

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DE LA LUTTE CONTRE  
LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

# Cyanobactéries et cyanotoxines à la baie Missisquoi et à la rivière aux Brochets en 2015

## **Photo de la page couverture :**

(crédit photo : Mélanie Gilbert (CCEQ-Montérégie, MELCC)

## **Coordination et rédaction**

Cette publication a été réalisée par la Direction générale du suivi de l'état de l'environnement du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

## **Renseignements**

Téléphone : 418 521-3830  
1 800 561-1616 (sans frais)

Télécopieur : 418 646-5974

Formulaire : [www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/reenseignements.asp](http://www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/reenseignements.asp)

Internet : [www.environnement.gouv.qc.ca](http://www.environnement.gouv.qc.ca)

## **Pour obtenir un exemplaire du document :**

Direction générale de l'état du suivi de l'environnement  
du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre  
les changements climatiques

675, boul. René-Lévesque Est, 4<sup>e</sup> étage, boîte 23  
Québec (Québec) G1R 5V7  
Téléphone : 418 521-3848

Ce document peut être consulté à la page Algues bleu-vert du site Internet du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, au [www.environnement.gouv.qc.ca](http://www.environnement.gouv.qc.ca).

---

Dépôt légal – 2021

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN : 978-2-550-89508-4 (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2021

## ÉQUIPE DE RÉALISATION

---

<b>Responsable et rédaction</b>	Sylvie Blais <sup>(1)</sup>
<b>Révision scientifique</b>	Anouka Bolduc <sup>(2)</sup> , Lyne Bouthillier <sup>(3)</sup> , Nathalie Brault <sup>(4)</sup> , Émilie Doussantousse <sup>(1)</sup> , Nathalie Fortin <sup>(5)</sup> , Andrée Giroux <sup>(6)</sup> , Philippe Juneau <sup>(7)</sup> et Bert Klein <sup>(3)</sup> , Marianne Métivier <sup>(1)</sup>
<b>Travaux sur le terrain</b>	Mélanie Gilbert <sup>(8)</sup> , Martin Mimeault <sup>(9)</sup> , Jean-Philippe Baillargeon <sup>(1)</sup> et Sylvie Blais <sup>(1)</sup>
<b>Analyses en laboratoire des cyanotoxines</b>	Christian Deblois (responsable) <sup>(10)</sup> et Martin Duchesneau <sup>(10)</sup>
<b>Analyses en laboratoire des cyanobactéries et des algues</b>	Nicolas Gruyer <sup>(10)</sup> et Éloïse Veilleux <sup>(10)</sup> (responsables), Nicole Cadoret <sup>(10)</sup> , Nancy Desrosiers <sup>(10)</sup> et Cathy Tremblay <sup>(10)</sup>
<b>Saisie et validation des données</b>	Stéphanie Locas <sup>(1)</sup> et Jean-Philippe Baillargeon <sup>(1)</sup>
<b>Cartographie</b>	Mona Frenette <sup>(1)</sup>
<b>Infographie</b>	Marie-Michèle Émond <sup>(11)</sup>
<b>Révision linguistique</b>	Judy Quinn Sylvain Dumont <sup>(11)</sup>
<b>Mise en page</b>	Claire Cournoyer <sup>(1)</sup>

- 
- (1) Direction générale du suivi de l'état de l'environnement (DGSEE), MELCC.
  - (2) Direction de l'eau potable et des eaux souterraines, MELCC.
  - (3) Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.
  - (4) Direction de santé publique du Centre intégré de santé et de services sociaux de la Montérégie-Centre.
  - (5) Conseil national de recherches du Canada.
  - (6) Direction des aires protégées, MELCC.
  - (7) Université du Québec à Montréal.
  - (8) Centre de contrôle environnemental du Québec de l'Estrie et de la Montérégie (CCEQ), MELCC.
  - (9) Direction régionale de l'analyse et de l'expertise de l'Estrie et de la Montérégie (DRAE), MELCC.
  - (10) Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), MELCC.
  - (11) Direction des communications, MELCC.

## REMERCIEMENTS

Je remercie tous les membres de l'équipe de réalisation d'avoir contribué à l'une ou l'autre des étapes de l'étude ou à la production du rapport.

Je remercie particulièrement M<sup>me</sup> Mélanie Gilbert, du CCEQ, et M. Martin Mimeault, de la DRAE. Ils ont été les piliers de l'équipe ayant réalisé les travaux de terrain. Merci aussi aux autres collègues du CCEQ qui ont su prêter main-forte au besoin. L'analyse des échantillons en laboratoire du CEAEQ a été rendue possible grâce à l'importante collaboration de M<sup>me</sup> Éloïse Veilleux ainsi que de celle de MM. Nicolas Gruyer et Christian Deblois et de leurs équipes. Je les remercie grandement, sans oublier la précieuse collaboration des collègues de la DGSEE, entre autres M. Jean-Philippe Baillargeon et M<sup>me</sup> Stéphanie Locas, notamment pour la saisie et la validation des données.

## RÉSUMÉ

Le phytoplancton est composé de cyanobactéries (CYANO) et d'algues microscopiques vivant en suspension dans l'eau des milieux aquatiques. Les CYANO sont des bactéries; elles sont plus primitives que les algues classées dans les végétaux. Si les conditions environnementales leur sont favorables, les cyanobactéries à potentiel toxique (CYANOTOX) sont susceptibles de produire des cyanotoxines. Souvent, celles-ci se trouvent dans les cellules vivantes de CYANO et aussi à l'extérieur des cellules mortes ou brisées.

En 2015, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) réalise un suivi des algues microscopiques, des CYANO et des cyanotoxines à la baie Missisquoi. Ce suivi vise à documenter l'évolution de ces paramètres à quatre stations situées au large et, en présence d'écumes de CYANO, à des stations en bordure de rive. On cherche aussi à comparer l'état de situation de 2015 à celui aux mêmes stations de 2005 à 2008 et de 2014.

À partir de la mi-août 2015, des écumes de CYANO très vastes et intenses sont observées dans le secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets. C'est une première en plusieurs années de suivi par le MELCC. Le suivi dans ce secteur est donc renforcé. Des stations sont ajoutées dans la baie près de l'embouchure de la rivière aux Brochets et dans celle-ci pour le suivi visuel des écumes et l'analyse de cyanotoxines.

À la baie Missisquoi, au début juillet, le phytoplancton présente une faible biomasse. Il est surtout représenté par des algues des classes des diatomées

et des cryptophycées. Dès la mi-juillet jusqu'à la dernière visite le 6 octobre au moins, la baie est touchée par des fleurs d'eau de CYANO. Les abondances et biomasses de CYANOTOX surpassent celles des autres CYANO et en général de l'ensemble de la communauté phytoplanctonique.

Parmi les douze variantes de microcystines (MC) analysées, les quatre utilisées pour le calcul de la microcystine-LR toxicité équivalente (MC-LR TEQ) affichent les fréquences de détection et les concentrations les plus élevées. Les meilleurs producteurs de MC semblent être *Dolichospermum flos-aquae* et des espèces de *Microcystis*.

Lors de fleurs d'eau au large dans la baie Missisquoi, le seuil en CYANO totales (CYANOTOT) (< 100 000 cel./ml) établi pour protéger les usages récréatifs de contact avec les eaux est dépassé une fois sur deux, mais celui de 16 µg/l en MC-LR TEQ ne l'est jamais. Dans les écumes en bordure de rive, ce seuil en MC-LR TEQ est souvent dépassé dans la baie (8/11) et l'est toujours dans la rivière aux Brochets (3/3). Le plus fort dépassement dans cette rivière atteint 23 fois le seuil.

Dans ce document, des valeurs de toxicité tirées de la littérature ont été retenues comme seuils d'effets potentiels sur la vie aquatique. Ces valeurs sont dépassées dans des fleurs d'eau et davantage dans les écumes, et ce, dans les aires de distribution et durant la période sensible des espèces menacées ou vulnérables de tortues, de couleuvres et de poissons.

En 2015, par rapport à 2000-2008 et 2014, les résultats de biomasses en CYANO et en phytoplancton total (PHYTOTOT) dans la baie Missisquoi et les premières observations de vastes écumes intenses près de la réserve écologique démontrent que le problème des CYANO n'a pas diminué. Cette situation rappelle la nécessité d'agir sur les principales causes du problème. Les efforts doivent se poursuivre pour réduire davantage les apports de phosphore dans le bassin versant de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MÉTHODE.....</b>	<b>2</b>
<b>3. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>10</b>
3.1 BAIE MISSISQUOI 2015.....	10
3.1.1 Cyanobactéries et algues .....	10
3.1.2 Cyanobactéries et microcystines par rapport aux usages.....	14
3.1.3 Douze variantes de microcystines.....	22
3.1.4 Anatoxine-a et homoanatoxine-a.....	22
3.2 BAIE MISSISQUOI ET RIVIÈRE AUX BROCHETS 2015 PRÈS DE LA RÉSERVE ÉCOLOGIQUE.....	23
3.2.1 Catégories visuelles de fleurs d'eau.....	23
3.2.2 Microcystines dans des écumes par rapport aux usages récréatifs..	24
3.2.3 Douze variantes de microcystines.....	25
3.2.4 Anatoxine-a et homoanatoxine-a.....	25
3.3 RISQUES ÉCOLOGIQUES POTENTIELS DANS LES MILIEUX SENSIBLES .....	25
3.3.1 Risques pour les vertébrés aquatiques à statut précaire en 2015 ....	26
3.4 BAIE MISSISQUOI 2015 COMPARÉE À 2005-2008 ET À 2014 .....	30
3.4.1 Biomasse du phytoplancton et des cyanobactéries .....	31
3.4.2 Cyanobactéries et microcystines par rapport aux usages.....	32
3.4.3 Cyanobactéries potentiellement responsables de la production de microcystines.....	35
3.4.4 Diversité du phytoplancton .....	36
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>36</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>38</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Stations échantillonnées régulièrement à la baie Missisquoi, types d'échantillons visés et principaux usages publics.....	2
Figure 2	Stations échantillonnées à la baie Missisquoi et à la rivière aux Brochets, aires de distribution des espèces fauniques aquatiques à statut précaire (CDPNQ 2017) et réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets. ....	3
Figure 3	Fréquence des taxons de cyanobactéries dans les 42 échantillons de la baie Missisquoi. ....	11
Figure 4	Proportion de biomasse des cyanobactéries à potentiel toxique, des autres cyanobactéries et des algues aux stations <i>a</i> , <i>b</i> , <i>d2</i> et <i>d8</i> ( <i>n</i> = 36).....	12
Figure 5	Distribution des abondances de cyanobactéries totales selon les catégories visuelles de fleurs d'eau et dépassements des seuils établis pour désigner une fleur d'eau (trait bleu) ou pour protéger des activités récréatives (trait rouge) du 2 juillet au 8 septembre à la baie Missisquoi.....	15
Figure 6	Variabilité des types de cyanobactéries et dépassements des seuils de cyanobactéries totales établis pour désigner une fleur d'eau (trait bleu) ou pour protéger des activités récréatives (trait rouge) aux stations <i>a</i> , <i>b</i> , <i>d2</i> et <i>d8</i> .....	16
Figure 7	Variabilité de la MC-LR TEQ aux stations <i>a</i> , <i>b</i> , <i>d2</i> et <i>d8</i> .....	18
Figure 8	Classes de concentrations détectées de MC totales et de MC-LR TEQ dans des écumes de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets .....	21
Figure 9	Variation interannuelle (2005-2008, 2014-2015) de la biomasse du phytoplancton total et des cyanobactéries totales aux stations <i>a</i> , <i>b</i> , <i>d2</i> et <i>d8</i> en <i>campagnes régulières</i> et fleurs d'eau. ....	32
Figure 10	Comparaison interannuelle (2005-2008, 2014-2015) des abondances des CYANOTOT et CYANOTOX en <i>campagnes fleurs d'eau</i> aux stations <i>a</i> , <i>b</i> , <i>d2</i> et <i>d8</i> .....	33
Figure 11	Comparaison interannuelle (2005-2008, 2014-2015) des concentrations en MC-LR TEQ aux stations <i>a</i> , <i>b</i> , <i>d2</i> , et <i>d8</i> dans des fleurs d'eau (FE) et à la station <i>d6</i> dans des écumes (EC) .....	35

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Résumé des modalités distinguant l'échantillonnage et les analyses de laboratoire selon les campagnes et les secteurs de la baie Missisquoi et de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets .....	4
Tableau 2	Seuils en cyanobactéries et en cyanotoxines établis pour désigner une fleur d'eau ou pour protéger les usages anthropiques .....	7
Tableau 3	Seuils en cyanobactéries et en cyanotoxines retenus comme indicateurs d'effets potentiels sur la vie aquatique .....	8
Tableau 4	Espèces de vertébrés aquatiques à statut précaire de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets et leur période sensible en milieu aquatique.....	9
Tableau 5	Dépassements des seuils en MC et en <i>Microcystis</i> retenus comme indicateurs d'effets potentiels sur la vie aquatique appliqués aux aires de distribution et à la période sensible des espèces de vertébrés à statut précaire.....	27

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Remplacement de l'utilisation des seuils établis pour protéger les usagers récréatifs par des recommandations de santé publique dans le cadre du Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert.....	47
Annexe 2	Impacts écologiques des fleurs d'eau de cyanobactéries et identification de seuils comme indicateurs d'effets potentiels sur la vie aquatique .....	48
Annexe 3	Répartition des nombres de dates et d'échantillons selon les secteurs étudiés, les types de campagnes et les paramètres analysés .....	53
Annexe 4	Taxons de cyanobactéries à la baie Missisquoi pour l'ensemble des stations et des campagnes en 2015 comparativement à 2005-2008 et 2014 .....	54

Annexe 5	Classe d'algues à la baie Missisquoi pour l'ensemble des stations et des campagnes en 2015 comparativement à celles en 2005-2008 et 2014 .....	58
Annexe 6	Répartition dans le temps des biomasses de cyanobactéries par rapport à celles des principales classes d'algues aux stations a, b, d2 et d8 à la baie Missisquoi en 2015.....	59
Annexe 7	Écumes observées et échantillonnées en 2015 dans la baie Missisquoi, la rivière aux Brochets, le ruisseau Bellefroid-Dandurand et le ruisseau Louis-Rochelleau ainsi que dans l'aire de distribution d'espèces animales à statut précaire.....	61
Annexe 8	Concentration en MC-LR TEQ en 2015 dans les échantillons d'écumes à la baie Missisquoi et à la rivière aux Brochets et dépassements du seuil établi pour protéger les usages récréatifs de contact avec les eaux.....	65
Annexe 9	Douze variantes de microcystines dans les échantillons prélevés au large et dans des écumes près de la rive à la baie Missisquoi en 2015 .....	66
Annexe 10	Douze variantes de microcystines dans des échantillons d'écumes de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets dans le secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets en 2015 .....	69
Annexe 11	Dépassement ou atteinte des seuils en microcystines ou en cyanobactéries pour la protection de la vie aquatique en fonction de l'aire de distribution et de la période sensible des vertébrés aquatiques à statut précaire dans la baie Missisquoi et la rivière aux Brochets en 2015.....	71
Annexe 12	Concentration de MC totales et pourcentage de biomasse des CYANOTOX dominantes à la baie Missisquoi en 2015 pour les échantillons ayant dépassé 1 µg/l en MC-LR TEQ.....	76

## LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS

BM	Baie Missisquoi
cel./ml	Cellules par millilitre
CYANO	Cyanobactéries
CYANOTOT	Cyanobactéries totales
CYANOTOX	Cyanobactéries à potentiel toxique
EC	Écume
FE	Fleur d'eau
LDM	Limite de détection de la méthode d'analyse
MC	Microcystine(s)
MC-x	Microcystine-x (variante de MC où x peut être LA, LR, RR, etc.)
MC-LR TEQ	Microcystine-LR toxicité équivalente
MC tot.	Microcystines totales (somme des variantes analysées)
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
ND	Non disponible
OMS	Organisation mondiale de la santé
PHYTOTOT	Phytoplancton total
PICO	Picocyanobactéries
QC	Québec
Q25	Centile 25
Q75	Centile 75
R	Régulière dans « campagne régulière »
RB	Rivière aux Brochets
Ri	Rivage (près du rivage)
S. O.	Sans objet

### Espèces de vertébrés aquatiques à statut précaire

AMPE	<i>Ammocrypta pellucida</i> (dard de sable)
APSP	<i>Apalone spinifera</i> (tortue-molle à épines)
GRGE	<i>Graptemys geographica</i> (tortue géographique)
NESI	<i>Nerodia sipedon</i> (couleuvre d'eau)
NOBI	<i>Notropis bifrenatus</i> (mené d'herbe)

## 1. INTRODUCTION

**D**epuis quelques décennies, la baie Missisquoi est touchée par une problématique d'eutrophisation qui se manifeste, entre autres, par d'importantes fleurs d'eau de CYANO. Lorsque les conditions environnementales leur sont favorables, les espèces de CYANOTOX peuvent produire des cyanotoxines.

Les CYANO ou les cyanotoxines perturbent l'équilibre écologique du milieu aquatique, détériorent son apparence et peuvent nuire aux activités récréotouristiques et socioéconomiques. Elles présentent aussi un risque pour la santé des usagers du plan d'eau.

La baie Missisquoi constitue la partie nord-est d'un vaste plan d'eau transfrontalier : le lac Champlain. La portion québécoise de cette baie se trouve en Montérégie et la portion américaine est située dans l'État du Vermont.

De [2000 à 2008](#) puis en [2014](#), le MELCC a réalisé un suivi de cette baie pour les CYANO, les cyanotoxines et d'autres paramètres biologiques et physicochimiques (Blais, 2019, 2015 et 2014; Bowling et collab., 2015 et 2014). Le suivi en 2015 vise à continuer à documenter la problématique des algues, des CYANO et des cyanotoxines. On cherche entre autres à :



Baie Missisquoi, Saint-Armand, 2015-09-23. Photo : Mélanie Gilbert, MELCC.

- Connaître la composition taxonomique et l'évolution du phytoplancton en ce qui concerne les CYANOTOX, les CYANOTOT et les algues;
- Évaluer à combien de CYANO et de cyanotoxines peuvent être exposés les usagers lorsque l'on pense observer des fleurs d'eau (FE) ou des écumes sur le terrain;
- Comparer ces résultats aux seuils établis pour la protection des usages anthropiques, surtout ceux à caractère récréatif;
- Comparer les principaux résultats de 2015 à ceux des dix dernières années (de 2005 à 2008 et 2014).

À partir de la mi-août 2015, c'est la première fois en onze années de suivi depuis 2000 par le MELCC que des écumes de CYANO intenses et étendues sont observées le long de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets. Ces observations mènent à l'ajout de stations dans la baie près de l'embouchure de la rivière aux Brochets et dans celle-ci pour le suivi visuel des écumes et l'analyse de cyanotoxines.



Rivière aux Brochets, 2015-08-18.  
Photo : Mélanie Gilbert, MELCC.

Enfin, le suivi vise aussi à comparer les résultats en CYANOTOT et en cyanotoxines aux valeurs de toxicité retenues comme seuils d'effets potentiels sur la vie aquatique, et ce, dans les aires de distribution et aux périodes sensibles d'espèces de vertébrés aquatiques à statut précaire présentes dans ce secteur.

## 2. MÉTHODE

Les aspects méthodologiques pour les travaux de terrain, de laboratoire et d'interprétation des résultats demeurent pour la plupart les [mêmes que ceux de 2008](#) détaillés dans les documents de Blais (2014) et de Bowling et collab. (2014 et 2015). Les principales généralités et les quelques changements survenus en 2014 (Blais, 2019) et 2015 sont présentés ci-après.

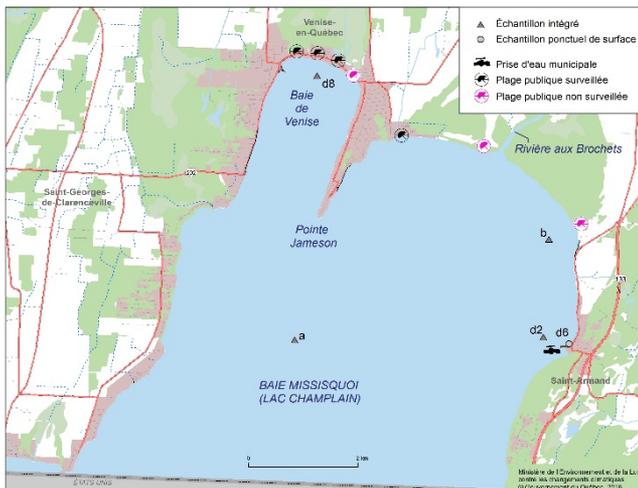


Figure 1 Stations échantillonnées régulièrement à la baie Missisquoi, types d'échantillons visés et principaux usages publics.

**Zone étudiée en 2015.** Pour plusieurs aspects de la méthode et des résultats, la zone d'étude est divisée en deux **secteurs** :

- **Baie Missisquoi**, l'aire inclut les stations régulières (*a*, *b*, *d2* et *d8*) et celles pour des écumes (*d6* et *d20*) (figures 1 et 2, tableau 1);
- **Réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets**, l'aire se rapporte aux autres stations de la baie Missisquoi (*d18a*, *d18b* et *d42*) et à celles de la rivière aux Brochets (*RB-1*, *RB-2* et *RB-3*) sur le bord ou à proximité de [cette aire protégée](#) (MELCC, 2019a) (figure 2, tableau 1).

Les deux secteurs abritent des espèces fauniques à statut précaire (CDPNQ 2017; MRN 2013) (figure 2). Celles-ci incluent un mollusque bivalve (leptodée fragile) et cinq vertébrés, soit deux poissons (dard de sable et mené d'herbe) et trois reptiles (deux espèces de tortues et la couleuvre d'eau).

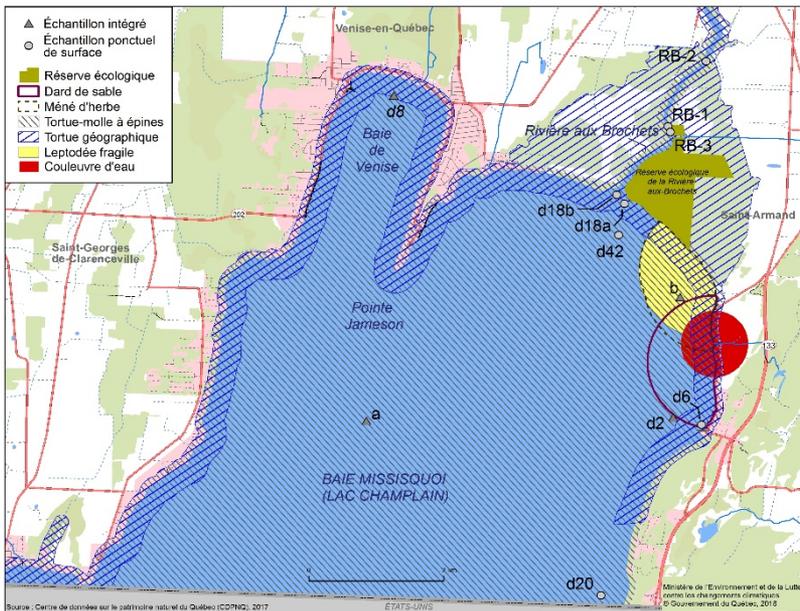


Figure 2 Stations échantillonnées à la baie Missisquoi et à la rivière aux Brochets, aires de distribution des espèces fauniques aquatiques à statut précaire (CDPNQ 2017) et réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets.

