

État de situation sur les cyanobactéries à la baie Missisquoi de 2000 à 2008 en lien avec les seuils provisoires pour les eaux récréatives



2014

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec 

Photos de la page couverture

Technicien tenant une perche munie d'une bouteille d'échantillonnage, baie Missisquoi touchée par une fleur d'eau de cyanobactéries, entre les stations *d1* et *d20*, 12 août 2009 (source : Charles Boily et David Bourque, CCEQ de l'Estrie et de la Montérégie, MDDELCC).

Écume de cyanobactéries à la baie Missisquoi au sud du quai de Saint-Armand et près de l'installation de production d'eau potable de Bedford, 6 septembre 2005 (source : Patrick Chevrette, CCEQ de l'Estrie et de la Montérégie, MDDELCC).

Échantillon prélevé à la baie Missisquoi, 26 août 2003 (source : Guy Desgranges, CCEQ de l'Estrie et de la Montérégie, MDDELCC).

Ce document peut être consulté à la page Algues bleu-vert du site Internet du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, au www.mddelcc.gouv.qc.ca.

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014
ISBN 978-2-550-71485-9 (PDF)
© Gouvernement du Québec, 2014

Référence bibliographique :

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, ISBN 978-2-550-71485-9 (PDF), 44 p. + 13 ann.

Équipe de réalisation

Coordination, interprétation et rédaction	Sylvie Blais ¹
Révision scientifique	Anouka Bolduc ² , Lee Bowling ³ , Nathalie Brault ⁴ , Patrick Chevrette ⁵ , Martin Mimeault ⁶ , Marc Sinotte ¹
Échantillonnage, mesures et observations sur le terrain	Daniel Blanchard ⁵ , Patrick Chevrette ⁵ , Mathieu Choinière ⁵ , Guy Desgranges ⁵ , Martin Mimeault ⁶ , Sylvain Primeau ⁶ , Richard Smith ⁵ , Alain Tanguay ⁵ , Sylvie Legendre ^{1,9} , Yves Laporte ^{1,9} , Sylvie Blais ^{1,9}
Analyses en laboratoire des cyanotoxines	Christian Deblois ⁷ (responsable), Annie Laverdière ⁷ , Ginette Côté ⁷ , Mireille Brunet ⁷ , Valérie Gauthier ⁷ , Martin Duchesneau ⁷ , François Houde ⁷ , Nathalie Dassylva ⁷ , Danielle Thomassin ⁷ , Marie-Claire Grenon ⁷ , Benoît Sarrasin ⁷ et des employés occasionnels ⁷
Analyses en laboratoire des cyanobactéries et des algues eucaryotes (de 2001 à 2008)	Christian Bastien ⁷ (responsable), Éloïse Veilleux ⁷ , Richard Cardin ⁷ , Karine Ménard-Cloutier ⁷ , Nancy Desrosiers ⁷ , Cathy Tremblay ⁷ , Nicole Cadoret ⁷
Analyses en laboratoire des cyanobactéries et des algues eucaryotes (en 2000)	Serge Paquet ⁸
Analyses en laboratoire des paramètres de chimie inorganique	Nathalie Dassylva ⁷ , François Houde ⁷ , Danielle Thomassin ⁷ ou Andrée Gendron ⁷ (responsables); Gilles Labbé ⁷ , Jean-Guy Samson ⁷ , Hélène Ferland ⁷ , Alberte Lauzier ⁷ , Louise Simoneau ⁷ , Diane Veillette ⁷ , Serge Morissette ⁷ , Steeve Roberge ⁷
Saisie et validation des données	Nathalie Bourbonnais ¹ , Guillaume Desrosiers ¹ , Yves Laporte ¹ , Sylvie Legendre ¹ , Marie-Ève Thériault ¹
Cartographie	Mona Frenette ¹
Infographie	France Gauthier ¹
Coordination à la diffusion	Johanne Bélanger ¹
Mise en page	Claire Cournoyer Murielle Gravel

-
1. Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE), ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC).
 2. Direction des politiques de l'eau, MDDELCC.
 3. Office of Water, New South Wales Department of Primary Industries, Australia.
 4. Direction de santé publique de la Montérégie.
 5. Centre de contrôle environnemental du Québec (CCEQ) de l'Estrie et de la Montérégie, MDDELCC.
 6. Direction régionale de l'analyse et de l'expertise (DRAE) de l'Estrie et de la Montérégie, MDDELCC.
 7. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), MDDELCC.
 8. Université du Québec à Montréal (UQAM).
 9. Participation de la DSEE pour les travaux de terrain seulement lors de la première campagne annuelle.

Remerciements

L'auteure tient à remercier tous les membres de l'équipe de réalisation mentionnés plus haut d'avoir contribué selon leur champ d'expertise à l'une ou l'autre des étapes essentielles de l'étude : planification saisonnière, travaux sur le terrain, analyses de laboratoire, saisie et validation des données, cartographie, infographie, aide à la mise en forme de données ou à certains traitements de celles-ci, révision scientifique et mise en page.

L'auteure apprécie beaucoup la collaboration de tous ses collègues de la Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). Merci notamment à monsieur Marc Sinotte d'avoir transmis de l'information et des références actuelles sur les cyanotoxines.

Il importe de reconnaître aussi l'importante collaboration du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), entre autres de messieurs Christian Bastien et Christian Deblois. Ils étaient responsables des analyses de laboratoire respectivement pour les cyanobactéries et les algues eucaryotes, et pour les cyanotoxines.

Au niveau régional, un merci tout spécial à monsieur Martin Mimeault, coordonnateur à la gestion intégrée du lac Champlain à la Direction régionale de l'analyse et de l'expertise (DRAE) de l'Estrie et de la Montérégie du MDDELCC. En plus de fournir de l'information, il a été le porte-parole du projet conjoint afin d'obtenir du bureau régional une contribution en ressources techniques pour les travaux de terrain et en heures de laboratoire pour les analyses des échantillons. Merci beaucoup aussi aux techniciens du Centre de contrôle environnemental du Québec (CCEQ) de l'Estrie et de la Montérégie du MDDELCC, notamment monsieur Patrick Chevrette qui, en plus de contribuer aux travaux de terrain, a été une personne-ressource dont les connaissances de terrain ont été utiles à la présentation et à l'interprétation de certains résultats.

L'auteure désire également souligner la précieuse collaboration du Dr Lee Bowling, limnologue principal et coordonnateur de l'État pour le dossier des algues au New South Wales Department of Primary Industries en Australie. Le Dr Bowling est l'auteur principal de l'autre rapport sur la baie Missisquoi, élaboré à partir des résultats d'analyse des mêmes échantillons du MDDELCC (Bowling *et al.* 2014). Ce rapport complémentaire, qui explique les caractéristiques et les causes du développement des fleurs d'eau de cyanobactéries à la baie Missisquoi, a entre autres permis d'enrichir la compréhension de certains sujets discutés dans le présent rapport.

Résumé

La problématique d'eutrophisation touche la baie Missisquoi (BM) depuis quelques décennies. Elle se manifeste notamment par d'importantes fleurs d'eau de cyanobactéries (CYANO). Celles-ci peuvent perturber l'équilibre écologique du milieu aquatique, détériorer son apparence et nuire aux activités récréotouristiques et socioéconomiques de la région. Certaines fleurs d'eau présentent un risque pour la santé des usagers du plan d'eau en raison de leur potentiel irritant ou toxique.

Pour développer les connaissances sur les épisodes de fleurs d'eau de CYANO à la BM, le MDDELCC y a effectué un suivi de 2000 à 2008. Deux principaux objectifs étaient recherchés. Le premier consistait à évaluer à quelles abondances de CYANO et à quelles concentrations de cyanotoxines peuvent être exposés les usagers lorsque l'on observe une fleur d'eau. Le deuxième visait à documenter les fleurs d'eau et leurs écumes les plus intenses pour chacune des dates d'échantillonnage afin d'estimer l'importance et la variabilité des dépassements des seuils en CYANO et en cyanotoxines pour la protection des usages du plan d'eau.

Des fleurs d'eau de CYANO ont été confirmées par des résultats d'analyse dépassant le seuil de 20 000 cellules/ml (cel./ml) en CYANO totales (CYANOTOT) à toutes les années sauf en 2000. En 2007, les épisodes de fleurs d'eau ont été rares et de faible intensité. Pour l'ensemble des années et des stations, la comparaison entre les constats visuels et les résultats d'analyse en CYANOTOT excluant les picocyanobactéries indique que pour 7 % des échantillons, le personnel technique expérimenté n'a pas vu de fleur d'eau de CYANO sur le terrain alors que les résultats de laboratoire démontrent le contraire ($\geq 20\,000$ cel./ml). Dans 34 % des échantillons où le personnel croyait en avoir observé une, les résultats démontrent qu'il n'y en avait pas. Pour 86 % (32/37) des échantillons faux positifs de fleurs d'eau de CYANO aux quatre principales stations, la biomasse phytoplanctonique était dominée de 60 à 100 % par des algues eucaryotes qui ne présentent pas de risque pour la santé des usagers. Le fait de détecter visuellement ou non des populations de CYANO ou d'algues eucaryotes d'une abondance donnée est influencé notamment par l'importance ou la petitesse du biovolume cellulaire des espèces présentes.

Certaines fleurs d'eau de CYANO ont été confirmées à partir de la mi-juin, mais la plupart l'ont été à partir de la mi-juillet et certaines jusqu'à la mi-octobre. Les abondances de CYANO et les concentrations de cyanotoxines varient considérablement selon les secteurs de la baie, les stations et les dates d'échantillonnage. Le secteur est de la BM est le plus touché, suivi du secteur de la baie de Venise. Le secteur est de la BM présente donc les plus fortes abondances de CYANO et concentrations de microcystine-LR toxicité équivalente (MC-LR TEQ) (hépatotoxines). Ces secteurs sont les plus touchés probablement en partie en raison des vents. En général, durant les mois de juin à octobre, les vents dominants sont du sud-ouest, puis de l'ouest et du sud (MDDEFP 2012). Ils pousseraient donc les fleurs d'eau plus fréquemment vers le secteur est de la baie Missisquoi (BME) mais aussi vers le secteur de la baie de Venise (BV).

