que le degré de dégradation[4] ont donc été examinés afin de mettre en relief les problématiques environnementales détectées en vue de formuler des recommandations.

[1] Correspond à l'état d'un écosystème en termes de composition des espèces, de structure des populations et de fonctionnement des processus naturels, en comparaison avec un écosystème inaltéré de sa région naturelle.
[2] Processus d'enrichissement graduel d'un lac en matières nutritives (qualité de l'eau en termes de concentrations en nutriments, de productivité biologique primaire et de prolifération des plantes aquatiques et d'algues).
[3] Portrait de la chaîne alimentaire aquatique à partir de la productivité primaire, soit des algues jusqu'aux poissons.
[4] Diminution progressive de la qualité de l'eau qui a un impact sur l'intégrité écologique et les conditions physiques d'un lac, mais qui n'est pas associée aux concentrations en éléments nutritifs comme les sels de voirie.

Plus spécifiquement, cette étude visait à :

- Caractériser la dynamique spatiotemporelle des variables physico-chimiques clés de l'eau du lac;
- Caractériser les herbiers aquatiques et effectuer une comparaison avec les résultats de 2013;
- Caractériser la communauté de phytoplancton et augmenter les connaissances acquises sur les cyanobactéries;
- Caractériser la dynamique spatiotemporelle de la communauté de zooplancton;
- Caractériser la communauté de poissons et effectuer des comparatifs historiques avec les inventaires antérieurs;
- Caractériser les bandes riveraines;
- Caractériser la dynamique spatiotemporelle des variables biologiques et physico-chimiques de l'eau des tributaires et de l'exutoire;
- Observer la présence d'omble de fontaine et d'alevins dans les tributaires et l'exutoire du lac.

Ce rapport se divise de la manière suivante :

- Description du lac et de son bassin versant;
- Méthodologie;
- Résultats;
- Conclusion et recommandations.

2 Description du lac et de son bassin versant

Le lac Beauport est situé dans la municipalité de Lac-Beauport. Une partie de son bassin versant (73 %) est situé sur le territoire de la municipalité de Lac-Beauport, alors qu'une autre (27 %) est localisée sur le territoire de la ville de Québec. Le bassin versant du Lac-Beauport fait également partie du haut-bassin versant de la rivière Saint-Charles. Son exutoire se déverse dans la rivière Jaune qui atteint à son tour la rivière Saint-Charles, en amont de la prise d'eau potable qui alimente 300 000 citoyens de la Ville de Québec (Figure 1).

Le Tableau 1 présente les caractéristiques du lac Beauport, alors que le Tableau 2 présente l'évolution de l'occupation du territoire depuis 2008. Une constante augmentation des superficies imperméables et anthropisées peut y être observée. La figure 2 illustre l'occupation du sol du bassin versant du lac Beauport en 2018.

Tableau 1 : Caractéristiques du lac Beauport.

Caractéristiques du lac Beauport	
Superficie du lac	0,849 km2
Superficie du bassin versant du lac Beauport	7,07 km2
Pourcentage occupé par le lac dans le bassin versant du lac Beauport	12 %

Tableau 2 : Évolution de l'occupation du sol du bassin versant du lac Beauport depuis 2008.

Occupation du sol du bassin versant du lac Beauport en 2008, 2013 et 2018			
Données:	2008[5]	2013[6]	2018[7]
Superficie imperméable (voies carrossables, infrastructures, sols à nu, bâtiments et piscines)	6,92 %	8,14 %	8,96 %
Superficie végétalisée (Végétation, milieux humides)	68 %	66 %	65 %
Superficie anthropisée (milieux ouverts, golfs, voies carrossables, coupe/brûlis, sols nu, bâtiments, infrastructures et piscines)	19,53 %	21,03 %	21,83 %

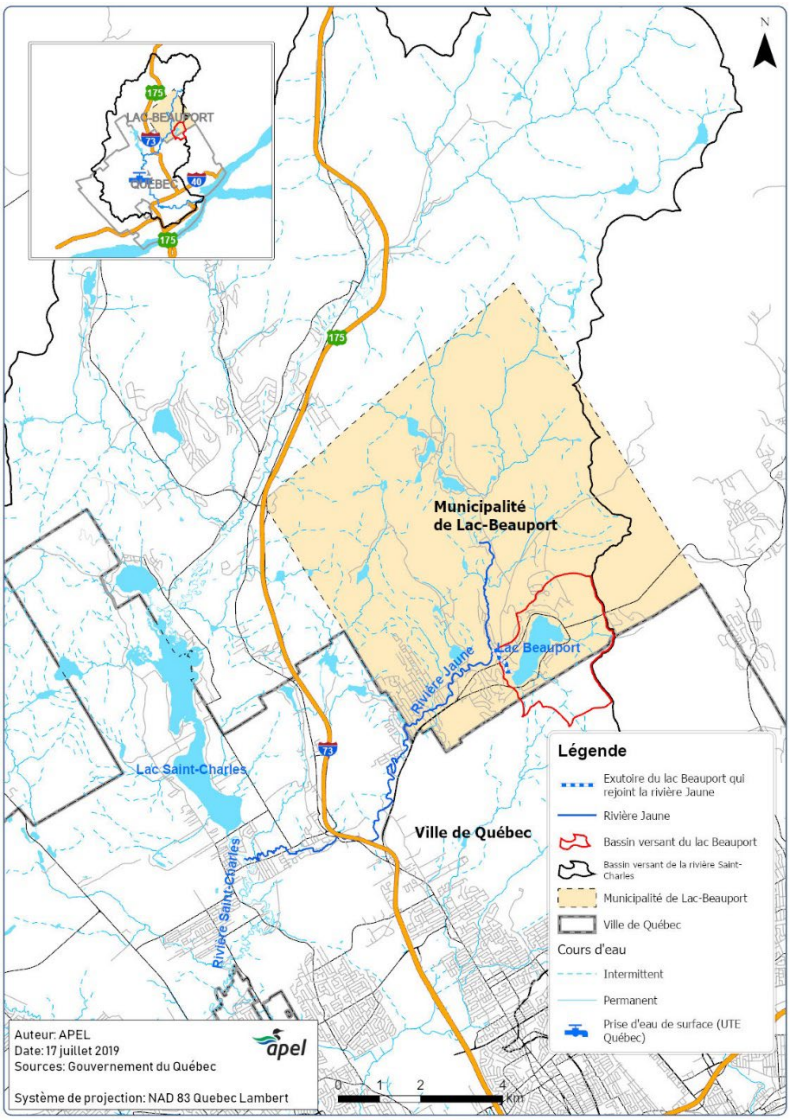


Figure 1 : Localisation du lac Beauport

[5] Données tirées des orthophotos de la CMQ de 2008
[6] Données tirées des orthophotos de la CMQ de 2013
[7] Données tirées des orthophotos de la CMQ de 2018

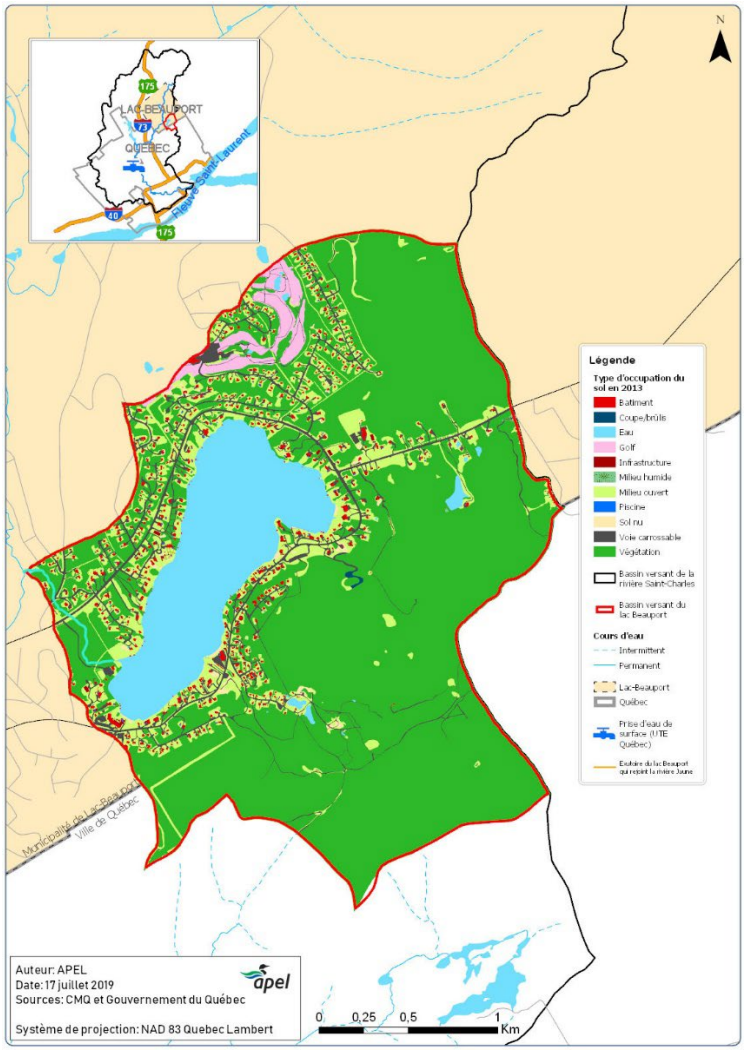


Figure 2 : Occupation du sol du bassin versant du lac Beauport en 2018.

Le lac Beauport est situé sur du roc fracturé dans le Bouclier canadien. Ballard (2004) démontre que ce type de sol entraînerait des polluants provenant des installations septiques autonomes (ISA) vers les eaux souterraines qui s'acheminent vers le lac Beauport:

> « Le socle rocheux de cette région est composé principalement de roches métamorphiques et ignées qui montrent une fracturation et une altération importante lui permettant de transmettre de l'eau en quantité suffisante pour permettre son exploitation par des puits résidentiels. En surface, on retrouve sur les flancs des montagnes des sédiments de till sableux en couvertures discontinues de moins de 2 m d'épaisseur, mais dont l'épaisseur augmente au centre de la vallée (représenté par le lac Beauport et la rivière Jaune[7]). Ce contexte hydrogéologique, 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. 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. »

[7] Partie ajoutée par l'auteur de cette étude, mais tirée du texte de référence

3 Méthodologie

3.1 Caractérisation de la qualité de l'eau du lac Beauport et de ses tributaires

Quatre campagnes d'échantillonnage ont eu lieu au lac Beauport durant la période sans glace, soit après le mélange printanier jusqu'au mélange automnal. Des contraintes liées à l'accès au lac Beauport n'ont pas permis d'effectuer la prise de mesures durant le mélange printanier.

Les échantillonnages ont été effectués au point le plus profond du lac (BQ04), aux trois tributaires du lac (DLB01, DLB02, DLB03) ainsi qu'à son exutoire (E25). Pour chacune des stations, une sonde multiparamètre (modèle EXO 2) a été utilisée et des prélèvements d'eau ont été récoltés pour être analysés au laboratoire de la Ville de Québec (les méthodes analytiques sont fournies sur demande). La transparence de l'eau du lac a été mesurée à l'aide d'un disque Secchi. Voir le Tableau 3 pour consulter les paramètres étudiés aux différentes profondeurs et la Figure 3 pour l'emplacement des stations.

Tableau 3 : Paramètres mesurés avec la sonde EXO 2 et paramètres dosés au laboratoire de la Ville de Québec pour le lac Beauport en 2018.

<table>
<tr><th>Paramètres mesurés avec la sonde multiparamètre (EXO 2)</th><th>Unité de mesure</th><th>Emplacement de la prise de mesure au lac</th><th>Emplacement de la prise de mesure dans les tributaires</th></tr>
<tr><td>Température</td><td>°C</td><td rowspan="5">Profil vertical au 0,5 mètre au point le plus profond du bassin (BQ04) (profondeur maximale du lac 14 mètres).</td><td rowspan="5">Aux stations DLB01, DLB02, DLB03 et E25</td></tr>
<tr><td>Oxygène dissous</td><td>%</td></tr>
<tr><td>pH</td><td></td></tr>
<tr><td>Turbidité</td><td>NTU</td></tr>
<tr><td>Conductivité spécifique</td><td>µS/cm</td></tr>
<tr><td>Paramètres dosés au laboratoire de la Ville de Québec</td><td>Unité de mesure</td><td rowspan="6">3 prélèvements à différentes profondeurs à la station BQ04
• À 1 mètre de profondeur (Épilimnion)
• Pic de la chlorophylle a par fluorescence (selon les lectures de la sonde) (profondeur variable) (Métalimnion)
• À 1 mètre du fond (Hypolimnion)</td><td>Emplacement du prélèvement à la station du tributaire (À l'aide d'une perche)</td></tr>
<tr><td>Azote total</td><td>mg N/l</td><td rowspan="8">1 prélèvement aux stations DLB01, DLB02, DLB03 et E25</td></tr>
<tr><td>Azote ammoniacal</td><td>µg N/l</td></tr>
<tr><td>Ions chlorure</td><td>mg/l</td></tr>
<tr><td>Phosphore total</td><td>µg P/l</td></tr>
<tr><td>Chlorophylle a</td><td>µg/l</td></tr>
<tr><td>Escherichia coli</td><td>UFC/100 ml</td><td></td></tr>
<tr><td>Matières en suspension</td><td>mg/l</td><td></td></tr>
<tr><td>Cyanobactéries</td><td>algues/ml</td><td>3 prélèvements à différentes profondeurs à la station BQ04
• En surface (Épilimnion)
• Pic de la chlorophylle a par fluorescence (selon les lectures de la sonde)
• À 1 mètre du fond (Hypolimnion)</td></tr>
</table>

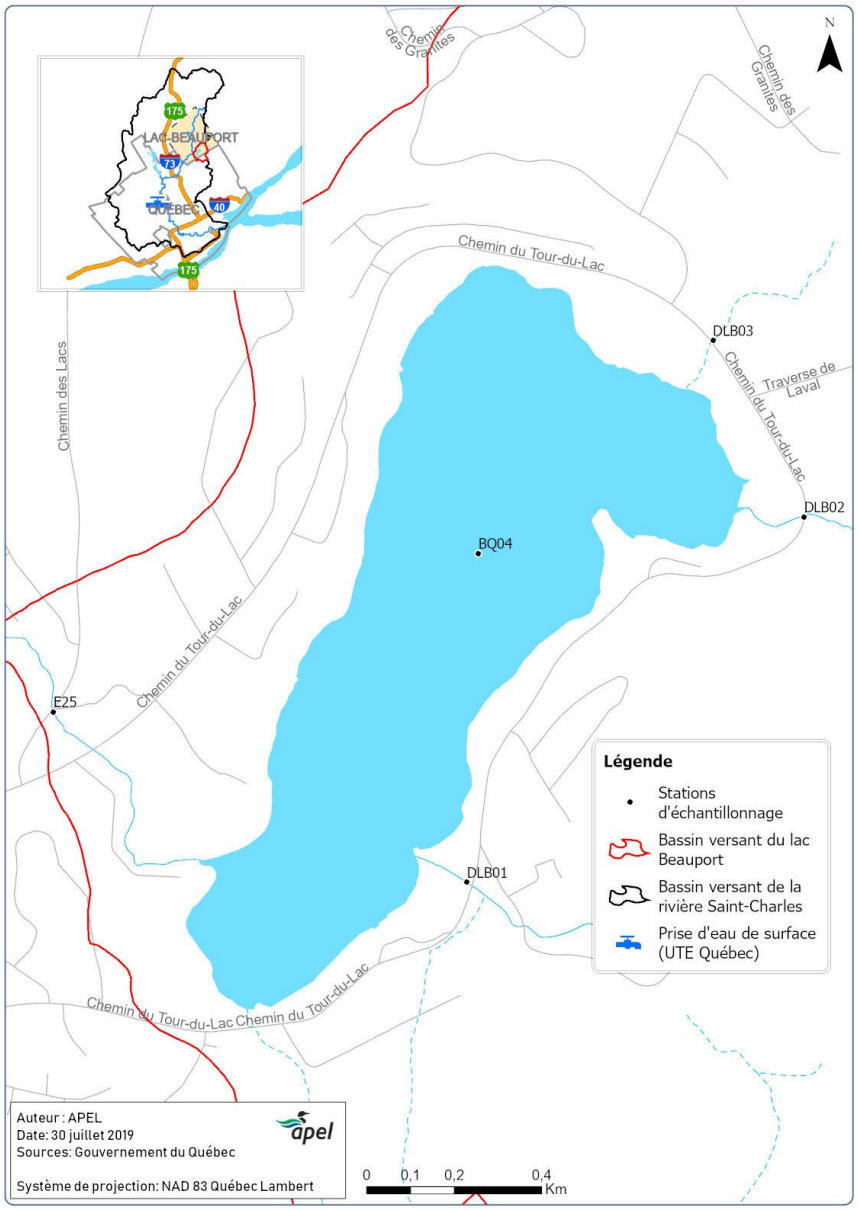


Figure 3 : Emplacement des stations d'échantillonnage au lac Beauport.