Tableau 1 Résumé des modalités distinguant l'échantillonnage et les analyses de laboratoire selon les campagnes et les secteurs de la baie Missisquoi et de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets

Campagne	Quand? <sup>(1)</sup> Stations	Type d'échantillon	Paramètres analysés
Secteur de la baie Missisquoi <sup>(1)</sup>			
Régulière (R)	<b>Sans fleur d'eau visible</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Au large : a, b, d2 et d8</li> </ul>	Intégré de la surface jusqu'à un mètre de profondeur (0-1 m)	CYANO <sup>(2)</sup>  Algues <sup>(3)</sup>
Fleur d'eau (FE)	<b>Fleur d'eau visible<sup>(5)</sup></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Au large : a, b, d2 et d8</li> </ul>		MC (12 variantes)  Anatoxine-a et homoanatoxine-a <sup>(4)</sup>
Écume (É)	<b>Fleur d'eau sous la forme d'une écume<sup>(6)</sup></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>En bordure de rive : d6</li> <li>Au large : d20</li> </ul>	Ponctuel de surface	CYANO <sup>(2)</sup>  MC (12 variantes)  Anatoxine-a et homoanatoxine-a <sup>(4)</sup>
Secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets <sup>(1,6)</sup>			
Écume (É)	<b>Fleur d'eau sous la forme d'une écume<sup>(6)</sup></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>En bordure de rive : d18a, d18b, RB-1, RB-2 et RB-3</li> <li>Au large : d42</li> </ul>	Ponctuel de surface	MC (12 variantes)  Anatoxine-a et homoanatoxine-a <sup>(4)</sup>

(1) Secteur de la baie : du 2 juillet au 6 octobre (la dernière date est limitée à la station d6). Secteur de la réserve écologique : du 18 août au 23 septembre.

(2) Les CYANO sont identifiées à l'espèce, si possible, sinon au genre.

(3) Les algues sont identifiées au genre, si possible.

(4) L'analyse de l'homoanatoxine-a se limite à vérifier si elle est détectée ou pas.

(5) Le constat visuel d'une fleur d'eau sur le terrain (catégorie 1 ou 2a) doit ensuite être validé ( $\geq 20\ 000$  cel./ml) par le décompte des CYANO au microscope<sup>(2)</sup>.

(6) Les écumes observées n'ont pas toutes été échantillonnées et analysées.

Jusqu' au 23 septembre, trois types de campagnes peuvent être réalisées : régulière, fleur d'eau et écume (tableau 1). Des échantillons intégrés 0-1 m sont prélevés au large toujours aux **mêmes stations** (a, b, d2 et d8), peu importe où se trouvent les fleurs d'eau les plus intenses dans la baie. En présence de certaines écumes (catégorie 2b) en bordure de rive, des échantillons ponctuels de surface sont prélevés à d'autres stations (tableau 1, figures 1 et 2).

**Travaux communs aux deux secteurs.** Ils consistent à :

- Faire le tour du plan d'eau en bateau à toutes les dates de campagnes;
- Évaluer de visu l'étendue des différentes [catégories de fleurs d'eau](#) (MELCC 2019b). Les observations sont notées pour chacune des stations échantillonnées et cartographiées à main levée pour les autres secteurs du plan d'eau. Les catégories visuelles sont indépendantes du décompte microscopique; celui-ci est nécessaire pour qu'on puisse vérifier s'il y a vraiment présence de fleur d'eau de CYANO ( $\geq 20\ 000$  cel./ml).

**Secteur de la baie Missisquoi.** Les campagnes débutent le 2 juillet et se terminent le 6 octobre; elles ont lieu à onze dates (tableau 1).

Le 6 octobre, les travaux sont limités à une visite à gué près du quai fédéral à Saint-Armand. Il s'agit d'une *campagne écume* à la station d6.

**Secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets.** La portion visitée va de la baie Missisquoi près de l'embouchure de la rivière aux Brochets jusqu'à 2 ou 3 km vers l'amont. À partir de la rivière, sur la rive droite se trouve l'embouchure du ruisseau Bellefroid-Dandurand et sur la rive gauche celle du ruisseau Louis-Rocheleau. Celui-ci sépare les portions nord et sud de la réserve écologique.

Les visites de terrain, du 18 août au 23 septembre, ont lieu à cinq dates (tableau 1). À trois d'entre elles, des échantillons ponctuels de surface sont prélevés dans des écumes.

**Analyses de laboratoire au CEAEQ.** Les paramètres analysés varient selon les campagnes et les milieux aquatiques (tableau 1).

Lors des analyses microscopiques, l'identification des CYANO va jusqu'à l'espèce si possible; sinon, elle se limite au genre. Pour ce qui est des algues, l'identification s'arrête au genre.

Les cyanotoxines sont analysées dans les cellules et à l'extérieur de celles-ci, soit dans l'eau. Elles regroupent l'anatoxine-a et les douze variantes de MC suivantes : MC-LR, MC-RR, MC-YR, MC-LA, MC-LY, MC-LW, MC-LF, MC-WR, (D-ASp3) MC-LR, (D-Sp3) MC-RR, MC-HtyR et MC-HilR. La non-disponibilité des étalons de mesure pour les 236 autres variantes de MC connues (Spoof et Arnaud 2017) explique pourquoi elles ne sont pas analysées. Quant à l'homoanatoxine-a, l'analyse se limite à vérifier sa détection, car aucun étalon de mesure n'est disponible.

**Nouvelle nomenclature sur les cyanobactéries.** Depuis le rapport sur la baie Missisquoi en 2014 (Blais 2019), cette nomenclature est utilisée pour les espèces de *Dolichospermum* (*Anabaena*) et pour celles concernées d'*Anathece* (*Aphanothece*) (Komárek et collab. 2011; Wacklin et collab. 2009).

**Cyanobactéries à potentiel toxique.** Les CYANOTOX sont les CYANO susceptibles de produire au moins une cyanotoxine (les lipopolysaccharides ne sont pas considérées). Les cyanotoxines sont surtout des hépatotoxines, comme la MC ou la cylindrospermopsine, ou des neurotoxines, telles que l'anatoxine-a, la saxitoxine ou la néosaxitoxine. Dans une approche préventive, les espèces ou genres reconnus de CYANOTOX pour des plans d'eau ailleurs dans le monde (Blais et Sinotte 2008) sont considérés comme susceptibles de produire les mêmes toxines dans les plans d'eau du Québec.

Selon Bernard et collab. (2017), dont le texte n'a été connu qu'après le traitement des données, *Aphanocapsa* sp., *Merismopedia* sp., *Oscillatoria* sp. et *Pseudanabaena limnetica* auraient dû être classés eux aussi dans les CYANOTOX plutôt que dans les autres CYANO. Néanmoins, l'incidence sur les résultats aurait été négligeable. Certes, un de ces quatre taxons se trouve dans 19 des 42 échantillons. Toutefois, les quatre taxons représentent de faibles proportions de la population des CYANOTOX (médianes et 75<sup>e</sup> centiles de 4 % et de 22 % pour l'abondance ainsi que de 0,03 % et de 0,1 % pour la biomasse, respectivement).

**Picocyanobactéries exclues des résultats présentés, sauf exception.** Les picocyanobactéries (PICO) sont des CYANO sphériques de diamètre inférieur à 2 µm. Elles sont analysées dans tous les échantillons. Elles sont exclues des résultats présentés, sauf aux figures 3 et 6 et à l'annexe 4; elles y sont clairement distinguées des autres CYANO.

Considérer ou non l'abondance et la biomasse des PICO n'influence pas de façon notable les principaux constats. Les PICO sont de très petite taille et ne sont pas connues pour produire des toxines. Depuis 2010, le MELCC exclut donc les PICO du décompte cellulaire dans le cadre du [Plan de gestion](#) des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert.

**Calcul de la MC-LR TEQ comparé à celui des MC totales.** La MC-LR TEQ est appliquée seulement aux résultats à comparer à des seuils. Elle est calculée à partir du total des résultats des formes intracellulaires et extracellulaires de chacune des quatre variantes couplées avec leur facteur respectif de toxicité équivalente à la MC-LR. Ces facteurs sont disponibles pour quatre des douze variantes analysées : 1 pour la MC-LR, 1 pour la MC-LA et 1 pour la MC-YR ainsi que 0,1 pour la MC-RR (Groupe scientifique sur l'eau 2005).

Lorsqu'une donnée est sous la limite de détection de la méthode d'analyse du laboratoire (LDM), la valeur de la moitié de la LDM est considérée par défaut dans le calcul. Le cas échéant, la part des résultats en MC-LR TEQ, attribuable à l'addition des demies LDM, est très faible. Elle n'influence pas la fréquence des dépassements de seuils établis pour protéger les usages (tableau 2) et ne modifie pas de façon notable l'importance de ces dépassements.

Contrairement au calcul de la MC-LR TEQ, pour les **MC totales** aucune valeur par défaut n'est attribuée aux variantes de MC non détectées. Les MC totales correspondent ici au cumul des résultats des formes intracellulaires et extracellulaires de chacune des variantes de MC détectées parmi les 12 analysées (sur les 248 connues selon Spooft et Arnaud (2017)).

**Seuils.** Trois catégories de seuils sont employées pour interpréter des données de qualité de l'eau : présence ou non d'une fleur de CYANO, protection d'usages anthropiques (tableau 2) et protection de la vie aquatique (tableau 3).

Ainsi, un plan d'eau ou un secteur de celui-ci est considéré comme touché par une **fleur d'eau de CYANO** lorsque l'abondance des CYANOTOT atteint ou dépasse le seuil de 20 000 cellules par millilitre (cell./ml) (tableau 2).

Les seuils de 16 µg/l de MC-LR TEQ ou de 100 000 cell./ml de CYANOTOT visent la **protection des usages récréatifs de contact avec les eaux** (Groupe scientifique sur l'eau 2005 et 2017). Les seuils en CYANOTOT excluent les PICO (tableau 2). D'autres explications sur ces seuils sont disponibles dans les textes de Blais de 2014, 2015 et 2019.

Tableau 2 Seuils en cyanobactéries et en cyanotoxines établis pour désigner une fleur d'eau ou pour protéger les usages anthropiques

Paramètre	Fleur d'eau	Activités récréatives de contact avec les eaux	Eau potable au robinet	Remarque
CYANOTOT	≥ 20 000 cel./ml <sup>(2)</sup>	≤ 100 000 cel./ml <sup>(1,2)</sup>	-	Seuil de 100 000 en complément à celui en MC-LR TEQ <sup>(2)</sup>
		Présence d'écume <sup>(1,3)</sup>	-	-
MC-LR TEQ	-	≤ 16 µg/l <sup>(1,2)</sup>	-	Exposition sous-chronique <sup>(4)</sup>
		-	≤ 1,5 µg/l <sup>(2,5)</sup>	Norme du RQEP <sup>(5)</sup> Exposition chronique <sup>(5)</sup>

(1) Dans le Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert, l'emploi des seuils établis pour les activités récréatives a été remplacé par des précautions à prendre par les usagers (annexe 1).

(2) Groupe scientifique sur l'eau (2005 et 2017).

(3) Seuil de 3<sup>e</sup> niveau de l'OMS (Chorus et collab. 1999; OMS 2004).

(4) Selon Chevalier (2013).

(5) Règlement sur la qualité de l'eau potable, (Québec, 2017).

Tableau 3 Seuils en cyanobactéries et en cyanotoxines retenus comme indicateurs d'effets potentiels sur la vie aquatique

Seuils	Effets potentiels
≤ 0,5 µg/l MC-LR appliqué à la MC-LR TEQ	Toxicité chronique (effets sublétaux <sup>(1)</sup> sur la croissance ou effets comportementaux <sup>(2)</sup> )
≤ 140 µg/l MC tot. et < 1 000 000 cel./ml CYANOTOT	Toxicité chronique (léthalité 7 jours) <sup>(3)</sup>
≤ 250 µg/l MC tot. et ≤ 6 700 000 cel./ml <i>Microcystis</i>	Toxicité aiguë (moins de 24 heures) <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Oberem, Axel, Jutta Fastern et Christian Steinberg (1997).

<sup>(2)</sup> Baganz, Daniela et collab. (2004).

<sup>(3)</sup> Saraf, Spencer R. et collab. (2018).

Par ailleurs, des fleurs d'eau de CYANO et des cyanotoxines peuvent aussi porter atteinte à la faune aquatique ainsi qu'à la faune terrestre ou ailée qui s'abreuve ou se nourrit dans un plan d'eau affecté. Toutefois, aucun critère de qualité de l'eau visant à protéger la vie aquatique ne semble avoir été publié (annexe 2). Pour compenser ce fait, des données de toxicité produisant des effets observables sur des poissons ont été recensées dans la littérature; elles sont utilisées dans cette étude comme seuils d'effets potentiels sur la vie aquatique (tableau 3). Les bases et limites de ces seuils sont présentées à l'annexe 2.

Pour limiter le nombre d'analyses à interpréter, ces seuils sont appliqués aux échantillons récoltés dans les aires de distribution (figure 2) et lors de la période sensible (tableau 4) des espèces de vertébrés aquatiques plus préoccupantes, soit les poissons et reptiles à statut précaire.

L'évaluation des risques exclut l'aire de distribution de la leptodée fragile, car aucune donnée de toxicité en CYANO ou en microcystine n'a été recensée pour une espèce de mollusque.

Tableau 4 Espèces de vertébrés aquatiques à statut précaire de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets et leur période sensible en milieu aquatique

Code	Nom <sup>(1)</sup>	Statut <sup>(1)</sup>			Période sensible en milieu aquatique
		Menacé	Vulnérable	Susceptible d'être désigné menacé ou vulnérable	
AMPE	<i>Ammocrypta pellucida</i> (dard de sable)	√			15 juin – 15 août <sup>(2)</sup>
APSP	<i>Apalone spinifera</i> (tortue-molle à épines)	√			Toute l'année <sup>(3)</sup>
GRGE	<i>Graptemys geographica</i> (tortue géographique)		√		Toute l'année <sup>(3)</sup>
NESI	<i>Nerodia sipedon</i> (couleuvre d'eau)			√	Au moins du début mai à la fin octobre <sup>(4)</sup>
NOBI	<i>Notropis bifrenatus</i> (méné d'herbe)		√		15 mai – 15 août <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> CDPNQ (2015 et 2017) et MFFP (2006).

<sup>(2)</sup> Période sensible pour les poissons : elle correspond à la période de reproduction, soit le rassemblement des adultes, la fraye, l'incubation, l'alevinage et les premiers stades de vie des jeunes (Bonin 1998; COSEPAC 2012 et 2016; MRN 2013; MEF 1997).

<sup>(3)</sup> Période sensible pour les tortues : elle dure toute l'année. L'accouplement a lieu au printemps; certains jeunes demeurent dans le secteur durant un an après leur éclosion (Bouthillier et Klein, 21 novembre 2018).

<sup>(4)</sup> Période sensible pour la couleuvre d'eau : elle se rapporte à la période active et elle comprend l'alimentation, l'accouplement, la gestation, l'éclosion des jeunes et la croissance. Elle exclut la période d'hibernation, l'hibernacle étant en général terrestre (Bouthillier et Klein, 21 novembre 2018, 18 et 19 décembre 2018).

## 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 BAIE MISSISQUOI 2015

Le 2 juillet, aucune fleur d'eau n'est observée. Une *campagne régulière* est donc effectuée. Pour les dates suivantes, on procède à une *campagne fleur d'eau* et, s'il y a lieu, à une *campagne écume*. De la mi-août à la fin septembre 2015, des écumes très intenses et étendues sont vues aussi dans le secteur de l'embouchure de la rivière aux Brochets et de la réserve écologique du même nom. Une *campagne écume* se tient à trois dates; les échantillons visent seulement les toxines.

L'annexe 3 présente la répartition des nombres de dates et d'échantillons selon les secteurs étudiés, les types de campagnes réalisées et les paramètres analysés.

#### 3.1.1 Cyanobactéries et algues

##### Diversité du phytoplancton

**Cyanobactéries.** En 2015, 33 taxons sont identifiés. Ils se répartissent en 14 taxons de CYANOTOX (8 genres et au moins 11 espèces) et 19 autres taxons d'autres CYANO (14 genres et au moins 16 espèces) (figure 3, annexe 4).

Si on considère les 42 échantillons des trois campagnes, les CYANOTOX dominent les autres CYANO en fréquences et en biomasses (figures 3 et 4). Les CYANOTOX les plus communes sont *Microcystis* sp. (100 %), *Dolichospermum flos-aquae* (91 %), *Microcystis aeruginosa* (88 %), *Aphanizomenon flos-aquae* (88 %) et *Microcystis wesenbergii* (43 %).

Les PICO sont assez fréquentes; le taxon dominant se trouve dans 52 % des échantillons (figure 3). Cependant, leur biomasse totale est infime. Pour les 42 échantillons, le 90<sup>e</sup> centile de la biomasse totale des PICO représente 0,6 % de celle des CYANOTOT (résultats non présentés).

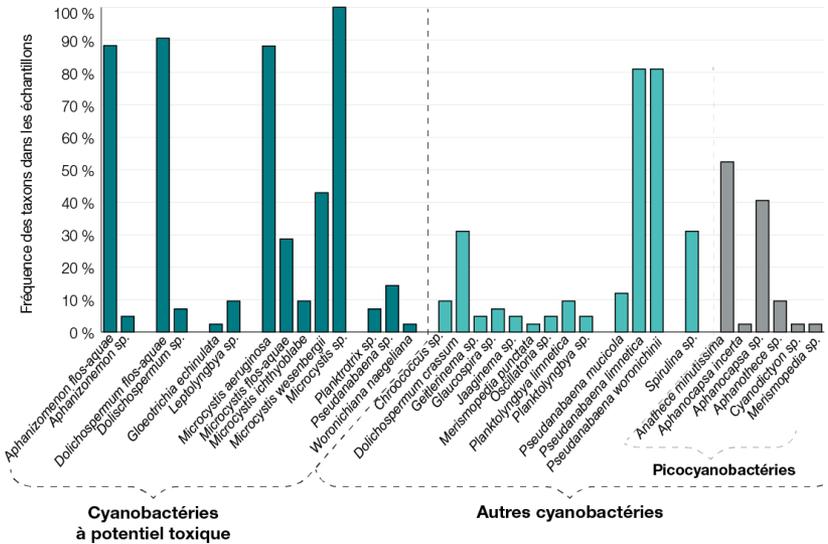


Figure 3 Fréquence des taxons de cyanobactéries dans les 42 échantillons de la baie Missisquoi.

**Algues.** Tout comme les CYANO, les algues sont de taille microscopique et font partie du phytoplancton. Les populations d'algues totalisent 70 genres (annexe 5). Ceux-ci se répartissent dans les classes des bacillariophycées, nommées également algues dorées ou diatomées (22), des chlorophycées, appelées aussi algues vertes (29), des chrysophycées (10), des cryptophycées (4), des dinophycées (2) et des euglénophycées (3).

### Importance des cyanobactéries par rapport aux algues

- Les « autres CYANO sans PICO » montrent de très faibles proportions de biomasse par rapport à celles des CYANOTOX et des algues (figure 4). Néanmoins, quatre des treize taxons se trouvent dans environ 30 à 80 % des échantillons (figure 3).

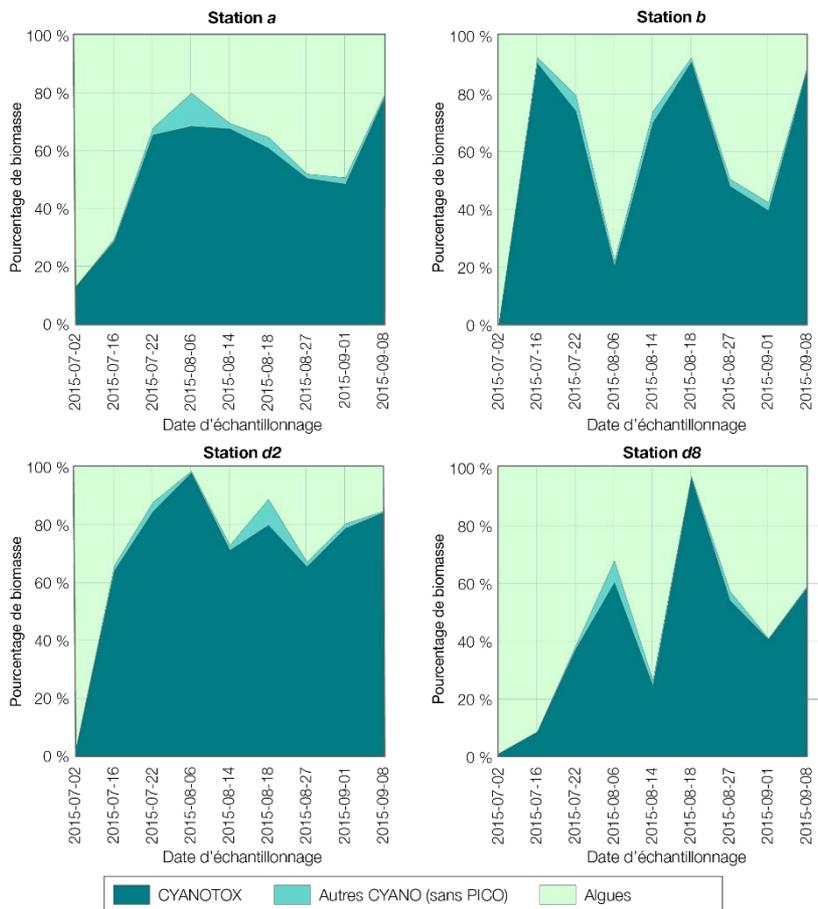


Figure 4 Proportion de biomasse des cyanobactéries à potentiel toxique, des autres cyanobactéries et des algues aux stations *a*, *b*, *d2* et *d8* (n = 36).

- Le 2 juillet est la seule date de visite sans observation de fleur d'eau. Dans la communauté phytoplanctonique, les proportions de biomasse des algues varient entre 87 et 99,7 % selon les stations (figure 4).
- À la deuxième date, le 16 juillet, les CYANOTOX commencent à dominer (> 50 % de la biomasse) les algues aux stations *b* et *d2*. Puis, cela s'observe dès le 22 juillet à la station *a* et le 6 août à la station *d8*. C'est seulement à la station *d2* que les CYANOTOX dominent la communauté à toutes les

dates de visite du reste de la saison. Cette station se situe à proximité de la prise d'eau de la station de production d'eau potable de Bedford (figure 1 et prochain encadré).

### **Prise d'eau potable municipale plus en profondeur que la station d2 dans le même secteur**

Les échantillons de la station *d2* correspondent au premier mètre de la colonne d'eau à partir de la surface. La prise d'eau de la station de production d'eau potable de Bedford se situe au fond de la baie : en moyenne à 3,5 m de profondeur selon le niveau de l'eau.