À l'échelle de toute la BM, la proportion de CYANO à potentiel toxique (CYANOTOX), les concentrations de MC-LR TEQ et le pH tendent à s'accroître avec l'augmentation des densités de CYANOTOT. Les dépassements des seuils provisoires pour la protection des usages sont donc plus fréquents et plus importants dans des fleurs d'eau intenses et encore plus dans les écumes. Néanmoins, les concentrations maximales en MC-LR TEQ à certaines stations n'ont pas été enregistrées aux dates où l'abondance de CYANOTOT était parmi les plus élevées. Les microcystines (MC) résiduelles après la mortalité et donc la lyse des cellules ou surtout la présence de souches de CYANOTOX produisant peu ou encore beaucoup de toxines par cellule expliquent probablement ce type de disparité.

Pour ce qui est de la protection des activités récréatives de contact avec les eaux, dans les échantillons de fleur d'eau prélevés au large, le seuil de 100 000 cel./ml de CYANOTOT est souvent dépassé mais pas le seuil de 16 µg/l de MC-LR TEQ. La situation est cependant

beaucoup plus à risque dans les écumes accumulées près des rives, zone où les usagers se trouvent habituellement en plus grand nombre. Les concentrations en MC-LR TEQ sont d'ailleurs en général de 100 à 1 000 fois plus élevées dans les écumes (prélevées en surface près du rivage) que dans les fleurs d'eau (prélevées sur une certaine épaisseur de la colonne d'eau au large). Dans les écumes, la médiane et le maximum y dépassent respectivement de 9 et 2 096 fois le seuil de 16 µg/l en MC-LR TEQ. Les cas de dépassement dans des écumes importantes et peut-être à certaines occasions au large sont probablement sous-estimés, notamment pour des raisons d'interdiction d'accès aux propriétés riveraines de campings et de plages.

L'anatoxine-a (neurotoxine) a été détectée une seule fois, peut-être entre autres parce qu'elle a la propriété de se dégrader très rapidement à la lumière et à pH basique ou que les conditions environnementales nécessaires aux cyanobactéries pour qu'elles produisent cette cyanotoxine n'étaient pas réunies peu avant les campagnes d'échantillonnage ou lors de celles-ci. Par ailleurs, la cylindrospermopsine (hépatotoxine), la saxitoxine et la néosaxitoxine (neurotoxines) n'ont pas été détectées notamment parce que très peu d'échantillons ont été analysés, et ce, pour seulement une faible proportion des variantes de ces familles de cyanotoxines.

Quinze espèces de CYANOTOX ainsi que vingt-sept espèces et deux genres d'autres CYANO ont été identifiés. Parmi les taxons qui peuvent produire des MC à la BM, il y a au moins une ou des souches de *Anabaena flos-aquae* et de *Gloeotrichia echinulata* et fort probablement de façon importante des souches de *Microcystis* sp. et de *Microcystis aeruginosa*. *A. flos-aquae* serait aussi responsable de la production d'anatoxine-a mesurée dans un seul échantillon.

Table des matières

1	INTRODUCTION	1
2	MÉTHODOLOGIE	2
2.1	Campagnes d'échantillonnage, paramètres et méthodes de mesure	2
2.2	Stations et plan d'échantillonnage	3
2.3	Analyses en laboratoire.....	5
2.4	Nomenclature des cyanobactéries.....	5
2.5	Classement des cyanobactéries à potentiel toxique.....	5
2.6	Classement des cyanobactéries totales et des « autres cyanobactéries »	6
2.7	Seuils pour désigner une fleur d'eau et pour protéger les usages	6
2.8	Analyse et présentation des données	8
3	RÉSULTATS ET DISCUSSION	8
3.1	Premiers constats et prémisses d'évaluation.....	8
3.2	Cyanobactéries et microcystines	9
3.2.1	Résultats généraux.....	9
3.2.1.1	Résultats généraux sur les cyanobactéries	9
3.2.1.2	Résultats généraux et limites relativement aux microcystines.....	9
3.2.2	Résultats à l'échelle de la baie Missisquoi	10
3.2.2.1	Répartition des abondances de cyanobactéries en campagnes régulières et fleurs d'eau	10
3.2.2.2	Variabilités interannuelles des cyanobactéries et des microcystines.....	12
3.2.2.3	Variabilités semi-mensuelles des cyanobactéries et des microcystines.....	14
3.2.2.4	Évolution des cyanobactéries à potentiel toxique ou des microcystines en fonction des cyanobactéries totales	16
3.2.2.5	Répartition spatio-temporelle des concentrations de MC- LR TEQ en <i>campagnes écumes</i>	17
3.2.3	Variabilités spatiales à l'échelle des secteurs de la baie Missisquoi.....	18
3.2.4	Variabilités temporelles à l'échelle des principales stations.....	20
3.2.4.1	Cyanobactéries et microcystines en <i>campagnes régulières et fleurs d'eau</i>	20
3.2.4.2	Microcystines en <i>campagnes écumes</i>	29
3.3	Autres cyanotoxines	31
3.3.1	Anatoxine-a.....	31
3.3.2	Saxitoxine, néosaxitoxine et cylindrospermopsine	32

3.4	Cyanobactéries présumées responsables de la production de microcystines ou d'anatoxine-a.....	32
3.5	Variabilités du pH.....	34
3.6	Détection des fleurs d'eau et constats visuels.....	35
4	CONCLUSION.....	37
5	BIBLIOGRAPHIE.....	39

Liste des sigles et des abréviations

BM	Baie Missisquoi
BMC	Secteur du centre de la BM correspondant à la station a
BME	Secteur est de la BM (à l'est de la pointe Jameson)
BV	Secteur de la baie de Venise dans la BM
CCEQ	Centre de contrôle environnemental du Québec de l'Estrie et de la Montérégie (au MDDELCC)
CEAEQ	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (au MDDELCC)
cel./ml	Cellules par millilitre
CYANO	Cyanobactéries
CYANOTOT	Cyanobactéries totales
CYANOTOX	Cyanobactéries à potentiel toxique
DRAE	Direction régionale de l'analyse et de l'expertise de l'Estrie et de la Montérégie (au MDDELCC)
DSEE	Direction du suivi de l'état de l'environnement (au MDDELCC)
EC	Écume
FE	Fleur d'eau
LDM	Limite de détection de la méthode d'analyse du laboratoire
MC	Microcystine(s)
MC-LA	Microcystine-LA
MC-LR	Microcystine-LR
MC-LR TEQ	Microcystine-LR toxicité équivalente
MC-RR	Microcystine-RR
MC tot.	Microcystines totales (somme des variantes analysées)
MC-YM	Microcystine-YM
MC-YR	Microcystine-YR
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
OMS	Organisation mondiale de la santé
PICO	Picocyanobactéries
PG	Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau de cyanobactéries
Q25	Percentile 25
Q75	Percentile 75
R (ou REG)	Campagne régulière
RQEP	Règlement sur la qualité de l'eau potable
TEQ	Toxicité équivalente
UQAM	Université du Québec à Montréal

Liste des figures

Figure 1	Localisation des stations d'échantillonnage et des principaux usages publics à la BM	4
Figure 2	Proportions des échantillons selon des classes d'abondances de CYANOTOT en <i>campagnes régulières</i> et <i>fleurs d'eau</i> dans l'ensemble des stations de 2000 à 2008	11
Figure 3	Proportions des échantillons selon des classes d'abondances de CYANOTOX en <i>campagnes régulières</i> et <i>fleurs d'eau</i> dans l'ensemble des stations de 2000 à 2008	11
Figure 4	Abondances des CYANOTOT et des CYANOTOX en <i>campagnes fleurs d'eau</i> dans l'ensemble des stations et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les activités récréatives (trait rouge)	13
Figure 5	Concentrations en MC-LR TEQ en <i>campagnes fleurs d'eau</i> (FE) et <i>écumes</i> (EC) dans l'ensemble des stations et dépassements du seuil pour les activités récréatives (trait rouge)	13
Figure 6	Abondances semi-mensuelles des CYANOTOT en <i>campagnes régulières</i> et <i>fleurs d'eau</i> de 2000 à 2008 et dépassements des seuils pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les activités récréatives (trait rouge)	14
Figure 7	Abondances semi-mensuelles des CYANOTOX en <i>campagnes régulières</i> et <i>fleurs d'eau</i> de 2000 à 2008	15
Figure 8	Concentrations semi-mensuelles en MC-LR TEQ durant les <i>campagnes régulières</i> , <i>fleurs d'eau</i> et <i>écumes</i> de 2001 à 2008 (résultats non détectés exclus) et dépassements du seuil pour les usages récréatifs (trait rouge)	15
Figure 9	Proportions des CYANOTOX par rapport aux CYANOTOT pour chacun des groupes d'abondances de CYANOTOT dans l'ensemble des stations de la BM de 2000 à 2008	16
Figure 10	Concentration maximale de MC-LR TEQ aux stations d'échantillonnage en <i>campagnes écumes</i> de 2001 à 2008 et importance du dépassement du seuil de 16 µg/l pour les activités récréatives	18
Figure 11	Abondances des CYANOTOT et des CYANOTOX selon les secteurs de la BM en <i>campagnes fleurs d'eau</i> de 2001 à 2008 et dépassements des seuils en YANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge)	19
Figure 12	Concentrations en MC-LR TEQ selon les secteurs de la BM en <i>campagnes fleurs d'eau</i> ou <i>écumes</i> de 2001 à 2008 et dépassements du seuil pour les activités récréatives (trait rouge) et de la norme pour l'eau potable au robinet (trait bleu)	19
Figure 13	Abondances des CYANOTOT (CYANOTOX et autres) à la station <i>a</i> en <i>campagnes régulières</i> (R) et <i>fleurs d'eau</i> et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge)	21
Figure 14	Concentrations en MC-LR TEQ à la station <i>a</i> en <i>campagnes régulières</i> (R) et <i>fleurs d'eau</i>	22
Figure 15	Abondances des CYANOTOT (CYANOTOX et autres) à la station <i>b</i> en <i>campagnes régulières</i> (R) et <i>fleurs d'eau</i> et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge)	23