3.2 Caractérisation de la chaîne alimentaire du lac

3.2.1 Herbiers aquatiques

La caractérisation des herbiers aquatiques a été effectuée selon le protocole développé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC, 2016). L'inventaire a été réalisé à partir d'un canot et à l'aide d'un aquascope[8] selon un trajet aléatoire au

[8] L'aquascope est une lunette d'observation particulière faite à partir d'un cylindre et d'une vitre de plexiglas permettant de mieux observer, à partir d'une embarcation, le fond du plan d'eau en coupant les rayons du soleil de la surface de l'eau.

bord de la rive jusqu'au milieu du lac, jusqu'à ce que le fond du lac ne soit plus visible, aux alentours de 3 à 4 mètres de profondeur (Figure 4).

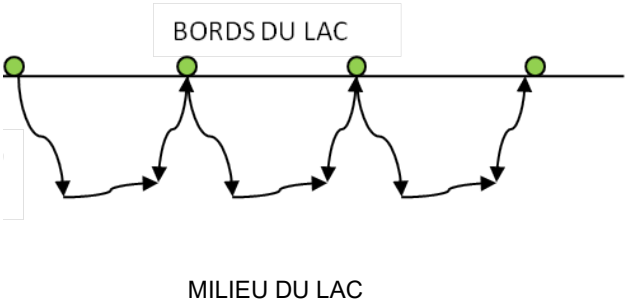


Figure 4 : Protocole d'observation des herbiers aquatiques.

L'inventaire a été effectué du 23 août au 6 septembre 2018, lorsque les herbiers aquatiques sont généralement bien développés et, pour la plupart, à leur stade de floraison, ce qui facilite l'identification.

Afin de bien localiser les herbiers, ceux-ci ont été délimités et dessinés directement sur une tablette numérique à l'aide d'images satellitaires, d'un GPS intégré à la tablette, de repères visuels comme les toits des maisons ainsi qu'un profondimètre[9] (Figure 5). Pour chaque herbier, les informations suivantes ont été récoltées : espèce, densité, étendue, pourcentage de recouvrement total et spécifique (le pourcentage de recouvrement de chacune des espèces au sein de l'herbier, la somme de tous les recouvrements spécifiques d'un herbier étant égale à 100 %), etc.

Dans le but d'atteindre une plus grande précision dans l'analyse, la limite des herbiers a été fixée à la limite du changement d'espèce dominante ou du recouvrement total. L'objectif n'était pas d'identifier toutes les petites variations dans les communautés d'herbiers aquatiques, mais bien de visualiser les grandes tendances des communautés végétales et des zones occupées par les herbiers aquatiques au lac Beauport en 2018.

Figure 5 : Caractérisation des herbiers aquatiques du lac Beauport à l'aide d'un aquascope, d'une tablette et de fiches d'identification.

[9] Profondimètre : instrument qui mesure la distance entre la surface de l'eau et le fond du lac à un endroit précis.

3.2.2 Phytoplancton

Le phytoplancton qui englobe les algues microscopiques qui font de la photosynthèse a été prélevé à deux reprises (27 juin et 21 août 2018) en même temps que les paramètres physico-chimiques à la station BQ04. Les échantillons ont été récoltés dans la zone euphotique, zone où il y a suffisamment de pénétration de la lumière pour assurer la photosynthèse. La profondeur de cette zone est déterminée en multipliant par un facteur de 2,5 la mesure de la transparence de l'eau (ONEMA, 2007). Toute la colonne d'eau (11,5 mètres) a été échantillonnée. Des prélèvements ont été effectués tous les 0,5 mètre de profondeur (100 ml d'eau) à l'aide d'une bouteille Béta horizontale afin d'obtenir un échantillon composite. Une fois complété, du Lugol (3 à 4 ml/litre d'eau) a été ajouté à l'échantillon afin d'assurer la préservation du phytoplancton jusqu'à son identification par le River Institute de Cornwall (Ontario). L'identification jusqu'au genre était prévue ainsi que l'abondance relative et la densité des différents taxons de nanoplancton (égaux ou plus grands que 4 µm). L'identification des genres de cyanobactéries a été réalisée par le laboratoire de la Ville de Québec.

3.2.3 Zooplancton

Le zooplancton qui s'alimente en phytoplancton et sert de nourriture pour certains poissons a été échantillonné à deux reprises à la station (BQ04) (27 juin et 21 août 2018). Les prélèvements ont été réalisés en suivant le Protocole pour l'échantillonnage de zooplancton du CCME (2011). L'intégralité de la colonne d'eau a été échantillonnée à partir d'un mètre du fond du lac (11,5 m) l'aide d'un filet à plancton Wisconsin muni de maillons de 80 µm. Le filet a été remonté à une vitesse constante d'environ 0,5 m/s afin d'empêcher le zooplancton nageant rapidement de s'échapper. Une solution de formaldéhyde 4 % additionné de sucre (afin d'éviter la distorsion des spécimens) a été ajoutée à l'échantillon pour assurer la préservation du zooplancton jusqu'à leur identification. Celle-ci a été réalisée par un employé d'Agiro dans les installations du laboratoire de la Ville de Québec afin d'effectuer le dénombrement des groupes taxonomiques sous binoculaire. L'identification des spécimens a été réalisée à l'aide de plusieurs ouvrages taxonomiques (Smith, 2001 ; Hudson et al., 2003 ; Witty, 2004 ; Haney et al., 2013).

3.2.4 Poissons

Pour la caractérisation des poissons, le protocole utilisé en 2018 est similaire à celui de l'étude de 2006 par Faune-Experts (Fleury, 2006). Il a été choisi en raison de l'utilisation d'engins de pêche non mortels (filets verveux et bourolles) (Figure 6), étant donné la vulnérabilité de la population d'ombles de fontaine du lac Beauport. Ce protocole permettra une meilleure comparaison avec les inventaires historiques. La caractérisation s'est déroulée à partir de l'après-midi du 23 juillet jusqu'au matin du 25 juillet 2018. À chaque station un filet verveux (Figure 7) et une ou deux bourolles ont été installés pour une diversité d'habitats. Le choix du type d'engin de pêche utilisé est le même que celui de Faune-Experts en 2006, seule la taille des filets verveux peut avoir été différente puisque non mentionnée dans l'étude de Fleury (2006). Les engins de pêche ont été prêtés par le ministère de la Forêt de la Faune et des Parcs (MFFP) et Agiro avait quelques bourolles standards.

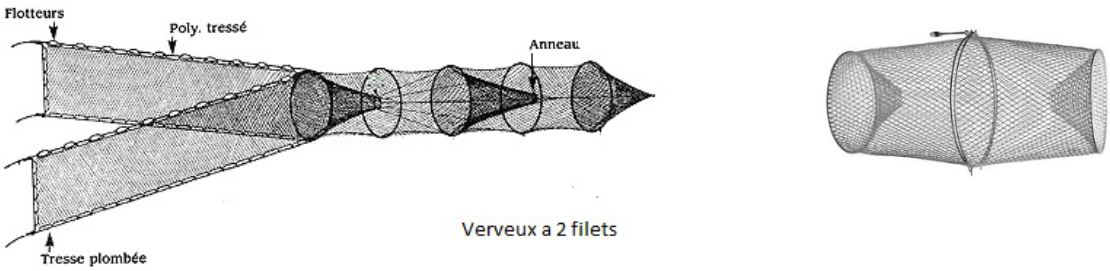


Figure 6 : Engins de pêche utilisés : filet verveux (à gauche) et bourolle (à droite).

L'emplacement des stations et l'effort de pêche ont été les mêmes que lors de la diagnose de 2006 (cinq filets verveux/nuit) (Figure 8). À la suite de la première journée de pêche ayant été peu productive en ce qui concerne les captures en bourolles, il a été décidé de maximiser l'effort de pêche qui est passé de cinq bourolles/nuit en 2006 à huit bourolles/nuit en 2018. Les différents engins de pêche utilisés ont été mouillés entre 15 h et 18 h et levés le lendemain entre 7 h 30 et 9 h 30, de telle sorte que l'effort d'échantillonnage se situe entre 15,5 et 17 heures par engin/nuit.

Figure 7 : Exemple des installations d'un filet verveux.

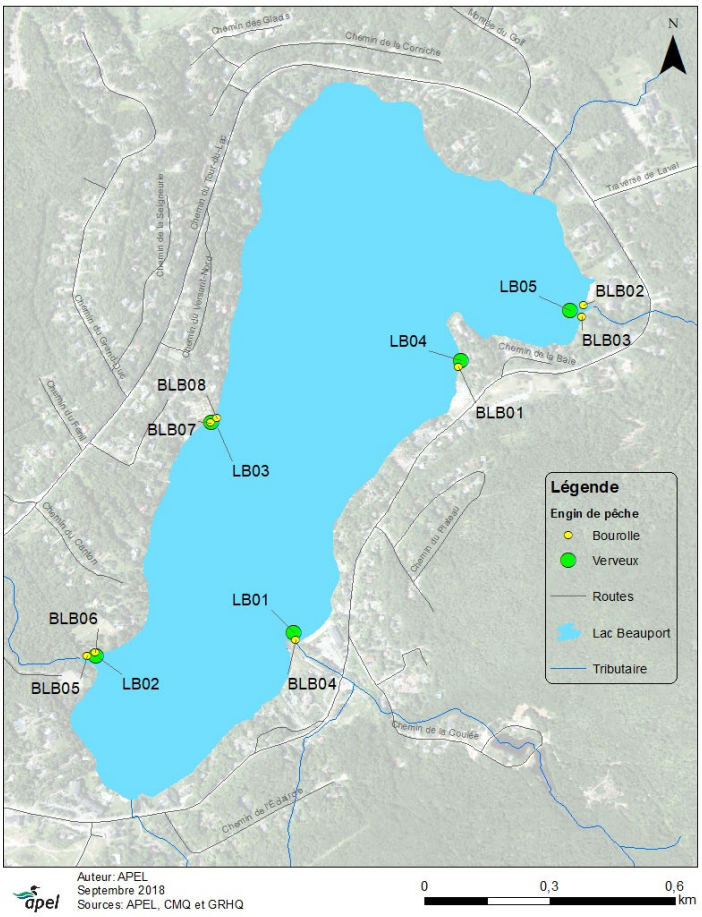


Figure 8 : Localisation des stations pour les deux engins de pêche.

3.2.5 Caractérisation des assemblages de diatomées dans les tributaires

Les diatomées, des algues unicellulaires de couleur brune qui vivent attachées au fond des cours d'eau ou bien libres dans la colonne d'eau, sont très sensibles aux variations physico-chimiques de leur milieu. L'échantillonnage des diatomées a été réalisé en suivant le Guide d'utilisation de l'Indice Diatomées de l'Est du Canada (IDEC) (Campeau et al., 2013). Un seul échantillonnage a été réalisé aux stations à l'exutoire du lac et des tributaires permanents, le tributaire intermittent étant sec au moment de l'échantillonnage. Le biofilm accumulé sur les roches a été recueilli à l'aide d'une brosse à dents (Figure 9). Un total de 5 à 10 roches par station a été récolté afin de créer un échantillon composite représentatif d'un tronçon du cours d'eau.

Une fois l'échantillon complété, du Lugol a été ajouté afin de fixer les échantillons en attendant leur traitement en laboratoire, où ils ont été digérés à l'aide d'acide nitrique, puis de peroxyde d'hydrogène afin d'obtenir uniquement les frustules (squelette externe) vides de diatomées. Celles-ci ont été identifiées au microscope. Toutes les manipulations en laboratoire et l'identification ont été réalisées par Isabelle Lavoie de INRS-ETE.

Figure 9 : Technique d'échantillonnage des diatomées.

3.3 Caractérisation des rives

La caractérisation des rives du lac Beauport a été réalisée en suivant le Protocole de caractérisation de la bande riveraine (MDDEP et CRE Laurentides, 2009). Des sections homogènes de la bande riveraine ont été identifiées selon la classe d'occupation du sol dominante sur une longueur variable et une largeur de 15 mètres à partir de la rive vers les terres. Une fois la section homogène déterminée, sa superficie occupée était divisée selon les neuf composantes suivantes:

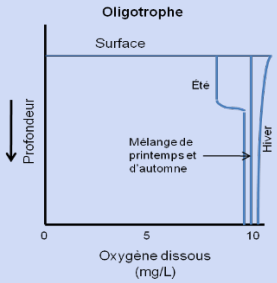
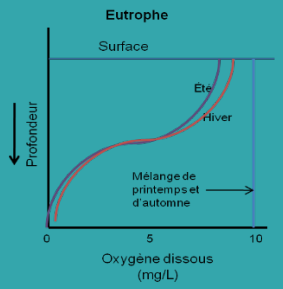
- Strate arborescente (forêt);
- Strate arbustive;
- Herbacées;
- Coupes forestières;
- Pelouse;
- Cultures;
- Sol nu;
- Socle rocheux;
- Infrastructures d'origine anthropique.

La caractérisation de la bande riveraine a été réalisée le 17 août 2018 par deux personnes à partir d'une embarcation. Les observations ont été notées sur des fiches de terrain. Les problématiques spécifiques et ponctuelles ont également été relevées.

3.4 Analyses des données de l'eau du lac Beauport

Les indicateurs utilisés afin de déterminer l'état trophique du lac Beauport pour les données physico-chimiques et pour la Chl a sont regroupés au Tableau 4.