Dans le cadre du Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert en 2015, un suivi a été réalisé du 13 juillet au 19 octobre à cette station de production d'eau potable (MDDELCC, 2016). **Les vérifications effectuées à l'eau traitée ne révèlent pas de dépassement de la norme en MC pour l'eau potable** (Bolduc 2017).

- Les pics et creux de biomasse de CYANOTOX ne surviennent pas tous aux mêmes dates selon les stations. Ce constat s'observe aussi aux stations *b* et *d2*, même si elles se trouvent toutes les deux dans le secteur est de la baie Missisquoi. Les biomasses de CYANOTOX semblent fluctuer de façon plus marquée aux stations *b* et *d8*, du moins aux dates de visite (figure 4).
- Les proportions maximales de biomasses de CYANOTOX par rapport à l'ensemble de la communauté plafonnent à une date ou à une autre à 78 %, 91 %, 98 % et 96 % respectivement aux stations *a*, *b*, *d2* et *d8*.

La biomasse dominante en CYANOTOX suggère un risque plus élevé de cyanotoxines si les conditions environnementales sont favorables aux espèces et souches présentes.

Enfin, l'annexe 6 présente la répartition selon les dates des biomasses de CYANOTOT par rapport à celles de chacune des principales classes d'algues aux stations *a*, *b*, *d2* et *d8*.

### 3.1.2 Cyanobactéries et microcystines par rapport aux usages

#### Catégories visuelles de fleurs d'eau sur le terrain

- **Fleurs d'eau au large : intensité aux stations et ailleurs**

Cinquante-huit pour cent (58 %) des échantillons de fleurs d'eau prélevés aux stations *a*, *b*, *d2* ou *d8* sont de catégories visuelles moins intenses que celles des fleurs d'eau observées ailleurs sur le plan d'eau lors des journées d'échantillonnage (vérification non présentée).

- **Écumes : fréquence, localisation et étendue**

En bordure de rive, les écumes (catégorie 2b) sont plus risquées pour la santé publique. Celles-ci présentent les biomasses en CYANO et les concentrations de cyanotoxines les plus élevées. De plus, c'est près du rivage que les usagers des plans d'eau sont plus nombreux.

Des écumes sont vues à huit des onze visites : huit fois dans la baie Missisquoi et deux dans la baie de Venise. Les écumes se trouvent surtout en bordure du rivage. Selon les visites, la rive est touchée sur une longueur d'environ 0,5 à 6 km. À quatre dates, de l'écume s'étend aussi du large vers la rive (22 juillet, 18 août, 8 et 23 septembre). La surface maximale quotidienne atteint environ jusqu'à 6 km<sup>2</sup> (annexe 7).

Par ailleurs, l'absence d'écume au moment des visites des 14 et 27 août s'expliquerait par les très forts vents; ceux-ci brassent les fleurs d'eau de CYANO dans la colonne d'eau.

- **Comparaison avec les fleurs d'eau confirmées par décomptes microscopiques**

Une fleur d'eau observée sur le terrain doit être validée par un décompte d'au moins 20 000 cel./ml en CYANOTOT. Un constat de fleur d'eau est confirmé pour :

- 80 % des échantillons de fleurs d'eau de catégorie 1;
- 100 % des échantillons de catégories 2a ou 2b (figure 5).

- **Protection des usages récréatifs**

Le seuil de 100 000 cel./ml de CYANOTOT établi pour protéger les usages récréatifs est dépassé dans ces proportions d'échantillons :

- 13 % pour les fleurs d'eau de catégorie 1;
- 81 % pour les fleurs d'eau de catégorie 2a;
- 100 % pour les écumes, soit en catégorie 2b (figure 5).

Les stations ne sont pas situées au niveau des plages publiques. À noter que la procédure de gestion des épisodes de fleurs d'eau, recommandée aux [exploitants de plage](#), permet la baignade en catégorie 1 mais l'interdit en catégories 2a ou 2b (MDDELCC 2014).

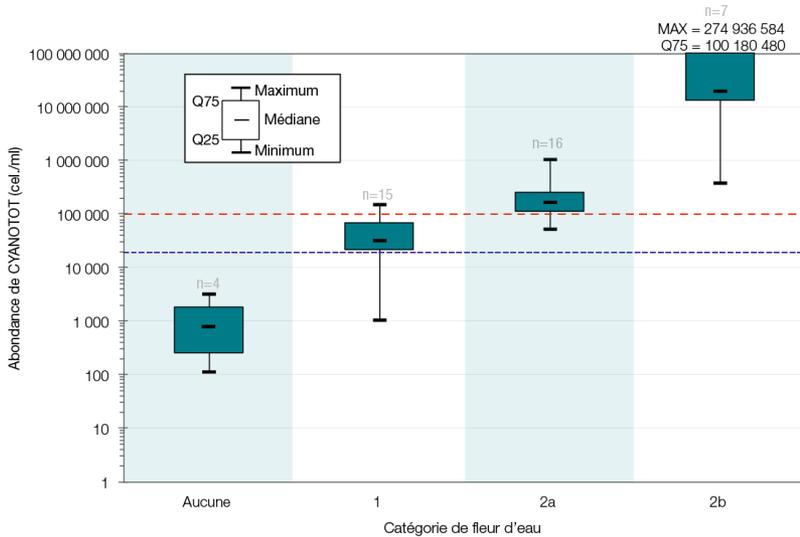


Figure 5 Distribution des abondances de cyanobactéries totales selon les catégories visuelles de fleurs d'eau et dépassements des seuils établis pour désigner une fleur d'eau (trait bleu) ou pour protéger des activités récréatives (trait rouge) du 2 juillet au 8 septembre à la baie Missisquoi

### Cyanobactéries et microcystines au large

- Le 2 juillet, aucune fleur d'eau n'est observée sur le terrain; il s'agit d'une *campagne régulière* (R). Les abondances de CYANO sont faibles à chacune des stations (figure 6).
- Du 16 juillet au 8 septembre aux stations *a*, *b*, *d2* et *d8*, les techniciens croient observer une fleur d'eau (*campagne fleur d'eau*). Toutefois, pour certains constats visuels, les décomptes microscopiques de CYANO sont en deçà du seuil minimal de 20 000 cel./ml de CYANO (les PICO exclues). Une **fleur d'eau de CYANO** est confirmée à partir des résultats du 16 juillet aux stations *b* et *d2* et du 22 juillet aux stations *a* et *d8*.

- Sur neuf visites, des fleurs d'eau sont présentes à sept dates aux stations *a*, *b* et *d8* et à huit dates à la station *d2*, soit à proximité de la prise d'eau de la station de production d'eau potable de Bedford.

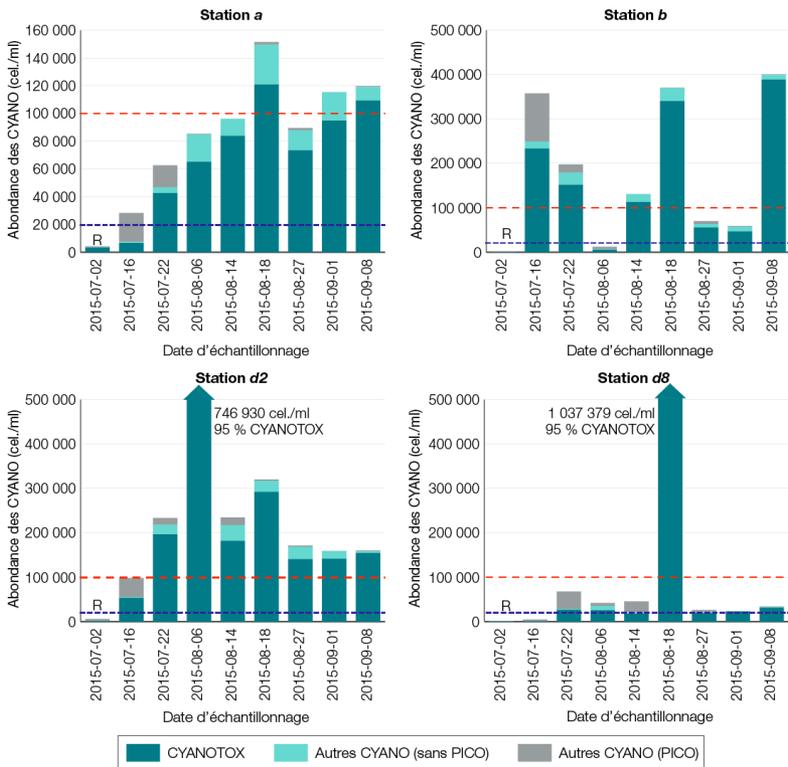


Figure 6 Variabilité des types de cyanobactéries et dépassements des seuils de cyanobactéries totales établis pour désigner une fleur d'eau (trait bleu) ou pour protéger des activités récréatives (trait rouge) aux stations *a*, *b*, *d2* et *d8*

(À noter : le « R » indique une campagne régulière. L'échelle de l'axe des y est trois fois moins élevée pour le graphique de la station *a*.)

- En ce qui concerne l'abondance, les **CYANOTOX** occupent au moins 75 % des CYANOTOT (les PICO exclues) dans 100 % des échantillons des stations *a*, *b* et *d2* dans la baie Missisquoi mais dans 78 % de ceux de la station *d8* dans la baie de Venise (figure 6).

- Le seuil de 100 000 cel./ml en CYANOTOT (les PICO exclues) établi pour **protéger les usages récréatifs** de contact avec les eaux est dépassé dans 16 des 36 échantillons (44 %). Les fréquences de dépassement par ordre décroissant selon les stations se répartissent ainsi : *d2* (7/9), *b* (5/9), *a* (3/9) et *d8* (1/9). Les dépassements surviennent de juillet à septembre. Ils atteignent jusqu'à environ 4, 7,5 et 10 fois le seuil aux stations *b*, *d2* et *d8* respectivement. La station *d8* se démarque par la plus faible fréquence de dépassement, mais aussi par l'abondance de CYANOTOT la plus élevée (fleur d'eau intense évoluant vers une écume).

### **Vigilance de mise pour les baigneurs et autres adeptes d'activités récréatives de contact avec les eaux**

D'après l'étude épidémiologique réalisée du 27 juin au 21 août 2009 sur trois lacs québécois, dont la baie Missisquoi, le risque de symptômes gastro-intestinaux sévères survenant après la pratique d'activités récréatives de contact direct ou indirect avec les eaux augmente de façon significative selon les classes d'abondance de CYANOTOT : moins de 20 000 cel./ml; de 20 000 à 100 000 cel./ml; et plus de 100 000 cel./ml (Lévesque et collab. 2014).

Ces auteurs font aussi ressortir un risque accru de gastroentérites lors d'activités de contact indirect avec les eaux (comme le canot et la pêche); ces usagers sont probablement moins prudents que les baigneurs en raison d'un contact plus limité avec les fleurs d'eau.

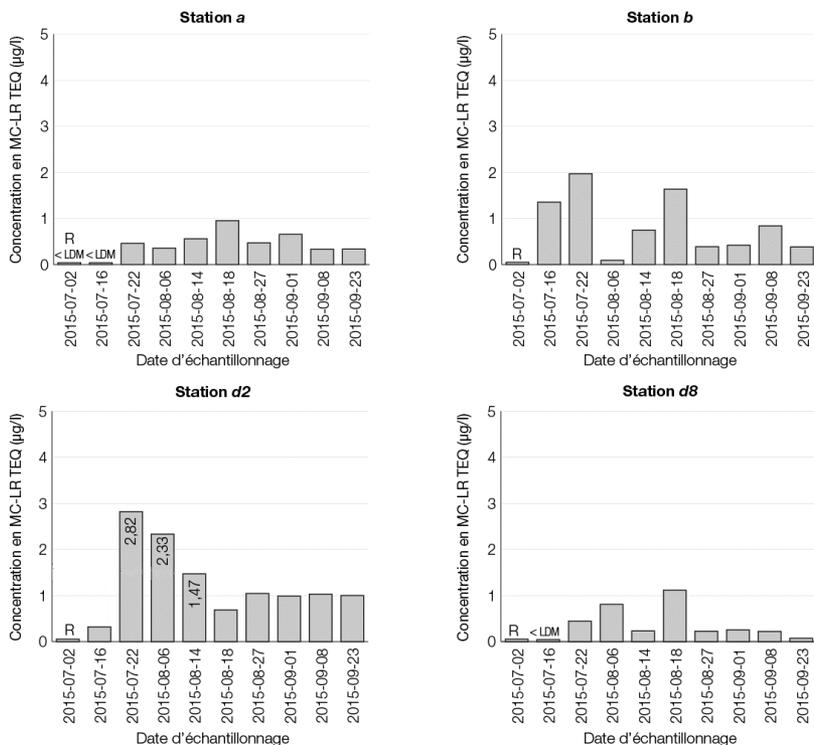


Figure 7 Variabilité de la MC-LR TEQ aux stations a, b, d2 et d8

(À noter : le « R » indique une campagne régulière.)

À l'opposé, le seuil provisoire de 16 µg/l MC-LR TEQ établi pour **protéger les usages récréatifs** n'est pas atteint aux stations a, b, d2 et d8 (n = 40). La concentration maximale de 2,82 µg/l est mesurée à la station d2 (figure 7).

**Dépassements des seuils établis pour protéger les usages récréatifs dans les stations au large**

Ils sont fréquents pour les CYANOTOT (16/36)  
et nuls pour la MC-R TEQ (0/40).

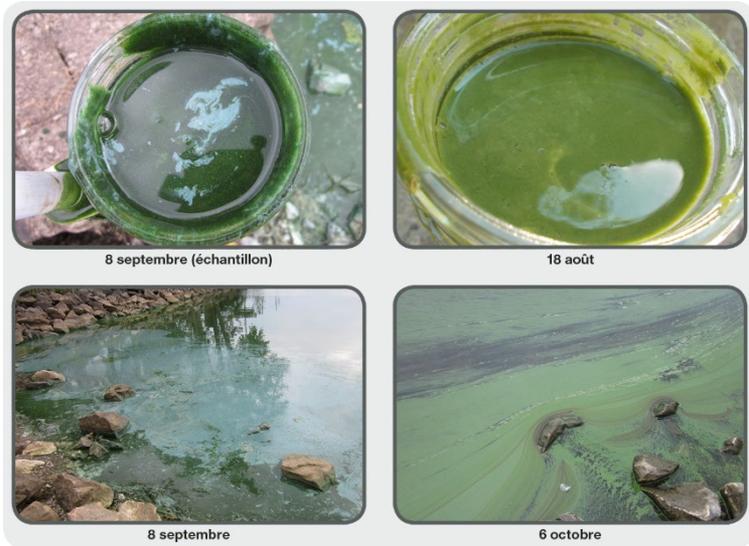
Trois échantillons d'eau prélevés à la station *d2* atteignent ou dépassent 1,5 µg/l en MC-LR TEQ, soit la norme applicable à *l'eau potable au robinet* en vertu du RQEP (Québec, 2017) (figure 7). Cependant, les échantillons de la station *d2* ont été prélevés dans le premier mètre de la colonne d'eau, alors que la prise d'eau de la station de production d'eau potable de Bedford se situe au fond, soit en moyenne à 3,5 m de profondeur selon le niveau de l'eau. Dans le cadre du Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert en 2015, cette [station de production d'eau potable a fait l'objet d'un suivi](#) (MDELCC 2016) du 13 juillet au 19 octobre. Les vérifications en MC à l'eau traitée respectent la norme pour l'eau potable (Bolduc 2017).

### Microcystines dans des écumes en bordure de rive

De l'écume est prélevée à la plupart des dates dans certains des secteurs touchés de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets (annexe 7). L'écume de la baie de Venise n'est pas échantillonnée.

À la station *d6*, de l'écume est prélevée sept fois du 16 juillet au 6 octobre (figure 8, annexes 7 et 8). Cette station se situe juste au nord de la descente pour bateaux du quai fédéral de Saint-Armand (figure 1). Cette zone est très fréquentée par des plaisanciers et des pêcheurs. Les concentrations mesurées en MC sont en général plus importantes vers le milieu et la fin de la période de suivi. Elles varient de 6 à 234 µg/l en MC-LR TEQ et de 8 à 283 µg/l en MC tot. À toutes les dates (sauf le 6 août), le seuil de 16 µg/l en MC-LR TEQ établi pour protéger les usages récréatifs est surpassé de 1,4 à près de 15 fois (figure 8, annexe 8).

La station *d20*, située en bordure de la frontière avec le Vermont, est échantillonnée le 8 septembre. La concentration de 27 µg/l en MC-LR TEQ dépasse donc le seuil de 16 µg/l (figure 8, annexe 8).



### Exemples d'écumes à la baie Missisquoi à la station d6 en 2015

Photos : Mélanie Gilbert, MELCC.

#### Dépassement du seuil provisoire de 16 $\mu\text{g/l}$ MC-LR TEQ

Ce seuil établi pour la protection des **activités récréatives** de contact avec les eaux :

- N'est dépassé dans aucun échantillon prélevé dans la colonne d'eau au large ( $n = 36$ ) (figure 7);
- Est dépassé dans 79 % des échantillons d'écumes prélevés en bordure du rivage ou à proximité de celui-ci, soit dans une zone où les usagers du plan d'eau sont plus nombreux. Les dépassements de 2 à 23 fois le seuil ( $n = 14$ ) concernent les stations dans la baie Missisquoi et la rivière aux Brochets (figure 8, annexe 8).

Le seuil de 16  $\mu\text{g/l}$  en MC-LR TEQ est dépassé de façon plus importante à une station de la baie Missisquoi et aux trois de la rivière aux Brochets situées près de la réserve écologique (figure 8, annexe 8). Les résultats pour ce secteur sont discutés à la section 3.3.

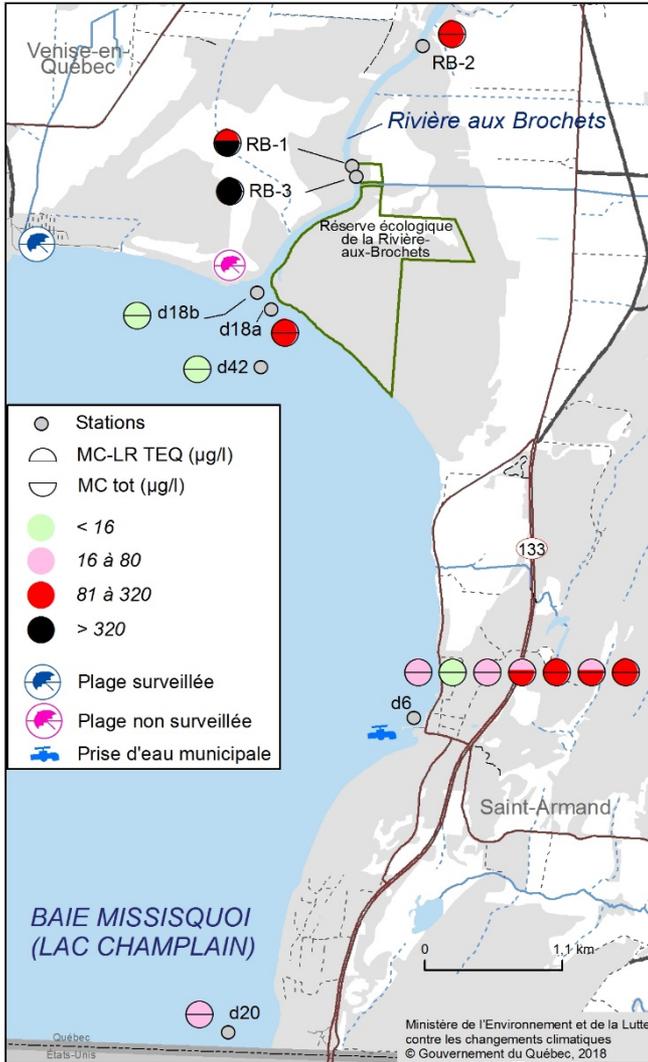


Figure 8 Classes de concentrations détectées de MC totales et de MC-LR TEQ dans des écumes de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets

(À noter : chaque cercle correspond à un échantillon. À la station d6, les cercles sont présentés dans l'ordre chronologique. Seuls les échantillons avec le demi-cercle du haut en vert respectent le seuil de  $16 \mu\text{g/l}$  MC-LR TEQ établi pour protéger les usages récréatifs.)

### 3.1.3 Douze variantes de microcystines

Les 12 variantes de MC analysées représentent 5 % des 248 variantes connues (Spooft et Arnaud 2017). Les résultats de MC tot. du secteur de la baie Missisquoi sont donc en général sûrement sous-évalués (figure 8, annexe 9). Les variantes les plus souvent détectées et concentrées sont les MC-LR, MC-RR et MC-LA. Ce sont trois des quatre variantes entrant dans le calcul de la MC-LR TEQ. La quatrième, la MC-YR, est assez fréquente, mais à des concentrations moindres.

Ces derniers résultats de même que d'autres sur les douze variantes de MC, dans les échantillons au large et dans ceux d'écumes près de la rive, sont illustrés et expliqués plus en détail à l'annexe 9.

### 3.1.4 Anatoxine-a et homoanatoxine-a

L'anatoxine-a et l'homoanatoxine-a ne sont pas détectées en 2015 dans les 51 échantillons au large ( $n = 40$ ) ni dans les écumes ( $n = 8$ ) de la baie Missisquoi.

L'anatoxine-a n'est pas non plus détectée en 2015 du côté américain dans la baie Missisquoi et ailleurs dans le lac Champlain (Shambaugh et collab. 2016). Toutefois, cette neurotoxine y avait été détectée à quelques reprises durant des années antérieures; la dernière fois remonterait à 2012 (Rosen et collab. 2001; Boyer 2007 et 2008; Shambaugh et collab. 2013, 2014, 2015 et 2017).

## 3.2 BAIE MISSISQUOI ET RIVIÈRE AUX BROCHETS 2015 PRÈS DE LA RÉSERVE ÉCOLOGIQUE

### 3.2.1 Catégories visuelles de fleurs d'eau

#### Fréquence des écumes

En 2015, c'est la première fois en plusieurs années de suivi depuis 2000 par le MELCC que des écumes de CYANO intenses et étendues sont observées dans le secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets.

La portion aval de la rivière aux Brochets, les embouchures des ruisseaux Bellefroid-Dandurand et Louis-Rochelleau et la baie Missisquoi sont toutes très touchées. Les écumes de CYANO sont observées aux cinq visites du 18 août au 23 septembre. Leurs étendues et densités diffèrent selon les dates (annexe 7).

Des fleurs d'eau et des écumes dans ces cours d'eau proviennent peut-être de celles de la baie Missisquoi en aval; elles seraient poussées par des vents vers l'amont.

En raison de la variation du niveau des eaux, les écumes « peignent » le bas de plantes herbacées et des arbres de la réserve écologique.

À certaines visites comme le 27 août, pendant que le secteur de la réserve écologique est très affecté par des écumes de CYANO, le reste de la baie Missisquoi semblait l'être moins ou pas du tout. Dans la vaste zone non abritée, de très forts vents y brassaient la colonne d'eau et donc les CYANO.



Écume dans la rivière aux Brochets et la réserve écologique, 2015-09-08.  
Photo : Mélanie Gilbert, MELCC.