Figure 16	Concentrations en MC-LR TEQ à la station <i>b</i> en <i>campagnes régulières</i> (R) et <i>fleurs d'eau</i>	24
Figure 17	Abondances des CYANOTOT (CYANOTOX et autres) à la station <i>d2</i> en <i>campagnes fleurs d'eau</i> et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge).....	26
Figure 18	Concentrations en MC-LR TEQ à la station <i>d2</i> en <i>campagnes régulières</i> et <i>fleurs d'eau</i> et dépassements de la norme pour l'eau potable au robinet (trait bleu)	27
Figure 19	Abondances des CYANOTOT (CYANOTOX et autres) à la station <i>d8</i> en <i>campagnes régulières</i> (R) et <i>fleurs d'eau</i> et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge).....	27
Figure 20	Concentrations en MC-LR TEQ à la station <i>d8</i> en <i>campagnes régulières</i> (R) et <i>fleurs d'eau</i>	28
Figure 21	Concentrations en MC-LR TEQ à la station <i>d6</i> en <i>campagnes écumes</i> et dépassements du seuil pour les activités récréatives (ligne rouge) comparativement aux proportions des CYANOTOX par rapport aux CYANOTOT	30
Figure 22	Variabilités du pH diurne dans l'ensemble des stations et dépassements du critère maximal pour la protection des activités récréatives en fonction des groupes d'abondances en CYANOTOT à la BM de 2000 à 2008 (FE : fleur d'eau; EC : écume)	35

Liste des tableaux

Tableau 1	Seuils en cyanobactéries et en cyanotoxines pour désigner une fleur d'eau ou pour protéger les usages	6
Tableau 2	Détection de MC et importance des dépassements en MC-LR TEQ de la norme pour l'eau potable au robinet et du seuil pour les activités récréatives selon le nombre et le pourcentage d'échantillons dans différents groupes d'abondances de CYANOTOT à l'échelle de la BM de 2001 à 2008	17
Tableau 3	Cyanobactéries identifiées à partir d'échantillons d'écume pour compter au moins une souche pouvant produire de la MC à la BM	33
Tableau 4	Appréciation des constats visuels quant à la présence ou à l'absence de fleur d'eau de CYANO observée sur le terrain par des techniciens comparativement au dénombrement de CYANOTOT au laboratoire pour l'ensemble des stations selon que les picocyanobactéries (PICO) sont considérées ou non.....	36

Liste des annexes

Annexe 1	(A) Liste des stations et des périodes d'échantillonnage, des nombres d'analyses pour les cyanobactéries et les microcystines et des types de campagnes et (B) Nombre de visites de terrain par année	45
Annexe 2	Méthodes d'analyse employées au CEAEQ	47
Annexe 3	Cyanobactéries et algues eucaryotes dans les échantillons de la baie Missisquoi pour l'ensemble des stations et des campagnes de 2000 à 2008.....	48
Annexe 4	Proportions des échantillons selon différentes classes d'abondances de CYANOTOT excluant les picocyanobactéries en <i>campagnes régulières</i> et <i>fleurs d'eau</i> pour l'ensemble des stations de 2000 à 2008* à la baie Missisquoi	50
Annexe 5	Abondances semi-mensuelles des CYANOTOT excluant les picocyanobactéries en <i>campagnes régulières</i> et <i>fleurs d'eau</i> de 2000 à 2008 à la baie Missisquoi et dépassement des seuils en CYANOTOT pour désigner la présence d'une fleur d'eau (ligne bleue) ou pour protéger les usages récréatifs (ligne rouge)	51
Annexe 6	(A) Concentrations en MC-LR TEQ des échantillons d'écume selon les secteurs et les stations et (B) Répartition semi-mensuelle des échantillons d'écume (excluant l'échantillon prélevé sur la rive en juillet 2004).....	52
Annexe 7	Statistiques descriptives de 2009 à 2012 des douze variantes de MC ⁽¹⁾ et dépassements des seuils en MC-LR TEQ dans le cadre du Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau de cyanobactéries à la baie Missisquoi ⁽²⁾	54
Annexe 8	Proportion des échantillons selon différentes classes d'abondances de CYANOTOT en <i>campagnes fleurs d'eau</i> de 2000 à 2008 dans les trois secteurs de la baie Missisquoi	56
Annexe 9	Groupes d'algues dominantes dans les échantillons faux positifs ⁽¹⁾ en <i>campagnes fleurs d'eau</i> aux stations <i>a</i> , <i>b</i> , <i>d2</i> et <i>d8</i> de la baie Missisquoi avec ou sans picocyanobactéries.....	57
Annexe 10	Comparaison de la médiane et du maximum en CYANOTOT et en MC-LR TEQ entre la station <i>d2</i> de la baie Missisquoi et la prise d'eau brute de l'installation de production d'eau potable de Bedford durant les périodes communes d'échantillonnage	59
Annexe 11	Fréquence de présence des taxons de cyanobactéries et proportion de leur biomasse dans les 22 échantillons de plus de 16 µg/l de MC-LR TEQ de la baie Missisquoi de 2001 à 2008	60
Annexe 12	Statistiques descriptives du pH et dépassements du seuil maximal pour la protection des activités récréatives en fonction des groupes de densités des CYANOTOT à la baie Missisquoi de 2000 à 2008 pour l'ensemble des stations	61
Annexe 13	Variation de la détection visuelle d'une population de <i>Anabaena circinalis</i> et d'autres espèces selon l'expérience de l'observateur	62

1 INTRODUCTION

La baie Missisquoi (BM) est prisée par de nombreux vacanciers, touristes et adeptes de différentes activités récréatives de contact avec les eaux. Elle est vaste, avec une superficie de 77,5 km². Sa profondeur moyenne est de 2,8 mètres et sa profondeur maximale de 4 ou 4,5 mètres selon les auteurs (Galvez *et al.* 2008; Germain *et al.* 1987). Le taux de renouvellement des eaux de la BM est évalué entre neuf (Galvez *et al.* 2008) et dix fois par année (Smeltzer 2011). Le bassin versant de la BM couvre 42 % de sa surface au Québec et 58 % au Vermont (Germain *et al.* 1987; Galvez *et al.* 2008). La BM constitue la petite partie nord-est d'un immense plan d'eau : le lac Champlain. La majorité de la superficie de ce lac transfrontalier se trouve aux États-Unis, dans les États du Vermont et de New York. La partie québécoise de la BM se situe dans la région de la Montérégie.

La problématique d'eutrophisation touche la BM depuis quelques décennies. Par exemple, de juin à septembre 1967, la concentration moyenne d'orthophosphates de 0,085 mg/l à la frontière canado-américaine (Fontaine *et al.* 1968) était déjà très élevée, étant donné que les concentrations pour un lac eutrophe se situent habituellement entre 0,03 et 0,1 mg/l en phosphore total (MDDEFPa). D'ailleurs, durant cette même période, la Régie des eaux du Québec de Saint-Armand (Philipsburg) avait observé la présence d'algues à la pointe Jameson (Fontaine *et al.* 1968). En 1979, Environnement Canada y avait aussi constaté des symptômes d'eutrophisation. En 1981, une fleur d'eau de cyanobactéries (CYANO) avait été observée à la mi-juillet (Germain *et al.* 1987; Bérubé 1981) dans la région de Saint-Armand et plus tard en août sur toute l'étendue de la baie de Venise et de la BM. Dans certains secteurs, le phénomène était si intense qu'il ressemblait à de la peinture déversée dans la baie (Bérubé 1981).

Selon leur importance, ces fleurs d'eau peuvent plus ou moins perturber l'équilibre écologique du milieu aquatique, détériorer son apparence et nuire aux activités récréotouristiques et socioéconomiques. Certaines fleurs d'eau de CYANO présentent un risque pour la santé des usagers du plan d'eau en raison de leur potentiel irritant ou toxique. Les principales cyanotoxines sont des hépatotoxines, représentées surtout par des microcystines (MC) ainsi que des neurotoxines comme l'anatoxine-a.

Considérant les conséquences potentielles sur la santé publique, le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) et le ministère de l'Environnement du Québec ont voulu documenter la présence et l'importance des fleurs d'eau de CYANO dans des plans d'eau québécois. En 1999, le ministère de l'Environnement a effectué des relevés exploratoires dans neuf plans d'eau dont la BM. L'échantillonnage pour les CYANO dans la BM a eu lieu tardivement en saison, soit le 25 septembre 1999; on y a mesuré 75 874 cellules/ml (cel./ml) de CYANO totales (CYANOTOT), dont 10 % d'entre elles étaient des taxons à potentiel toxique (Piché 2000).

En 2004, le gouvernement du Québec mettait sur pied le Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau de cyanobactéries (PG) afin de gérer la problématique en cours de saison et de protéger les usagers, notamment ceux de la BM. Le PG prévoyait un échantillonnage à au moins un endroit stratégique lorsqu'une fleur d'eau signalée était visuellement confirmée par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). Les résultats obtenus servaient principalement à guider les interventions de santé publique. Ceux-ci ne seront pas exposés dans le présent document.

De 2000 à 2008, le MDDELCC a également effectué un suivi plus serré à la BM. Ce suivi visait à développer les connaissances sur la problématique des CYANO et de cyanotoxines. Le MDDELCC voulait évaluer à quelles abondances de CYANO et à quelles concentrations de cyanotoxines peuvent être exposés les usagers lorsque les techniciens pensent observer une fleur d'eau. Plus spécifiquement, le MDDELCC cherchait surtout à documenter les fleurs d'eau de CYANO et leurs écumes les plus intenses pour chacune des dates d'échantillonnage, et ce, afin

d'évaluer l'importance et la variabilité des dépassements des seuils québécois en CYANO et en cyanotoxines pour la protection des usages du plan d'eau. C'est donc pour atteindre ces principaux objectifs que la méthodologie avait été élaborée. De plus, le MDDELCC voulait analyser les résultats d'échantillonnage pour tenter de répondre à d'autres interrogations, dont principalement les suivantes :

- 1 Quelles sont les abondances minimales en CYANO en l'absence de fleur d'eau?
- 2 Quelles sont les espèces de CYANO ainsi que les cyanotoxines présentes?
- 3 Est-ce que la proportion de CYANO à potentiel toxique (CYANOTOX) par rapport aux CYANOTOT s'accroît avec l'intensité des fleurs d'eau de CYANO?
- 4 Est-ce que des fleurs d'eau sont monospécifiques? Quels taxons de CYANO semblent alors produire des cyanotoxines?
- 5 Quelle est l'importance des CYANO par rapport aux algues eucaryotes? Est-ce que certaines fleurs d'eau observables par les usagers du plan d'eau sont toujours associées aux CYANO ou bien plutôt à des eucaryotes dans certains cas?

Comme objectif complémentaire, le MDDELCC voulait mieux comprendre le phénomène de développement et de persistance de fleurs d'eau. Il s'agissait donc d'évaluer les liens pouvant exister entre les CYANO ou les cyanotoxines et d'autres paramètres physicochimiques (comme le phosphore), biologiques ou météorologiques. Ces volets de l'étude ont fait l'objet d'un autre rapport (Bowling et al. 2014).