Tableau 4 : Indicateurs de l'état trophique utilisés pour l'analyse des données physico-chimiques et biologiques (Chl a).

Indicateurs	Classes trophiques						
		Oligotrophe		Mésotrophe		Eutrophe	
				Classe secondaire (transition)			
	Ultra-oligotrophe		Oligo-mésotrophe		Méso-eutrophe		Hyper-eutrophe
Phosphore total (µg/l)	< 4	4 - 10	7 - 13	10 - 30	20 - 35	30 - 100	> 100
Azote total (µg/l)		< 350		350 - 650		651 - 1200	> 1200
Chlorophylle a (µg/l)	< 1	1 - 3	2,5 - 3,5	3 - 8	6,5 - 10	8 - 25	> 25
Transparence (m)	> 12	12 - 5	6 - 4	5 - 2,5	3 - 2	2,5 - 1	< 1
Profil de l'oxygène en été		Orthograde 				Clinograde 	
% de consommation d'oxygène dans l'hypolimnion		< 50 % Faible utilisation				> 50 % Forte utilisation (jusqu'à 0 %)	
Volume épilimnion/ l'hypolimnion		< 1				> 1	

3.5 Analyses de l'eau des tributaires et de l'exutoire du lac Beauport

L'analyse des paramètres physicochimiques prélevés dans les tributaires est basée sur l'indice de qualité bactériologique et physicochimique (IQBP) du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Cet indice évalue la qualité générale de l'eau des cours d'eau en intégrant les neuf paramètres suivants : coliformes fécaux (CF), phosphore total (PT), matières en suspension (MES), oxygène dissous, pH, chlorophylle a, turbidité, nitrites/nitrates et azote ammoniacal (Tableau 5).

À noter que le paramètre « coliformes fécaux » est désormais remplacé par le paramètre « Escherichia coli », car c'est la bactérie qui représente 80 à 90 % des coliformes fécaux détectés et qui est d'origine fécale animale ou humaine, alors que les autres genres qui composent le groupe des coliformes fécaux se retrouvent naturellement dans l'environnement (INSPQ, 2003).

Tableau 5 : Classes de qualité pour chaque paramètre entrant dans le calcul de l'IQBP.

Classes de qualité de l'IQBP	Colif. fécaux (UFC/100 ml)	Phosphore total (µg/l)	Mat. en susp. (mg/l)	Oxyg. diss. (%)	pH	Chlorophylle a (µg/l)	Turbidité (NTU)	Nitrites/nitrates (mg/l)	Azote ammon. (mg/l)
Bonne	≤ 200	≤ 30	≤ 6	88–124	6,9–8,6	≤ 5,7	≤ 2,3	≤ 0,5	≤ 0,23
Satisfaisante	200–1000	31–50	7–13	80–87 ou 125–130	6,5–6,8 ou 8,7–9,0	5,71–8,6	2,4–5,2	0,51–1,0	0,24–0,5
Douteuse	1001–2000	51–100	14–24	70–79 ou 131–140	6,2–6,4 ou 9,1–9,3	8,61–11,1	5,3–9,6	1,01–2,0	0,51–0,9
Mauvaise	2001–3500	101–200	25–41	55–69 ou 141–150	5,8–6,1 ou 9,4–9,6	11,1–13,9	9,7–18,4	2,01–5,0	0,91–1,5
Très mauvaise	> 3500	> 200	> 41	< 55 ou > 150	< 5,8 ou > 9,6	> 13,9	> 18,4	> 5,0	> 1,5

Tiré de Hébert, 1996

Les valeurs de conductivité d'un lac et d'une rivière sont généralement stables et dépendent surtout de la géologie locale, ils sont un indicateur du niveau de dégradation. Des changements notables de conductivité dans un lac et dans une rivière signifient une augmentation des apports de substances dissoutes provenant du bassin versant. De plus, une très grande conductivité peut maintenir la stratification thermique et empêcher le mélange de la colonne d'eau causé par une augmentation de la densité par la salinité (Fournier et al. 2020, sous presse).

La classification utilisée (Tableau 6) pour l'analyse de la conductivité est fournie à titre indicatif, sachant que la conductivité de l'eau pure est égale à 0 et que les lacs et cours d'eau de la région affichent une conductivité spécifique naturelle de moins de 50 µS/cm (Fournier et al. 2020, sous presse).

Tableau 6 : Classes de la conductivité spécifique proposées par Agiro et utilisées à titre indicatif.

Conductivité (µS/cm)
0–49,99
50–99,99
100–149,99
150–249,99
250–399,99
400–999,99
1000–6000

*Note : Cette classification n'est fournie qu'à titre indicatif sachant que la conductivité de l'eau pure est égale à 0.

3.6 Analyse des données de la chaîne alimentaire

Les indicateurs utilisés afin de déterminer l'état trophique et l'intégrité écologique du lac Beauport sont regroupés au Tableau 7 et à l'annexe 2.

Tableau 7 : Paramètres étudiés dans l'eau du lac Beauport selon le classement des niveaux d'eutrophisation.

Indicateur		Classes trophiques						
			Oligotrophe		Mésotrophe		Eutrophe	Hyper-eutrophe
Classe secondaire (transition)								
		Ultra-oligotrophe		Oligo-mésotrophe		Méso-eutrophe		
Herbiers aquatiques	Richesse spécifique	Très faible	Faible		Moyenne		Riche	Faible
	Densité des herbiers		Faible		Intermédiaire		Très dense	
	Diversité des espèces dominantes		Moyenne		Élevée		Faible	
Phytoplancton	(Indice Planctonique)	0 à < 15	15 à < 35		35 à < 50		50 à < 75	75 à < 100
	(Index planctonique)	Voir Annexe 2						
Zooplancton (indice du zooplancton)		Voir Annexe 2						
Poissons (Densité/biomasse)			Faible		Moyenne		Élevée	

Tiré de MDDELCC : Lampert et Sommer (1999); MDDELCC (2018a, 2018b); Pott et Remy (2000); Schwoerbel et Brendelberger (2005); ONEMA, 2007; Free et al. (2006).

3.6.1 Herbiers aquatiques

La cartographie des herbiers aquatiques a été réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS 10.5.1, d'images satellitaires et la bathymétrie du lac. Cette démarche a permis d'évaluer la superficie occupée par les plantes aquatiques, la richesse spécifique et les espèces dominantes, et ce, en utilisant également les données du relevé de terrain (section 4.3.1).

3.6.2 Phytoplancton

L'analyse du phytoplancton a été réalisée à l'aide d'indices planctoniques européens, étant donné l'absence d'indices développés spécifiquement pour les écosystèmes québécois. Ces indices ont été choisis en raison de leur application généraliste :

- Indice planctonique ;
- Index planctonique.

L'indice planctonique de diagnose rapide des plans d'eau est produit par l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) en application de la Directive Cadre sur l'Eau en Europe (Barbe et al., 2003 ; ONEMA, 2007). L'abondance relative de chaque grand groupe taxonomique est multipliée par un coefficient de qualité (Annexe 2), la somme des valeurs obtenues correspond à l'indice d'un niveau d'eutrophisation.

L'index du Phytoplancton de Free et al. (2006) développé en Irlande est basé sur l'abondance (cellules/ml) de neuf taxons associés au stade d'eutrophisation des plans d'eau et la concentration en chlorophylle a (µg l^{-1}) (Annexe 2). La valeur moyenne donne une note finale. Plus la valeur obtenue est près de zéro, plus elle indique un plan d'eau eutrophe (rouge), alors qu'une valeur se trouvant près de 1 indique un milieu oligotrophe (bleu). Il est à noter toutefois que seulement quatre des dix paramètres ont pu être utilisés pour calculer l'indice (Annexe 2).

3.6.3 Zooplancton

Comme il n'y a pas d'indice d'intégrité basé sur le zooplancton développé pour le Québec, les analyses ont été basées sur le mémoire de Chemli (2017). Les lacs de cette étude se situent dans un environnement protégé et ils reflètent les variations des conditions limnologiques de lacs oligo-mésotrophes situés sur le Bouclier canadien. Les valeurs obtenues sont donc présentées à titre comparatif tout comme le classement obtenu pour le lac Beauport. Il permet toutefois d'obtenir des valeurs de base qui rendent possible des suivis temporels et des comparaisons entre les lacs du territoire.

3.6.4 Poissons

Le traitement des poissons capturés s'est effectué sur la rive du lac, à proximité des stations. Chaque poisson capturé a été identifié à l'espèce et mesuré sur sa longueur totale (jusqu'au bout de la queue). Tous les poissons ont été remis à l'eau vivant. Les descripteurs biologiques utilisés pour ce rapport sont le nombre de spécimens capturés, le poids des spécimens, l'abondance relative des espèces capturées et leur poids total, les captures par unité d'effort (CPUE) et la biomasse par unité d'effort (BPUE).

Aucune pêche expérimentale n'a été effectuée dans les tributaires ni dans l'exutoire du lac Beauport. En revanche, des prospections à pied ont été réalisées à chacune des visites et ont permis d'identifier la présence d'omble de fontaine dans certains tributaires. La prospection n'a pas été réalisée sur l'ensemble du cours d'eau, mais seulement de l'embouchure du lac jusqu'à la station située en amont.

3.6.5 Analyse des assemblages de diatomées dans les tributaires et l'exutoire du lac Beauport

L'indice utilisé pour l'évaluation de l'intégrité biotique est l'IDEC. Cet indice est basé sur une mesure de la distance écologique entre l'assemblage de diatomées étudié et un assemblage naturel non altéré (Campeau et al., 2013). Les valeurs de l'indice les plus élevées sont attribuées aux assemblages de diatomées retrouvés dans les milieux les moins perturbés. La zone d'étude étant entièrement située sur le Bouclier canadien, c'est le sous-indice IDEC-Neutre qui a été utilisé pour les stations dans les tributaires et l'exutoire du lac Beauport (Tableau 8).

Tableau 8 : Classes de couleur et intégrité biologique associées aux valeurs de l'IDEC neutre.

Classe	Intégrité biologique	Valeurs (IDEC neutre)
A	Excellente/Bonne	71-100
B	Moyenne	46-70
C	Mauvaise	21-45
D	Très mauvaise	0-20

Un indice de salinité des cours d'eau a également été obtenu selon l'assemblage retrouvé. La classification proposée par Van Dam et al. (1994) a été utilisé et est calculé selon la proportion de diatomées dans les classes de salinité (Tableau 9).

Tableau 9 : Classes de salinité proposées.

Salinité de l'eau	Classes	Cl^- (mg/l)	Salinité (‰)
Douce	1	< 100	< 0,2
Douce à légèrement saumâtre	2	< 500	< 0,9
Moyennement saumâtre	3	500 - 1000	0,9 – 1,8
Saumâtre	4	1000 - 5000	1,8 – 9,0

Tiré de Van Dam et al. (1994)

3.7 Analyse des bandes riveraines

L'analyse est réalisée selon la méthode de l'Indice de qualité des bandes riveraines (IQBR) (Tableau 10). Le résultat obtenu est un indice de la qualité de l'intégrité écologique de la bande riveraine (MDDELCC, 2018c). Un facteur de pondération est attribué à chacune des composantes selon ses capacités à remplir les fonctions écologiques d'une bande riveraine (voir plus de détails dans l'annexe 1). La valeur de l'IQBR est obtenue selon la formule suivante :

$$\mathbf{QBR} = \frac{\sum(\%\mathrm{i} \text{ x } \mathrm{Pi})}{10}$$

IQBR = ((% forêt * 10)
+ (% arbustaie * 8,2)
+ (% herbacée naturelle * 5,8)
+ (% coupe forestière * 4,3)

Avec :
I = nième composante (ex. : forêt, arbustaie, etc.);
d_i = pourcentage du secteur couvert par la nième composante;

+ (% friche_fourrage_pâturage_pelouse * 3)
+ (% culture * 1,9)
+ (% sol nu * 1,7)
+ (% socle rocheux * 3,8)
+ (% infrastructure * 1,9))
/10

P_i = facteur de pondération de la nième composante

.La division par 10 facilite l'interprétation du facteur de pondération. L'équation est donc ramenée sur une échelle variant entre 1,7 et 10.

Tableau 10 : Classification de l'IQBR.

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

4 Résultats

4.1 Conditions météorologiques

Quelques statistiques météorologiques enregistrées par Environnement Canada tracent un portrait météorologique de l'année 2018 (Figure 10) en comparaison avec les données mensuelles moyennes des années antérieures (Figure 11). Les températures estivales ont connu un patron semblable aux données historiques. Par contre, les mois de juillet et août ont été plus chauds et les mois d'avril, octobre et novembre ont été plus froids. Avril et novembre sont les mois qui ont reçu plus de précipitations en 2018 par rapport aux années antérieures. Le Tableau 11 présente les précipitations lors des journées d'échantillonnage. Il présente aussi les précipitations des journées précédentes, car les pluies peuvent provoquer un important ruissellement qui peut prendre quelques jours avant de lessiver tout le bassin versant. Ce dernier peut décharger une grande quantité de sédiments qui aura un impact sur la turbidité et la transparence de l'eau. Il est à noter qu'un seul temps de pluie a été observé lors de la sortie du 30 octobre. Les sorties précédentes ont toutes été effectuées en temps sec.

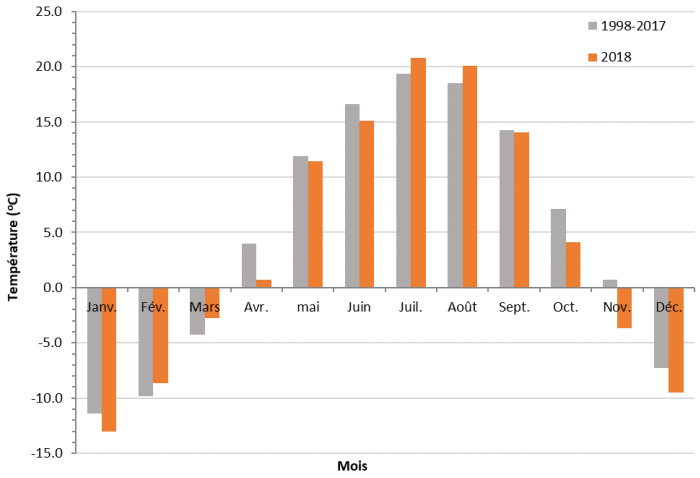


Figure 10 : Températures moyennes mensuelles (en °C) mesurées par Environnement Canada à l'aéroport Jean-Lesage en 2018 en comparaison avec les normales mensuelles entre 1998 et 2017.

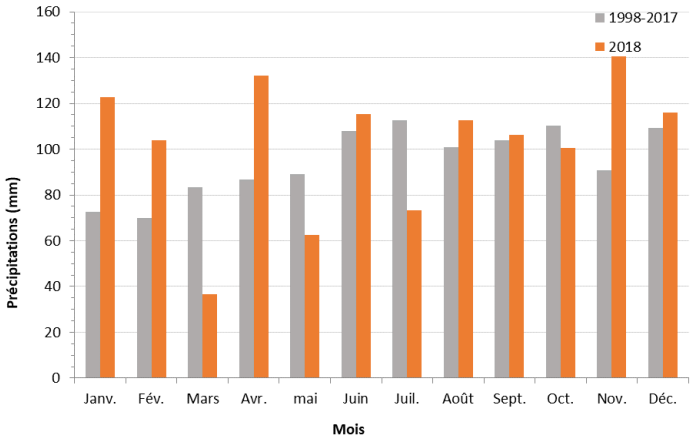


Figure 11 : Précipitations totales mensuelles (en mm) mesurées par Environnement Canada à la station de Beauport en 2018 en comparaison avec les normales mensuelles entre 2000 et 2017.