Écume dans le ruisseau Louis-Rochelleau, qui sépare deux portions de la réserve écologique, 2015-09-08.  
Photo : Mélanie Gilbert, MELCC.



Écume et bulles de gaz dans la baie Missisquoi près de l'embouchure de la rivière aux Brochets, 2015-09-08.  
Photo : Mélanie Gilbert, MELCC.

À certaines dates, l'eau de la baie et de la rivière dégageaient des odeurs nauséabondes qui résultaient probablement de la décomposition de fortes biomasses de CYANO. Le 9 septembre, des bulles de gaz visibles à la surface de l'eau (photo ci-dessus) témoigneraient de la décomposition ou de la photosynthèse d'une biomasse colossale.



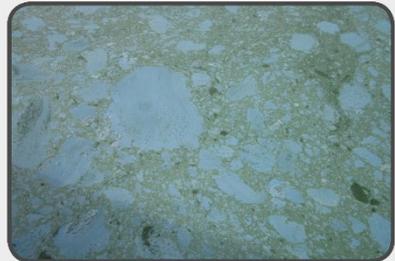
27 août - Rivière aux Brochets (station RB-1)



27 août - Rivière aux Brochets (station RB-1)



23 septembre - Baie Missisquoi près de l'embouchure de la rivière (station d'18a)



8 septembre - Baie Missisquoi près de l'embouchure de la rivière (aucun prélèvement)

Exemples d'écumes de cyanobactéries dans le secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets en 2015

Photos : adaptées de Mélanie Gilbert, MELCC.

### 3.2.2 Microcystines dans des écumes par rapport aux usages récréatifs

La baie Missisquoi et la rivière aux Brochets sont fréquentées entre autres par des adeptes d'activités récréatives de contact secondaire avec les eaux comme du nautisme léger. Ceux-ci ne doivent pas accoster sur le rivage du côté de la réserve écologique : l'accès à ce territoire protégé est interdit, sauf à des fins de recherche scientifique et d'éducation. Dans de tels cas, des autorisations d'accès délivrées par le MELCC s'avèrent nécessaires.

À des dates et endroits différents, trois échantillons d'écumes sont prélevés dans la baie et trois dans la rivière. Les stations *d42* et *d18b* affichent les plus faibles concentrations en MC-LR TEQ. Aux stations RB-2, *d18a*, RB-1 et RB-3, les résultats en MC-LR TEQ surpassent de 7 à 23 fois le seuil de 16 µg/l selon l'ordre croissant (figure 8, annexe 8).

### 3.2.3 Douze variantes de microcystines

Les douze variantes de MC analysées représentent 5 % des 248 variantes connues (Spooof et Arnaud 2017). Tout comme pour le secteur de la baie Missisquoi, les résultats de MC tot. du secteur de la réserve écologique sont donc sûrement sous-évalués (figure 8, annexes 9 et 10). Parmi les douze variantes analysées pour ce secteur, les plus fréquentes et les plus concentrées dans les écumes sont les MC-LR, MC-RR, MC-YR et MC-LA (annexe 10). Il s'agit des quatre variantes incluses dans le calcul de la MC-LR TEQ.

Ces derniers résultats de même que d'autres sur les douze variantes de MC, dans les échantillons d'écumes près de la rive, sont illustrés et expliqués plus en détail à l'annexe 10.

### 3.2.4 Anatoxine-a et homoanatoxine-a

Dans les six échantillons d'écumes de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets aux abords de la réserve écologique, l'anatoxine-a et l'homoanatoxine-a ne sont pas détectées.

## 3.3 RISQUES ÉCOLOGIQUES POTENTIELS DANS LES MILIEUX SENSIBLES

La baie Missisquoi, la rivière aux Brochets, leurs plaines inondables et la [réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets](#) sont des milieux sensibles. Ils servent d'habitats et d'aires de reproduction à plusieurs espèces fauniques. De plus, ils abritent des espèces [floristiques](#) et [fauniques](#) ayant un statut légal de protection (CDPNQ 2017) (tableau 4, figure 2) en vertu de la [Loi sur les espèces menacées ou vulnérables](#).

Toutefois, dans ces milieux aquatiques, les organismes vivants font face à des stress. Par exemple, une trop importante biomasse de CYANO peut conduire à une réduction d'oxygène dissous ou à des conditions toxiques pour des organismes sensibles. De plus, des métabolites de CYANO comme des cyanotoxines risquent d'affecter à différents degrés des plantes et des animaux (annexe 2 et photos aux pages 23 et 24).

Selon les données de pêche de 2012 comparées aux données de 2003, la communauté de poissons de la baie Missisquoi affiche une variation de sa composition en espèces et une baisse de biodiversité. De plus, près de 20 % des poissons présentent des anomalies externes de type DELT (déformations, érosion, lésions ou tumeurs) (Bouthillier 2015 et 2018; Bilodeau et collab. 2004).

Ce pourcentage d'anomalies DELT est très élevé. Il peut être attribuable à une eau de mauvaise qualité (Bouthillier, 2015 et 2018; Bilodeau et collab. 2004) ou à d'autres stress environnementaux. En effet, une proportion de 5 % et plus de poissons touchés se trouve en général dans des milieux contaminés par des substances toxiques (Karr 1991 dans Richard et collab. 2016).

### **3.3.1 Risques pour les vertébrés aquatiques à statut précaire en 2015**

Les vertébrés qui habitent, se nourrissent ou s'abreuvent dans les milieux aquatiques étudiés (figure 2) sont susceptibles d'être affectés par des fleurs d'eau de CYANO ou par des cyanotoxines. Cette hypothèse découle de constats rapportés dans la littérature pour d'autres espèces de vertébrés (annexe 2).

L'évaluation de risque détaillée à l'annexe 11, synthétisée dans le tableau 5 et expliquée ci-dessous, vise à vérifier les taux de dépassement des seuils provisoires en MC ou en CYANO retenus comme indicateurs dans ce document (tableau 3). Ces seuils sont comparés aux résultats des échantillons dont les dates et les lieux de prélèvement concordent avec la période sensible (tableau 4) et avec l'aire de distribution (figure 2) d'au moins une espèce de vertébré aquatique à statut précaire. Par précaution, un périmètre de 500 m est aussi considéré autour des aires de distribution parce que, d'une part, les fleurs d'eau et écumes peuvent se déplacer latéralement avec les vents et, d'autre part, des organismes pourraient sortir de leur aire de distribution connue. Ainsi, par exemple, comme la station *b* touche le périmètre de 500 m autour de l'aire de distribution de la couleuvre d'eau, les résultats en MC à cette station sont considérés pour cette espèce.

Tableau 5 Dépassements des seuils en MC et en *Microcystis* retenus comme indicateurs d'effets potentiels sur la vie aquatique appliqués aux aires de distribution et à la période sensible des espèces de vertébrés à statut précaire

Échantillons (N) <sup>(1)</sup>	Aire de distribution et période sensible des espèces à statut précaire					Seuil (Effet potentiel)
	AMPE	APSP	GRGE	NESI	NOBI	
<b>Fleur d'eau (≥ 20 000 cel./ml CYANOTOT)</b>						
<b>Baie Missisquoi</b>						
N total	7	33	25	8	3	S. O.
N et % >seuil	6 86 %	18 55 %	15 60 %	5 63 %	3 100 %	0,5 µg/l MC-LR TEQ (Croissance et comportement)
N et % >seuil	0	0	0	0	0	140 µg/l en MC tot. ET 1 000 000 cel./ml <i>Microcystis</i> (Létalité)
N et % >seuil	0	0	0	0	0	250 µg/l MC tot. ET 6 700 000 cel./ml <i>Microcystis</i> (Létalité)
<b>Écume<sup>(2)</sup></b>						
<b>Baie Missisquoi et rivière aux Brochets</b>						
N total	2	14	13	0	0	S. O.
N et % >seuil	2 100 %	14 100 %	13 100 %	S. O.	S. O.	0,5 µg/l MC-LR TEQ (Croissance et comportement)
N et % >seuil	0	7 50 %	7 54 %	S. O.	S. O.	140 µg/l MC tot. ET 1 000 000 cel./ml <i>Microcystis</i> (Létalité)
N et % >seuil	0	4 29 %	4 31 %	S. O.	S. O.	250 µg/l MC tot ET 6 700 000 cel./ml <i>Microcystis</i> (Létalité)

(1) Tous les échantillons de fleurs d'eau proviennent de la baie Missisquoi. Les échantillons d'écumes ont été prélevés dans cette baie et dans la rivière aux Brochets.

(2) Normalement, les écumes ne durent pas assez longtemps pour présenter une toxicité chronique. Toutefois, la durée de l'exposition dans l'écume s'ajoute à celle dans les fleurs d'eau.

Le tableau 5 affiche plusieurs dépassements de seuils durant la période sensible et dans l'aire de distribution des cinq espèces de vertébrés à statut précaire.

- Dans les **fleurs d'eau**, un seul seuil est dépassé, soit celui de 0,5 µg/l MC-LR TEQ. La fréquence des dépassements varie de 55 % à 100 % des échantillons selon l'aire de distribution et la période sensible de chacune des cinq espèces de vertébrés.
- Dans les **écumes**, le seuil de 0,5 µg/l MC-LR TEQ est dépassé dans 100 % des échantillons des deux secteurs. Normalement, les écumes ne durent pas assez longtemps pour présenter une toxicité chronique. Toutefois, la durée de cette exposition dans l'écume s'ajoute à celle dans les fleurs d'eau, ce qui augmente les risques d'effets chroniques. Ces dépassements concernent le dard de sable (AMPE), la tortue-molle à épines (APSP) et la tortue géographique (GRGE).

Quant aux deux combinaisons de seuils incluant les MC tot. et *Microcystis*, la fréquence et l'importance des dépassements sont plus élevés dans le secteur de la réserve écologique que dans celui de la baie Missisquoi (annexe 11). Globalement, la fréquence des dépassements est de l'ordre de 30 % des échantillons pour une combinaison de seuils (250 µg/l MC tot. et 6 700 000 cel./ml *Microcystis*) et de 50 % pour l'autre (140 µg/l MC tot. et 1 000 000 cel./ml *Microcystis*). Les dépassements touchent la tortue-molle à épines (APSP) et la tortue géographique (GRGE) (tableau 5).

Chez ces trois espèces, les individus des jeunes stades de vie risquent d'être exposés plus longtemps à une écume : leur capacité natatoire nulle ou faible les empêche de s'en éloigner. Les plus vulnérables sont donc les œufs et les embryons du dard de sable ainsi que les jeunes tortues. Pour ces dernières, l'exposition à des écumes ou à des cyanotoxines dépend aussi du type d'habitat privilégié par chacune des deux espèces. Durant cette période de l'année, les jeunes de la tortue géographique se tiennent plus souvent dans le milieu aquatique près du rivage (Bouthillier 2020), où des écumes sont en général plus concentrées, car entassées par les vents. Les jeunes de la tortue-molle à épines demeurent enfouis presque toute la journée dans les sédiments (Bouthillier et Lazure 2017; Devost et Paré 2019), là où s'accumulent sûrement des cyanotoxines (Song et collab. 2018; Hobbs 2018; USEPA 2015).

À noter que pour des poissons, les MC à elles seules seraient moins toxiques que les CYANO ou que le reste de leur contenu (Oberemm et collab. 1997; Ghazali et collab. 2009; Saraf et collab. 2018).

Bref, des effets comportementaux ou touchant la santé de ces cinq espèces aquatiques à statut précaire sont appréhendés, et ce, peu importe si on considère les seuils retenus comme indicateurs d'effets potentiels chroniques ou aigus (annexe 11).

L'interprétation ci-dessus doit être considérée comme provisoire et à titre indicatif. En effet, cette évaluation des risques sur la faune comporte des limites, dont les suivantes :

- Le protocole d'échantillonnage conçu avant le début de l'été ne l'avait pas été pour évaluer les risques sur la vie aquatique comme sur les espèces à statut précaire;
- En présence d'une fleur d'eau, les résultats des huit échantillons à la station a sont considérés seulement pour la tortue-molle à épines (APSP) : la seule espèce dont l'aire de distribution s'étend autant au large. Toutefois, cette espèce fréquente rarement le large. Or, les abondances de CYANO et de concentrations de MC plus faibles à la station a influencent à la baisse le pourcentage de dépassement de seuils pour les 33 échantillons de la baie Missisquoi (tableau 5);
- Le nombre d'échantillons couvrant les aires de distribution et la période sensible est faible pour certaines espèces et plus élevé pour d'autres (tableau 5);
- Les écumes échantillonnées ne couvrent pas suffisamment les aires de distribution et la période sensible de toutes les espèces (figure 2, tableau 4 et annexe 11);
- L'évaluation est restreinte à 5 % des variantes connues de MC (Spoof et Arnaud 2017);
- D'autres cyanotoxines sont susceptibles d'être produites par des taxons de CYANO présents à la baie Missisquoi (figure 3, annexe 2) : cylindrospermopsine, anatoxine-a(s), saxitoxines, néosaxitoxine et  $\beta$ -N-méthylamino-L-alanine (BMAA) (Blais et Sinotte 2008; Bernard et collab. 2017);
- Une trop importante biomasse algale vivante ou en décomposition peut affecter les organismes respectivement par le colmatage de branchies ou par des conditions physicochimiques potentiellement létales. D'ailleurs, en 2017, le manque d'oxygène et des températures élevées de l'eau dans la baie Missisquoi seraient la cause de l'épisode de mortalité massive de mollusques (Paquet 2017);
- Des acides rétinoïques en concentrations trop importantes peuvent être nuisibles pour les organismes aquatiques. Ces métabolites peuvent être produits par *Aphanizomenon*, *Microcystis* et *Dolichospermum* (annexe 2) (Wu et collab. 2012). En 2015, le total des *Microcystis*, *Dolichospermum* et *Aphanizomenon* occupe de 98 à 100 % de l'abondance des CYANOTOX dans l'ensemble des échantillons des *campagnes fleur d'eau* et *écume* (données non illustrées);

- En plus de l'eau, les sédiments et les proies consommées sont des voies d'exposition aux cyanobactéries et aux cyanotoxines (Bownik 2016; Burkholder et collab. 2018; Ettoumi et collab. 2011). Les poissons et tortues à statut précaire sont tous des prédateurs. Ils s'alimentent notamment d'organismes benthiques;
- D'autres espèces non considérées plus haut sont aussi exposées, comme des oiseaux à statut précaire (pie-grièche migratrice et pygargue à tête blanche) qui fréquentent une partie de la zone étudiée et qui se nourrissent d'organismes aquatiques (CDPNQ 2015 et 2017; MFFP 2006).

### 3.4 BAIE MISSISQUOI 2015 COMPARÉE À 2005-2008 ET À 2014

En 2015, les fleurs d'eau sont dominées par les CYANO. Les stations *a* et *b* font exception les 27 août et 1<sup>er</sup> septembre : les CYANO et les diatomées occupent environ la même biomasse (annexe 6, figure 6).

Aucune fleur d'eau dominée par des algues n'est recensée en 2015. À l'opposé, des fleurs d'eau de cryptophycées sont notées en 2004, 2008 et 2014, de dynophycées en 2007 et 2014 et de chlorophycées en 2006 et 2007 (Bowling et collab. 2014; Blais 2019).

Les portraits interannuels au large regroupent les résultats des stations *a*, *b*, *d2* et *d8*. Ils portent sur les CYANO, les algues et la MC-LR TEQ. Les comparaisons interannuelles sont faites avec réserves et nuances, étant donné l'hétérogénéité des nombres annuels d'échantillons et un changement méthodologique entre la période de 2005 à 2008 et celle de 2014 et 2015.

Pour les écumes prélevées en bordure de rive, la comparaison interannuelle se limite à la station *d6* pour les résultats en MC-LR TEQ. La méthode sur le terrain est demeurée la même au cours des années.

**Figures 9, 10 et 11**  
**Comparaison de l'objectif méthodologique de 2005-2008 à celui de 2014-2015 pour les stations a, b, d2 et d8**

En présence de fleurs d'eau, les résultats correspondent :

- **Aux fleurs d'eau les plus intenses de 2005 à 2008.** Ces stations sont échantillonnées seulement aux dates de visite durant lesquelles elles représentent les lieux où les fleurs d'eau semblent les plus denses (sinon les échantillons sont prélevés ailleurs). Le nombre total d'échantillons par année aux stations a, b, d2 et d8 varie entre 16 et 18.
- **À un mélange de fleurs d'eau les plus intenses et d'autres moins intenses en 2014 et en 2015.** C'est toujours à ces quatre stations que les échantillons sont prélevés, et ce, peu importe si des fleurs d'eau sont d'une catégorie plus intense ailleurs au large (suivi temporel). En 2015, 58 % des échantillons sont des fleurs d'eau d'une catégorie moins intense que celles ailleurs dans la baie. La proportion diminue à 38 % si on se limite aux échantillons des stations b et d2. Le nombre total d'échantillons est de 44 en 2014 et de 36 à 40 selon les paramètres en 2015.

### 3.4.1 Biomasse du phytoplancton et des cyanobactéries

La figure 9 montre des biomasses en phytoplancton total (PHYTOTOT) et en CYANOTOT un peu plus élevées que celles des années précédentes, mais les différences avec celles-ci ne sont pas nécessairement significatives (tests statistiques non effectués).

Ces constats en CYANOTOT pour les stations a, b, d2 et d8 en 2015 semblent aller dans le même sens que les observations visuelles faites un peu plus au nord, soit dans le secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets : c'est la première fois en plusieurs années de suivi depuis 2000 que le MELCC y observe une problématique très importante de CYANO.

Néanmoins, un suivi à long terme permettrait de savoir si les résultats de 2015 s'inscrivent dans des fluctuations interannuelles ou s'ils constituent des signes d'une tendance à la hausse.

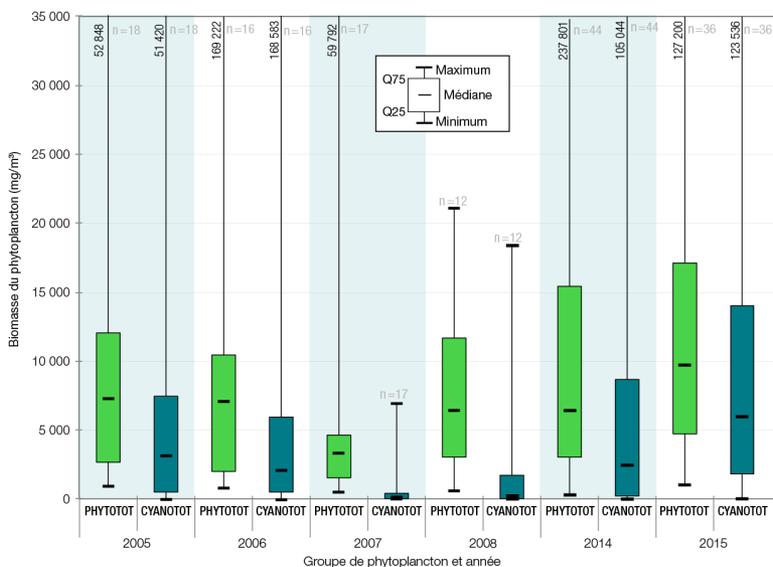


Figure 9 Variation interannuelle (2005-2008, 2014-2015) de la biomasse du phytoplancton total et des cyanobactéries totales aux stations a, b, d2 et d8 en campagnes régulières et fleurs d'eau.

### 3.4.2 Cyanobactéries et microcystines par rapport aux usages

En *campagnes fleur d'eau*, soit lorsque l'équipe sur le terrain pense y observer une fleur d'eau au large, en 2015 :

- La médiane et le 75<sup>e</sup> centile des abondances de CYANOTOT et en CYANOTOX dépassent ceux des cinq années antérieures de suivi (figure 10). Les médianes sont de l'ordre du seuil de 100 000 cel./ml en 2015, alors qu'elles tournent autour de 50 000 cel./ml pour les autres années (figure 10);
- La médiane de 2015 ainsi que le 75<sup>e</sup> centile de 2014 et celui de 2015 dépassent le seuil établi en CYANOTOT pour protéger les usages récréatifs de contact avec les eaux;
- En ce qui concerne la MC-LR TEQ, la médiane et le 75<sup>e</sup> centile s'apparentent à ceux de 2005 et de 2014. Le seuil établi pour protéger des usages récréatifs n'est pas dépassé en 2015 (n = 0/36); il l'a été deux fois en 2014 sur un nombre plus élevé d'échantillons (n = 2/40) (figure 11).

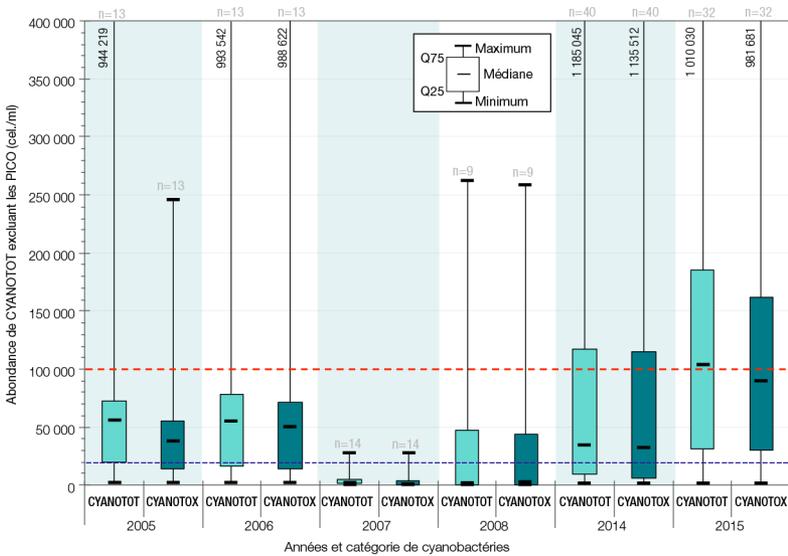


Figure 10 Comparaison interannuelle (2005-2008, 2014-2015) des abondances des CYANOTOT et CYANOTOX en campagnes fleurs d'eau aux stations a, b, d2 et d8

(À noter : le trait bleu correspond au seuil fleur d'eau; le trait rouge, au seuil usages récréatifs.)

### Figures 10 et 11

#### **Présomptions découlant du changement méthodologique sur les constats obtenus pour les stations a, b, d2 et d8**

Eu égard au changement de l'objectif méthodologique aux saisons 2014 et 2015 par rapport à celui de 2005 à 2008 (encadré, page 31) et dans l'hypothèse du maintien du niveau de problématique des fleurs d'eau de CYANO dans le temps, on aurait pu s'attendre à ce que :

- Les médianes de 2014 et de 2015 en biomasses du phytoplancton total et de CYANOTOT et en abondances de CYANOTOT soient plus faibles que celles des années antérieures. Or, ce n'est pas le cas; les médianes interannuelles sont du même ordre de grandeur (figures 9 et 10). Pour chacun des paramètres pris individuellement, les chevauchements interannuels entre les boîtes à moustaches de la plupart des années laissent croire qu'il n'y aurait pas de différence significative entre les médianes des années concernées;
- Le nombre plus élevé d'échantillons en 2014 et en 2015 pourrait favoriser l'obtention de plus de valeurs extrêmes. C'est ce que l'on observe avec les 75<sup>es</sup> centiles plus élevés pour la biomasse du phytoplancton et celle des CYANOTOT (figure 9) et les abondances de CYANOTOT et de CYANOTOX (figure 10).