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Campagnes d'échantillonnage, paramètres et méthodes de mesure

L'étude se concentre principalement sur les résultats des années 2000 à 2008 durant lesquelles les échantillons ont été prélevés, surtout durant la période de juin à octobre.

Le suivi comprend trois types de campagnes selon la situation observée sur le terrain. Les campagnes régulières visent à fournir un portrait de la situation avant la survenue d'une fleur d'eau visible. Elles ont été réalisées généralement deux à trois fois par année en début de saison. Les campagnes régulières les plus tardives ont eu lieu vers la mi-juillet. Les campagnes fleurs d'eau se rapportent à des situations en présence visible de fleur d'eau. Les campagnes écumes concernent des fleurs d'eau sous la forme d'une écume en bordure du rivage ou très près de celui-ci. Pour toutes ces campagnes et pour chacune des stations et des dates d'échantillonnage, une fiche d'observations et de mesures (aspects visuels, transparence, température, etc.) a été remplie sur le terrain.

Les paramètres analysés au laboratoire, qui sont concernés par le présent rapport, comprennent les CYANO, les algues eucaryotes, des cyanotoxines et le pH. En *campagnes régulières*, les cyanotoxines n'étaient généralement pas analysées, compte tenu de la très faible probabilité d'en détecter ou d'en mesurer en concentration appréciable en l'absence de fleur d'eau en début de saison. Les *campagnes fleurs d'eau* comprennent tous les paramètres mentionnés ci-dessus. Les *campagnes écumes* se limitent en général aux CYANO et aux algues eucaryotes ainsi qu'aux cyanotoxines.

Les *campagnes régulières* et les *campagnes fleurs d'eau* ont été réalisées à l'aide d'une embarcation afin que des échantillons intégrés d'une partie de la hauteur de la colonne d'eau soient prélevés au large. Les *campagnes écumes* ont été effectuées à gué près du rivage; des échantillons ponctuels de surface ont alors été prélevés à l'aide d'une bouteille en verre de un litre à large goulot.

Pour les campagnes régulières et les campagnes fleurs d'eau, les échantillons intégrés de la colonne d'eau étaient prélevés sur la hauteur de la zone photique de 2000 à 2007 et limités de la surface jusqu'à un mètre de profondeur (0-1 m) en 2008. De 2000 à 2003, les prélèvements étaient effectués à l'aide d'une bouteille d'échantillonnage vertical Kemmerer. En 2000, il s'agissait d'un échantillon discontinu de la zone photique : les sous-échantillons étaient alors prélevés aux deux mètres à partir de 30 centimètres de la surface. De 2001 à 2003, les sous-échantillons intégraient de façon continue toute l'épaisseur de la zone photique à partir de la surface. De 2004 à 2007, la profondeur de la zone photique était échantillonnée d'un seul coup à l'aide d'un tube en plastique flexible; celui-ci était suffisamment long pour permettre d'échantillonner au besoin toute la hauteur de la colonne d'eau, peu importe où l'on se trouvait dans la baie. En 2008, l'échantillon 0-1 m était prélevé avec un tube rigide. Ce changement était justifié par le fait que le premier mètre d'eau est celui qui est le plus utilisé lors des activités récréatives de contact avec les eaux.

La profondeur de la zone photique était calculée en multipliant la transparence mesurée avec le disque de Secchi par le facteur de 2,7. Cette valeur est inspirée de Cole (1975) et de Holdren et al. (2001), qui recommandent respectivement un facteur de 2,7 à 3 ou de 2 à 3. Cependant, lorsque la zone photique calculée atteignait ou dépassait la profondeur de la colonne d'eau, la zone photique considérée pour l'échantillonnage devenait la hauteur de toute la colonne d'eau.

Dans tous les cas de 2000 à 2008, on visait à ce que l'échantillon exclue au moins environ 30 à 50 centimètres au-dessus des sédiments afin d'éviter que ceux-ci ne contaminent l'eau prélevée. L'échantillon était bien mélangé avant d'être réparti dans des bouteilles respectant les paramètres à analyser ensuite au laboratoire.

Durant la totalité de la période de suivi, les différences de profondeur d'échantillonnage pour les échantillons intégrés couplées à celles de l'instrument d'échantillonnage lui-même, qui a changé trois fois, ont pu entraîner une certaine variabilité dans les résultats, bien que les années présentant des pics ou des baisses importantes en CYANOTOT, en CYANOTOX ou en microcystine-LR toxicité équivalente (MC-LR TEQ) ne correspondent pas aux années de transition de méthode (section 3.2.2.2). De plus, comme la baie est vaste et de faible profondeur, elle est souvent soumise à l'action importante des vents. La colonne d'eau étant fréquemment brassée, il est probable qu'elle soit souvent relativement homogène (elle n'a cependant pas été échantillonnée par période de vents très forts pour des raisons de sécurité). Par ailleurs, le nombre de campagnes et le nombre de stations échantillonnées par campagne ont varié d'une année à l'autre, notamment en fonction des ressources humaines et financières disponibles.

2.2 Stations et plan d'échantillonnage

Pour les campagnes régulières, les stations a, b et d8 ont été échantillonnées. La station a se trouve dans le secteur le plus profond de la BM, soit dans le centre de celle-ci. Le choix de la station b est justifié, d'une part, par l'importance des usages récréatifs de contact avec les eaux et, d'autre part, par la présence fréquente d'importantes fleurs d'eau. Cette station se trouve face à des vents dominants. Lorsque le niveau d'eau était trop bas, il est arrivé que la station b a été déplacée un petit peu au large; on considère donc la station b davantage comme une zone plutôt qu'un lieu très précis. Quant à la station d8, elle était la seule dans le secteur de la baie de Venise.

D'une campagne fleur d'eau ou d'une campagne écume à une autre, on visait à échantillonner aux endroits à la fois de la baie de Venise et du reste de la BM où les fleurs d'eau et les écumes semblaient les plus intenses, et ce, dans la mesure où les endroits visés pour les écumes étaient alors accessibles (permission de propriétaires de campings et de plages diminuant avec les années). Si les stations fixes a ou b faisaient partie du secteur majeur de fleur d'eau, elles étaient conservées pour des campagnes fleurs d'eau. Sinon, de nouvelles stations d, pour « déplacées », étaient créées ou des stations d existantes étaient échantillonnées à nouveau.

Les stations d'échantillonnage et les principaux usages sont localisés à la figure 1. Celle-ci indique aussi les années de suivi pour chacune des stations de même que les types d'échantillons visés. L'annexe 1A présente des renseignements complémentaires, notamment quant aux périodes d'échantillonnage et aux types de campagnes pour chacune des stations. L'annexe 1B collige le nombre de visites de terrain par année.

Pour chacune des campagnes, un seul échantillon était prélevé par date à chacune des stations retenues. L'échantillon était ensuite divisé en « sous-échantillons » pour les paramètres à analyser. Pour faciliter la lecture, les « sous-échantillons » seront dorénavant appelés « échantillons ».

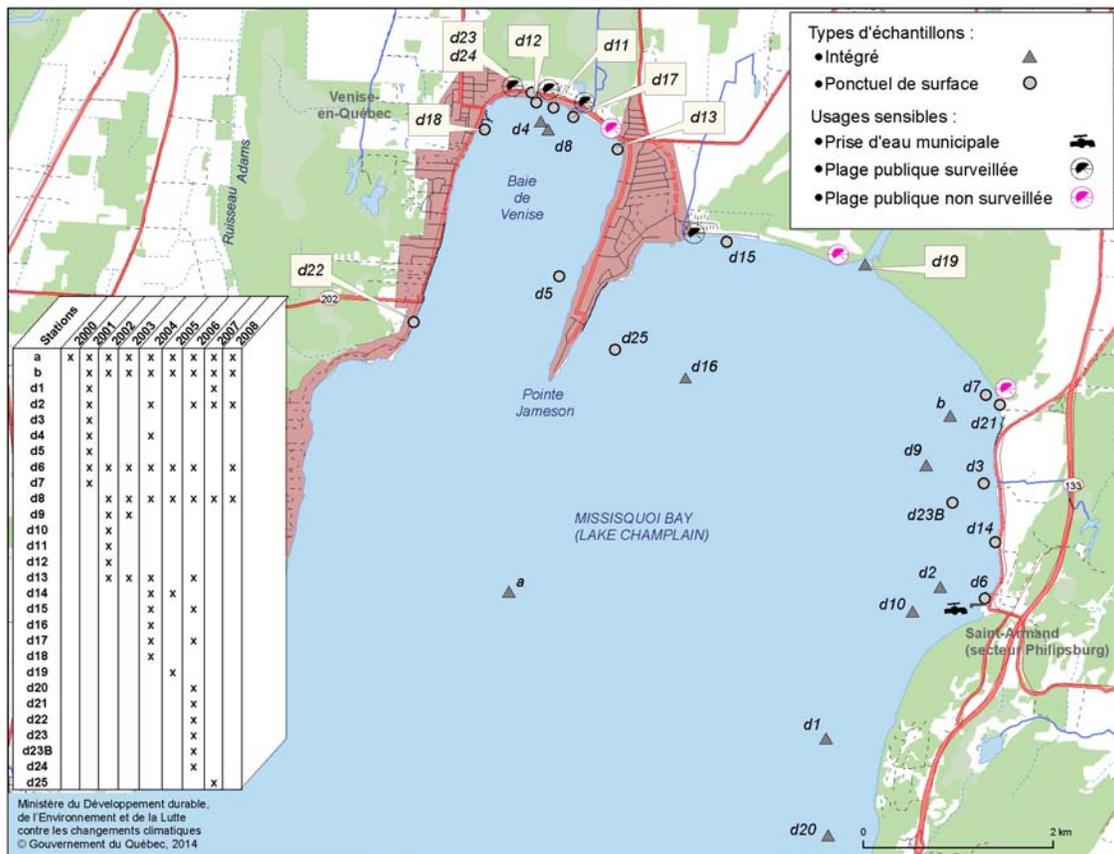


Figure 1 Localisation des stations d'échantillonnage et des principaux usages publics à la BM

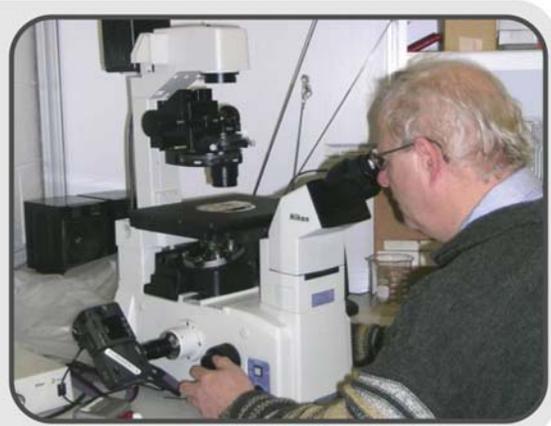
Dans la figure ci-dessus, l'appellation « plage surveillée » signifie que la surveillance de la baignade est assurée par au moins un sauveteur

2.3 Analyses en laboratoire

Les échantillons ont été analysés au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) du MDDELCC. Seuls les échantillons de l'année 2000 pour les CYANO et les algues eucaryotes ont fait exception; leurs analyses ont été réalisées par l'Université du Québec à Montréal (UQAM), qui a ensuite transmis l'expertise au CEAEQ. Les variantes de MC analysées durant toute la période de suivi étaient limitées à la microcystine-LR (MC-LR), à la microcystine-RR (MC-RR) et à la microcystine-YR (MC-YR pour lesquelles des étalons étaient disponibles). Les méthodes d'analyse des différents paramètres sont répertoriées à l'annexe 2.