Tableau 11: Pluviométrie recensée lors des journées d'échantillonnage.

Date d'échantillonnage	Précipitations (observation terrain) (moins de 5 mm est considéré comme un temps sec)	Précipitations	
		Dans les dernières 24 h (mm)	Dans les dernières 48 h (mm)
17 mai 2018	Pas de pluie dans les 48 dernières heures : sec	1,1	0
27 juin 2018	Pas de pluie dans les 48 dernières heures : sec	1,1	2,9
21 août 2018	Pas de pluie dans les 48 dernières heures : sec	0	0
30 octobre 2018	Pluie dans les 24 à 48 dernières heures	1,5	7

4.2 Résultats de la qualité de l'eau du lac Beauport

4.2.1 Résultat des paramètres physico-chimiques de l'eau

4.2.1.1 Température et oxygène dissous

Comme le démontrent la Figure 12 et la Figure 13 les observations sont les suivantes :

- La stratification estivale était bien en place lors de la première sortie d'échantillonnage, le 17 mai 2018 (Figure 12).
- Le profil du 27 juin indique la présence d'une zone d'hypoxie[10] avec des valeurs inférieures à 2 mg/L à partir de 12,5 mètres de profondeur.
- Le profil du 21 août 2018 indique une température à la surface de l'eau autour de 23°C sur les huit premiers mètres à la surface et une zone d'anoxie[11] est présente à partir du 9e mètre avec moins de 0,5 mg/l. Ces conditions ne sont pas favorables pour les espèces de poissons sensibles, comme les ombles de fontaine (truites mouchetées) qui ont besoin d'une température inférieure à 21°C et

[10] Hypoxie : État d'un milieu naturel caractérisé par une faible concentration en oxygène, soit moins de 2 mg/L (Vincent, 2019).
[11] Anoxie : État d'un milieu naturel caractérisé par une concentration en oxygène infime ou nulle. APEL considère mois de 0,5 mg/L basé sur la littérature.

une eau bien oxygénée (MDDEFP, 2013). Des carences similaires ont été observées en 2013 lors des profils du 5 juillet et 20 août 2013 (APEL, 2014a).

- Lors de la dernière sortie d'échantillonnage, le 30 octobre, le mélange automnal était en place avec une température uniforme à 3,5°C qui a également permis la recharge en oxygène pour le lac.
- La zone de l'épilimnion est limitée autour de 7 mètres, ce qui représente un volume du lac pour l'épilimnion plus grand que le volume de l'hypolimnion.
- La consommation d'oxygène dans l'hypolimnion est supérieure à 50 % durant la période estivale, ce qui pourrait être un indicateur d'une importante activité biologique.
- Le profil clinograde de l'oxygène dissous ainsi que la forte consommation de l'oxygène dissous situent le lac dans un stade eutrophe. Or, il est à noter que la carence en oxygène est présente à partir de 7 mètres seulement. Dans les lacs eutrophes, selon d'autres indicateurs, cette carence débute à des profondeurs moins importantes.

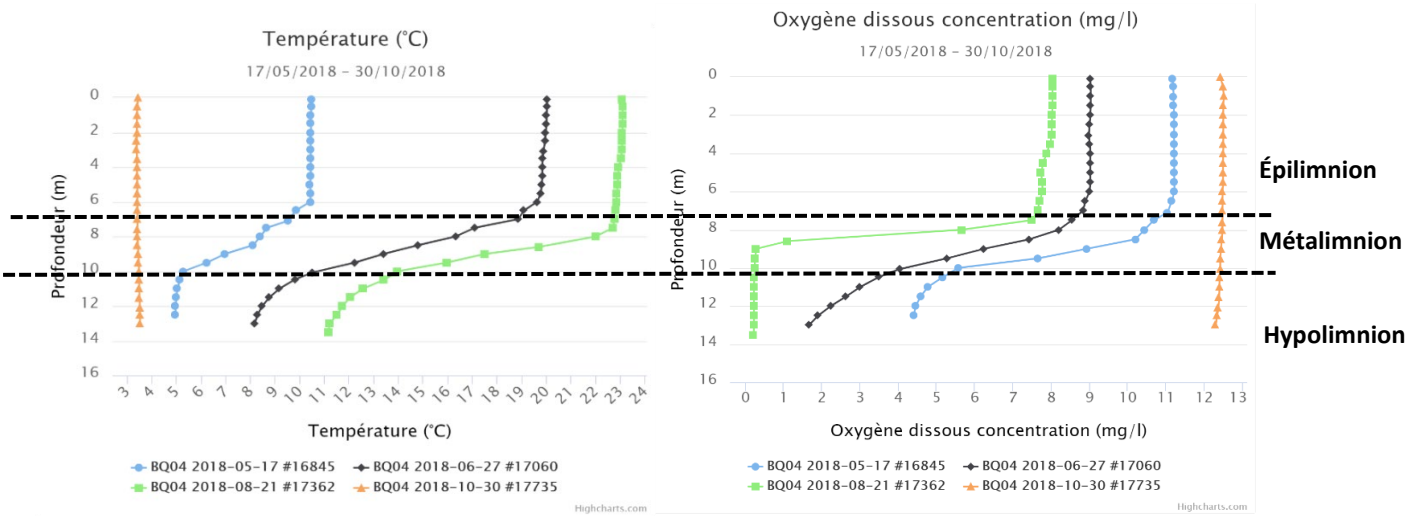


Figure 12 : Profil de la température (ºC) et d'oxygène dissous à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

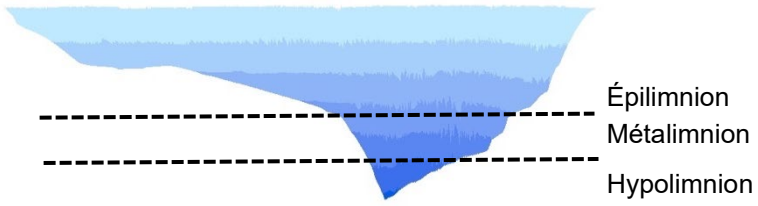


Figure 13 : Profil de la température (ºC) et d'oxygène dissous à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

4.2.1.2 Transparence

La transparence de l'eau d'un lac est affectée par la présence de matières fines ou colorées en suspension à la suite de l'érosion, de vents forts, du lessivage de sols fragiles ou dégradés. La transparence du lac Beauport est en moyenne de 5,6 mètres pour la période sans glace, ce qui le classe le lac comme oligo-mésotrophe. À titre comparatif, la moyenne était à 6 mètres en 2013 (Tableau 12).

Tableau 12 : Transparence de l'eau mesurée à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

Date	Transparence (m)	Conditions du lac
17 mai 2018	5.5	Petites vagues
27 juin 2018	7.3	Petites vagues
21 août 2018	4.8	Calme (ridules)
30 octobre 2018	4.8	Calme (ridules)
Moyenne	5.6	

4.2.1.3 Conductivité spécifique et ions chlorure

Les constats relativement à la conductivité spécifique et aux ions chlorure sont les suivants (Figure 14) :

- Une augmentation des valeurs de conductivité est observée entre 2013 à 2018. À titre comparatif, un lac de la région non influencé par les activités humaines, le lac Clair, situé dans la réserve Duchesnay, a une moyenne de conductivité sur toute la colonne d'eau de 22 µS/cm, tandis que le lac Beauport affiche des valeurs comprises entre 171 et 386 µS/cm.
- Valeurs sur toute la colonne d'eau, toutes les dates :
  - en 2013 : Médiane : 178 µS/cm; Maximum : 309 µS/cm; Minimum : 159 µS/cm
  - en 2018 : Médiane : 188 µS/cm; Maximum : 386 µS/cm; Minimum : 171 µS/cm
- Une augmentation de la conductivité est observée au fond du lac lors des trois premiers profils de la saison (Figure 14).
- Le profil du 17 mai a la plus grande valeur de conductivité enregistrée.
- Les valeurs des ions chlorure confirment que la conductivité élevée est associée aux sels de voirie.
- Les valeurs de conductivité relativement élevées liées à l'utilisation des sels de voiries sont observées depuis 1999 (Bolduc, 2000) qui se poursuit en 2006 (Fleury) et 2013 (APEL, 2014a);

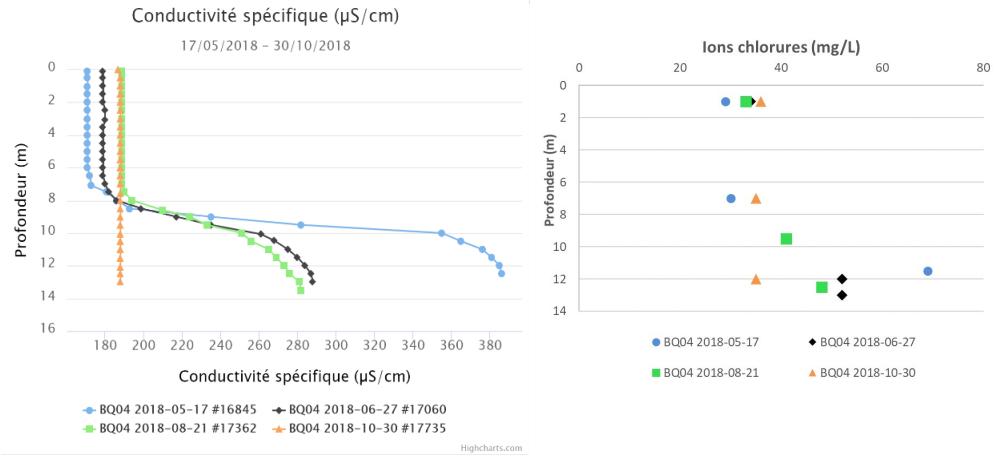


Figure 14 : Profils de conductivité et des mesures d'ions chlorure à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

4.2.1.4 pH

Les observations relativement au pH sont les suivantes :

- Les profils de pH illustrent que les valeurs de pH sont plus faibles au fond qu'en surface (Figure 15).
- Le pH plus élevé en surface peut s'expliquer par la demande en C02 des processus photosynthétiques. Le pH plus faible en profondeur peut quant à lui s'expliquer par la libération de C02 lors de la décomposition de la matière organique près du fond. Ce type de profil est caractéristique des eaux productives. Cette conclusion concorde avec la diminution de l'oxygène (Wetzel, 2001).

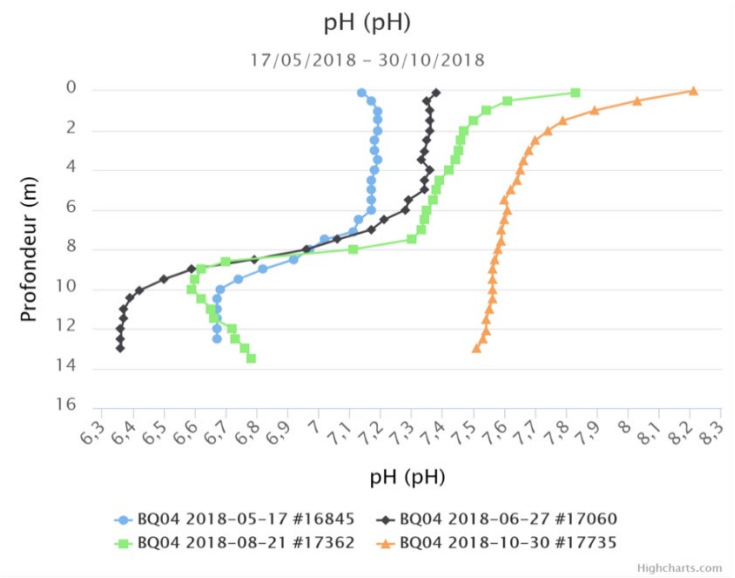


Figure 15 : Profils de pH mesuré à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

4.2.1.5 Phosphore total et azote total

La Figure 16 illustre les valeurs d'azote total et de phosphore total à différentes profondeurs aux quatre sorties d'échantillonnage. Les constats sont les suivants :

- Valeurs sur toute la colonne d'eau de l'azote total, tous les résultats confondus (à noter que les méthodes en laboratoire diffèrent entre 2013 et 2018):
  - en 2013 : Médiane : 0,640 mg N/L; Maximum : 0,820 mg N/L; Minimum : 0,565 mg N/L
  - en 2018 : Médiane : 0,355 mg N/L ; Maximum : 0,777 mg N/L; Minimum : 0,222 mg N/L
- Ces résultats situent le lac Beauport, en 2018, dans un état mésotrophe pour l'azote total.
- Valeurs sur toute la colonne d'eau, toutes les dates du phosphore total (à noter que les méthodes en laboratoire diffèrent entre 2013 et 2018) :
  - en 2013 : Médiane : 8,8 µg P /L; Maximum : 11 µg P /L; Minimum : 8 µg P /L
  - en 2018 : Médiane : 5,3 µg P /L; Maximum : 9 µg P /L; Minimum : 3,7 µg P /L
- Ces résultats situent le lac Beauport, en 2018, dans un état oligotrophe pour le phosphore total.

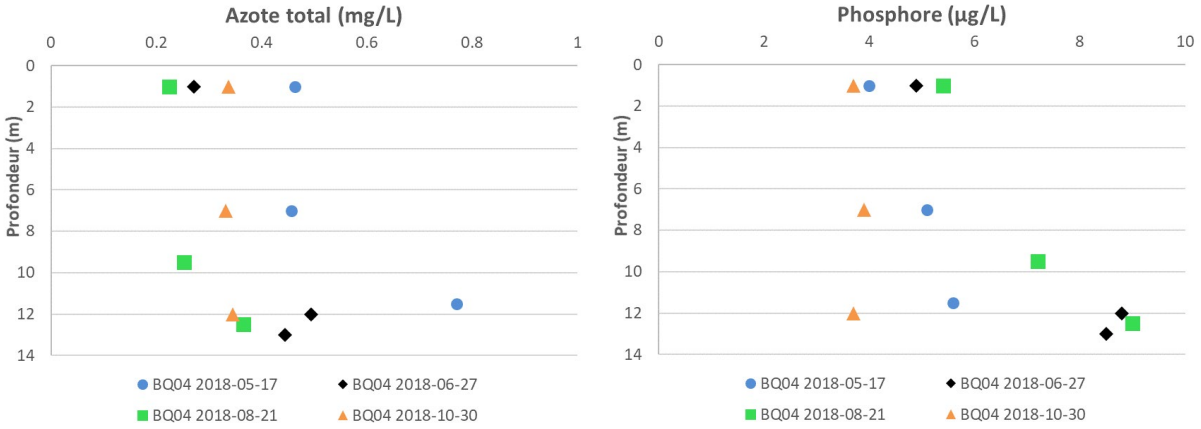


Figure 16 : Données d'azote total, phosphore total et azote ammoniacal à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

4.2.1.6 Chlorophylle a.

À noter que les données de chlorophylle a dosées en laboratoire ne sont pas disponibles pour 2013. Les résultats de chlorophylle ont de 2018 par profondeur et par date été présentées à la Figure 17. Les constats sont les suivants :

- Valeurs sur toute la colonne d'eau, toutes les dates de la chlorophylle a sont :
  - en 2018 : Médiane : 2 µg /L; Maximum :14 µg /L; Minimum : 0,8 µg /L
- Selon ces résultats, le lac Beauport se situe dans un état oligotrophe.
- Il est à noter que ces résultats semblent contradictoires avec la consommation d'oxygène et le profil pH. Or, nous recommandons fortement d'avoir un suivi plus étroit et fréquent de la chlorophylle a (dates rapprochées; multiplication des profondeurs).
- Il est également à noter que la productivité maximale était en octobre. Il est possible qu'à ce moment la compétition avec les herbiers aquatiques et le périphyton qui s'y attache soit terminée suite à la sénescence des plantes aquatiques. Compte tenu de l'augmentation du couvert des plantes aquatiques, il est également possible que la consommation estivale de l'oxygène soit reliée au périphyton qui se détache et à la décomposition partielle des herbiers aquatiques (Carignan et Kalff, 1982).