En *campagnes écumes* (EC), les secteurs ayant des écumes ne sont pas tous échantillonnés (annexe 7). De plus, le nombre d'échantillons est très faible à chacune des années : les constats suivants sont donc plus incertains quant à la représentativité annuelle et interannuelle.

En 2015, 88 % des échantillons (n = 7/8) en MC-LR TEQ dépassent le seuil établi de 16 µg/l pour les eaux récréatives, alors que ce fut le cas pour 100 % des échantillons aux autres années avec écumes (figure 11). À noter : beaucoup moins d'échantillons ont été prélevés annuellement de 2005 à 2008 et en 2014 (n = 1 à 4). En 2015, le seul échantillon d'écume (catégorie 2b) sous ce seuil aurait pu aussi être classé à la limite comme une fleur d'eau de catégorie 2a très intense; les forts vents brassaient les CYANO dans la colonne d'eau.

Tout comme pour 2005-2008 et 2014, en 2015, les résultats de MC-LR TEQ dans les écumes dépassent d'environ 100 à 1 000 fois ceux dans les fleurs d'eau au large (figure 11). Ce constat concorde avec celui de Falconer et collab. (1999) : la densité cellulaire des CYANO et les concentrations de cyanotoxines peuvent augmenter de 100 fois après la remontée des CYANO en surface et de 1 000 fois après avoir été entassées près de la rive par le vent sur une distance de 100 m.

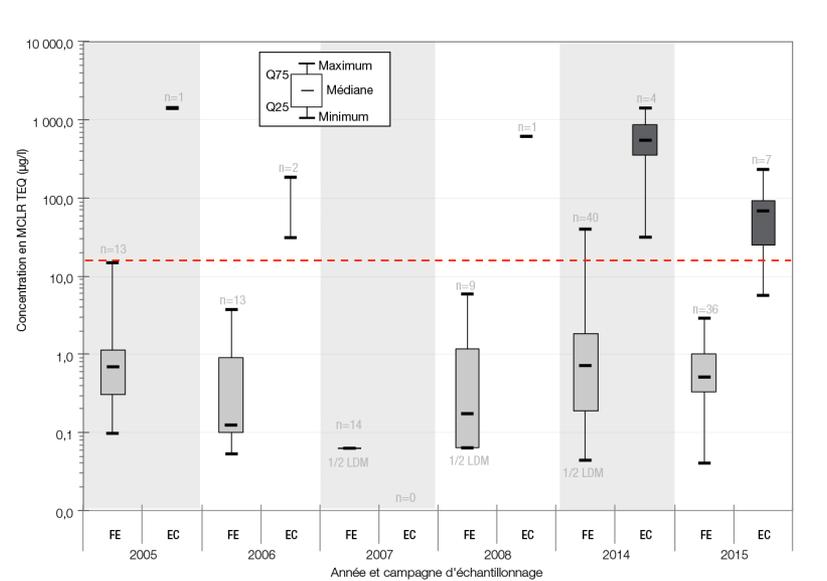


Figure 11 Comparaison interannuelle (2005-2008, 2014-2015) des concentrations en MC-LR TEQ aux stations a, b, d2, et d8 dans des fleurs d'eau (FE) et à la station d6 dans des écumes (EC)

(À noter : le trait rouge correspond au seuil pour les usages récréatifs. La mention ½ LDM signifie la moitié de la limite de détection de la méthode d'analyse; elle correspond à la valeur par défaut lorsqu'aucune variante de MC n'est détectée.)

### 3.4.3 Cyanobactéries potentiellement responsables de la production de microcystines

En 2015, aucun n'échantillon n'est monospécifique. Les échantillons dont les concentrations en MC totales sont les plus élevées sont dominés surtout par

*Microcystis* mais aussi par *Dolichospermum flos-aquae* (annexe 12). Ces taxons faisaient partie de ceux présumés responsables de la production des MC en 2003 et en 2014 (Blais 2014 et 2019). En 2000-2008, *M. aeruginosa* était corrélé avec chacune des variantes de MC (LR, RR et YR) et avec les MC totales en plus d'afficher les coefficients de corrélation les plus élevés (Bowling et collab. 2014).

### 3.4.4 Diversité du phytoplancton

Le projet de 2015 compte moins de stations qu'en 2004 à 2008 et moins d'échantillons qu'en 2014. Néanmoins, en 2015 :

- La biodiversité, basée sur le nombre de taxons identifiés, est un peu plus élevée pour les CYANOTOX et les algues (annexes 4 et 5);
- Les taxons suivants sont identifiés pour la première fois : *Leptolyngbya* sp. et *Microcystis ichthyoblabe* dans les CYANOTOX ainsi que *Cyanodictyon* sp. et *Glaucospira* sp. pour les autres CYANO (annexe 4).

## CONCLUSION

Pour répondre aux objectifs du suivi de 2015, le portrait sur les CYANO, des cyanotoxines et les algues à la baie Missisquoi est dressé. En ce qui concerne la rivière aux Brochets, le suivi porte sur l'évolution des écumes de CYANO et des MC. Les résultats relatifs à la baie Missisquoi de 2015 sont comparés à ceux disponibles lors des dix années précédentes (2005-2008, 2014).

En 2015 dans la baie Missisquoi, les fleurs d'eau de CYANO sont fréquentes, vastes et souvent intenses. Les abondances et biomasses de CYANOTOX surpassent alors toujours celles des autres CYANO, des algues et donc de l'ensemble de la communauté phytoplanctonique.

En 2015, comparativement à 2005-2008 et à 2014, les biomasses du PHYTOTOT et en CYANOTOT sont légèrement plus élevées, mais ces différences ne sont pas significatives. Ces résultats tendent à démontrer que le problème des cyanobactéries dans la baie Missisquoi s'est maintenu.

De plus, 2015 a été la première année au cours de laquelle les employés du MELCC ont observé des écumes de CYANO très intenses et étendues dans la baie Missisquoi et dans la rivière aux Brochets, dans le secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets.

Les résultats en CYANOTOT et en MC de 2015 ont été comparés avec des seuils établis pour protéger soit les baigneurs et les adeptes d'autres activités récréatives de contact avec les eaux, soit la vie aquatique. Pour ces deux catégories de seuils, les dépassements sont fréquents dans les fleurs d'eau au

large. Cependant, ils sont encore plus fréquents et plus importants dans les écumes échantillonnées près de la rive.

Des seuils retenus comme indicateurs d'effets potentiels sur la vie aquatique ont été dépassés dans toutes les écumes échantillonnées dans les aires de distribution et durant la période sensible de cinq espèces de reptiles et de poissons à statut précaire. Des dépassements importants de ces seuils ont été observés près de la [réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets](#).

À l'échelle mondiale, la communauté scientifique appréhende un accroissement des fleurs d'eau de CYANO et des cyanotoxines en raison des changements climatiques. Par exemple, les pics de précipitations accroissent le ruissellement et les apports de phosphore et d'azote vers les plans d'eau. De plus, les hausses de température favorisent davantage la prolifération de CYANO et prolongent leur saison de croissance.

Pour réduire les impacts écologiques, récréotouristiques, économiques et de santé publique, les riverains et les différents acteurs du bassin versant doivent agir à la source du problème, c'est-à-dire réduire les apports de phosphore vers la baie Missisquoi et la rivière aux Brochets (Bowling et collab. 2014; Tromas et collab. 2018).

---

## BIBLIOGRAPHIE

Cette bibliographie inclut les références citées dans le texte principal et dans les annexes.

- BAGANZ, Daniela, et collab. (2004). "[Comparative study of microcystin-LR-induced behavioral changes of two fish species, \*Danio rerio\* and \*Leucaspis delineatus\*](#)", *Environnemental Toxicology*, vol. 9, n° 6, Décembre, p. 564-570.
- BERNARD, Cécile, et collab. (2017). "Appendix 2. Cyanobacteria Associated With the Production of Cyanotoxins" dans MERILUOTO, Jussi, Lisa SPOOF et Geoffrey A. CODD (éd.). [Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis](#). Wiley, Cost European Cooperation in Science and Technology, Cyanocost, United Kingdom, p. 501-525.
- BILODEAU, Pierre, Bertrand DUMAS et Huguette MASSÉ, 2004. [Composition et état de santé de la communauté des poissons de la baie Missisquoi, lac Champlain, été 2003 \[ : rapport technique 16-23\]](#), [Montréal], Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de l'aménagement de la faune de Montréal, de Laval et de la Montérégie, xii + 43 p. + 12 ann.
- BLAIS, Sylvie, 2019. [État de situation sur les cyanobactéries et les algues eucaryotes à la baie Missisquoi en 2014](#), Québec, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 30 p. + 3 ann.
- BLAIS, Sylvie, 2015. [Faits saillants – État de situation sur les cyanobactéries à la baie Missisquoi de 2000 à 2008 en lien avec les seuils provisoires pour les eaux récréatives](#), Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 12 p. + 1 ann.
- BLAIS, Sylvie, 2014. [État de situation sur les cyanobactéries à la baie Missisquoi de 2000 à 2008 en lien avec les seuils provisoires pour les eaux récréatives](#), Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 44 p. + 13 ann.
- BLAIS, Sylvie, et Marc SINOTTE (2008). *Cyanobactéries à potentiel toxique [fiche]*, [Québec], Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 14 p. [Document non publié].
- BOLDUC, Anouka ([anouka.bolduc@mddelcc.gouv.qc.ca](mailto:anouka.bolduc@mddelcc.gouv.qc.ca)). *Rapport sur les cyanobactéries à la BM en 2015 : validation de données pour la station de production d'eau potable*, [Message électronique à Sylvie Blais], ([sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca](mailto:sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca)), 16 août 2017.

- BONIN, Joël, 1998. [Rapport sur la situation de la tortue géographique \(\*Graptemys geographica\*\) au Québec, \[ : rapport\]](#), Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, 35 p.
- BOUTHILLIER, Lyne ([lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca](mailto:lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca)). *Petite question : tortue adulte vs importante fleur d'eau ou écume de cyano*, [Messages électroniques à Sylvie Blais], ([sylvie.blais@melcc.gouv.qc.ca](mailto:sylvie.blais@melcc.gouv.qc.ca)), 12 et 13 mars 2020, 27 et 30 avril 2020, 1<sup>er</sup> mai 2020.
- BOUTHILLIER, Lyne, et Bert KLEIN, ([lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca](mailto:lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca)) et ([bert.klein@mffp.gouv.qc.ca](mailto:bert.klein@mffp.gouv.qc.ca)). *Baie Missisquoi et rivière aux Brochets : période sensible pour la tortue-molle à épines et la tortue géographique*, [Messages électroniques à Sylvie Blais], ([sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca](mailto:sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca)), 21 novembre 2018.
- BOUTHILLIER, Lyne, et Bert KLEIN, ([lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca](mailto:lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca)) et ([bert.klein@mffp.gouv.qc.ca](mailto:bert.klein@mffp.gouv.qc.ca)). *Baie Missisquoi et rivière aux Brochets : une petite question pour la période sensible de la couleuvre d'eau dans la baie (en milieu aquatique)*, [Messages électroniques à Sylvie Blais], ([sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca](mailto:sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca)), 21 novembre 2018, 18 et 19 décembre 2018.
- BOUTHILLIER, Lyne ([lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca](mailto:lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca)). *Cyanotoxines et espèces fauniques à la rivière aux Brochets, la baie Missisquoi et la réserve écologique*, [Message électronique à Sylvie Blais], ([sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca](mailto:sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca)), 17 janvier 2018.
- BOUTHILLIER, Lyne, et Louis LAZURE, 2017. *Suivi télémétrique de tortues-molles à épines juvéniles ou subadultes à la rivière aux Brochets [Rapport préparé pour le Groupe de mise en œuvre du rétablissement de la tortue-molle à épines]*, Québec, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune de l'Estrie, de Montréal, de la Montérégie et de Laval et Zoo de Granby, 25 p. [Rapport de la saison 2016 – Document interne].
- BOUTHILLIER, Lyne, 2015. *Communication personnelle*. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 28 novembre 2015.
- BOWLING, Lee, Sylvie BLAIS et Marc SINOTTE (2015). "[Heterogeneous spatial and temporal cyanobacterial distributions in Missisquoi Bay, Lake Champlain: An analysis of a 9 year data set](#)", *Journal of Great Lakes Research*, vol. 41, n° 1, Mars, p. 164-179.
- BOWLING, Lee, Sylvie BLAIS et Marc SINOTTE, 2014. [An analysis of cyanobacterial bloom occurrence in Missisquoi Bay \(Québec, Canada\) between 2000 and 2008, and possible environmental factors underlying](#)

- them [ : rapport], Australia, New South Wales Government, Department of Primary Industries, Office of Water, 102 p.
- BOWNIK, Adam (2016). "[Harmful algae : Effects of cyanobacterial cyclic peptides on aquatic invertebrates - a short review](#)", *Toxicon*, vol. 124, Décembre, p. 26-35.
- BOYER, Gregory L., 2008. "[Cyanobacterial Toxins in New York and the Lower Great Lakes Ecosystems](#)", dans HUDNELL, Kenneth H., *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. Advances in Experimental Medicine and Biologie*, [s. l.], H. K. Hundnell (éd.). Février, vol. 619, Chapter 7, p. 153-165.
- BOYER, Gregory L. (2007). "[The occurrence of cyanobacterial toxins in New York lakes: Lessons from the MERHAB-Lower Great Lakes program](#)", *Lake and reservoir management*, vol. 23, n° 2, juin, p. 53-160.
- BURKHOLDER, JoAnn M., Sandra E. SHUMWAY and Patricia M. GLIBERT, 2018. "[Food Web and Ecosystem Impacts of Harmful Algae](#)", dans SHUMWAY, Sandra E., JoAnn M. BURKHOLDER et Steve L. MORTON (éd.). *Harmful Algal Blooms : A Compendium Desk Reference*, John Wiley & Sons Ltd, chapitre 7, Juin, p. 243-336.
- BUTLER, Ned, Jim CARLISLE et Regina LINVILLE, 2012. [Toxicological Summary and Suggested Action Levels to Reduce Potential Adverse Health Effects of Six Cyanotoxins \[Final Report\]](#), [Sacramento], Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Environmental Protection Agency, Mai, 36 p. + 7 ann.
- CABI, 2018. [Leucaspisus delineatus \(sunbleak\)](#) [original text by BRITTON, Rob, 2011], dans *Invasive Species Compendium*, Wallingford: UK, CAB International, [En ligne], [www.cabi.org/isc] Centre for Conservation Ecology, Bournemouth University. (Page consultée le 19 décembre 2018).
- CENTRE DE DONNÉES SUR LE PATRIMOINE NATUREL DU QUÉBEC (CDPNQ), 2017. *Extractions du système de données pour le territoire de la baie Missisquoi ainsi que de la rivière aux Brochets dans le secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets*, [Québec], Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, (février).
- CENTRE DE DONNÉES SUR LE PATRIMOINE NATUREL DU QUÉBEC (CDPNQ), 2015. *Extractions du système de données pour le territoire de la baie Missisquoi ainsi que de la rivière aux Brochets dans le secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets*, [Québec], Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, (novembre).

- CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, 2012a. [Identification, dénombrement et estimation du biovolume des cyanobactéries et des algues](#). MA. 800 – Cya.alg 1.0, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 22 p.
- CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, 2012b. [Dépistage des cyanobactéries](#). MA. 800 – Cya.dep 1.0, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 16 p.
- CHEVALIER, Pierre ([pierre.chevalier@inspq.qc.ca](mailto:pierre.chevalier@inspq.qc.ca)), *Réponse concernant la demande pour le calcul du seuil de 16 µg/l de cyanotoxines pour la baignade*, [Message électronique à Sylvie Blais], ([sylvie.blais@mddep.gouv.qc.ca](mailto:sylvie.blais@mddep.gouv.qc.ca)), 23 septembre 2013.
- CHORUS, Ingrid et Jamie BARTRAM, 1999. "[Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management](#)", London, published on behalf of World Health Organization, F & FN Spon, 416 p. (version papier) ou 400 p. (version électronique).
- COSEPAC, 2016. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la tortue-molle à épines \(Apalone spinifera\) au Canada \[ : rapport\]](#), Ottawa, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, (PDF), xiii + 42 p.
- COSEPAC, 2012. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la tortue géographique \(Graptemys geographica\) au Canada \[ : rapport\]](#), Ottawa, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, (PDF), xii + 73 p.
- COX Paul Alan, et collab. (2005). "[Diverse taxa of cyanobacteria produce β-N-methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino acid](#)", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 102, n° 14, Avril, p. 5074-5078.
- DE BOUTRAY, Marie-Laure, et collab., 2017. [Revue de littérature sur les cyanotoxines dans les milieux aquatiques d'eau douce : leurs effets potentiels sur la santé des usagers et les critères ou seuils d'alerte de toxicité chronique et aiguë](#). Chaire de recherche du Canada en protection des sources d'eau potable, Polytechnique Montréal, 222 p. Également disponible en ligne : [www.environnement.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/tableau\\_FQRNT.htm](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/tableau_FQRNT.htm).
- DEVOST, Isabelle, et Patrick PARÉ, 2019. *Suivi télémétrique de tortues-molles à épines juvéniles ou subadultes à la rivière aux Brochets - Saison 2019 et bilan global, [ : rapport]*, Québec, Groupe de mise en œuvre du rétablissement de la tortue-molle à épines au Québec et Zoo de Granby, 28 pages. [Document interne].

- ETTOUMI, A. *et collab.*, 2011. "[Bioaccumulation of Cyanobacterial Toxins in Aquatic Organisms and its Consequences for Public Health](#)", dans KATTEL, Giri, (éd). *Zooplankton and Phytoplankton: Types, characteristics and ecology*, Nova Science Publishers, Inc., New York, chapitre 1, p. 1-34.
- FALCONER, Ian, *et collab.*, 1999. "Safe levels and safe practices" dans CHORUS, Ingrid, et Jamie BARTRAM, 1999 (éd.). [Toxic Cyanobacteria in Water. A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management](#). E & FN Spon on behalf on the World Health Organization, Chapitre 5, p. 161-182.
- GHAZALI, Issam El, *et collab.* (2009). "[Compensatory Growth Induced in Zebrafish Larvae after Pre-Exposure to a Microcystis aeruginosa Natural Bloom Extract Containing Microcystins](#)". *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 10, no 1, Février, p. 133-146.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. « [Précautions à prendre en présence d'algues bleu-vert](#) » dans *Prévenir les effets sur la santé liés aux algues bleu-vert*, [En ligne], 2019. [www.quebec.ca/sante/conseils-et-prevention/sante-et-environnement/algues-bleu-vert]. (Page consultée le 12 juin 2019).
- GROUPE SCIENTIFIQUE SUR L'EAU, 2017. [Cyanobactéries et cyanotoxines dans l'eau potable et l'eau récréative](#) dans *Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine*, Repéré sur le site de l'Institut national de santé publique du Québec : <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/cyanobacteries>.
- GROUPE SCIENTIFIQUE SUR L'EAU, 2005. [Propositions de critères d'intervention et de seuils d'alerte pour les cyanobactéries](#), Repéré sur le site de l'Institut national de santé publique du Québec, Unité santé et environnement, Direction risques biologiques, environnementaux et occupationnels : <https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/348-CriteresInterventionCyanobacteries.pdf>.
- HOBBS, William, 2018. [Quality Assurance Project Plan, Prevalence and Persistence of Cyanotoxins in Lakes of the Puget Sound Basin](#), Washington State Department of Ecology, Publication No 18-03-115, 52 pages.
- JAVŮREK, Jakub, *et collab.* (2015). "[Retinoid compounds associated with water blooms dominated by Microcystis species](#)", *Harmful Algae*, n° 47, Juillet, p. 116-125.
- KARR, James R. (1991). "Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management". *Ecological Application*, vol. 1, n° 1, p. 66-84, dans RICHARD, Yvon, Jean-Philippe BAILLARGEON et Huguette MASSÉ, 2016. [Guide de classification des anomalies externes des poissons d'eau douce du Québec](#), Québec, Ministère du Développement durable, de

l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques en collaboration avec le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 179 p.

- KOMÁREK, Jiří, Jan KAŠTOVSKÝ et Jitka JEZBEROVÁ (2011). "[Phylogenetic and taxonomic delimitation of the cyanobacterial genus \*Aphanothece\* and description of \*Anathece\* gen. nov.](#)", *European Journal of Phycology*, vol. 46, n° 3, Août, p. 315-326.
- LÉVESQUE, Benoît, et collab. (2014). "[Prospective study of acute health effects in relation to exposure to cyanobacteria](#)", *Science of The Total Environment*, vol. 466-467, n° 1, Janvier, p. 397-403.
- LÉVESQUE, Benoît, et collab., 2016. "[Exposure to cyanobacteria: acute health effects associated with endotoxins](#)", *Public Health*, vol. 134, Mai, p. 98-101.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (MRN), 2013. [Liste de quelques espèces de poissons présentes sur le territoire de l'unité de gestion et informations sur leur période de reproduction \(Rassemblements, fraye, incubation et alevinage\)](#). Unité de gestion des ressources naturelles Montréal—Montérégie, Québec, (PDF), 1 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDELCC), 2016. [Bilan de la gestion des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert en 2015 - Résultats pour les plans d'eau et les installations de production d'eau potable](#), Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 13 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MDELCC), 2014. [Guide sur les algues bleu-vert à l'intention des exploitants de plage](#), Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 5 p. + 6 ann.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE, 1997 (MEF). *Plan d'intervention sur la tortue-molle à épines (Apalone spinifera spinifera) au Québec*. [s. l.], Équipe de rétablissement de la tortue-molle à épines, 68 p.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC), 2019a. « [Réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets](#) », [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/réserve/riviere\_brochets/res\_60], Gouvernement du Québec (Page consultée le 2 février 2019).
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC), 2019b. [Catégories de fleurs d'eau d'algues bleu-vert](#), Gouvernement du Québec (PDF), 2 p.

- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC), 2019c. [Méthodes d'élaboration de critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique relatifs aux substances toxiques](#), Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 24 p. + 1 ann.
- MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MFFP), 2006. « [Liste des espèces désignées comme menacées ou vulnérables au Québec et Liste des espèces de la faune susceptibles d'être désignées comme menacées ou vulnérables](#) » [En ligne] [https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/liste-especes-vulnerables/], Gouvernement du Québec (Page consultée le 5 septembre 2018).
- MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX (MSSS), 2013. [Algues bleu-vert – Agissez avec prudence](#), Québec, Gouvernement du Québec (PDF), 2 p.
- OBEREMM, Axel, Jutta FASTERN et Christian STEINBERG (1997). "[Effects of MC-LR and cyanobacterial crude extracts on embryo-larval development of zebrafish](#)", *Water Research*, vol. 31, n° 11, Novembre, p. 2918-2921.
- OMIDI, Azam, Maranda ESTERHUIZEN-LONDT et Stephan PFLUGMACHER, 2017. "[Still challenging: the ecological function of the cyanobacterial toxin microcystin – What we know so far](#)", *Toxin Reviews, Early Online*, vol. 37, no 2, Avril, p. 1-19.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS), 2004. [Directives pour la sécurité des eaux de baignade - Volume 1. Eaux côtières et eaux douces](#), Genève (PDF), 15 p.
- PAPENDORF, Olaf, et collab. (1997). "[Mueggelone, a Novel Inhibitor of Fish Development from the Fresh Water Cyanobacterium \*Aphanizomenon flos-aquae\*](#)", *Journal of Natural Products*, vol. 60, n° 12, Décembre, p. 1298-1300.
- PAQUET, Annie ([annie.paquet@mffp.gouv.qc.ca](mailto:annie.paquet@mffp.gouv.qc.ca)). *Mortalité massive de mulettes à la baie Missisquoi / suivi depuis 1<sup>re</sup> observation du 19 septembre*, [Message électronique à Bert Klein et à Lyne Bouthillier], ([bert.klein@mffp.gouv.qc.ca](mailto:bert.klein@mffp.gouv.qc.ca)), ([lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca](mailto:lyne.bouthillier@mffp.gouv.qc.ca)), 24 octobre 2017.
- PHAM, Thanh-Luu, et Motoo UTSUM (2018). "[An overview of the accumulation of microcystins in aquatic Ecosystems](#)", *Journal of Environmental Management*, vol. 213, Mai, p. 520-529.
- QUÉBEC, 2018. [Loi sur les espèces menacées ou vulnérables](#). Chapitre E-12.01, à jour au 1<sup>er</sup> juin 2018. [Québec], Éditeur officiel du Québec, 13 p.

- QUÉBEC, 2017. [Règlement sur la qualité de l'eau potable](#). Chapitre Q-2, r. 40, à jour au 1<sup>er</sup> juin 2017. [Québec], Éditeur officiel du Québec, 67 p.
- RICHARD, Yvon, Jean-Philippe BAILLARGEON et Huguette MASSÉ, 2016. [Guide de classification des anomalies externes des poissons d'eau douce du Québec](#). Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques en collaboration avec le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 179 p.
- ROSEN, Barry H., et collab., 2001. [Evaluation of Potential Blue-Green Algal Toxins In Lake Champlain, Summer 2000 for the Lake Champlain Basin Program and the Centers for Disease Control and Prevention](#), Technical Report No. 39, USA (VT), 26 p.
- SARAF, Spencer R., et collab. (2018). "[Effects of Microcystis on development of early life stage Japanese medaka \(\*Oryzias latipes\*\): Comparative toxicity of natural blooms, cultured Microcystis and microcystin-LR](#)", *Aquatic Toxicology*, vol. 194, Janvier, p. 18-26.
- SHAMBAUGH, Angela, et collab., 2017. [Cyanobacteria Monitoring on Lake Champlain, Summer 2016](#). [Final Report for the Lake Champlain Basin Program]. Vermont Department of Environmental Conservation, Vermont Department of Health, Lake Champlain Committee, 52 p.
- SHAMBAUGH, Angela, et collab., 2016. [Cyanobacteria Monitoring on Lake Champlain, Summer 2015](#). [Final Report for the Lake Champlain Basin Program]. Vermont Agency of Natural Resources, Vermont Department of Health, Lake Champlain Committee, 79 p.
- SHAMBAUGH, Angela, Andy CHEVREFILS et Mike WINSLOW, 2015. [Cyanobacteria Monitoring on Lake Champlain, Summer 2014](#). [Final Report for the Lake Champlain Basin Program]. Vermont Agency of Natural Resources, Vermont Department of Health, Lake Champlain Committee, 131 p.
- SHAMBAUGH, Angela, et collab., 2014. [Cyanobacteria Monitoring on Lake Champlain, Summer 2013](#). [Final Report for the Lake Champlain Basin Program]. Vermont Agency of Natural Resources, Vermont Department of Health, Lake Champlain Committee, North Carolina State University, 106 p.
- SHAMBAUGH, Angela, et collab., 2013. [Cyanobacteria Monitoring on Lake Champlain, Summer 2012](#). [Final Report for the Lake Champlain Basin Program]. Vermont Agency of Natural Resources, Vermont Department of Health, Lake Champlain Committee, North Carolina State University, 84 p.

- SINGLEMAN, Corinna, et Nathalia G. HOLZMAN (2014). "[Growth and Maturation in the Zebrafish, Danio Rerio: A Staging Tool for Teaching and Research](#)", *Zebrafish*, vol. 11, n° 4, Août, p. 396-406.
- SONG, Haihong et collab. (2018). "[The importance of lake sediments as a pathway for microcystin dynamics in shallow eutrophic lakes](#)", *Toxins (Basel)*, vol. 7, n° 3, Mars, p. 900-918.
- SPOOF, Lisa, et Catherine ARNAUD, 2017. "Appendix 3: Tables of Microcystins and Nodularins" dans MERILUOTO, Jussi, Lisa SPOOF et Geoffrey A. CODD (éd.). [Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis](#). Wiley, Cost European Cooperation in Science and Technology, Cyanocost, United Kingdom, p. 526-537.
- TODOKI Nada, et collab. (2018). "[Cyanobacterial effects in Lake Ludoš, Serbia - Is preservation of a degraded aquatic ecosystem justified?](#)", *Science of the Total Environment*, vol. 635, Avril, p. 1047-1062.
- TROMAS, Nicolas, et collab. (2018). "[Niche Separation Increases With Genetic Distance Among Bloom-Forming Cyanobacteria](#)", *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, n° 438, Mars, p. 1-12.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OFFICE OF WATER (USEPA), 2015. [Health Effects Support Document for the Cyanobacterial Toxin Microcystins](#), Health and Ecological Criteria Division, EPA Document N° 820R15102, Washington, DC, 124 p.
- WACKLIN, Pirjo, Lucien HOFFMANN et Jiří KOMÁREK (2009). "[Nomenclatural validation of the genetically revised cyanobacterial genus Dolichospermum \(RALFS ex BORNET et FLAHAULT\) comb. nova](#)", *Fottea*, vol. 9, n° 1, p. 59-64.
- WANG, Jiping, et collab. (2015). "[Ontogenetic development of the auditory sensory organ in zebrafish \(Danio rerio\): changes in hearing sensitivity and related morphology](#)", *Scientific Reports*, vol. 5, n° 15943, Novembre, p. 1-14.
- WU, Xiaoqin, et collab. (2012). "[Cyanobacteria blooms produce teratogenic retinoic acids](#)", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 109, n° 24, Juin, p. 9477-9482.
- ZI, Jinmei, et collab., 2018. "[Cyanobacteria blooms induce embryonic heart failure in an endangered fish Species](#)", *Aquatic Toxicology*, vol. 194, Janvier, p. 78-85.

## Annexe 1 Remplacement de l'utilisation des seuils établis pour protéger les usagers récréatifs par des recommandations de santé publique dans le cadre du Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert

Depuis l'été 2014, le gouvernement du Québec n'utilise plus l'approche par échantillonnage du plan d'eau couplée à l'utilisation des seuils pour gérer le risque à la santé des usagers en eau récréative lors d'épisodes de fleurs d'eau de CYANO. Selon le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS), les usagers doivent respecter en tout temps les [précautions à prendre](#) en présence d'une fleur d'eau visible. Par exemple, les adeptes d'activités récréatives de **contact direct et indirect avec les eaux** doivent éviter de pratiquer leurs activités dans les secteurs touchés du plan d'eau (Gouvernement du Québec, 2019; MSSS, 2013).

## Annexe 2 Impacts écologiques des fleurs d'eau de cyanobactéries et identification de seuils comme indicateurs d'effets potentiels sur la vie aquatique

Les fleurs d'eau et écumes de CYANO ainsi que leurs métabolites tels que les cyanotoxines peuvent s'accumuler dans les sédiments. Ils peuvent aussi affecter à divers degrés des plantes ou des animaux (Todoki et collab. 2018; Pham et Utsumi 2018).

Or, aucun critère de qualité de l'eau visant à protéger la vie aquatique n'a été élaboré pour les CYANO ou les cyanotoxines. Afin de permettre une évaluation des risques pour la vie aquatique dans le cadre de la présente étude, des concentrations avec effets, répertoriées dans la littérature, ont été retenues. Elles servent à interpréter les résultats en CYANO et en MC dans la baie Missisquoi et la rivière aux Brochets.

Cette annexe présente la démarche adoptée. Tout d'abord, un survol de la littérature a permis de colliger des informations quant aux effets des CYANO et des MC sur la flore et la faune aquatiques. Puis, à partir des données de toxicité recensées, des seuils en CYANO et en MC ont été retenus. Ils visent à évaluer les risques liés à une exposition à court ou à long terme chez les espèces aquatiques à statut précaire déjà inventoriées sur le territoire à l'étude (CDPNQ 2017).

### Effets sur les plantes

Certains lichens et plantes vivent en symbiose avec des CYANO; plusieurs d'entre eux produisent des cyanotoxines, notamment de la BMAA (Cox et collab. 2005). À l'opposé, selon les résultats de différentes études colligés par Omid et collab. (2017), des CYANO ou des cyanotoxines peuvent inhiber ou réduire la photosynthèse ou la croissance chez des plantes. Il s'agirait d'allélopathie, soit d'un mécanisme de défense ou de compétition contre les plantes.

Des MC peuvent s'accumuler dans plusieurs plantes aquatiques flottantes et submergées (Pham et Utsumi 2018; Todoki et collab. 2018) au niveau des tiges, feuilles ou rhizomes (Todoki et collab. 2018). Les MC dans le milieu aquatique à un taux aussi faible que 5 µg/l de MC-LR pourraient entre autres réduire l'efficacité de la photosynthèse chez des macrophytes et inhiber leur croissance (Omid et collab. 2017).

Malgré des effets nocifs subis, certaines plantes réussiraient à s'adapter et à développer des mécanismes de résistance. Toutefois, de tels processus ne sont pas documentés pour des milieux lenticules où les macrophytes sont exposées longtemps ou souvent à des fleurs d'eau de CYANO et à des microcystines (Pham et Utsumi 2018) comme c'est le cas à la baie Missisquoi.

Le taux d'accumulation de cyanotoxines dans les plantes dépend de plusieurs facteurs tels que le type de cyanotoxine, l'espèce de plante et les conditions dans le milieu (Pham et Utsumi 2018).

Pour des lacs eutrophes touchés par des fleurs d'eau de CYANO et des cyanotoxines, des auteurs rapportent une décroissance de l'abondance et de la diversité de macrophytes (Todoki et collab. 2018).

Dans leur ensemble, les données rapportées ci-dessus ne sont pas suffisamment convergentes et complètes pour qu'il soit possible d'en tirer un seuil de toxicité pour les plantes.

### Effets sur la faune aquatique

Les fleurs d'eau et écumes de CYANO peuvent nuire à la faune lors d'une présence trop importante :

- **De biomasse algale.** Elle peut entraîner la mortalité de poissons, de mollusques et d'autres organismes (colmatage de branchies, décomposition massive conduisant à des conditions physicochimiques potentiellement létales);
- **De cyanotoxines.** Plusieurs effets toxiques (malformation, pathologie, génotoxicité, mortalité, accumulation dans la chaîne alimentaire, etc.) ont été rapportés chez des organismes aquatiques, ailés ou terrestres exposés (Butler et collab. 2012; de Boutray et collab. 2017);
- **D'autres métabolites secondaires de CYANO** (Zi et collab. 2018) tels que des acides rétinoïques (Javůrek et collab. 2015; Wu et collab. 2012). Ils peuvent causer des effets tératogènes chez des vertébrés comme des poissons (Javůrek et collab. 2015). Les acides rétinoïques peuvent être produits par exemple par *Microcystis*, *Dolichospermum* (*Anabaena*) et *Aphanizomenon* (Wu et collab. 2012). Ces genres sont très fréquents et abondants dans la baie Missisquoi à toutes les années de suivi (figure 3) (Blais 2019; Bowling et collab. 2014 et 2015).

Papendorf et collab. (1997) ont isolé du mueggelone à partir d'un échantillon d'*Aphanizomenon flos-aquae*. Ils ont démontré que ce composé avait des effets significatifs d'inhibition du développement des premiers stades de vie de poissons.

Dans les revues de littérature consultées pour le présent document, les données de toxicité pour des organismes sont rapportées en unités de masse (comme des µg de cyanotoxines/ kg de poids corporel) (Butler et collab. 2012; de Boutray et collab. 2017). Toutefois, pour apprécier les données de qualité de l'eau du

présent projet, des données de toxicité exprimées par unité de volume comme des  $\mu\text{g/l}$  de cyanotoxines ou des  $\text{cel./ml}$  ou  $\text{mg/m}^3$  de CYANO ont été recherchées. Les seules données de toxicité recensées se rapportent à des poissons de la famille des cyprinidés (Baganz et collab. 2004; Ghazali et collab. 2009; Oberemm et collab. 1997) et de celle des adrianichthyidés (Saraf et collab. 2018).

Deux espèces de cyprinidés, *Danio rerio* et *Leucaspis delineatus*, ont été exposées séparément à 0,5, 5 ou 15  $\mu\text{g/l}$  de MC-LR durant 17 jours ou à 50  $\mu\text{g/l}$  pendant 6 jours (Baganz et collab., 2004). Les effets de l'exposition à la MC-LR sont entre autres les suivants :

- De 0,5 à 15  $\mu\text{g/l}$ , la vitesse quotidienne moyenne de nage augmente de façon significative chez *L. delineatus*;
- À 0,5  $\mu\text{g/l}$ , la vitesse moyenne de nage augmente de façon significative durant la période diurne chez *L. delineatus* et *D. rerio*;
- Dès 5  $\mu\text{g/l}$ , le rythme circadien s'inverse significativement chez *L. delineatus*. Il devient plus actif de nuit;
- À 50  $\mu\text{g/l}$ , la vitesse moyenne quotidienne de nage diminue de façon significative chez *L. delineatus* et *D. rerio*.

Ces altérations comportementales chez les deux espèces suggèrent des conséquences négatives sur leur reproduction et leurs interactions prédateurs-proies. D'ailleurs, ces changements constituent des indicateurs de toxicité sublétales à l'exposition de la MC-LR (Baganz et collab. 2004).

À noter que les tailles des individus étudiés par Baganz et collab. (2004) correspondent à celles d'adultes de *D. rerio* (Singleman et collab. 2014; Wang et collab. 2015).

Oberemm et collab. (1997) ont aussi exposé pendant 6 jours des groupes de *Danio rerio* à 0,5, 5 et 50  $\mu\text{g/l}$  de MC-LR pure lors de leur développement embryonnaire. De plus, ils ont exposé d'autres groupes de *Danio rerio* à des extraits de CYANO formant des fleurs d'eau toxiques : *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum flos-aquae* ou *Aphanizomenon flos-aquae* (biomasses ou abondances non indiquées).  $\mu\text{g/l}$ , soit dans l'extrait de *M. aeruginosa*. Seul l'extrait de *Dolichospermum flos-aquae* contenait de l'anatoxine-a (au plus 200  $\mu\text{g/l}$ ). Les principaux résultats sont :

- À 0,5  $\mu\text{g/l}$  de MC-LR, baisse significative de la croissance larvaire;
- À 5 et 50  $\mu\text{g/l}$  de MC-LR, baisse significative de la croissance des larves et de leur taux de survie;
- Aux extraits de CYANO de chacune des trois espèces, impacts négatifs plus importants sur les embryons comparativement à ceux des solutions de MC (malformations diverses et importantes, ralentissement de la circulation sanguine, œdème prononcé et tube neural défectueux).

Dans les échantillons dominés par des extraits d'*Aphanizomenon flos-aquae*, plusieurs embryons ont eu de sévères malformations. De plus, tous les embryons sont morts dans les cinq jours, soit avant le stade larvaire (Oberemm et collab. 1997).

Saraf et collab. (2018) ont étudié l'espèce *Oryzias latipes* (famille des adrianichthyidés). *O. latipes* sert de modèle pour des vertébrés; sa période de développement plus longue que celle de *Danio rerio* s'avère plus favorable à l'expérimentation. Des groupes d'embryons de *O. latipes* ont été exposés pendant 15 jours, entre autres à six échantillons de fleurs d'eau naturelles de CYANO. Ceux-ci étaient dominés par *Microcystis* et provenaient de deux lacs de la ville de New York. Des taux majeurs de mortalité rapide chez les embryons exposés ont été observés dans tous ces échantillons :

- $\leq 250 \mu\text{g/l}$  MC tot. et 6 700 000 cel./ml, 100 % de mortalité en 1 jour;
- $\leq 140 \mu\text{g/l}$  MC tot. et 1 000 000 cel./ml, 50 % de mortalité à 10 jours;
- $\leq 120 \mu\text{g/l}$  MC tot. et 1 300 000 cel./ml, environ 30 % de mortalité à 6 jours;
- $\leq 120 \mu\text{g/l}$  MC tot. et 1 300 000 cel./ml (cellules lysées volontairement pour simuler une fin de fleur d'eau), environ 50 % et 67 % de mortalité respectivement en 7 et 8 jours (Saraf et collab. 2018).

Ghazali et collab. (2009) ont exposé des œufs et des embryons de *Danio rerio* à des extraits de fleurs d'eau de *Microcystis aeruginosa* contenant 30, 100, 300 et 3 000  $\mu\text{g/l}$  de MC-LR TEQ. Tous les œufs exposés dans des extraits contenant 3 000  $\mu\text{g/l}$  MC-LR TEQ sont morts en moins de 24 heures. Les taux d'éclosion des groupes d'œufs exposés séparément dans des extraits incluant 30, 100 ou 300  $\mu\text{g/l}$  MC-LR TEQ sont significativement plus faibles que ceux du contrôle. Toutefois, le taux d'éclosion n'est pas corrélé avec les concentrations de MC. Les extraits de *Microcystis aeruginosa* contiendraient d'autres molécules nuisibles à *Danio rerio*. Les extraits de CYANO affectent la viabilité et le développement des embryons.

La méthode de Ghazali et collab. (2009) servant à déterminer la MC-LR TEQ additionne le total des concentrations des différentes variantes de MC sans leur appliquer de facteur respectif de toxicité équivalente à la MC-LR. Leur méthode diffère donc de celle utilisée au Québec : quatre variantes entrent dans le calcul en considérant de tels facteurs de toxicité équivalente (page 6). Leurs principaux résultats, présentés plus haut, sont retenus à titre indicatif, mais ne sont pas considérés pour la sélection de seuils à titre d'indicateurs d'effets potentiels sur la vie aquatique.

Par ailleurs, dans une solution de 1 400  $\mu\text{g/l}$  de MC tot., le rythme cardiaque des embryons a diminué de façon significative. La réduction du débit sanguin est susceptible de provoquer l'inhibition du transport des nutriments ou de l'oxygène dans le corps en développement (Saraf et collab. 2018).

À noter : pour les mêmes densités de *Microcystis* et de concentrations de MC, les échantillons de fleurs d'eau sont plus toxiques que les cultures de laboratoire. Lors d'expositions à des échantillons de terrain, les impacts significatifs étaient les suivants : baisse du taux de survie, réduction de la taille, fréquence augmentée d'œdème sur le sac vitellin et baisse du rythme cardiaque (bradycardie). Ce dernier impact était le seul observé lors de l'exposition de poissons à des cultures de laboratoire (Saraf et collab. 2018).

### Seuils provisoires en cyanobactéries ou en cyanotoxines retenus comme indicateurs d'effets potentiels sur la faune aquatique

Aucun critère de qualité de l'eau relatif aux cyanotoxines ou aux CYANO, pour la protection de la vie aquatique, ne semble avoir été publié. L'élaboration éventuelle de critères de qualité devra être basée sur le document [Méthodes d'élaboration de critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique relatifs aux substances toxiques](#) (MELCC 2019) et sur un plus grand nombre de résultats d'essais de toxicité acceptables selon cette méthode.

D'ici là, pour compenser cette lacune, des concentrations produisant un effet observable sur des poissons sont utilisées dans le présent document comme indicateurs d'effets potentiels sur la vie aquatique (poisson, tortue, couleuvre). Ces seuils provisoires sont :

- $\leq 0,5 \mu\text{g/l}$  en MC-LR, pour des effets sublétaux sur la croissance des embryons (Oberemm et collab. 1997) et sur des effets comportementaux (Baganz et collab. 2004);
- $\leq 140 \mu\text{g/l}$  en MC tot. et  $\leq 1\,000\,000$  cel./ml de *Microcystis*, pour les mortalités « subchroniques » d'embryons à partir de la 7<sup>e</sup> journée d'exposition (Saraf et collab. 2018);
- $\leq 250 \mu\text{g/l}$  en MC tot. et  $\leq 6\,700\,000$  cel./ml de *Microcystis*, pour les effets aigus sur la mortalité d'embryons (Saraf et collab. 2018).

Voici des limites à considérer pour ces seuils :

- On ne sait pas si le niveau individuel de sensibilité aux CYANO et aux MC des espèces à statut précaire de la zone étudiée diffère de celui des poissons pour lesquels les données de toxicité sont retenues (Oberemm et collab. 1997; Baganz et collab. 2004; Saraf et collab. 2018);
- Pour les seuils en MC, les deux références retenues parmi celles rapportées ci-haut portent sur des cyprinidés; cette famille est représentée par une des espèces à statut précaire à la baie Missisquoi : le méné d'herbe. Bien qu'aucun adrianichthyidé ne se trouverait au Québec, l'étude de Saraf et collab. (2018) est la seule référence avec des valeurs de toxicité en CYANO.

---

N. B. : Les références citées dans cette annexe et les autres se trouvent dans la bibliographie du rapport (page 38).

### Annexe 3 Répartition des nombres de dates et d'échantillons selon les secteurs étudiés, les types de campagnes et les paramètres analysés

Type de campagne	Nombre de dates (mois)	Nombre d'échantillons		
		CYANO	Algues	Toxines
<b>Secteur de la baie Missisquoi</b>				
Régulière	1 (juillet)	4	4	4
Fleur d'eau	9 <sup>(1)</sup> (juillet, août, septembre)	32 <sup>(1,2)</sup>	32 <sup>(2)</sup>	36
Écume	7 (juillet, août, septembre, octobre <sup>(3)</sup> )	7	0	8
<b>Total des trois campagnes</b>	<b>11 dates différentes<sup>(3)</sup></b>	43	36	51
<b>Secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets</b>				
Écume	2 (août, septembre)	0	0	6 <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Parmi les 32 échantillons en *campagnes fleur d'eau*, 29 d'entre eux dépassent le seuil minimal de 20 000 cel./ml pour être une fleur d'eau de CYANO.

<sup>(2)</sup> Aucune analyse des CYANO et des algues dans les échantillons à partir du 23 septembre.

<sup>(3)</sup> Visite limitée au secteur de la station *d6* le 6 octobre pour les cyanotoxines dans le cadre d'une *campagne écume* à la station *d6*.

<sup>(4)</sup> Comprend trois échantillons dans la baie Missisquoi et trois dans la rivière.