Technicien du CEAEQ procédant à l'analyse des cyanotoxines à l'étape de l'extraction de celles-ci (source : C. Deblois, CEAEQ)



Technicien du CEAEQ procédant à analyse microscopique des CYANO et des eucaryotes (source : CEAEQ)

2.4 Nomenclature des cyanobactéries

Le laboratoire utilise plusieurs ouvrages pour identifier les espèces de CYANO (CEAEQ 2012) dont celles de la BM qui sont répertoriées à l'annexe 3.

Néanmoins, selon Wacklin *et al.* (2009), le genre *Anabaena* pour les espèces de CYANO planctoniques est changé pour le nouveau genre appelé *Dolichospermum*, et ce, conformément aux règles du code de nomenclature en botanique. Ainsi, pour les espèces identifiées à la BM, les noms des espèces *Anabaena circinalis*, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena planctonica*, *Anabaena spiroides* et *Anabaena crassa* sont remplacés respectivement par *Dolichospermum circinalis*, *Dolichospermum flos-aquae*, *Dolichospermum planctonicum*, *Dolichospermum spiroides* et *Dolichospermum crassum*. De plus, d'après Komárek *et al.* (2011), le nouveau nom pour *Aphanothece clathrata* devrait être *Anathece clathrata*. Malgré les recommandations de Wacklin *et al.* (2009) et de Komárek *et al.* (2011), dans le présent rapport, les noms d'origine pour les espèces du genre *Anabaena* et pour l'espèce *Aphanothece clathrata* ont été conservés, et ce, étant donné qu'ils semblent davantage connus.

2.5 Classement des cyanobactéries à potentiel toxique

Les CYANOTOX sont les cyanobactéries susceptibles de produire des hépatotoxines – comme la MC ou la cylindrospermopsine – ou des neurotoxines telles que l'anatoxine-a, la saxitoxine ou la néosaxitoxine. Les espèces ou genres de CYANO reconnus pour produire au moins une cyanotoxine (sans considérer les lipopolysaccharides) – d'après les références scientifiques consultées issues de différents endroits dans le monde – ont été regroupés dans une liste qui

sert à définir ceux ayant un potentiel toxique (Blais *et al.* 2008). Dans une approche préventive, ces CYANO sont considérées comme susceptibles de produire les mêmes toxines dans les plans d'eau du Québec.

2.6 Classement des cyanobactéries totales et des « autres cyanobactéries »

Les CYANOTOT comprennent les CYANOTOX et les cyanobactéries sans potentiel toxique connu appelées « autres CYANO ». Ces dernières comprennent à la fois les picocyanobactéries et des CYANO de tailles supérieures, sauf lorsque ces deux groupes de taille sont distingués dans la présentation des résultats. Les picocyanobactéries mesurent moins de 2 µm de diamètre pour les cellules sphériques ou de longueur pour les cellules ayant d'autres formes. Le classement des taxons selon les dimensions cellulaires est basé sur les données du CEAEQ (2012).

2.7 Seuils pour désigner une fleur d'eau et pour protéger les usages

En général, une fleur d'eau se définit comme une biomasse d'algues microscopiques qui dépasse la biomasse moyenne retrouvée dans les lacs. Plus précisément, une fleur d'eau de CYANO est souvent associée à une densité d'au moins 20 000 cel./ml en CYANOTOT, et ce, relativement aux eaux potables et récréatives (Oliver *et al.* 2000). Cette densité correspond également au seuil de 1^e niveau de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour la protection des usages récréatifs (Chorus *et al.* 1999; OMS 2004). Pour sa part, le MDDELCC a retenu la valeur de 20 000 cel./ml en CYANOTOT comme seuil minimal pour désigner une fleur d'eau de CYANO et, par conséquent, un plan d'eau qui en est touché (tableau 1).

Tableau 1 Seuils en cyanobactéries et en cyanotoxines pour désigner une fleur d'eau ou pour protéger les usages

Paramètre	Fleur d'eau	Activités récréatives de contact direct	Eau potable au robinet	Remarque
CYANOTOT	≥ 20 000 cel./ml	≤ 100 000 cel./ml	-	Seuil de 100 000 en complément à ceux en cyanotoxines
		Présence d'écume ⁽¹⁾	-	-
MC-LR TEQ ⁽²⁾	-	≤ 16 µg/l	-	Exposition sous-chronique ⁽³⁾
		-	≤ 1,5 µg/l ⁽⁴⁾	Norme du RQEP Exposition chronique ⁽³⁾
Anatoxine-a	-	≤ 40 µg/l		Exposition sous-chronique ⁽³⁾
			≤ 3,7 µg/l	Exposition chronique ⁽³⁾

(1) Seuil de 3^e niveau de l'OMS (Chorus *et al.* 1999; OMS 2004).

(2) La MC-LR TEQ se calcule à partir du total des résultats d'analyse des formes intracellulaires et extracellulaires de chacune des variantes couplées avec leurs facteurs respectifs de toxicité. Pour les variantes de MC du présent projet, les facteurs sont de 1 pour la MC-LR, 1 pour la MC-YR et 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 pour la MC-LR TEQ.

(3) Selon Chevalier (2013).

(4) Norme du Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP).

Note aux lecteurs concernant la protection des usages récréatifs

Les résultats d'analyse dans ce rapport sont comparés aux seuils provisoires en cyanotoxines de 16 µg/l MC-LR TEQ et en cyanobactéries totales de 100 000 cel./ml. Depuis l'été 2014, aucun seuil en cyanotoxine ou en abondance cellulaire n'est utilisé pour gérer le risque pour la santé des usagers lors d'épisodes de fleurs d'eau de cyanobactéries. En tout temps en présence d'une fleur d'eau, le MSSS considère que les usagers doivent appliquer les recommandations générales de santé publique portant sur les précautions à prendre dans de telles circonstances (MSSS 2013a; MSSS 2013b).

Pour ce qui est de la protection des usages, les principaux seuils provisoires québécois se rapportent à la MC-LR TEQ et à l'anatoxine-a.

En ce qui a trait aux usages récréatifs de contact direct avec les eaux, tels que la baignade, le ski nautique, la planche à voile, le cerf-volant de traction, la plongée et le kayak, ces seuils sont de 16 µg/l en MC-LR TEQ et de 40 µg/l en anatoxine-a. Pour sa part, Santé Canada (2012) recommande un seuil du même ordre, soit 20 µg/l en MC-LR TEQ.

Ces seuils provisoires québécois en cyanotoxines sont basés notamment sur une exposition sous-chronique d'ingestion accidentelle d'eau. Conséquemment, un risque pour la santé est appréhendé s'il y a pratique d'activité récréative de contact avec les eaux pendant plusieurs jours au cours desquels le seuil est toujours dépassé et qu'il y a ingestion d'eau.

Pour compléter l'évaluation relativement à ces activités récréatives, le seuil provisoire de 100 000 cel./ml en CYANOTOT peut être employé au Québec (tableau 1) (Groupe scientifique sur l'eau 2005). Cette abondance en CYANOTOT correspond au seuil de 2^e niveau de l'OMS (Chorus *et al.* 1999; WHO 2003; OMS 2004) et à la recommandation de Santé Canada (2012). De plus, une étude épidémiologique récente – portant sur trois lacs québécois dont la BM – vient appuyer cette valeur de 100 000 cel./ml en CYANOTOT. En effet, cette étude démontre que le risque relatif de symptômes gastro-intestinaux plus sévères survenant lors de la pratique d'activités récréatives de contact direct ou indirect avec l'eau considérés ensemble augmente avec les classes d'abondance de CYANOTOT : moins de 20 000, 20 000 à 100 000 cel./ml ainsi que plus de 100 000 cel./ml (Lévesque *et al.* 2012; Lévesque *et al.* 2014). Ces derniers auteurs ont aussi fait ressortir que le risque de gastroentérites était accru lors d'activités de contact indirect avec les eaux, probablement parce que ces usagers sont moins prudents en raison d'un contact plus limité avec les fleurs d'eau. Pour ces raisons, dans l'analyse des résultats, le respect du seuil de 100 000 cel./ml en CYANOTOT est comparé au respect du seuil en MC-LR TEQ à la section 3, « Résultats et discussion ».

Par ailleurs, la valeur de 1,5 µg/l en MC-LR TEQ est une norme associée au Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP), alors que la valeur de 3,7 µg/l en anatoxine-a est un seuil (Groupe scientifique sur l'eau 2005). Puisque la norme en MC-LR TEQ pour l'eau potable est applicable au robinet et que personne ne devrait boire d'eau qui n'a pas subi au préalable un traitement adéquat, cette norme est donc employée seulement à titre indicatif dans l'analyse des données du plan d'eau, et ce, surtout pour la station d'échantillonnage et le secteur concernés par la prise d'eau municipale (figure 1). Celle-ci alimente l'installation de production d'eau potable de Bedford qui dessert aussi un secteur de Saint-Armand. Pour la présente étude, la présence potentielle de quelques prises d'eau individuelles, plus au sud à Saint-Armand, n'est pas considérée.

2.8 Analyse et présentation des données

Les stations *a*, *b*, *d2* et *d8* sont celles qui ont été échantillonnées le plus souvent en *campagnes régulières* ou *fleurs d'eau* (échantillons intégrés); elles sont donc les plus étudiées individuellement dans ce rapport, tout comme la station *d6* pour les *campagnes écumes*. Certaines analyses regroupent toutes les stations échantillonnées durant les *campagnes régulières* ou *fleurs d'eau*, alors que d'autres se concentrent sur les échantillons prélevés en *campagnes écumes*.