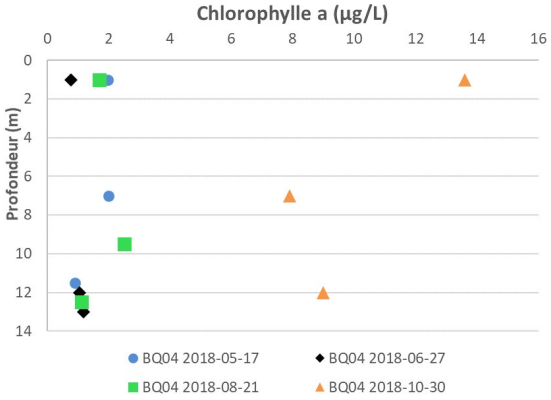


Figure 17 : Données de chlorophylle a à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

4.3 Analyse de la chaine alimentaire

4.3.1 Analyse des herbiers aquatiques

4.3.1.1 Recouvrement

Les résultats de la caractérisation des herbiers aquatiques au lac Beauport en 2018 illustrent que les herbiers aquatiques occupent 50 % du lac (Figure 18). Les herbiers colonisent les trois premiers mètres de profondeur du lac. En 2013, les herbiers aquatiques occupaient 16 % du lac (Tableau 13).

Tableau 13 : Superficie totale colonisable et pourcentage de recouvrement des herbiers au lac Beauport en 2018.

Caractéristique du lac Beauport	2013	2018
Superficie totale colonisable (ha)	85,37	85,08
Superficie recouverte par les herbiers aquatiques (ha)	13,43 (16 %)	42,88 (50 %)

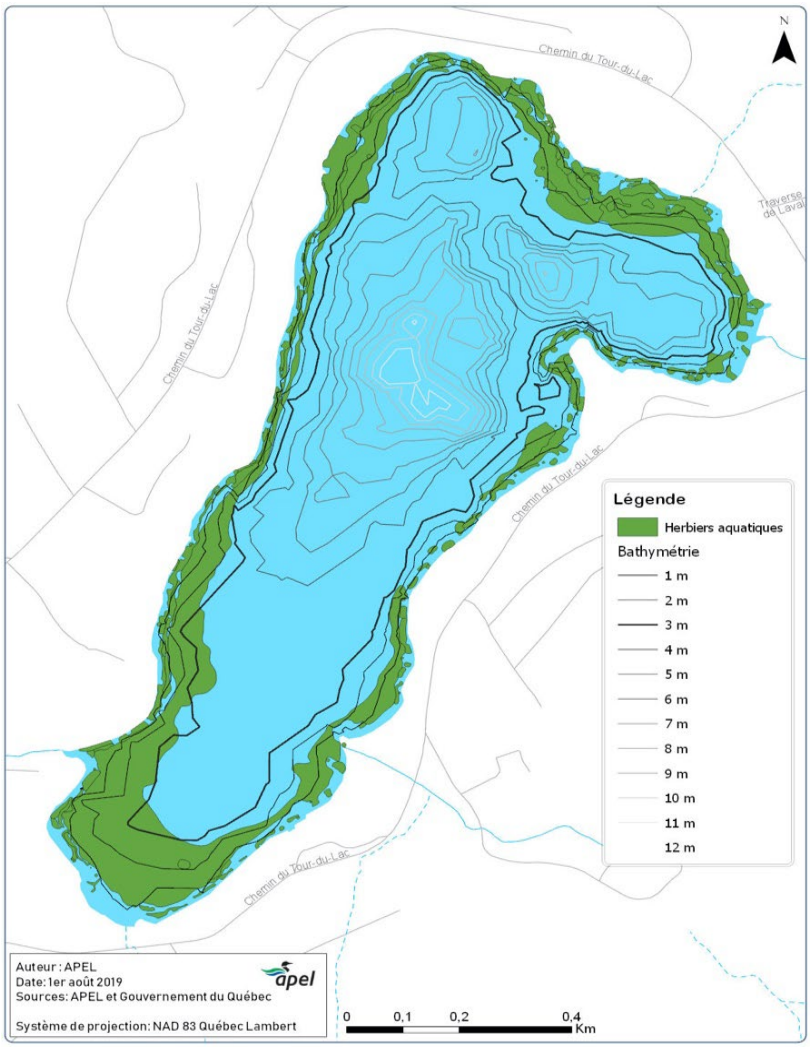


Figure 18 : Recouvrement des herbiers aquatiques au lac Beauport en 2018.

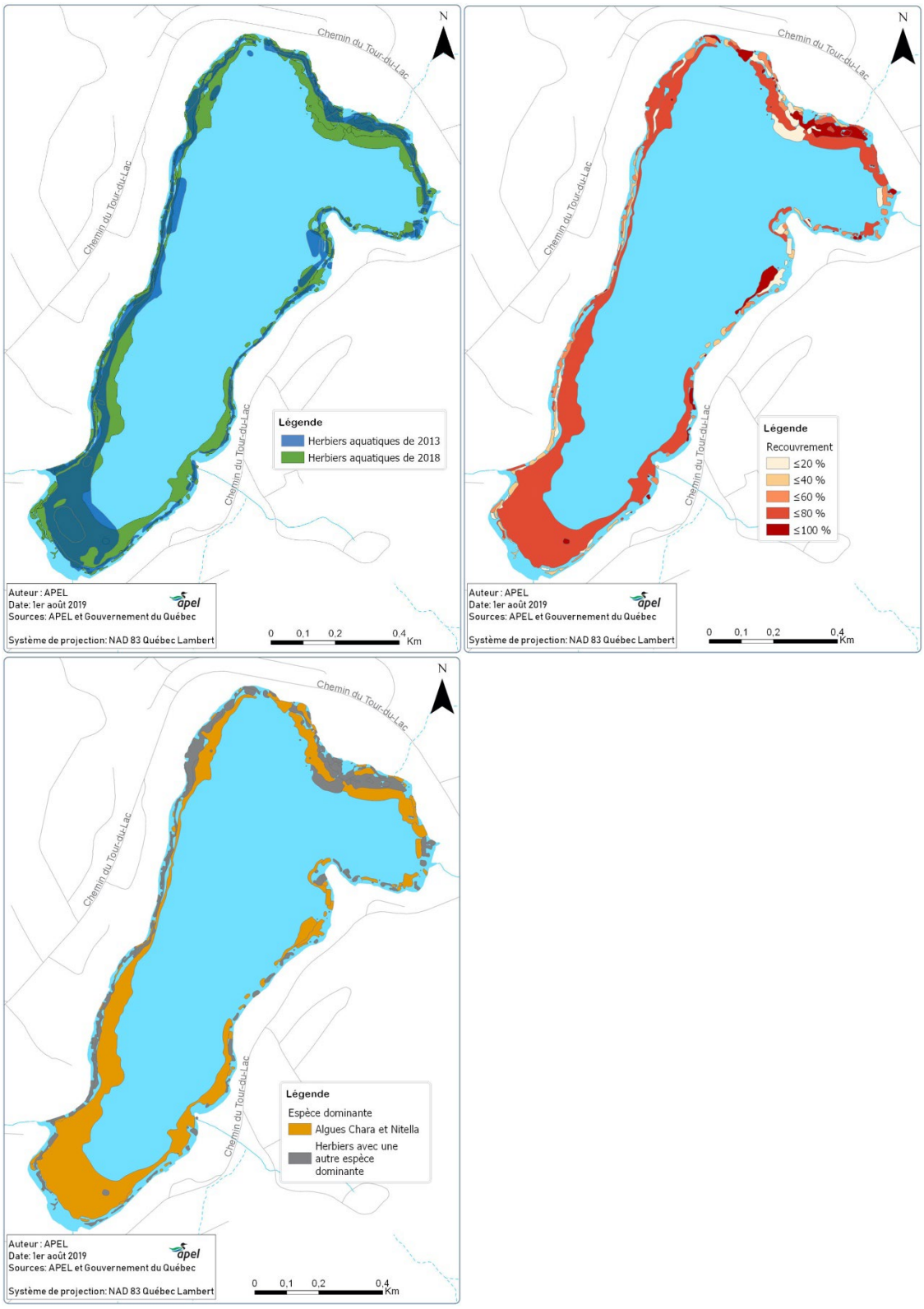


Figure 19 : (1) Comparaison des herbiers aquatiques de 2013 et 2018; (2) Pourcentage de recouvrement des herbiers aquatiques au lac Beauport en 2018; (3)Étendue des herbiers de l'espèce dominante les algues Chara et Nitella.

4.3.1.2 Richesse spécifique

En 2018, un total de 20 espèces a été observé (Tableau 14), soit une richesse spécifique qualifiée d'importante. Plus d'espèces ont été observées qu'en 2013 et aucune espèce exotique envahissante n'a été observée en 2018.

Au lac Beauport, les espèces les plus fréquemment observées sont :

- Algues Chara et Nitella (présentes dans 27 % des herbiers);
- Sagittaire graminoïde (présente dans 22 % des herbiers);
- Éléocharide aciculaire (présente dans 17 % des herbiers);
- Ériocaulon aquatique (présente dans 13 % des herbiers).

Tableau 14 : Les espèces observées au lac Beauport en 2013 et en 2018.

Nom français	Nom latin	Type	2013	2018
Algues Chara et Nitella		Algues macroscopiques		X
Callitriche des marais	Callitriche palustris	Plante aquatique - feuilles flottantes		X
Cornifle nageant	Ceratophyllum demersum	Plante aquatique - feuilles submergées	X	
Éléocharide aciculaire	Eleocharis acicularis	Herbacées		X
Éléocharide des marais	Eleocharis palustris	Herbacées		X
Ériocaulon aquatique	Eriocaulon aquaticum*	Plante aquatique - feuilles submergées	X	X
Fontinale commune	Fontinalis antipyretica	Mousse aquatique		X
Grand nénuphar jaune	Nuphar variegata	Plante aquatique - feuilles flottantes	X	X
Inconnu no.6		Plante aquatique - feuilles submergées		X
Inconnu no.8		Plante aquatique - feuilles submergées		X
Inconnu no.9		Plante aquatique - feuilles submergées		X
Isoète à spores épineuses	Isoete echinospora	Plante aquatique - feuilles submergées		X
Joncacées sp.		Herbacées		X
Litorelle d'Amérique	Littorella uniflora	Herbacées		X
Lobélie de Dortmann	Lobelia dortmanna	Plante aquatique - feuilles submergées		X
Myriophylle grêle	Myriophyllum tenellum	Plante aquatique - feuilles submergées		X
Graminée	Poaceae sp.	Herbacées	X	
Potamot amplifolius	Potamogeton amplifolius	Plante aquatique - feuilles submergées	X	X
Potamot émergé	Potamogeton epihydrus	Plante aquatique - feuilles submergées		X
Potamot nain	Potamogeton pusillus	Plante aquatique - feuilles submergées	X	
Quenouille à feuilles étroites	Typha angustifolia	Plante aquatique - feuilles émergées		X

Rubanier à feuilles étroites	Sparganium angustifolium	Plante aquatique - feuilles submergées		X
Rubanier flottant	Sparganium fluctuans	Plante aquatique - feuilles flottantes	X	
Sagittaire graminoïde	Sagittaria graminea	Plante aquatique - feuilles émergées		X

* Eriocaulon aquaticum est le nouveau nom pour l'ériocaulon septangulaire (ériocaulon septengulare) c'est donc la même espèce recensée en 2013 et 2018.

4.3.1.3 Dominance des espèces

Le groupe des algues Chara et Nitella dominent dans 80 % des herbiers recensés. Ces algues ne sont pas des plantes aquatiques à proprement parler, même si elles leur ressemblent à première vue. Ce sont des algues macroscopiques qui sont considérées dans la caractérisation des herbiers aquatiques, car elles font partie des macrophytes. Elles font de la photosynthèse tout comme les plantes, mais n'ont pas de feuilles, de tiges, de racines et de système vascularisé, c'est-à-dire de nervures (Blais, 2008). La fontinale commune n'est également pas une plante aquatique, mais plutôt une mousse qui n'a pas de système vascularisé, ce qui la différencie des plantes (Lapointe, 2014). Les algues Chara et Nitella sont deux genres d'algues qui sont regroupés, car ils sont dissociables que par microscope. On les reconnaît par une forte odeur de moufette lorsqu'ils sont à l'extérieur de l'eau.

En 2013, les algues Chara et Nitella n'avaient pas été observées et c'est plutôt la cornifle nageant qui dominait. Les deux espèces auraient pu être confondues en raison de leur forte ressemblance entre les deux espèces. Une erreur d'identification a donc pu se produire.

4.3.2 Analyse de la communauté de phytoplancton

Les résultats de la communauté de phytoplancton montrent que la communauté est dominée par les cyanophycées (cyanobactéries) en juin, alors qu'il y a plutôt une diversité d'espèces en août, vers la fin d'une saison estivale très chaude. Le Tableau 16 présente les valeurs de l'indice planctonique enregistrées à la station BQ04.

Tableau 15 : Valeurs de l'Indice planctonique enregistrées à la station BQ04 du lac Beauport en 2018.