## Annexe 4 Taxons de cyanobactéries à la baie Missisquoi pour l'ensemble des stations et des campagnes en 2015 comparativement à 2005-2008 et 2014

### A) Cyanobactéries à potentiel toxique

Taxon	Année					
	n échantillons					
	2005	2006	2007	2008	2014	2015
	21	29	19	13	48	42
<b>Cyanobactéries dont le potentiel toxique avait été confirmé<sup>(1,2)</sup></b>						
1. <i>Dolichospermum flos-aquae</i>	√	√	√	√	√	√
2. <i>Gloeotrichia echinulata</i>	√	√			√	
3. <i>Microcystis aeruginosa</i>	√	√		√	√	√
4. <i>Microcystis</i> sp.	√	√	√	√	√	√
<b>Autres cyanobactéries à potentiel toxique<sup>(1)</sup></b>						
5. <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	√	√	√	√	√	√
6. <i>Aphanizomenon</i> sp.					√	√
7. <i>Coelosphaerium kuetzingianum</i>			√			
8. <i>Dolichospermum circinalis</i>	√					
9. <i>Dolichospermum planctonicum</i>		√	√			
10. <i>Dolichospermum spiroides</i>	√	√	√	√		
11. <i>Dolichospermum</i> sp.			√	√	√	√
12. <i>Gomphosphaeria lacustris</i>	√					
13. <i>Gloeotrichia</i> sp.						√
14. <i>Leptolyngbya</i> sp.						√
15. <i>Microcystis flos-aquae</i>	√			√	√	√
16. <i>Microcystis ichthyoblabe</i>						√
17. <i>Microcystis viridis</i>	√					
18. <i>Microcystis wesenbergii</i>		√			√	√
19. <i>Planktothrix agardhii</i> <sup>(3)</sup>						
20. <i>Planktothrix</i> sp.					√	√
21. <i>Pseudanabaena</i> sp <sup>(4)</sup>				√	√	√
22. <i>Radiocystis</i> sp.					√	
23. <i>Woronichinia naegeliana</i>					(1)	√
24. <i>Woronichinia</i> sp.					√	
Total des taxons <sup>(1)</sup>	10	8	7	7	12	14 <sup>(1)</sup>

- (1) En 2015, on compte 14 taxons de CYANO à potentiel toxique (CYANOTOX) qui se divisent en 8 genres et à au moins 11 espèces (en présumant, d'une part, que *Aphanizomenon* sp., *Dolichospermum* sp., *Microcystis* sp. seraient inclus dans les espèces déjà identifiées en 2015 pour ces genres si l'identification avait pu être plus poussée et, d'autre part, que les genres qui n'ont aucunement été identifiés à l'espèce correspondent à une espèce).
- (2) Le potentiel de ces CYANO à produire des MC dans la baie Missisquoi est appuyé par Blais (2014) à partir d'échantillons monospécifiques avec MC intracellulaires.
- (3) *Planktothrix agardhii* avait été identifié à la baie Missisquoi avant 2005.
- (4) Dans les publications sur la baie Missisquoi pour les années 2000-2008 (Blais, 2014 et 2015) et 2014 (Blais, 2019), *Pseudanabaena* sp. avait été classé par erreur dans les taxons non toxiques. Cette erreur avait une portée négligeable sur le portrait global. Pour 2000-2008, un seul échantillon incluait ce taxon; il représentait 0,001 % de la biomasse totale des CYANO. Pour 2014, bien que 16 échantillons en fussent concernés, les proportions de biomasse de *Pseudanabaena* par rapport à celle de l'ensemble des taxons étaient très faibles avec la médiane à 0,5 % et le centile 90 à 1,5 %.

## B) Autres cyanobactéries (sans potentiel toxique connu)<sup>(1)</sup>

Taxon	Année					
	n échantillons					
	2005	2006	2007	2008	2014	2015
	21	29	19	13	48	42
1. <i>Anathece bachmannii</i> <sup>(2)</sup>		√	√	√		
2. <i>Anathece clathrata</i> <sup>(2)</sup>				√		
3. <i>Anathece minutissima</i> <sup>(2)</sup>					√ <sup>(3)</sup>	√
4. <i>Anathece smithii</i>			√			
5. <i>Aphanizomenon gracile</i> <sup>(1)</sup>				√		
6. <i>Aphanocapsa delicatissima</i> <sup>(2)</sup>	√	√	√	√		
7. <i>Aphanocapsa elachista</i>	√		√			
8. <i>Aphanocapsa incerta</i> <sup>(2)</sup>					√	√
9. <i>Aphanocapsa planctonica</i> <sup>(2,3)</sup>						
10. <i>Aphanocapsa</i> sp. <sup>(1,2)</sup>	√				√	√
11. <i>Aphanothece microspora</i>				√		
12. <i>Aphanothece</i> sp. <sup>(2)</sup>					√	√
13. <i>Chroococcus dispersus</i>	√		√	√	√	
14. <i>Chroococcus dispersus</i> var. <i>minor</i>	√					
15. <i>Chroococcus limneticus</i>	√		√	√		
16. <i>Chroococcus minutus</i>	√	√				
17. <i>Chroococcus</i> sp.		√			√	√
18. <i>Coelomoron</i> sp.				√		
19. <i>Cyanodictyon</i> sp. <sup>(3)</sup>						√
20. <i>Dolichospermum crassum</i>	√	√		√	√	√

Taxon	Année					
	n échantillons					
	2005	2006	2007	2008	2014	2015
	21	29	19	13	48	42
21. <i>Geitlerinema</i> sp.					√	√
22. <i>Glaucospira</i> sp.						√
23. <i>Jaaginema</i> sp.					√	√
24. <i>Komvophoron groenlandicum</i>					√	
25. <i>Limnothrix</i> sp. <sup>(1)</sup>					(4)	
26. <i>Lyngbya mucicola</i>	√					
27. <i>Merismopedia glauca</i> <sup>(3)</sup>						
28. <i>Merismopedia minima</i>		√				
29. <i>Merismopedia punctata</i>	√		√	√	√	√
30. <i>Merismopedia tenuissima</i> <sup>(2)</sup>	√		√	√		
31. <i>Merismopedia</i> sp. <sup>(1,2)</sup>					√	√
32. <i>Oscillatoria lauterbornii</i>	√					
33. <i>Oscillatoria limnetica</i> . <sup>(1)</sup>		√				
34. <i>Oscillatoria tenuis</i> . <sup>(1)</sup>	√	√		√		
35. <i>Oscillatoria utermoehlii</i> <sup>(3)</sup>						
36. <i>Oscillatoria</i> sp. <sup>(1)</sup>					√	√
37. <i>Planktolyngbya limnetica</i>					(4)	√
38. <i>Planktolyngbya</i> sp.				√	√	√
39. <i>Pseudanabaena limnetica</i> <sup>(1)</sup>			√	√	√	√
40. <i>Pseudanabaena mucicola</i>	√	√		√	√	√
41. <i>Pseudanabaena woronichinii</i>					√	√
42. <i>Rhabdoderma lineare</i>		√				
43. <i>Spirulina</i> sp. <sup>(5)</sup>					√	√
<b>Total des autres CYANO</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>19<sup>(4)</sup></b>	<b>19<sup>(6)</sup></b>
<b>Total de tous les taxons de CYANO (tableaux A et B)</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>23</b>	<b>31</b>	<b>33</b>

<sup>(1)</sup> Certains taxons classés non toxiques auraient pu se retrouver plutôt dans le groupe à potentiel toxique selon Bernard et collab. (2017). Cette récente synthèse a été connue trop tard pour avoir pu la considérer dans le traitement des données et la mise en forme des résultats du rapport.

<sup>(2)</sup> Taxons considérés comme des picocyanobactéries avec moins de 2 µm de diamètre pour les cellules sphériques (CEAEQ 2012b). Le document du CEAEQ (2012a) est ici utilisé pour classer les taxons selon les biovolumes moyens.

<sup>(3)</sup> Taxon qui avait été identifié à la baie Missisquoi avant 2005.

<sup>(4)</sup> En 2014, *Limnothrix* sp. et *Planktolyngbya limnetica* avaient été identifiés seulement dans le cadre du Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert. Ces deux taxons sont exclus du décompte de 19 taxons d'autres CYANO.

<sup>(5)</sup> Dans la littérature connue (Blais et Sinotte 2008 et brève vérification sur le Web en juillet 2016), seule une espèce de *Spirulina*, soit *S. subsalsa*, a déjà été reconnue toxique sans

que la toxine ait pu être identifiée. Cette CYANO se trouve en milieu salé et n'a jamais à notre connaissance été identifiée au Québec. Pour cette raison, *Spirulina* sp. est classé ici dans les non toxiques.

- (6) En 2015, on compte 19 taxons d'autres CYANO qui se résument à 14 genres et à environ 16 espèces (en présumant que *Aphanocapsa* sp., *Merismopedia* sp., *Planktolyngbya* sp. seraient inclus dans les espèces du même genre répertoriées dans « autres CYANO » si leur identification avait pu être plus poussée).

Annexe 5 Classe d'algues à la baie Missisquoi pour l'ensemble des stations et des campagnes en 2015 comparativement à celles en 2005-2008 et 2014

Classe	Année					
	n échantillons					
	2005	2006	2007	2008	2014	2015
	21	29	19	13	44	36
Bacillariophycée	√	√	√	√	√	√
Chlorophycée	√	√	√	√	√	√
Chrysophycée	√	√	√	√	√	√
Cryptophycée	√	√	√	√	√	√
Dinophycée		√	√	√	√	√
Euglenophycée	√	√	√	√	√	√
<b>Nombre de genres d'algues</b>	39	37	38	43	66	70

## Annexe 6 Répartition dans le temps des biomasses de cyanobactéries par rapport à celles des principales classes d'algues aux stations *a*, *b*, *d2* et *d8* à la baie Missisquoi en 2015

- Le 2 juillet, la communauté phytoplanctonique présente une faible biomasse et les algues culminent (figure 4 à la page 12 et figure 6.1 ci-après). Parmi celles-ci, les bacillariophycées (diatomées) dominent en biomasses aux stations *a*, *b* et *d2*, alors que ce sont les cryptophycées à la station *d8*.
- Ensuite, chez les algues, les bacillariophycées et les cryptophycées dominent, suivies par les chlorophycées puis par les chrysophycées. Toutefois, ce sont les CYANO qui dominent le plus souvent et à profusion la communauté phytoplanctonique (figures 4 et 6.1). À la station *a*, en présence de fleurs d'eau de CYANO (figure 6 à la page 16), les biomasses de diatomées sont parfois aussi importantes ou presque que celles des CYANO (figure 6.1).
- Les biomasses des CYANO et du phytoplancton total sont en général plus élevées aux stations *b* et *d2* (côté est de la baie Missisquoi) puis à la station *a*. À la station *d8*, soit à la baie de Venise, la biomasse totale est toujours beaucoup plus faible, sauf le 18 août. La fleur d'eau est alors de catégorie 2a, mais très intense. La biomasse de CYANO culmine à plus de 120 000 mg/m<sup>3</sup>; elle surpasse de plus de deux fois les biomasses maximales de CYANO aux autres stations (figure ci-dessous : axe des *y* tronqué).

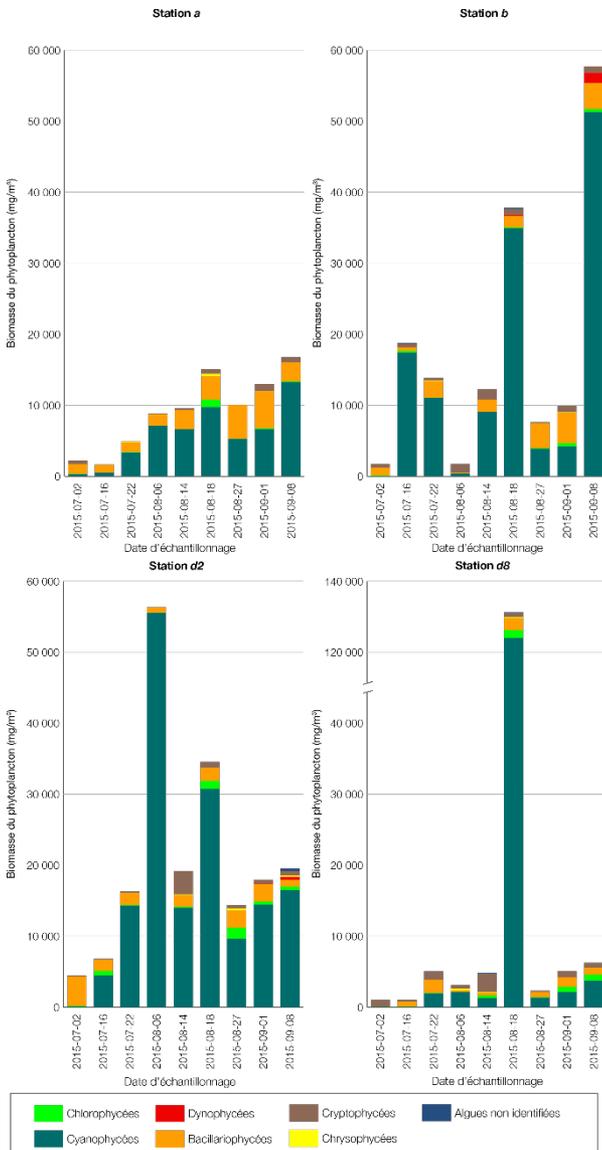


Figure 6.1 Biomasse des classes du phytoplancton incluant les cyanobactéries aux stations a, b, d2 et d8

(À noter : pour la station d8, l'axe des y est tronqué entre 40 000 et 120 000.)

## Annexe 7 Écumes observées et échantillonnées en 2015 dans la baie Missisquoi, la rivière aux Brochets, le ruisseau Bellefroid-Dandurand et le ruisseau Louis-Rochelleau ainsi que dans l'aire de distribution d'espèces animales à statut précaire

Pour faciliter la présentation et la lecture des résultats sur les étendues d'écumes, les secteurs ne sont pas séparés de la même façon ci-après (par plan d'eau) comparativement à ailleurs dans le rapport (à proximité ou non de la réserve écologique). Conséquemment, la zone de la baie Missisquoi près de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets est classée plus bas dans le secteur de la baie Missisquoi.

Les aires de distribution considérées pour chacune des espèces sont celles indiquées sur la figure 2 (page 3).

Mois et jour en 2015	Secteur (en rive ou au large) <sup>(1)</sup>	Sous-secteur touché	Longueur ou surface de l'écume <sup>(2)</sup>	Station échantillonnée	Espèces à statut précaire <sup>(2,3,4)</sup>	
					Dans son aire de distributio	Durant sa période sensible
<b>Baie Missisquoi</b>						
07-02	Aucun		0			
07-16	BME (Ri)	Dans la petite baie en face de la station de production d'eau potable, quai fédéral, station <i>d6</i> en allant vers le nord.	0,7 km	<i>d6</i>	APSP GRGE AMPE	√ √ √
07-22	BME (L)	Au large de 100 m à 2 km de la rive, au nord de la frontière Québec-Vermont et au nord et à l'ouest de la station <i>d20</i> .	≥ 2 km <sup>2</sup>	—	APSP GRGE	√ √
	BME (Ri)	Dans la petite baie en face de la station de production d'eau potable, quai fédéral, station <i>d6</i> en allant vers le nord.	2 km	<i>d6</i>	APSP GRGE AMPE NESI NOBI LEFR	√ √ √ √ √
08-06	BME (Ri)	À partir du quai fédéral, station <i>d6</i> en allant vers le nord.	1,5 km	<i>d6</i>	APSP GRGE AMPE NESI	√ √ √ √

Mois et jour en 2015	Secteur (en rive ou au large) <sup>(1)</sup>	Sous-secteur touché	Longueur ou surface de l'écume <sup>(2)</sup>	Station échantillonnée	Espèces à statut précaire <sup>(2,3,4)</sup>	
					Dans son aire de distributio	Durant sa période sensible
	BV (Ri)	Tout le côté nord-ouest de la pointe Jameson jusqu'au côté est du fond de la baie de Venise.	3 km	—	APSP GRGE	√ √
08-14	Aucun		0 <sup>(5)</sup>	—		
08-18	BV (Ri)	Le long de la rive à partir du secteur de la station <i>d8</i> (qui est pour sa part un peu plus au large) jusqu'à la pointe Jameson.	≥ 3 km	Aucune dans l'écume mais près de <i>d8</i>	APSP GRGE	√ √
	BME (Ri et L)	De plus de 1,5 km à l'ouest de l'embouchure de la RB jusqu'à 1 km plus au sud que le quai fédéral à Saint-Armand. Étendue vers le large.	5 km ≥ 4 km <sup>2</sup>	<i>d6</i>	APSP GRGE AMPE NESI NOBI LEFR	√ √  √
08-27	Aucun		0 <sup>(5)</sup>	—		
09-01	BME (Ri)	Quai fédéral, secteur de la station <i>d6</i> en allant vers le nord.	0,7 km	<i>d6</i>	APSP GRGE AMPE	√ √
09-08	BME (Ri et L)	De l'embouchure de la RB en longeant la rive vers l'est et le sud jusqu'à la frontière avec le Vermont (y compris le secteur du quai fédéral et de la prise d'eau municipale). Largeur de l'écume de la rive vers le large plus ou moins importante selon les endroits, mais jusqu'au centre de la BM à la hauteur de la frontière.	5 à 6 km <sup>2</sup>	<i>b, d6, d20 et d42</i>	APSP GRGE AMPE NESI NOBI LEFR	√ √  √
09-23	BME (Ri et L)	Bordure de l'embouchure de la RB dans la BM. Niveau d'eau très bas; écume sur l'eau et échouée sur sédiments exondés.	1,5 km <sup>2</sup>	<i>d6, d18a, et d18b</i>	APSP GRGE AMPE NESI	√ √  √

Mois et jour en 2015	Secteur (en rive ou au large) <sup>(1)</sup>	Sous-secteur touché	Longueur ou surface de l'écume <sup>(2)</sup>	Station échantillonnée	Espèces à statut précaire <sup>(2,3,4)</sup>	
					Dans son aire de distributio	Durant sa période sensible
		Quai fédéral, secteur de la station d6 et de la prise d'eau potable municipale en allant un peu vers le nord, le sud et le large.				
10-06 <sup>(6)</sup>	BME (Ri et?)	Quai fédéral et secteur de la station d6 (près de la rive) en allant vers le nord et le sud <sup>(6)</sup> .	0,5 km de chaque côté de d6	d6	APSP GRGE AMPE	√ √
<b>Rivière-aux-Brochets et ses tributaires<sup>(5)</sup></b>						
08-18	RB (Ri et L)	Secteur de l'embouchure vers l'amont.	1 km (< largeur)	—	APSP GRGE	√ √
	RuBD (Ri et L)	Embouchure vers l'amont.	ND (toute largeur)	—	APSP GRGE	√ √
	RuLR (Ri et L)	Embouchure vers l'amont.	ND (toute largeur)	—	APSP GRGE	√ √
08-27	RB (surtout Ri)	Embouchure vers l'amont.	1,4 km	RB-1	APSP GRGE	√ √
	RuBD (Ri et L)	Embouchure vers l'amont.	ND (toute largeur)	—	APSP GRGE	√ √
	RuLR (Ri et L)	Embouchure vers l'amont.	ND	—	APSP GRGE	√ √
09-01	RB (Ri, L?)	Écumes semblant limitées en bordure de rive (sur certaines photos).	ND	—	APSP GRGE	√ √
	RuBD		ND	—		
	RuLR (Ri et L)	Embouchure vers l'amont.	ND	—	APSP GRGE	√ √

Mois et jour en 2015	Secteur (en rive ou au large) <sup>(1)</sup>	Sous-secteur touché	Longueur ou surface de l'écume <sup>(2)</sup>	Station échantillonnée	Espèces à statut précaire <sup>(2,3,4)</sup>	
					Dans son aire de distributio	Durant sa période sensible
09-08	RB (Ri et L)	D'au moins 200 m en amont de la station RB-2 en descendant vers l'aval, y compris la station RB-3 jusqu'à au moins 100 m en aval de l'embouchure du RuLR.	ND	RB-2 et RB-3	APSP GRGE	√ √
	RuBD	ND	ND	—		
	RuLR	Embouchure vers l'amont <sup>(6)</sup> .	ND	—	APSP GRGE	√ √
09-23	RB (Ri et L)	De l'embouchure vers l'amont.	ND	—	APSP GRGE	√ √
	RuBD	ND	ND	—		
	RuLR	ND	ND	—		

<sup>(1)</sup> BV : baie de Venise. BME : baie Missisquoi du côté est (de la pointe Jameson, y compris Saint-Armand). RB : rivière aux Brochets. RuBD : ruisseau Bellefroid-Dandurand. RuLR : ruisseau Louis-Rocheleau. (Ri) : en bordure de rive; (L) : au large.

<sup>(2)</sup> Approximation de l'étendue dans les limites des notes de terrain (cartes, fiches d'observations) ou des photos disponibles.

<sup>(3)</sup> APSP : *Apalone spinifera* (tortue-molle à épines);  
GRGE : *Graptemys geographica* (tortue géographique);  
AMPE : *Ammocrypta pellucida* (dard de sable);  
NESI : *Nerodia sipedon* (couleuvre d'eau);  
NOBI : *Notropis bifrenatus* (mené d'herbe);  
LEFR : *Leptodea fragilis* (leptodée fragile).

<sup>(4)</sup> Les périodes sensibles des espèces de vertébrés aquatiques à statut précaire sont disponibles dans le tableau 4.

<sup>(5)</sup> 2015-08-14 et 08-27 : les vents très forts mélangent les CYANO dans la colonne d'eau à la baie Missisquoi; aucune écume.

<sup>(6)</sup> 2015-10-06 : aucune visite en bateau de la BM, de la BV et de la RB. Visite limitée à gué dans le secteur de la station d6.

**Annexe 8 Concentration en MC-LR TEQ en 2015 dans les échantillons d'écumes à la baie Missisquoi et à la rivière aux Brochets et dépassements du seuil établi pour protéger les usages récréatifs de contact avec les eaux**

Plan d'eau	Station	Date	MC-LR TEQ	
			Résultat (µg/l)	Dépassement du seuil de 16 µg/l (nombre de fois)
<b>Secteur de la baie Missisquoi</b>				
Baie Missisquoi	<i>d6</i>	2015-07-16	22,840	1,4
		2015-08-06	5,597	-
		2015-08-18	28,052	1,8
		2015-09-01	77,815	4,9
		2015-09-08	107,100	6,7
		2015-09-23	69,030	4,3
	<i>d20</i>	2015-10-06	234,130	14,6
	<i>d20</i>	2015-09-08	27,250	1,7
<b>Secteur de la réserve écologique de la rivière aux Brochets</b>				
Baie Missisquoi	<i>d18a</i>	2015-09-23	178,750	11,2
	<i>d18b</i>	2015-09-23	9,418	-
	<i>d42</i>	2015-09-08	5,518	-
Rivière aux Brochets	RB-1	2015-08-27	207,800	13,0
	RB-2	2015-09-08	115,810	7,2
	RB-3	2015-09-08	363,600	22,7

## Annexe 9 Douze variantes de microcystines dans les échantillons prélevés au large et dans des écumes près de la rive à la baie Missisquoi en 2015

Les douze variantes de MC analysées représentent 5 % des 248 variantes connues (Spooft et Arnaud 2017). Les résultats de MC tot. sont donc sûrement sous-évalués.