Pour quelques dates, des données sont manquantes, par exemple pour un paramètre, ce qui explique le nombre (*n*) de données différentes pour certaines analyses.

Depuis 2010, dans le cadre du PG, le MDDELCC exclut les picocyanobactéries du décompte cellulaire (sauf pour une espèce filamenteuse à potentiel toxique; celle-ci n'a pas été identifiée à la BM). Comme la présente étude a été réalisée avant ce changement de cap, les résultats sont présentés en incluant les picocyanobactéries, bien que des comparatifs soient faits dans certains cas avec des résultats sans celles-ci.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Premiers constats et prémisses d'évaluation

Pour l'ensemble des stations dans le cadre de cette étude de 2000 à 2008, le CEAEQ a analysé 198 échantillons pour les CYANO et les eucaryotes, 181 pour 3 variantes de MC et pour l'anatoxine-a, 10 pour la saxitoxine, la néosaxitoxine et la cylindrospermopsine ainsi que 170 pour le pH (données non présentées). Les 198 échantillons pour les CYANO et les eucaryotes se répartissent en 29 échantillons en *campagnes régulières*, 140 en *campagnes fleurs d'eau* et 29 en *campagnes écumes*. Les 181 pour les MC et l'anatoxine-a se divisent en 9, 139 et 33 échantillons respectivement pour les *campagnes régulières*, *fleurs d'eau* et *écumes* (annexe 1A).

On compte de 4 à 13 dates de visites par année pour des observations et de l'échantillonnage à la BM avec une moyenne annuelle de 7 visites (annexe 1B). Le nombre précis d'échantillons ou de dates pour les différents regroupements étudiés (comme par année ou par station, etc.) se trouvent dans les figures et tableaux.

La **saïson 2000** a été la seule durant laquelle **aucune fleur d'eau** de CYANO n'a été observée à la BM du côté québécois alors qu'il y en a eu du côté américain du lac Champlain (Rosen *et al.* 2001). Conséquemment, les résultats en *campagnes fleurs d'eau* et *écumes* excluent cette année.

Certaines **abondances maximales en CYANO** dans les *campagnes fleurs d'eau* correspondent à une situation **à la limite d'une écume**. Sur le terrain, distinguer une écume d'une fleur d'eau très intense n'est pas toujours évident, surtout lorsque la transparence est nulle ou presque et que l'on ne sait pas si la fleur d'eau se limite ou pas à la surface. Les valeurs maximales en abondance de CYANO ne sont donc pas les statistiques descriptives les plus souvent utilisées pour comparer les fleurs d'eau d'un secteur à un autre ou d'une station à une autre. Par exemple, l'échantillon du 21 août 2006 à la station *d23B* avait été effectivement interprété sur le terrain comme une fleur d'eau très dense malgré son abondance de plus de six millions cel./ml.

Le nombre de données annuelles de certaines statistiques descriptives étant très faible, la médiane et le 75^e percentile devraient alors être plutôt appelés « pseudo-médiane » ou « pseudo 75^e percentile ». Néanmoins, ces statistiques sont utilisées dans des « boîtes à moustaches » (*box plot*) pour illustrer la distribution des valeurs.

3.2 Cyanobactéries et microcystines

3.2.1 Résultats généraux

3.2.1.1 Résultats généraux sur les cyanobactéries

Tous les taxons de CYANO identifiés dans l'ensemble des stations à la BM sont colligés à l'annexe 3. La liste distingue les CYANOTOX des autres CYANO tout en identifiant celles qui sont des picocyanobactéries (PICO). Pour chacune des stations *a*, *b*, *d2* et *d8*, une liste de tous les taxons indiquant ceux qui sont dominants se trouve dans le rapport de Bowling *et al.* (2014).

En *campagnes écumes*, les abondances de CYANOTOT surpassent toujours le seuil de 100 000 cel./ml pour la protection des usages récréatifs. Compte tenu de cette constance et du fait que la présence d'écume constitue à elle seule un seuil pour protéger ces usages (Chorus *et al.* 1999; OMS 2004), les résultats en CYANOTOT durant ces campagnes sont exclus des figures et du reste du texte de cette section.

3.2.1.2 Résultats généraux et limites relativement aux microcystines

Globalement, le seuil de 16 µg/l de MC-LR TEQ pour la protection des eaux récréatives a été dépassé dans 69 % des échantillons prélevés dans des *écumes* près du rivage, zone où les usagers du plan d'eau se trouvent habituellement en plus grand nombre (donnée non présentée). La médiane et le maximum dépassent respectivement de 9 et de 2 096 fois le seuil (section 3.2.2.5). Toutefois, le dépassement de ce seuil en MC-LR TEQ est demeuré exceptionnel en *campagnes fleurs d'eau*, soit dans 2 % des échantillons prélevés au large (section 3.2.2.4).

Certains facteurs auraient pu influencer les résultats. Beaucoup moins d'écumes importantes ont pu être échantillonnées avec les années en raison d'interdiction d'accès aux propriétés riveraines de campings et de plages. (Chevrette 2013a). Dans le cadre de cette étude de 2000 à 2008, 3 variantes, parmi les 80 à 90 variantes connues (Pearson *et al.* 2010; NHMRC et NRMCC 2011; U.S. EPA 2012; Puddick *et al.* 2013), ont été analysées (section 2.3). En regard des facteurs de toxicité équivalente (TEQ) à la MC-LR connus depuis 2005, il manquait des données pour deux variantes qui n'avaient pas pu être analysées, soit la microcystine-YM (MC-YM) et la microcystine-LA (MC-LA) (Groupe scientifique sur l'eau 2005).

En ce qui concerne la MC-LA, c'est à partir de 2009 que le CEAEQ a pu l'analyser, en plus de huit variantes de MC, soit douze variantes au total. Pour la BM de 2009 à 2012 dans le cadre du PG, la MC-LA a été détectée dans 21 des 28 échantillons d'écume. La médiane et le maximum sont respectivement de 9 et de 360 µg/l. Quant aux échantillons 0-1 m prélevés dans des fleurs d'eau, la MC-LA a été détectée dans 19 des 36 échantillons; la médiane et le maximum sont respectivement de 0,13 et de 19 µg/MC-LA (annexe 7) (Bourbonnais 2013 et 2014b).

Toutefois, sur la base de ces données de 2009 à 2012, exclure ou inclure la MC-LA dans le calcul de la MC-LR TEQ influençait peu la fréquence de dépassements de la norme (eau potable

au robinet) ou du seuil (eaux récréatives), et ce, parmi les échantillons dans lesquels au moins une variante de MC avait été détectée. En fait, pour les échantillons intégrés 0-1 m dans des fleurs d'eau, le taux de dépassement de la norme demeurerait à 5 % et celui pour le seuil à 1 %, lorsque la totalité du résultat de la MC-LA était ajoutée dans le calcul en raison de son facteur de TEQ de 1 par rapport à la MC-LR. Pour les échantillons d'écume, la fréquence de dépassements du seuil d'eau potable au robinet passait de 85 à 89 % (23 à 24 échantillons sur 27) et celle du seuil pour les eaux d'activités récréatives allait de 59 à 67 % (16 à 18 échantillons sur 27) (annexe 7) (Bourbonnais 2014b; Groupe scientifique sur l'eau 2005).

3.2.2 Résultats à l'échelle de la baie Missisquoi

3.2.2.1 Répartition des abondances de cyanobactéries en campagnes régulières et fleurs d'eau

Les abondances en CYANOTOT ont été aussi faibles que 0 à 1 999 cel./ml dans 52 % des échantillons en *campagnes régulières* et dans 9 % de ceux en *campagnes fleurs d'eau* (figure 2).

En *campagnes fleurs d'eau*, dans 30 % des échantillons, les abondances de CYANOTOT ont été trop faibles pour être considérées comme des fleurs d'eau conformément au seuil minimal de 20 000 cel./ml.

Ce seuil « fleur d'eau » a été atteint et même dépassé non seulement en *campagnes fleurs d'eau* mais aussi en *campagnes régulières*. En fait, en *campagnes régulières*, 34 % des échantillons affichent des densités de CYANOTOT atteignant ou dépassant 20 000 cel./ml (figure 2). Ce pourcentage peut paraître élevé. Toutefois, si on excluait les picocyanobactéries du dénombrement de cellules, celui-ci baisserait à environ 7 % d'échantillons (annexe 4). En fait, ces 34 % d'échantillons au-dessus du seuil (figure 2) étaient tous, sauf un, dominés en abondance cellulaire entre 89,9 et 99,8 % par des picocyanobactéries parmi les CYANOTOT (données non présentées). Les biomasses étaient donc très faibles et c'est probablement pour cette raison que les techniciens n'avaient alors pas observé de fleurs d'eau sur le terrain.

Si on considère les *campagnes régulières* et *fleurs d'eau* en incluant les picocyanobactéries, le seuil de 100 000 cel./ml a été dépassé dans 52 % des échantillons (figure 2). Les picocyanobactéries exclues, cette fréquence de dépassements baisse à 42 % (annexe 4).

Quant aux CYANOTOX, 76 % et 19 % des échantillons respectivement en *campagnes régulières* et en *campagnes fleurs d'eau* sont dans la classe d'abondance minimale de 0 à 1 999 cel./ml (figure 3).

Comme anticipé, les CYANOTOT et les CYANOTOX sont proportionnellement beaucoup plus abondantes en *campagnes fleurs d'eau* qu'en *campagnes régulières* (figures 2 et 3). En ce qui a trait aux CYANOTOX, aucun échantillon en *campagnes régulières* n'a atteint 20 000 cel./ml, alors que cette abondance est atteinte ou surpassée en *campagnes fleurs d'eau* pour 55 % des échantillons. Toujours en *campagnes fleurs d'eau*, 39 % des échantillons ont atteint ou dépassé 50 000 cel./ml de CYANOTOX.