	BQ04
27 juin	79,5
21 août	73
Moyenne	76,25

* Les couleurs sont associées à différents stades trophiques :
Ultra oligotrophe - Oligotrophe - Mésotrophe - Eutrophe - Hyper eutrophe

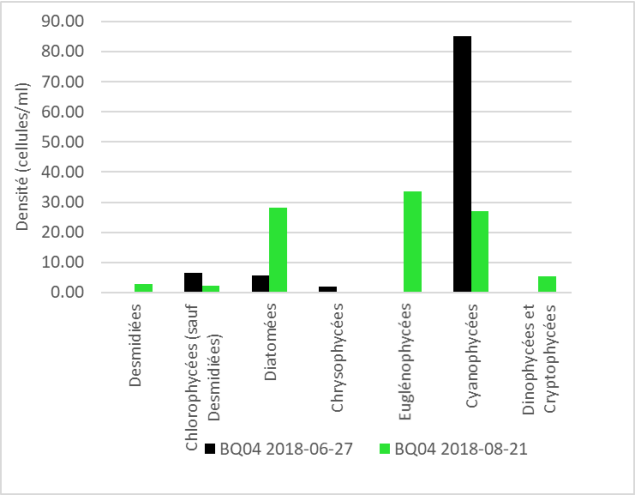


Figure 20: Densité des groupes algaux observés à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

L'indice planctonique indique que la structure de la communauté de phytoplancton est typique d'un milieu très productif, soit un milieu eutrophe à hyper-eutrophe. Ces valeurs obtenues s'expliquent par l'abondance relative élevée de groupes taxonomiques associés à des milieux fortement enrichis ou dégradés, tels que les cyanophycées (cyanobactéries) et les euglénophycées. Il est possible que ces abondances soient à l'origine de la couleur verte de l'eau du lac. Ceci a également été conclu en 2013.

Quant à l'Index planctonique, les valeurs obtenues indiquent une très faible densité des genres ciblés par l'indice. Ces résultats démontrent que le phytoplancton était relativement peu productif lors de l'échantillonnage du plancton, ce qui correspond d'ailleurs aux faibles concentrations moyennes de chlorophylle a enregistrées dans la colonne d'eau en juin (1 µg/l) et en août (2 µg/l).

L'analyse des communautés de cyanobactéries à la station BQ04 en 2018 révèle que les genres les plus observés sont les Aphanocapsa sp., Cyanodictyon sp., Aphanothece sp. et Radiocystis sp. Le genre Cyanodictyon sp. peut proliférer dans des conditions de salinité alors que les trois autres genres se retrouvent normalement dans les eaux de surface chaudes, bien oxygénées et à ph neutre (Rolland, 2013; APEL, 2014b)[12].

[12] Pour de plus amples informations, veuillez consulter les rapports Suivi des cyanobactéries et évolution de l'état du lac Saint-Charles : Rapport d'étape 2011 (APEL, 2012), Diagnose du lac Saint-Charles 2012, chapitre 4 (APEL, 2014b) et La prolifération de cyanobactéries en réservoir tempéré nordique (le lac Saint-Charles, Québec, Canada) : variabilité et facteurs de contrôle (Rolland, 2013).

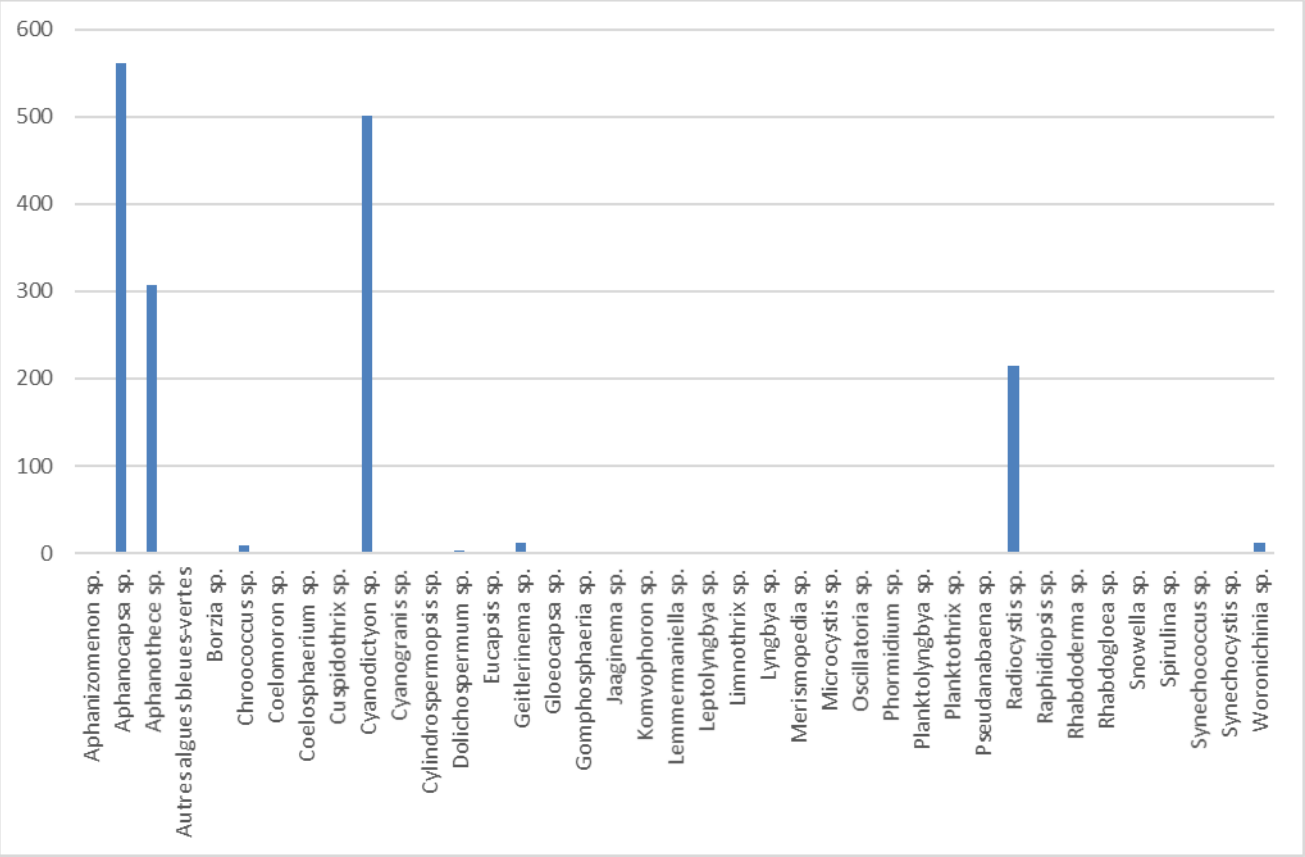


Figure 21 : Distribution des genres de cyanobactéries présentes à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

4.3.3 Analyse de la communauté de zooplancton

L'analyse des échantillons de zooplancton du lac Beauport indique que les copépodes dominent la communauté. Cette communauté est composée en grande partie de copépodes immatures appelés nauplis. La population se compose de très peu d'adultes, signe que la prédation par les poissons est bien en place. Les petits copépodes dominent les lacs davantage eutrophes où il y a une forte pression piscivore et où il y a beaucoup de matières en suspension puisque la colonne d'eau est constamment brassée (Chemli, 2017; Miller et al., 2010). Concernant le lac Beauport, le brassage des eaux par les bateaux à moteur est plutôt plausible (Thorsten et al. 1998). De plus, la forte production de phytoplancton est favorable pour la communauté de jeunes copépodes.

La forte abondance de crustacés[13], représentée par la nauplis, reflète un milieu mésotrophe, mais la sommation de tous les indicateurs explique un résultat typique d'une communauté de milieu oligotrophe.

[13] Abondance des crustacées englobe l'abondance des cladocères et des copépodes, notamment les nauplis, les copépodes immatures.

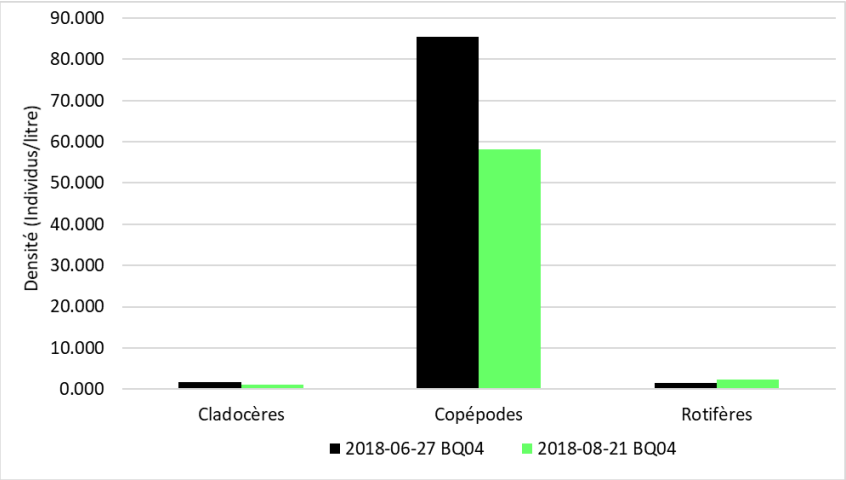


Figure 22 : Densité des principaux groupes de zooplancton observés à la station BQ04 au lac Beauport en 2018.

4.3.4 Analyse de la communauté de poissons

4.3.4.1 Historique des diagnoses ichtyologiques du lac

Selon la première base de données des poissons au lac Beauport des années 1940, seuls des ombles de fontaine (Salvelinus fontinalis) ont été recensés dans les filets. Dans les années 1970, la découverte de deux espèces, l'umbre de vase (Umbra limi) et l'épinoche à cinq épines (Culaea inconstant), complète la communauté indigène. Ces deux espèces n'ont pas été retrouvées au lac depuis cet inventaire (Fleury, 2006; CBRSC, 2006)). L'achigan à petite bouche (Micropterus dolomieu) a été recensé pour la première fois en 1976, probablement à la suite d'une introduction (CBRSC, 2006). Quant au mulet à cornes (Semotilus atromaculatus), les premières mentions de l'espèce remontent à 2006, lors de l'inventaire réalisé par Faune-Experts (Fleury, 2006), ainsi que lors d'une pêche électrique dans l'exutoire du lac en 2004 (CBRSC, 2006).

Au total, 17 poissons ont été capturés par les filets verveux et les bourolles, soit 16 achigans à petite bouche et un omble de fontaine (Tableau 16). La capture par unité d'effort (CPUE) est de 2,4 poissons par verveux/nuit et de 0,63 poisson par bourolle/nuit, alors que la biomasse par unité d'effort (BPUE) est de 274,8 g par verveux/nuit et de 1,8 g par bourolle/nuit.

Cinq achigans à petite bouche de moins de 5 cm n'ont pas été pesés, mais ont été comptabilisés dans le nombre total de captures. De plus, un achigan adulte a été échappé à l'eau après avoir été mesuré. Son poids a été évalué à l'aide d'une courbe de tendance afin de ne pas biaiser les résultats.

Tableau 16. Sommaire des captures réalisées au lac Beauport entre le 23 au 25 juillet 2018 selon la CPUE et la BPUE des engins de pêche utilisés.

	Captures				Biomasse			
Espèce	**Nombre**	**%**	**CPUE Verveux***	**CPUE bourolle**	**Masse (g)**	**%**	**BPUE verveux**	**BPUE bourolle**
Achigan à petite bouche	16	94,1	2,4	0,5	1385,2	99,7	274,8	1,4
Omble de fontaine	1	5,9	0	0,13	3,7	0,3	0	0,5
Total	17	100	2,4	0,63	1388,9	100	274,8	1,8

*À noter que les trois verveux ont été utilisés les 2 jours pour un total de 5 verveux pour 2 nuits afin de représenter les conditions de 2006.

En 2018, l'achigan à petite bouche composait 94,1 % des captures alors qu'en 2006, il composait 18 % des captures. Elle représente également presque la totalité de la biomasse du lac, soit 99,7 % du poids échantillonné. Seul un individu d'omble de fontaine a été capturé, et ce, à l'embouchure d'un des tributaires du lac. Il est donc possible que cette espèce utilise davantage les tributaires du lac comme habitat. Si des individus d'omble de fontaine persistent dans le lac, il est possible qu'ils se soient regroupés dans des secteurs précis, par exemple dans des strates plus profondes. L'échantillonnage s'est déroulé lors de températures extérieures très élevées et l'eau du premier mètre et demi du lac était à 24,2°C. Finalement, aucun individu de mulet à corne n'a été capturé, alors qu'il s'agissait de l'espèce la plus représentée lors de l'échantillonnage de 2006.

Comme le présente le Tableau 17, chez l'achigan à petite bouche, plusieurs individus de petite taille ont été échantillonnés, ce qui semble indiquer un bon recrutement chez l'espèce. De plus, des individus de forte taille ont également été capturés, ce qui donne à la population présente un bon intérêt sportif. Il faut toutefois souligner l'absence presque totale des achigans de 51 à 151 mm parmi les captures enregistrées. Quant au seul omble de fontaine capturé, il s'agissait d'un juvénile qui est probablement né en début de saison dans le tributaire à l'embouchure duquel il a été capturé.

Il faut toutefois rappeler que l'achigan à petite bouche a probablement été introduit au lac Beauport, ce qui aurait pu contribuer à la disparition des espèces indigènes. On note la disparition de plusieurs espèces de poissons indigènes et l'introduction d'espèces, comme l'achigan à petite bouche et la présence d'espèces indésirables, telles que le mulet à cornes (Fleury, 2006).

Tableau 17 : Présentation des poissons capturés au lac Beauport en 2018 selon les classes de taille utilisées dans l'étude de 2006.

Espèces	Achigan à petite bouche	Omble de fontaine
Nombre par classes de taille		
0-50 mm	6	0
51-100 mm	1	1
101-150 mm	0	0
151-200 mm	2	0
201-250 mm	4	0
251-300 mm	3	0
Nombre total	16	1

4.4 Évaluation de l'état trophique

À la lumière des résultats obtenus en 2018, l'ensemble des indicateurs chimiques de l'eau mesurés en lac montrent que le lac Beauport est classé oligo-mésotrophe. Or en intégrant d'autres indicateurs notamment physiques et biologiques, le lac est plutôt classé mésotrophe. Il s'agit d'un avancement dans la classification trophique par rapport aux résultats de 2013 où il était classé oligo-mésotrophe (**Figure 23**).