À la baie Missisquoi, au moins une variante est détectée dans 93 % des échantillons du large (37/40) (figure 9.1) et dans 100 % des échantillons d'écumes (8/8) (figure 9.2). Les variantes les plus fréquentes et concentrées sont les MC-LR, MC-RR et MC-LA. Ce sont trois des quatre variantes entrant dans le calcul de la MC-LR TEQ. La quatrième, la MC-YR, est assez fréquente mais à des concentrations moindres (figures 9.1 et 9.2 aux deux pages suivantes).

Au moins une variante de MC est détectée dans des échantillons ayant de très faibles abondances de CYANOTOT. Par exemple, le 2 juillet aux stations *b* et *d2* (figure 6 à la page 16, figure 9.1), les abondances de CYANOTOT sont seulement de 114 cel./ml et de 1 367 cel./ml, représentées respectivement par 93 % et 100 % de CYANOTOX.

Quant aux MC tot., le maximum au large de 5,4 µg/l (figure 9.1) est du même ordre que le minimum de 7,9 µg/l près de la rive (figure 9.2). Dans les écumes, le maximum atteint 283 µg/l (figure 9.2). Dans les échantillons prélevés au large, c'est à la station *d2* que les MC tot. culminent à toutes les dates, sauf le 18 août. Sur dix échantillons, huit dépassent 1 µg/l (figure 9.1).

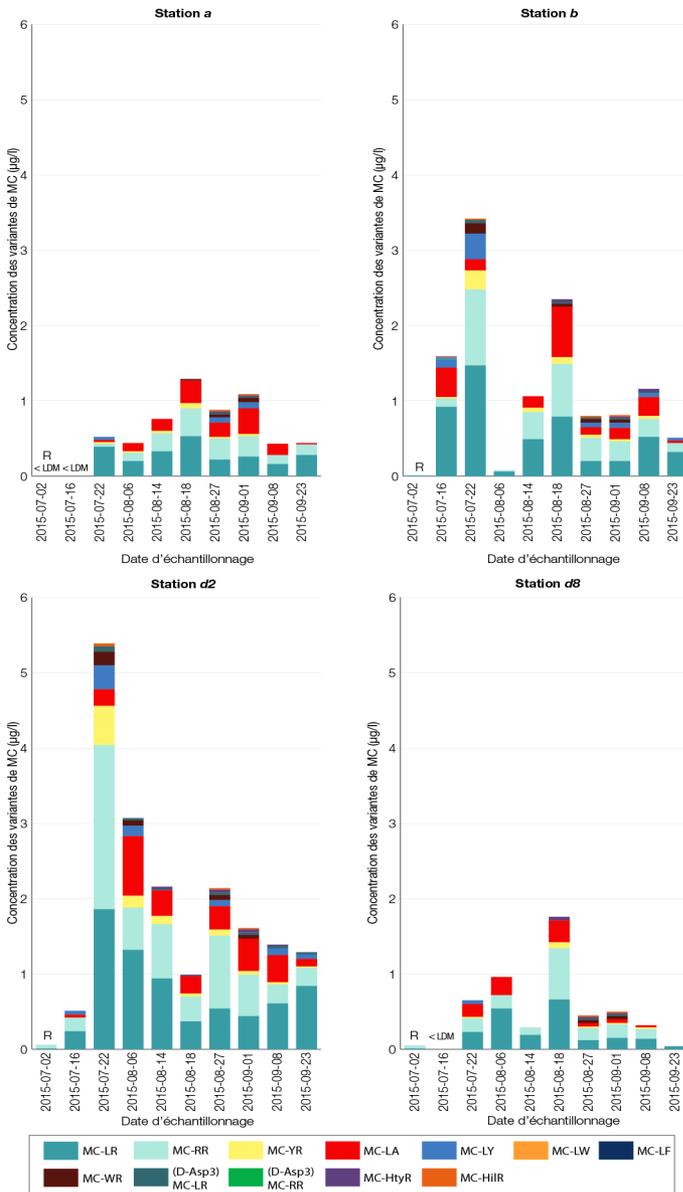


Figure 9.1. Concentration détectée des douze variantes analysées de MC aux stations a, b, d2 et d8 à la baie Missisquoi en 2015.

(À noter : le « R » indique une campagne régulière.)

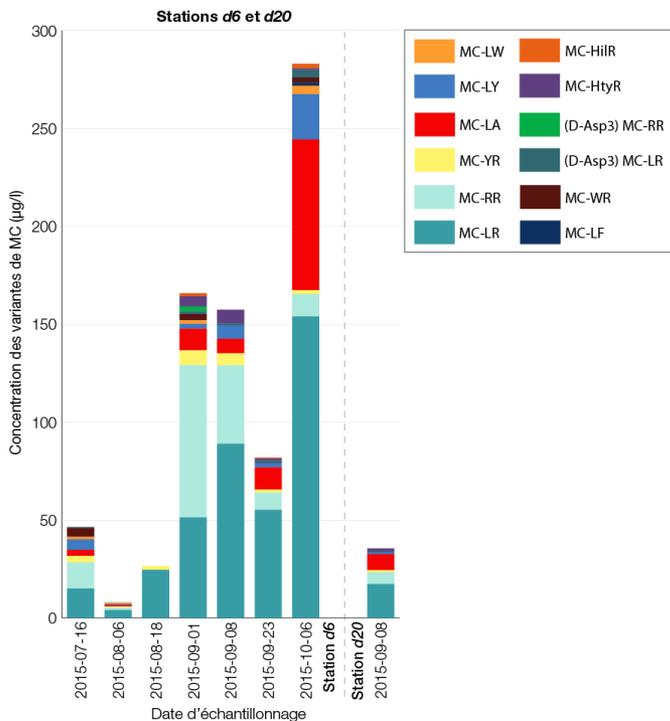


Figure 9.2. Concentration détectée des douze variantes analysées de MC dans des écumes de cyanobactéries à la station d6 et à la station d20 à la baie Missisquoi en 2015.

## Annexe 10 Douze variantes de microcystines dans des échantillons d'écumes de la baie Missisquoi et de la rivière aux Brochets dans le secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets en 2015

Les 12 variantes de MC analysées représentent 5 % des 248 variantes connues (Spoof et Arnaud 2017). Les résultats de MC tot. sont donc sûrement sous-évalués. Parmi les 12 variantes analysées, les plus fréquentes et les plus concentrées dans les écumes sont en général les MC-LR, MC-RR, MC-YR et MC-LA (figure 10.1). Il s'agit des quatre variantes entrant dans le calcul de la MC-LR TEQ.

Les concentrations de MC tot. dans la rivière surpassent celles dans la baie (axe des y à 900 µg/l comparativement à 300 µg/l à la figure 10.1). Les stations en bordure de la réserve écologique affichent les valeurs maximales, soit 427 et 828 µg/l aux stations RB-1 et RB-3.

Le 23 septembre, le niveau d'eau est bas. Dans la baie près de l'embouchure de la rivière, la zone inondée débute à plusieurs dizaines de mètres au large de la bordure de la végétation riveraine. Bien que deux échantillons soient prélevés à neuf minutes d'intervalle à deux stations rapprochées, leurs concentrations en MC tot. diffèrent de près de 20 fois. À la *d18b*, les 13 µg/l se rapportent à de l'écume presque échouée sur le rivage. À la *d18a*, les 256 µg/l caractérisent une écume dans une épaisseur d'eau faible (de 5 à 10 cm), mais plus importante que celle à la *d18b*.

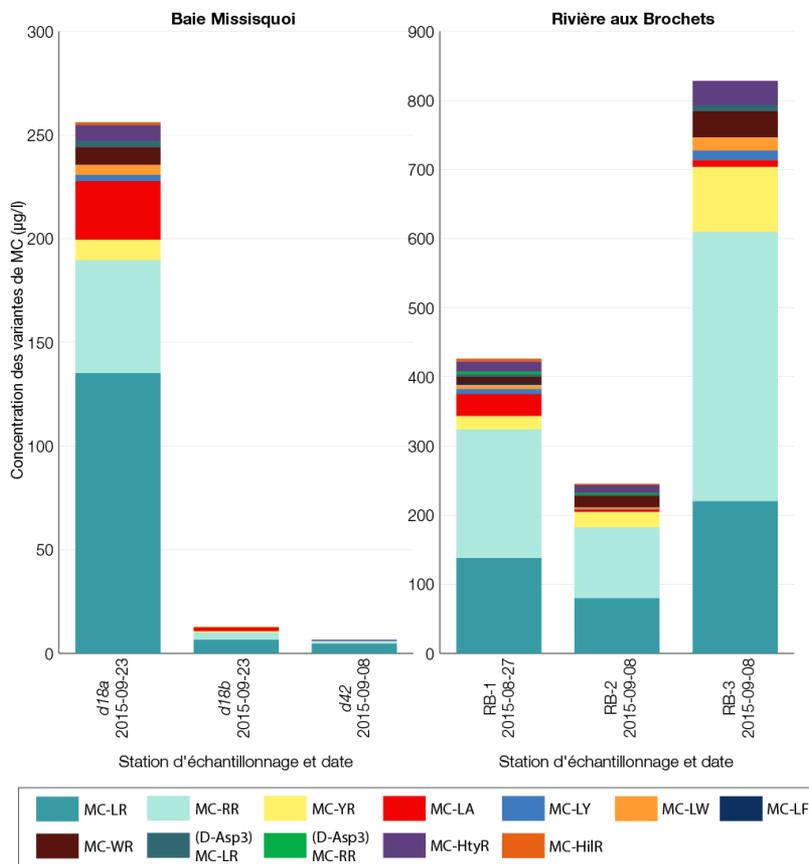
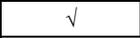
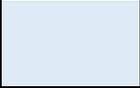
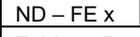


Figure 10.1. Concentration détectée des douze variantes analysées de MC dans des écumes de cyanobactéries aux stations dans la baie Missisquoi et dans la rivière aux Brochets à proximité de la réserve écologique

(À noter : l'axe des y est trois fois plus élevé dans l'histogramme pour la rivière.)

## Annexe 11 Dépassement ou atteinte des seuils en microcystines ou en cyanobactéries pour la protection de la vie aquatique en fonction de l'aire de distribution et de la période sensible des vertébrés aquatiques à statut précaire dans la baie Missisquoi et la rivière aux Brochets en 2015

### LÉGENDE DES TABLEAUX A ET B

<b>Espèces de vertébrés aquatiques à statut précaire</b>	
AMPE	<i>Ammocrypta pellucida</i> (dard de sable)
APSP	<i>Apalone spinifera</i> (tortue-molle à épines)
GRGE	<i>Gratemys geographica</i> (tortue géographique)
NESI	<i>Nerodia sipedon</i> (couleuvre d'eau)
NOBI	<i>Notropis bifrenatus</i> (mené d'herbe)
<b>Localisation de la station par rapport à l'aire de distribution de l'espèce</b>	
	Incluse dans l'aire de distribution ou en bordure de celle-ci
	À moins de 500 m au pourtour de l'aire de distribution <sup>(1)</sup>
<b>Date d'échantillonnage incluse dans la période sensible de l'espèce<sup>(2)</sup></b>	
	Oui
<b>Dépassement ou atteinte d'un seuil pour la protection de la vie aquatique (valeurs recensées pour ce rapport)</b>	
	≤ 0,5 µg/l en MC-LR (appliqué à MC-LR TEQ)
	≤ 140 µg/l en MC tot. et
	≤ 1 000 000 cel./ml de <i>Microcystis</i> <sup>(3)</sup>
	≤ 250 µg/l en MC tot. et
	≤ 6 700 000 +/- 100 000 cel./ml de <i>Microcystis</i> <sup>(4)</sup>
	} Seuil provisoire à deux paramètres
	} Seuil provisoire à deux paramètres
<b><i>Microcystis</i> : décompte microscopique non disponible (ND)</b>	
<b>Tableau A</b>	
	Mais fleur d'eau observée de catégorie visuelle x (soit 1 ou 2a)
<b>Tableau B</b>	
	Mais les écumes sont toujours > seuil de 1 000 000 cel./ml de <i>Microcystis</i> <sup>(3)</sup>
	Mais les écumes seraient toujours > seuil de 6 700 000 +/- 100 000 cel./ml de <i>Microcystis</i> <sup>(4,5)</sup>

<sup>(1)</sup> Par précaution, un périmètre de 500 m est considéré autour des aires de distribution parce que, d'une part, les fleurs d'eau et les écumes peuvent se déplacer latéralement avec les vents et, d'autre part, des organismes pourraient sortir de leur aire de distribution connue.

<sup>(2)</sup> La période sensible de chacune des espèces est présentée dans le tableau 4 (page 9).

- (3) Les abondances non disponibles de *Microcystis* dépasseraient toujours en réalité le seuil de 1 000 000 cel./ml. Cette hypothèse est basée sur le fait suivant. En 2015, dans les écumes prélevées à la baie Missisquoi aux stations *d6* (n = 5) et *d20* (n = 1), les abondances en *Microcystis* totalisent de 1,7 à 116 millions de cel./ml.
- (4) Selon Saraf et collab. (2018), la valeur est 6 700 000 est associée à un écart de plus ou moins 100 000 cel./ml. Cet écart de 6 600 000 à 6 800 000 cel./ml est considéré dans l'évaluation de l'atteinte ou du dépassement de ce seuil. Cet écart n'était pas indiqué ailleurs dans le rapport afin d'alléger le texte.
- (5) Les abondances non disponibles de *Microcystis* dépasseraient probablement toujours en réalité le seuil de 6 700 000 +/- 100 000 cel./ml de *Microcystis*. Cette hypothèse est basée sur les résultats des six échantillons d'écume en 2015. Premièrement, le 1<sup>er</sup> quartile est de 7 263 650 ce./ml de *Microcystis*. Deuxièmement, cinq échantillons sur six dépassent le seuil en *Microcystis*. Troisièmement, la valeur minimale de CYANOTOX pour les six échantillons est 10 625 786 cel./ml.

A) Échantillons prélevés au large en présence ou non de fleurs d'eau de cyanobactéries dans le secteur de la baie Missisquoi

Station	Date de terrain en 2015	Fleur d'eau (≥ 20 000 cel./ml CYANOTOT)	Espèce de vertébré aquatique à statut précaire Aire de distribution (■ ou □) Période sensible (√)					MC-LR TEQ <sup>(1)</sup> (µg/l)	MC tot. (µg/l)	Microcystis (cel./ml)
			AMPE	APSP	GRGE	NESI	NOBI			
Secteur de la baie Missisquoi										
a	07-02	-	-	√	-	-	-	0,041 < LDM	< LDM	275
	07-16	-	-	√	-	-	-	0,041 < LDM	< LDM	4 405
	07-22	Oui	-	√	-	-	-	0,460	0,520	34 606
	08-06	Oui	-	√	-	-	-	0,356	0,440	42 537
	08-14	Oui	-	√	-	-	-	0,559	0,760	72 737
	08-18	Oui	-	√	-	-	-	0,953	1,290	96 874
	08-27	Oui	-	√	-	-	-	0,473	0,880	69 860
	09-01	Oui	-	√	-	-	-	0,657	1,090	93 620
	09-08	Oui	-	√	-	-	-	0,332	0,430	31 919
	09-23	Oui	-	√	-	-	-	0,334	0,440	ND – FE 2a
b	07-02	-	√	√	√	√	√	0,046	0,010	18
	07-16	Oui	√	√	√	√	√	1,357	1,590	162 506
	07-22	Oui	√	√	√	√	√	1,971	3,420	138 540
	08-06	-	√	√	√	√	√	0,093	0,080	4 486
	08-14	Oui	√	√	√	√	√	0,746	1,060	98 348
	08-18	Oui	√	√	√	√	√	1,635	2,350	196 936
	08-27	Oui	√	√	√	√	√	0,386	0,800	55 306
	09-01	Oui	√	√	√	√	√	0,421	0,810	36 386
	09-08	Oui	√	√	√	√	√	0,839	1,160	77 924
	09-23	Oui	√	√	√	√	√	0,382	0,510	ND – FE 2a

Cyanobactéries et cyanotoxines à la baie Missisquoi et à la rivière aux Brochets en 2015 -  
Impacts potentiels sur des activités récréatives et sur des poissons et reptiles à statut précaire

Station	Date de terrain en 2015	Fleur d'eau (≥ 20 000 cel./ml CYANOTOT)	Espèce de vertébré aquatique à statut précaire Aire de distribution ( ou ) Période sensible (✓)					MC-LR TEQ <sup>(1)</sup> (µg/l)	MC tot. (µg/l)	Microcystis (cel./ml)
			AMPE	APSP	GRGE	NESI	NOBI			
d2	07-02	-	✓	✓	✓	-	-	0,051	0,060	862
	07-16	Oui	✓	✓	✓	-	-	0,319	0,510	18 226
	07-22	Oui	✓	✓	✓	-	-	2,818	5,390	166 471
	08-06	Oui	✓	✓	✓	-	-	2,331	3,070	613 040
	08-14	Oui	✓	✓	✓	-	-	1,472	2,160	156 143
	08-18	Oui		✓	✓	-	-	0,688	0,990	190 390
	08-27	Oui		✓	✓	-	-	1,042	2,140	138 525
	09-01	Oui		✓	✓	-	-	0,985	1,610	73 699
	09-08	Oui		✓	✓	-	-	1,025	1,390	78 619
	09-23	Oui		✓	✓	-	-	0,999	1,290	ND – FE 2a
d8	07-02	-	-	✓	✓	-	-	0,050	0,05	165
	07-16	-	-	✓	✓	-	-	0,041 < LDM	< LDM	367
	07-22	Oui	-	✓	✓	-	-	0,443	0,650	19 669
	08-06	Oui	-	✓	✓	-	-	0,808	0,960	22 392
	08-14	Oui	-	✓	✓	-	-	0,230	0,290	16 853
	08-18	Oui	-	✓	✓	-	-	1,113	1,760	293 048
	08-27	Oui	-	✓	✓	-	-	0,221	0,450	19 077
	09-01	Oui	-	✓	✓	-	-	0,253	0,500	13 531
	09-08	Oui	-	✓	✓	-	-	0,218	0,320	9 607
	09-23	Oui	-	✓	✓	-	-	0,071	0,040	ND – FE 1

B) Échantillons d'écumes près du rivage dans le secteur de la baie Missisquoi et dans celui de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets

Station	Date de terrain en 2015	Espèce de vertébré à statut précaire Aire de distribution ( ) ou ( ) Période sensible (√)					MC-LR TEQ <sup>(1)</sup> (µg/l)	MC tot. (µg/l)	Microcystis (cel./ml)
		AMPE	APSP	GRGE	NESI	NOBI			
<b>Secteur de la baie Missisquoi</b>									
d6	07-16	√	√	√	-	-	22,840	46,600	64 267 735
	08-06	√	√	√	-	-	5,597	7,890	10 458 841
	08-18		√	√	-	-	28,052	26,610	6 571 748 <sup>(1)</sup>
	09-01		√	√	-	-	77,815	165,870	9 339 355
	09-08		√	√	-	-	107,100	157,400	116 094 022
	09-23		√	√	-	-	69,030	81,860	ND > x M
	10-06		√	√	-	-	234,130	283,000	ND > x M
d20	09-08	-	√	-	-	-	27,250	35,550	1 705 862 <sup>(2)</sup>
<b>Secteur de la réserve écologique de la Rivière-aux-Brochets</b>									
d18a	09-23	-	√	√	-	-	178,750	256,200	ND > x M
d18b	09-23	-	√	√	-	-	9,418	13,110	ND > x M
d42	09-08	-	√	√	-		5,518	6,520	ND > x M
RB-1	08-27	-	√	√	-	-	207,800	426,600	ND > x M
RB-2	09-08	-	√	√	-	-	115,810	245,230	ND > x M
RB-3	09-08	-	√	√	-	-	363,600	828,300	ND > x M

<sup>(1)</sup> Les 6 571 748 cel./ml de *Microcystis* représentent 5% des 130 700 101 cel./ml de CYANOTOX. En arrondissant cette abondance de *Microcystis*, la valeur est de 6 600 000. Elle atteint donc l'écart inférieur du seuil provisoire (note 4 du bas de tableau à la page 71).

<sup>(2)</sup> Les 1 705 862 cel./ml de *Microcystis* représentent 10,5% des 130 700 101 cel./ml de CYANOTOX.

Annexe 12 Concentration de MC totales et pourcentage de biomasse des CYANOTOX dominantes à la baie Missisquoi en 2015 pour les échantillons ayant dépassé 1 µg/l en MC-LR TEQ

Date (station)	MC détectées totales (µg/l) <sup>(1)</sup>	Biomasse des principaux taxons (%)						
		<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	<i>Dolichospermum flos-aquae</i>	<i>Gloeotrichia sp.</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Microcystis flos-aquae</i>	<i>Microcystis wesenbergii</i>	<i>Microcystis sp.</i>
1 < x < 16								
<b>Station b</b>								
2015-07-16	1,6	35	4 <sup>(2)</sup>		20	< 1		41
2015-07-22 <sup>(3)</sup>	3,4	8	4		6			82
2015-08-18 <sup>(3)</sup>	2,4	< 1	62		12		< 1	25
<b>Station d2</b>								
2015-07-22 <sup>(3)</sup>	5,4	12	10		7	< 1		71 <sup>(4)</sup>
2017-08-06	3,1		27		10			63
2015-08-14	2,2	1	23		16		1	58 <sup>(4)</sup>
2015-08-27	2,1	< 1	2		4	< 1	5	89 <sup>(4)</sup>
2015-09-01	1,6	5	61		4		< 1	30 <sup>(4)</sup>
<b>Station d6 (écume)</b>								
2017-08-06	7,9		3			88		9
<b>Station d8</b>								
2015-08-18 <sup>(3)</sup>	1,8	< 1	84		5		10	
x ≥ 16								
<b>Station d6 (écume)</b>								
2017-07-16	46,6	5	< 1	3	9	6		76
2015-08-18	26,6	< 1	97		1	< 1	< 1	< 1
2015-09-01	165,9	< 1	65		8	< 1	< 1	25
2015-09-08	157,4	3	72		5	< 1		20
<b>Station d20 (écume)</b>								
2015-09-08	35,6	< 1	94		3	< 1	2	< 1

(1) Excluant les échantillons de la station d6 (23 septembre et 6 octobre) et ceux des stations d18a et d18 pour lesquels aucun résultat en CYANO n'est disponible.

(2) Comprend la biomasse de *Dolichospermum sp.* (< 1 % biomasse) dans celle de 4 % de *Dolichospermum flos-aquae*.

(3) Présence négligeable (< 1 % biomasse) d'un autre genre non présenté dans le tableau.

(4) Pourcentage de biomasse de *Microcystis sp.* comprenant un pourcentage négligeable de biomasse (de 0,1 à 0,3 %) de *Microcystis ichthyoblabe*.







**Environnement  
et Lutte contre  
les changements  
climatiques**

**Québec** 