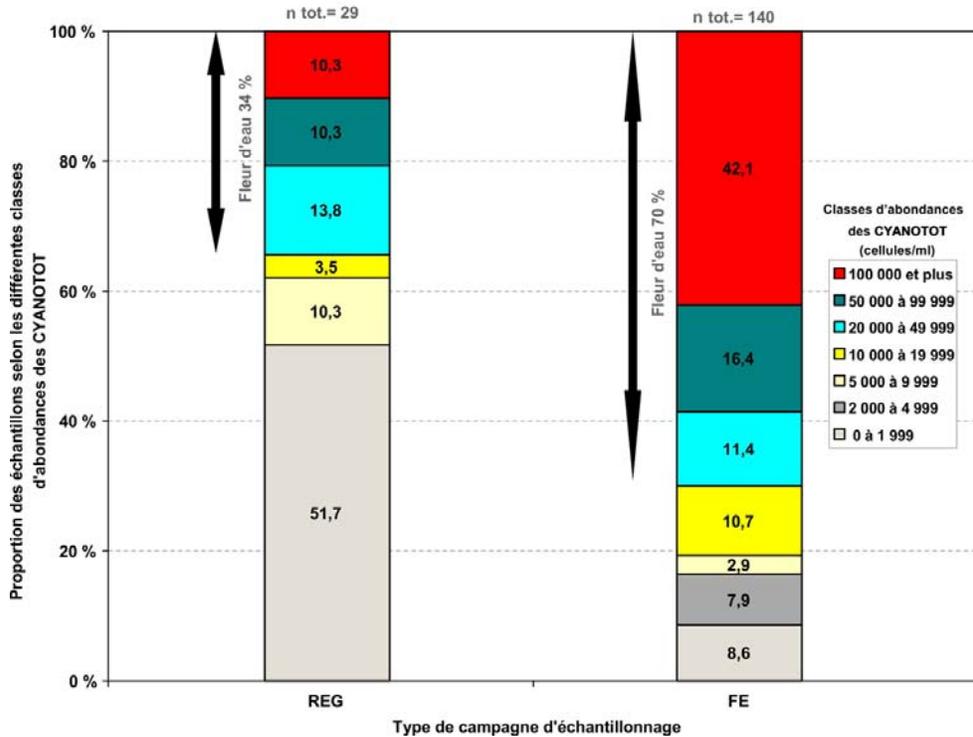


Figure 2 Proportions des échantillons selon des classes d'abondances de CYANOTOT en campagnes régulières et fleurs d'eau dans l'ensemble des stations de 2000 à 2008

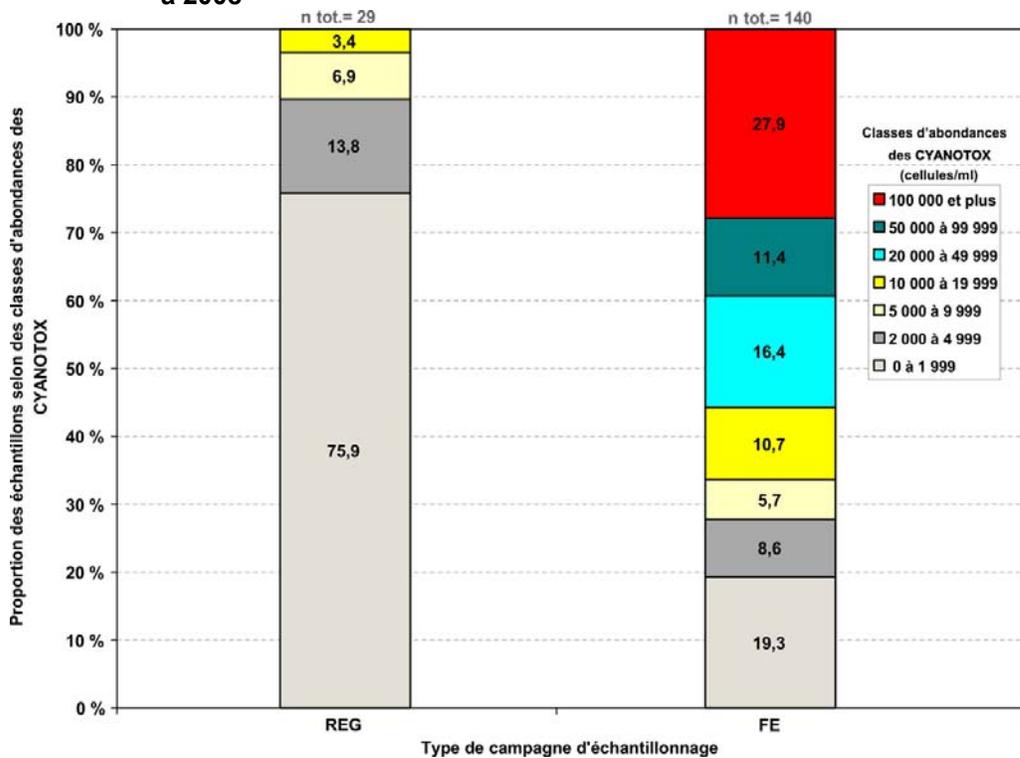


Figure 3 Proportions des échantillons selon des classes d'abondances de CYANOTOX en campagnes régulières et fleurs d'eau dans l'ensemble des stations de 2000 à 2008

3.2.2.2 Variabilités interannuelles des cyanobactéries et des microcystines

La méthode pour prélever des échantillons verticaux intégrés n'était pas la même selon les années 2001 à 2003 (zone photique par prélèvements successifs à l'aide d'une bouteille Kemmerer), puis 2004 à 2007 (zone photique en un seul prélèvement à l'aide d'un tube flexible) et finalement 2008 (0-1 m à l'aide d'un tube rigide). Néanmoins, les années où l'on remarque des pics ou des baisses importantes en CYANOTOT, CYANOTOX ou MC-LR TEQ ne correspondent pas aux années de transition de méthode (figures 4 et 5).

La fréquence des fleurs d'eau – c'est-à-dire celles dont les abondances sont au-dessus de 20 000 cel./ml de CYANOTOT – ainsi que les fleurs d'eau dont les abondances se trouvent au-dessus du seuil récréatif de 100 000 cel./ml de CYANOTOT semblent avoir été nettement plus importantes en 2001, puis en 2006 et 2002 et très rares en 2007.

En *campagnes fleurs d'eau*, les CYANOTOX représentent une partie plus ou moins grande des CYANOTOT selon les années (figure 4). En ce qui a trait à la protection des usages récréatifs, les dépassements de seuils sont beaucoup plus importants et plus fréquents pour les CYANOTOT que pour la MC-LR TEQ (figures 4 et 5). En effet, le 75^e percentile et la médiane en CYANOTOT ont dépassé le seuil respectivement à cinq et à trois années (figure 4). En ce qui concerne la MC-LR TEQ, bien que deux échantillons dépassent 10 µg/l, c'est seulement la valeur maximale annuelle en 2006 qui a dépassé le seuil de 16 µg/l (figure 5). Cet échantillon de la station *d23B* provenait d'une fleur d'eau très dense.

Pour chacune des années avec écume, les concentrations de MC-LR TEQ sont *grosso modo* de 100 à 1 000 fois plus élevées dans les écumes que dans les fleurs d'eau. D'ailleurs, selon Chorus et al. (1999), la formation d'une écume peut accroître l'abondance de CYANO et les concentrations de cyanotoxines de 1 000 fois ou plus en quelques heures, augmentant ainsi les risques pour la santé des baigneurs ou d'autres usagers en contact avec les eaux. En *campagnes écumes*, la médiane annuelle en MC-LR TEQ surpasse presque toujours le seuil pour les usages récréatifs (figure 5).

Il est à noter que des dépassements de seuils en CYANOTOT ou en MC-LR TEQ pour les différentes campagnes sont plus fréquents et présentent une portée plus importante lorsqu'on les considère par secteur ou pour certaines stations en particulier plutôt qu'à l'échelle de toute la baie (sections 3.2.2.5, 3.2.3, 3.2.4.1 et 3.2.4.2). De plus, en ce qui concerne les résultats de MC ou de MC-LR TEQ, il faut garder à l'esprit que les étalons de mesure utilisés au CEAEQ ne couvraient pas toutes les variantes de MC qui pouvaient être présentes dans le plan d'eau à certains moments durant l'étude (sections 2.3, 3.2.1.2).

Les abondances de CYANOTOT, celles de CYANOTOX de même que les concentrations en MC-LR TEQ ont été beaucoup plus faibles en 2007 du côté québécois de la BM que durant la période de 2001 à 2006 puis en 2008. Pour le côté américain de la BM, Watzin et al. (2008, 2009) mentionnent aussi que la croissance des CYANO a été beaucoup plus faible en 2007 et que celles-ci n'avaient pas dominé le phytoplancton, contrairement à ce qui a été constaté au cours des années 2003 à 2006 et en 2008.

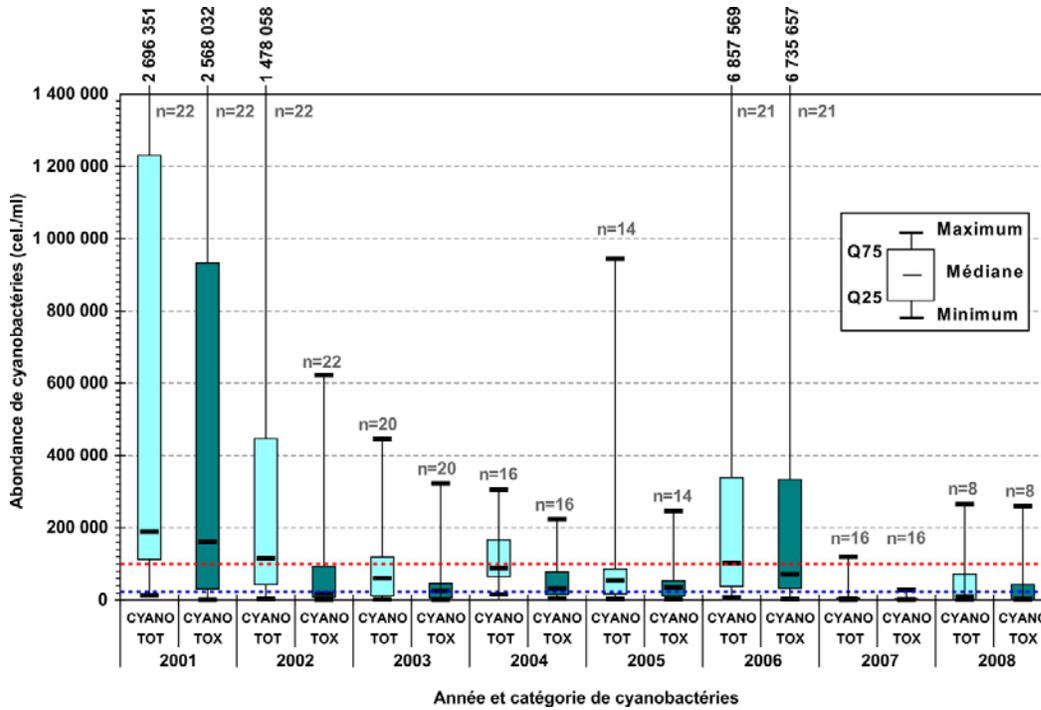


Figure 4 Abondances des CYANOTOT et des CYANOTOX en campagnes fleurs d'eau dans l'ensemble des stations et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les activités récréatives (trait rouge)