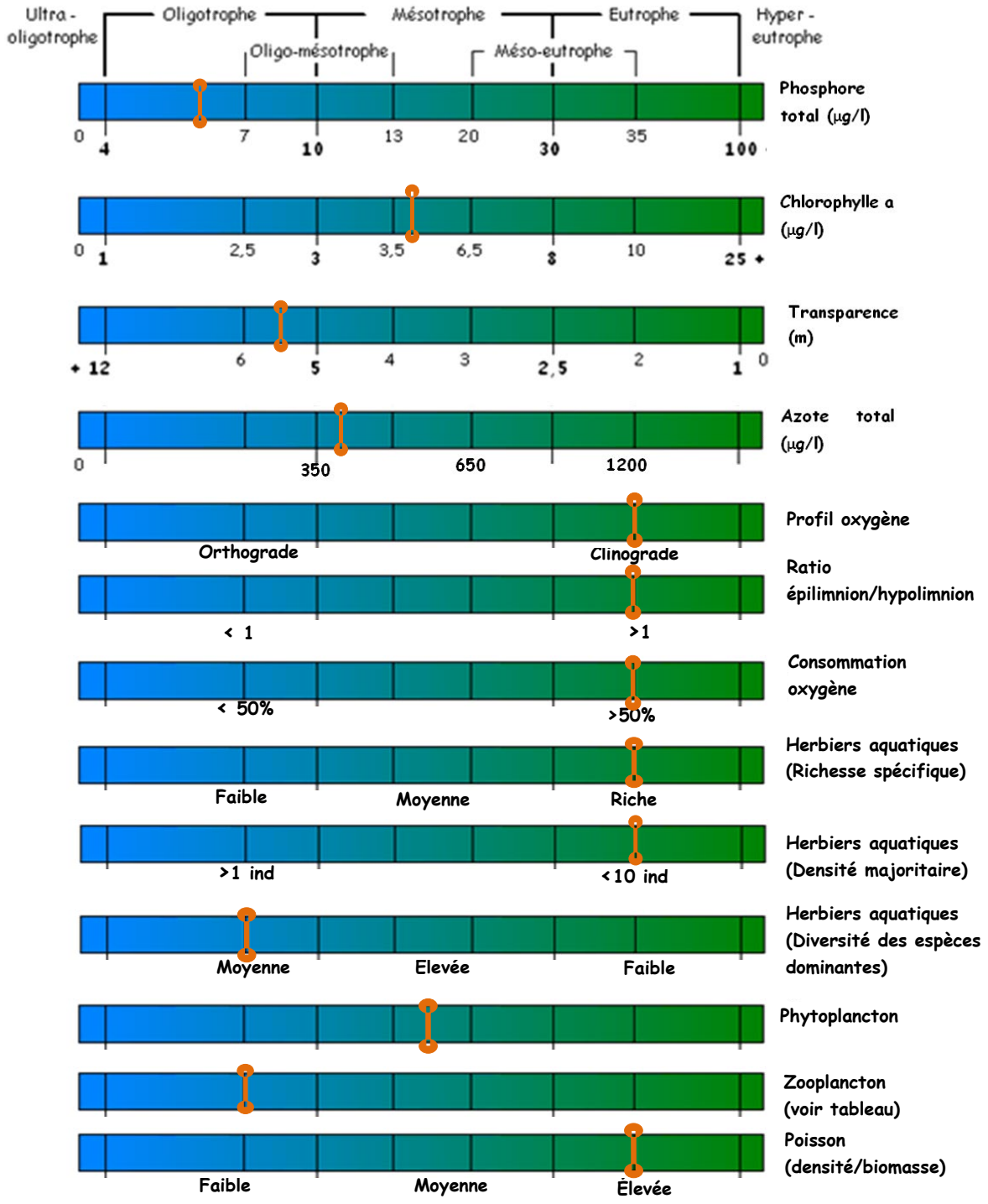


Figure 23 : Résumé des différents indicateurs selon leur état trophique.

4.5 Analyse de la qualité de l'eau des tributaires et l'exutoire du lac Beauport

4.5.1 Résultats des paramètres physico-chimiques

Pour les critères de l'IQPB, les valeurs de phosphore total (PT), oxygène dissous, chlorophylle a, turbidité, nitrites/nitrates, l'azote ammoniacal et matières en suspension et coliformes fécaux (remplacés par le dénombrement d'E.coli) sont toutes classées dans la catégorie bonne qualité.

Rappelons que ces données sont basées sur les résultats de quatre campagnes d'échantillonnage. De plus, il n'y a pas eu d'échantillonnage en temps de pluie qui aurait permis de voir le comportement de paramètres sous ces conditions.

4.5.1.1 Conductivité spécifique

Les résultats de conductivité spécifique montrent que l'exutoire du lac (E25) a une conductivité importante dans une classe moyenne selon l'échelle. Les ions chlorure démontrent un patron similaire, les sels de voiries sont donc responsables de ces valeurs de conductivité (**Figure 24**). Les valeurs de la conductivité spécifique à l'exutoire sont en 2018 entre 182 à 219 µS/cm. Elles sont plus élevées que celles de 2013, ce qui est cohérent avec les valeurs mesurées dans le lac.

Le tributaire représenté par la station DLB03 a été échantillonné que deux fois durant la saison, car il était sec les deux autres fois. Par contre, lorsqu'il s'écoulait, il contenait une forte concentration en ions chlorure. Il draine un secteur résidentiel en pente forte.

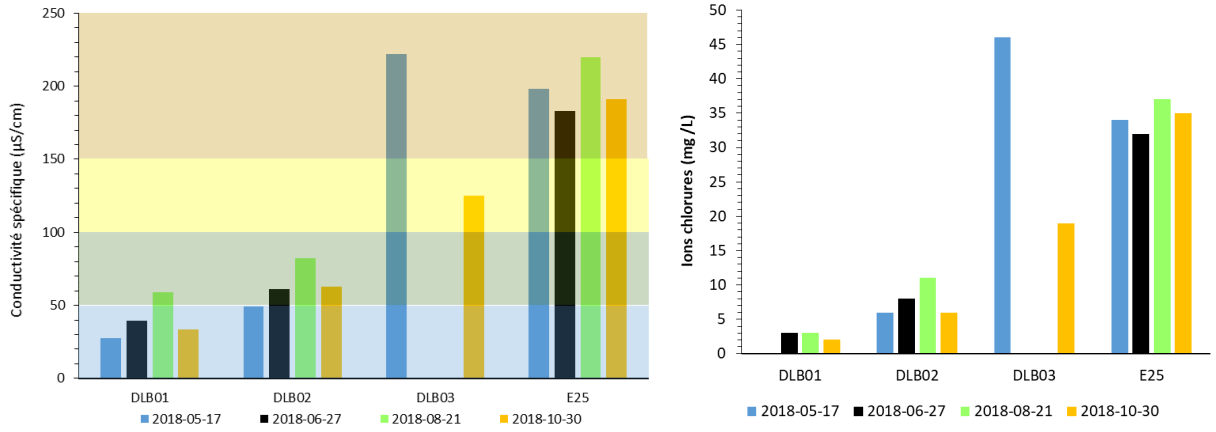


Figure 24 : Les résultats de conductivité et d'ions chlorure des affluents (DLB01, DLB02 et DLB03) et l'exutoire (E25) du lac Beauport en 2018.

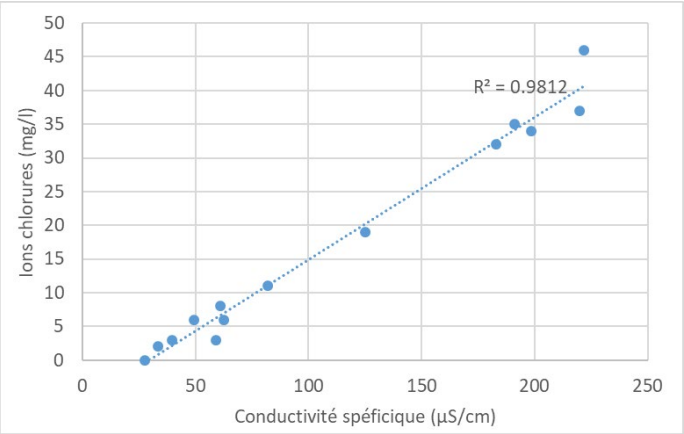


Figure 25 : Corrélation entre les ions chlorure et la conductivité pour les stations des affluents et de l'exutoire du lac Beauport en 2018.

4.5.1.2 Diatomées

Les résultats de l'indice pour qualifier la qualité de l'eau des ruisseaux à l'aide des diatomées indiquent que le tributaire de la station DBL01 a un assemblage ressemblant davantage à ceux observés en milieux enrichis (excès de nutriments) que les autres tributaires. La salinité est uniforme pour les trois stations ; les assemblages de diatomées sont tous caractéristiques d'une salinité qualifiée de « douce à légèrement saumâtre » (Tableau 18).

Tableau 18: IDEC pour chaque station.

Station	Valeur IDEC
DLB01	44
DLB02	79
E25	61

4.5.2 Observations des poissons aux tributaires

Le 27 juin 2018, deux adultes d'omble de fontaine ont été observés dans le tributaire de la station DLB02 à proximité de l'embouchure du lac. Aucun alevin n'a été observé. À la station DLB02, une quinzaine d'alevins d'omble de fontaine ont été observés juste en aval du site d'échantillonnage.

Le 21 août 2018, un omble de fontaine adulte (environ 10 à 15 cm) et deux juvéniles (environ 5 cm) ont été observés sur l'intégralité de la section entre le lac et le Chemin du lac. Il est à noter la forte présence de sédiments dans les fosses aménagées. Un des seuils aménagés semble trop haut pour permettre le passage du poisson. Ce même jour, une vingtaine d'ombles de fontaine juvéniles (environ 5 cm) ont été vus près du site d'échantillonnage DLB02 et légèrement en aval.

Lors des prospections du 27 juin et du 21 août dans le tributaire de la station DLB03, l'eau ne se rendait pas au lac.

4.6 Analyse de la bande riveraine

Dans le cadre de cette étude, l'ensemble du périmètre du lac Beauport (5 159 m) a été caractérisé sur une largeur de 15 mètres à partir d'une embarcation sur l'eau.

La Figure 26 illustre les résultats pour l'IQBR de 2013 et 2018 :

- La classe excellent est passée de 16 % (2013) à 20 % (2018).
- La classe bon est passée de 27 % (2013) à 26 % (2018).
- La classe moyen est passée de 22 % (2013) à 38 % (2018).
- La classe faible est passée de 11 % (2013) à 15 % (2018)
- La classe très faible est passée de 24 % (2013) à 1 % (2018).

Dans l'ensemble, il y a donc une nette amélioration des bandes riveraines en 2018 par rapport à 2013. Les secteurs selon les classes en 2018 sont illustrés à la Figure 27.

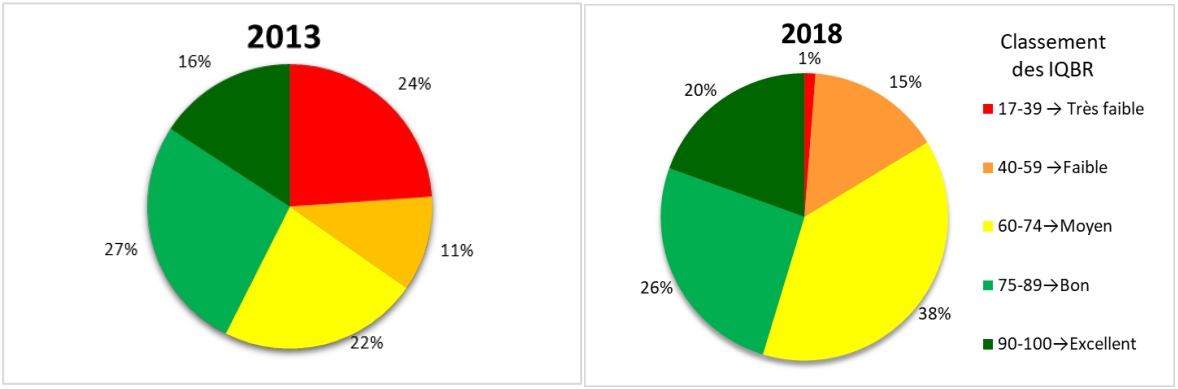


Figure 26: Répartition des classes d'IQBR.

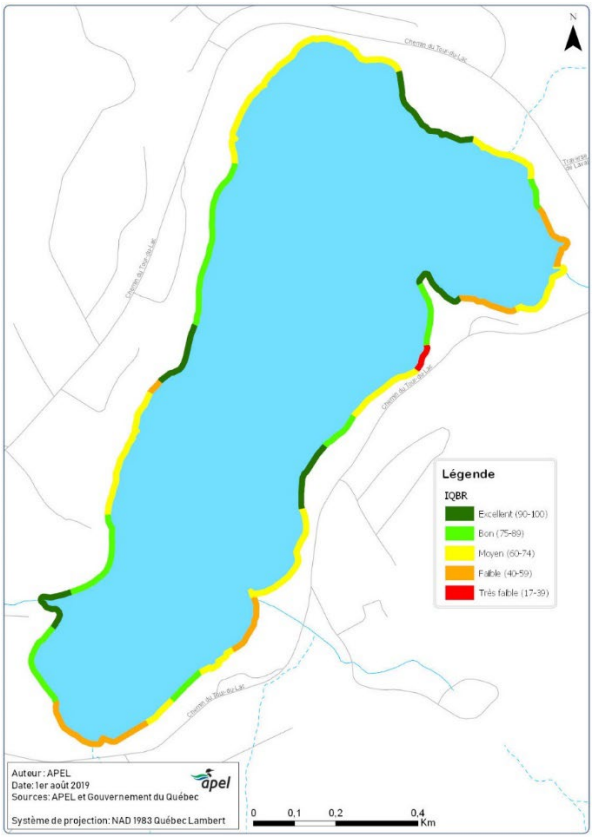


Figure 27 : Répartition des zones homogènes des bandes riveraines au lac Beauport et de leur IQBR respectif en 2018.

5 Conclusion et recommandations

5.1 Conclusion

La diagnose du lac Beauport de 2018 avait comme objectif principal de réaliser une comparaison avec l'état du lac et des bandes riveraines avec les résultats de la diagnose de 2013. De plus, une étude sur l'intégrité écologique du lac a été effectuée.

À la lumière de l'ensemble des résultats, le lac est passé d'un stade oligo-mésotrophe en 2013 à un stade plutôt mésotrophe en 2018. Ce constat a été basé sur les résultats relativement aux taux d'oxygène, à l'augmentation du couvert des herbiers aquatiques, à leur richesse spécifique et leur densité ainsi que les résultats sur les poissons. Ces résultats situent le lac même à un stade eutrophe. Les résultats des paramètres comme le phosphore, l'azote, la chlorophylle a et la transparence situent le lac plutôt dans un stade oligo-mésotrophe. Le phytoplancton le situe au stade mésotrophe. Bien qu'en 2013, l'analyse du phytoplancton, du zooplancton des poissons n'a pas été réalisée, les résultats sur l'ensemble des autres paramètres situaient le lac plutôt dans un stade oligo-mésotrophe. Nous constatons donc des changements notables qui se sont opérés dans le lac. De plus, nous avons constaté une légère hausse de la conductivité spécifique liée aux ions chlorure.

Bien que la qualité de l'eau des tributaires est généralement bonne, on note l'apport des ions chlorure par les tributaires ayant un impact sur l'assemblage des diatomées présentes.

Il est à noter qu'il y a eu une nette amélioration de la bande riveraine depuis 2013. Or, dans l'ensemble du bassin versant, il y a eu une hausse des surfaces anthropisées.

5.2 Recommandations

À la lumière des résultats de l'étude du lac Beauport de 2018, Agiro recommande de :

- Limiter au maximum la puissance et la vitesse des bateaux à moteur (remise en suspension des sédiments et des nutriments). Une telle mesure aura probablement un effet positif très rapide sur la qualité des eaux ainsi que sur l'écologie du lac compte tenu de sa taille et sa bathymétrie;
- Poursuivre les efforts de reboisement des bandes riveraines et de tout le bassin versant;
- Limiter l'imperméabilisation en favorisant le reboisement et contrôler l'érosion des pentes et des chantiers de construction ;
- Cesser les développements sur installations septiques autonomes (ISA), favoriser le raccordement et assurer le bon fonctionnement et la bonne utilisation des ISA (p.ex. vidanger, possibilité de toilettes à compost) ;
- Limiter les intrants d'ions chlorure provenant des sels de voirie dans les rues et les entrées de cour des citoyens, des piscines et spas aux sels, les adoucisseurs d'eau, les fondants et les abat-poussières dans les rues publiques et privées, etc.);
- Continuer le suivi quotidien des cyanobactéries en matinée, avant le début des activités nautiques (qui mélangent les eaux et dispersent les accumulations de cyanobactéries);
- Poursuivre les efforts de sensibilisation face aux plantes invasives, comme le myriophylle à épis ou l'élodée du Canada;
- Suivre la population de poissons dans les années à venir, l'habitat de l'omble de fontaine est précaire.

6 Références bibliographiques

APEL (2014) Diagnose du lac Beauport – 2013, Québec, 51 pages plus annexes.

Ballard, Jean-Marc (2004). *Impact des installations septiques sur l'aquifère de roc fracturé du secteur résidentiel du Mont-Cervin*, Lac-Beauport, Québec. Mémoire. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Maîtrise en sciences de la terre, 238 p

Barbe, J., Lafont, M., Mallet, L., Mouthon, J., Philippe, M., Philippe, R. M. et V. Vey (2003) *Actualisation de la méthode de diagnose rapide des plans d'eau, Analyse critique des indices de qualité des lacs et propositions d'indices de fonctionnement*. Cemagref, 108 p.

BLAIS, S. (2008*). Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries. Comment les distinguer des végétaux observés dans nos lacs et nos rivières*, 3e édition, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550- 52408-3 (version imprimée), 54 p .

Bolduc, F. (2000) *Diagnose écologique du lac Beauport.* Pro-Faune, Québec, 44 p. + annexes.

Campeau, S., Lavoie, I. et M. Grenier (2013) *Le suivi de la qualité de l'eau des rivières à l'aide de l'indice IDEC.* Guide d'utilisation de l'Indice Diatomées de l'Est du Canada, (version 3), 25 p.

Carignan, R. et J. Kalff. 1982. *Phosphorus release by submerged macrophytes: significance to epiphyton and phytoplankton*. Limnology and Oceanography 27: 419–427

CBRSC (2006). *Caractérisation des berges, des tributaires et des populations ichtyennes du lac Beauport*. 24 p.

CCME (2011) *Manuel des protocoles d'échantillonnage pour l'analyse de la qualité d'eau au Canada*. ISBN 978-1-896997-79-7 PDF. 211p.

Chemli, A. (2017) *Le zooplancton comme bioindicateur de l'état trophique et de l'intégrité écologique des lacs du Parc du Mont-Tremblant.* Mémoire. Université de Montréal. Département des sciences biologiques. 111 p.

Fleury, M. (2006) *Diagnose écologique et suivi environnemental du lac Beauport*. Faune- Experts inc., Rimouski, 34 p. + annexes.

Fournier I., Galvez-Cloutier, R et Warwick F. V. *Roadside snowmelt : a management target to reduce lake and river contamination*. Université Laval. Département de génie civil et de génie des eaux.

Free, G., Little, R., Little, R., Tierney, D., Donnelly, K. et C. Rossana (2006) *A reference based typology and ecological assessment system for Irish lakes - preliminary investigations*. Environmental Protection Agency, Wexford, Ireland, 266 p.

Haney, J. F. et al. (2013) *An Image-Based Key to the Zooplankton of North America, version 5.0*. University of New Hampshire, Center for Freshwater Biology, cfb.unh.edu. [Site internet] Référé à http://cfb.unh.edu/cfbkey/html/index.html

Hudson, P L. et L. T. Lesko (2003) *Free-living and Parasitic Copepods of the Laurentian Great Lakes : Keys and Details on Individual Species*. Ann Arbor, MI: Great Lakes Science Center Home Page. [Site internet] Référé à https://www.glsc.usgs.gov/

INSPQ (2003). *Fiche synthèse sur l'eau potable.* [En ligne]. https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/coliformes-fecaux. Page consultée en juillet 2020.

Lampert W. et Sommer, U. (1999) *Limnoökologie*, 2. überarbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart - New York. 489 p.

Lapointe (2014). *Plantes de milieux humides et de bord de mer du Québec et des Maritimes*, Éd. Michel Quitin (Waterloo), 456p.

MDDEFP (2013) *Critères de qualité d'eau de surface*. [En ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp. Page consultée en juillet 2020.

MDDELCC (2016b) *Protocole de détection et de suivi des plantes aquatiques exotiques envahissantes (PAEE) dans les lacs de villégiature du Québec*. Direction de l'information sur les milieux aquatiques, Direction de l'expertise en biodiversité, Gouvernement du Québec, 54 pages [En ligne] http://www.environnement.gouv.qc.ca/Eau/paee/protocole-detection-suiviPAEE.pdf (consulté juillet 2020).

MDDELCC (2018a) *Critères de qualité de l'eau de surface*. [En ligne] http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp (consulté en janvier 2018).

MDDELCC (2018b) *Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau*. [En ligne] http://www.cgfv.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/rivieres/annexes.htm#a-total. Page consultée en novembre 2018

MDDELCC (2018c) *Indice de qualité de la bande riveraine (IQBR).* [En ligne] http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/IQBR/index.htm (consulté en janvier 2018).

MDDEP ET CRE Laurentides (2009). *Protocole de caractérisation de la bande riveraine,* 2e édition 2009, Québec, ISBN 978-2-550-55771-5, 19 p.

Miller, Thaddeus K.; Allen, Craig R.; Landis, Wayne G.; and Merchant, James W. (2010). *Risk assessment: Simultaneously prioritizing the control of invasive plant species and the conservation of rare plant species* (Nebraska Cooperative Fish & Wildlife Research Unit -- Staff Publications. 17. https://digitalcommons.unl.edu/ncfwrustaff/17

ONEMA et Agence de l'Eau (2007) *Suivi des plans d'eau des bassins Rhône-Méditerranée et Corse en application de la Directive Cadre sur l'Eau*: *Note synthétique d'interprétation des résultats*. DCE référence, Anterne. 15 p.

Pott, R. et D. Remy (2000) *Gewässer des Binnenlandes - Ôkosyteme Millteleuropas aus geobotanischer Sicht,* Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart, 255 p.

Rolland, D. C. 2013. *La prolifération de cyanobactéries en réservoir tempéré nordique (le lac Saint-Charles, Québec, Canada): variabilité et facteurs de contrôle*. Université Laval.

Schwoerbel, J. et Brendelberger, H. (2005) *Einführung in die Limnologie*. Elsevier GmbH, München, 340 p.

Smith, D. G. (2001) *Pennak's Freshwater Invertebrates of the United States: Porifera to Crustacean.* 4e édition, New-York, John Wiley & Sons, Inc, 648 p.

Thorsten D. Mosisch and Angela H. Arthington (1998). *The impacts of power boating and water skiing on lakes and reservoirs.* Lakes and reservoirsL Research and Management. Centre for Catchment and In-Sream Research, Griffith University, 1-17.

Van Dam HA, Mertens A et J. Sinkeldam (1994) *A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands*. Netherlands Journal of Aquatic Ecology, 28, 117-133.

Wetzel, R. G (2001) *Limnology*. *Lake and river ecosystems. Third Edition*. London, Academic Press.

Witty, L. M. (2004) *Practical Guide to Identifying Freshwater Crustacean Zooplankton.* 2e édition, Cooperative Freshwater Ecology Unit, Department of Biology, Laurentian University, 47 p.

7 Annexes

Annexe 1 Localisation des stations et engins de pêche utilisés

Tableau 19 : Description, localisation, profondeur et heure de pêche des filets verveux utilisés sur le lac Beauport.

Station	Type d'engin de pêche	Latitude	Longitude	Heure de pose	Heure de levée	Profondeur (cm)
LB01	Petit verveux à aile centrale	46,94955°	-71,27549°	16:05	08:11	57
LB02	Verveux moyen	46,94902°	-71,28172°	17:05	08:40	83
LB03	Petit verveux	46,95407°	-71,27814°	17:35	09:25	62
LB04	Petit verveux	46,95546°	-71,27032°	15:00	07:55	70
LB05	Petit verveux à aile centrale	46,95657°	-71,26688°	15:30	08:30	62

Filet verveux moyen :

- 75 cm x 75 cm ouverture carrée,
- 5,5 m de longueur pour les ailes
- 3 m de longueur pour les chambres
- Maillage double
- Diamètre de l'entrée : 10 cm
- Diamètre des cerceaux : 78 cm

Petit filet verveux :

- 62,5 cm x 62,5 cm ouverture carrée,
- 2,75 m de longueur pour les deux ailes
- 2 m de longueur pour les chambres
- Maillage simple
- Diamètre de l'entrée : 5,5 cm
- Diamètre des cerceaux : 57 cm

Petit verveux à aile centrale :

- 62,5 cm x 62,5 cm ouverture carrée,
- 2,75 m de longueur pour les trois ailes (2 aux cotés et au centre)
- 2 m de longueur pour les chambres
- Maillage simple
- Diamètre de l'entrée : 5,5 cm
- Diamètre des cerceaux : 57 cm

Bourolles standards

- 25 cm de hauteur
- 42 cm de longueur
- 2,5 cm d'ouverture

Tableau 20 : Localisation, profondeur et heure de pêche des bourolles utilisées sur le lac Beauport.

Station	Latitude	Longitude	Heure de pose	Heure de levée	Profondeur (cm)
BLB01	46.95533°	-71.270377°	15:05	07:57	30
BLB02	46.956682°	-71.266462°	15:35	08:15	25
BLB03	46.956441°	-71.266524°	15:37	08:20	35
BLB04	46,94941°	-71,27543°	16:10	08:00	30
BLB05	46,94901°	-71,28201°	17:05	08:55	35
BLB06	46,94909°	-71,28175°	17:00	08:59	27
BLB07	46,95407°	-71,27818°	17:45	09:19	30
BLB08	46,95417°	-71,27799°	17:50	09:21	40

Annexe 2 Calcul de l'indice planctonique et l'index planctonique

Tableau 21 : Coefficients de qualité des différents groupes taxonomiques(Qi).

Groupes algaux	Qi
Desmidiées	1
Diatomées	3
Chrysophycées	5
Dinophycées et Cryptophycées	9
Chlorophycées (sauf Desmidiées)	12
Cyanophycées	16
Euglénophycées	20

Tiré de Barbe et al., 2003 ; ONEMA, 2007.

Tableau 22 : Coefficients de qualité des différents groupes taxonomiques.

Abondance relative	Aj
0 à < 5	0
5 à < 10	0,5
10 à < 20	1
20 à < 30	1,5
30 à < 40	2
40 à < 50	2,5
50 à < 60	3
60 à < 70	3,5
70 à < 80	4
80 à < 90	4,5
90 à < 100	5

Adapté de Barbe et al., 2003 ; ONEMA, 2007

Tableau 23 : Correspondance entre l'Indice Planctonique et le niveau trophique.

Indice planctonique	Niveau trophique
0 à < 15	Ultra oligotrophe
15 à < 35	Oligotrophe
35 à < 50	Mésotrophe
50 à < 75	Eutrophe
75 à < 100	Hyper eutrophe

Tiré de ONEMA, 2007

Tableau 24 : Valeurs associées à l'abondance de chacun des taxons et à la chlorophylle a pour le calcul de l'index du phytoplancton.

Valeurs	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
Scenedesmus spp.	>0<3,6	4,2	8,4	11,6	15,2	16,8	19,4	22,1	26,0	>26,0
Pediastrum spp.	>0<2,1	2,3	4,4	6,8	13,7	16,0	19,4	20,3	21,2	>21,2
Anabaena spp.	>0<8,4	12,3	19,4	24,0	30,3	34,8	37,2	39,7	41,0	>41,0
Melo/Aul spp.	>0<2,6	5,8	9,0	15,2	19,4	21,2	24,0	26,0	28,1	>28,1
Cryptomonas spp.	>0<28,1	42,3	77,4	121,0	196,0	265,7	324,0	400,0	449,4	>449,4
Rhodomonas spp.	>0<64,0	114,5	187,7	259,2	313,3	364,8	396,0	412,1	436,8	>436,8
Aphanizomenon spp.		>0<4,0	5,8	9,0	12,3	16,0	19,4	22,1	> 22,1	
Oocystis spp.	>0<1,9	2,9	4,4	5,8	7,3	8,4	10,2	11,6	13,0	>13,0
Sphaerocystis spp.	>0<2,0	3,8	4,8	5,1	> 5,1					
Concentration Chl a ($\mu g\ l^{-1}$)	>0<5,2	8,5	10,8	12,9	14,5	16,8	17,5	18,1	19,4	>19,4

Melo/Aul = Melosira et Aulacoseira spp (Free et al., 2006).

Annexe 3 Indice pour le zooplancton

Tableau 25 : Indices biotiques et leur relation avec l'eutrophisation, accompagnés des valeurs moyennes, minimales et maximales enregistrées dans des lacs du Parc du Mont-Tremblant.

Indices biotiques	Effet de l'eutrophisation	Min.	Moyenne	Max.
Abondance des Daphnia (ind/l)	Diminution	0,00	0,43	3,57
Abondance des Bosmina (ind/l)	Augmentation	0,00	2,81	12,34
Abondance des rotifères (ind/l)	Augmentation	0,91	20,81	49,64
Abondance des Holopedium (ind/l)	Diminution	0,00	1,44	11,56
Abondance des crustacés (ind/l)	Augmentation	2,83	28,29	98,75
Daphnia/cladocères totaux	Diminution	0,00	0,25	0,59
Cladocères/calanoides	Augmentation	0,08	3,07	24,38
Cyclopoides/calanoides	Augmentation	0,02	1,12	10,00
Rotifères/crustacés	Augmentation	0,04	1,39	6,25

Tiré de Chemli, 2017
De plus, dans le groupe Melosira et Aulacoseira, seul le taxon Aulacoseira était présent dans les échantillons traités.

Annexe 4 Détermination du facteur de pondération pour le calcul de l'IQBR

Tableau 26 : Détermination du facteur de pondération pour chaque composante des bandes riveraines (MDDELCC, 2018b).

Fonctions écologiques	Forêt	Arbustaie	Herbaçaie	Coupe forestière	Pelouse	Culture	Sol nu	Socle rocheux	Infrastructure
Rétention : sédiments, nutriments, contaminants	7	7	7	5	3	3	1	1	1
Stabilisation des berges	7	5	3	3	1	1	1	7	1
Protection contre l'érosion des sols	7	5	3	5	3	1	1	7	3
Régularisation de la température du cours d'eau	7	5	1	1	1	1	1	1	1
Réduction de l'évapotranspiration	7	5	5	5	1	1	1	1	1
Limite de la productivité autochtone au cours d'eau	7	5	3	1	1	1	1	1	1
Source d'apports allochtone au cours d'eau	7	7	7	3	1	1	1	1	1
Régularisation de l'hydrosystème et recharge de la nappe phréatique	7	5	1	1	1	1	1	1	1
Création d'habitats dans le cours d'eau (substrats, abris, refuges)	7	5	3	3	1	1	1	1	3
Maintien de la biodiversité (aquatique et terrestre)	7	7	5	3	1	1	1	1	1
Préservation de l'habitat naturel	7	7	7	3	3	3	3	7	1
Potentiel réel : (potentiel maximal : 77)[3]	77	63	45	33	17	15	13	29	15
Facteur de pondération	10	8,2	5,8	4,3	2,2	1,9	1,7	3,8	1,9