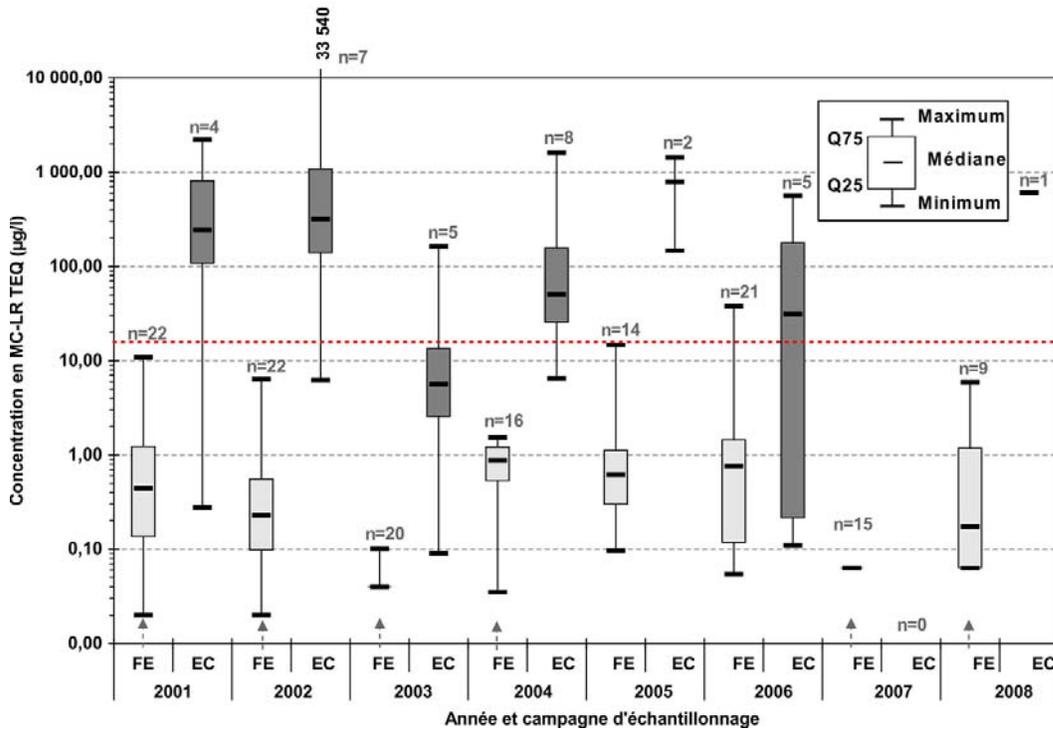


Figure 5 Concentrations en MC-LR TEQ en campagnes fleurs d'eau (FE) et écumes (EC) dans l'ensemble des stations et dépassements du seuil pour les activités récréatives (trait rouge)

Dans la figure ci-dessus, les minimums pointés par une flèche correspondent à la moitié de la limite de détection de la méthode d'analyse (LDM). L'échantillon d'écume échouée sur le rivage (station d18 en 2004) à 421 µg/l MC-LR TEQ est exclu.

3.2.2.3 Variabilités semi-mensuelles des cyanobactéries et des microcystines

À l'échelle de la BM, la présence de fleurs d'eau de CYANO – basée sur le seuil de 20 000 cel./ml CYANOTOT – a été observée de la deuxième moitié de juin jusqu'à la première moitié d'octobre inclusivement. Ces fleurs d'eau sont toutefois beaucoup plus fréquentes à partir de la deuxième moitié de juillet. De plus, à partir de cette période et jusque dans la première moitié d'octobre, les médianes en CYANOTOT tournent autour du seuil de 100 000 cel./ml pour les usages récréatifs et les 75^e percentiles le surpassent systématiquement (figure 6). Si on exclut les picocyanobactéries des abondances de CYANOTOT, le dépassement du seuil « fleur d'eau » s'observe pour moins d'échantillons en début de saison, c'est-à-dire de la période débutant à la mi-juin et se terminant à la mi-juillet. Bien que la médiane de la deuxième moitié de juillet soit un peu plus basse, elle dépasse tout de même le seuil « fleur d'eau ». Les picocyanobactéries semblent présenter moins d'incidence plus tard en saison. En effet, le patron général d'abondance plus élevée à partir de la deuxième moitié de juillet jusque dans la première moitié d'octobre inclusivement, vu à la figure précédente, reste le même que celui excluant les picocyanobactéries (annexe 5).

Les CYANOTOX sont présentes de façon appréciable à partir de la deuxième moitié de juillet. Les médianes semi-mensuelles en CYANOTOX tournent alors autour de 50 000 cel./ml jusque dans la première moitié d'octobre (figure 7) pendant que celles en CYANOTOT varient autour du seuil de 100 000 cel./ml (figure 6).

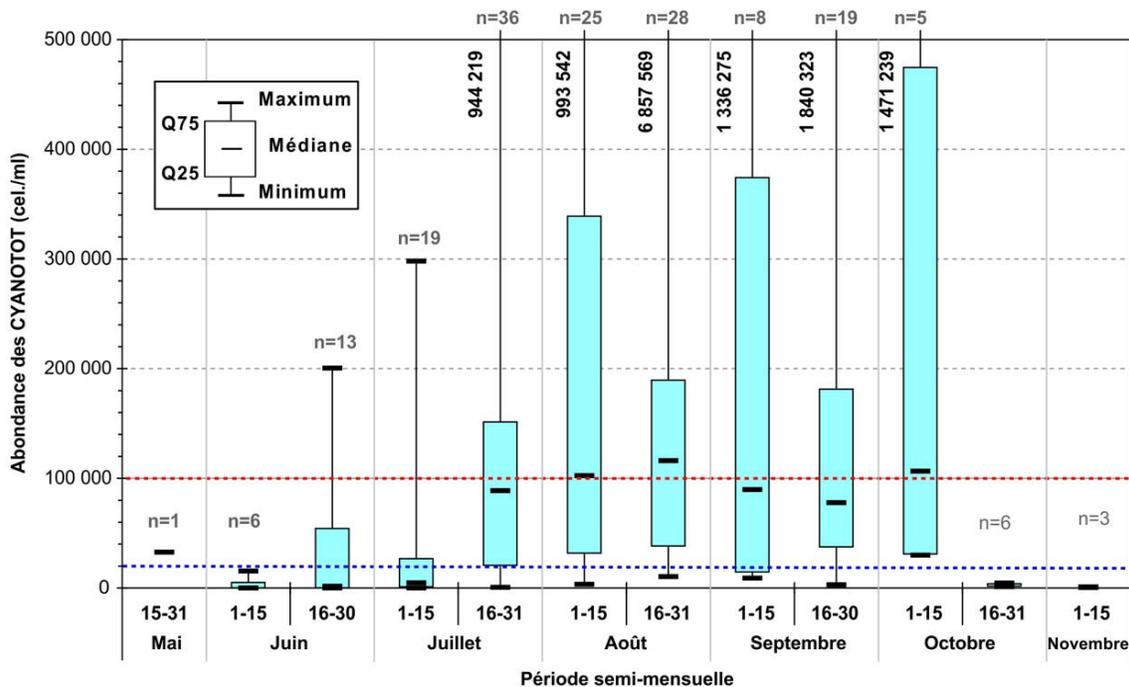


Figure 6 Abondances semi-mensuelles des CYANOTOT en *campagnes régulières* et *fleurs d'eau* de 2000 à 2008 et dépassements des seuils pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les activités récréatives (trait rouge)

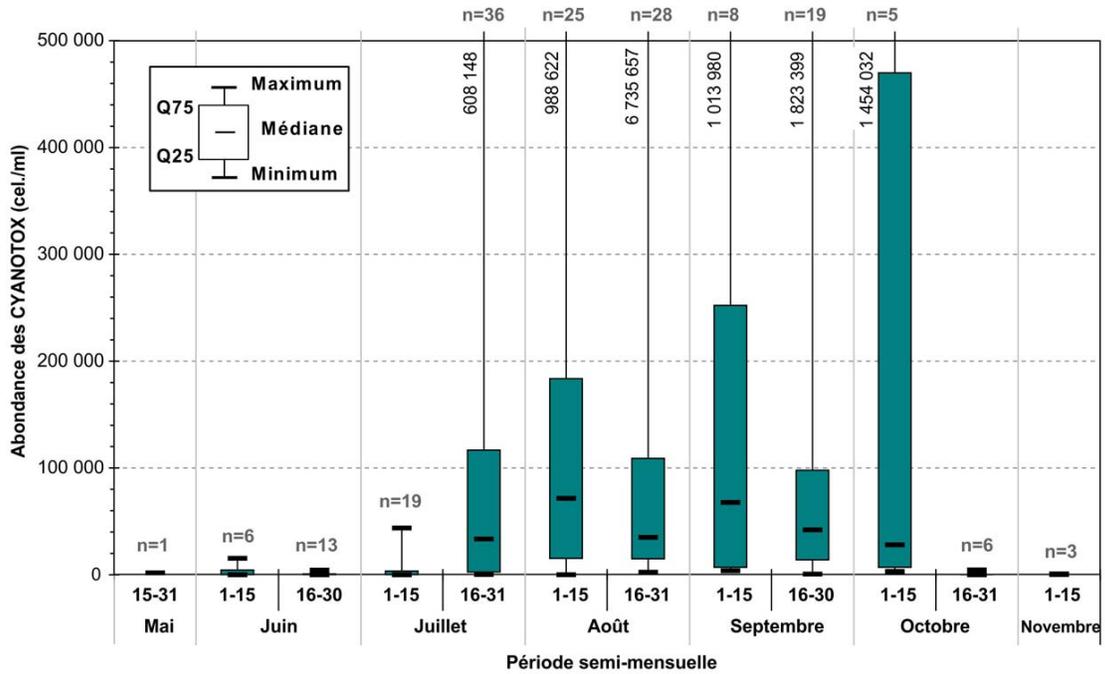


Figure 7 Abondances semi-mensuelles des CYANOTOX en *campagnes régulières* et *fleurs d'eau* de 2000 à 2008

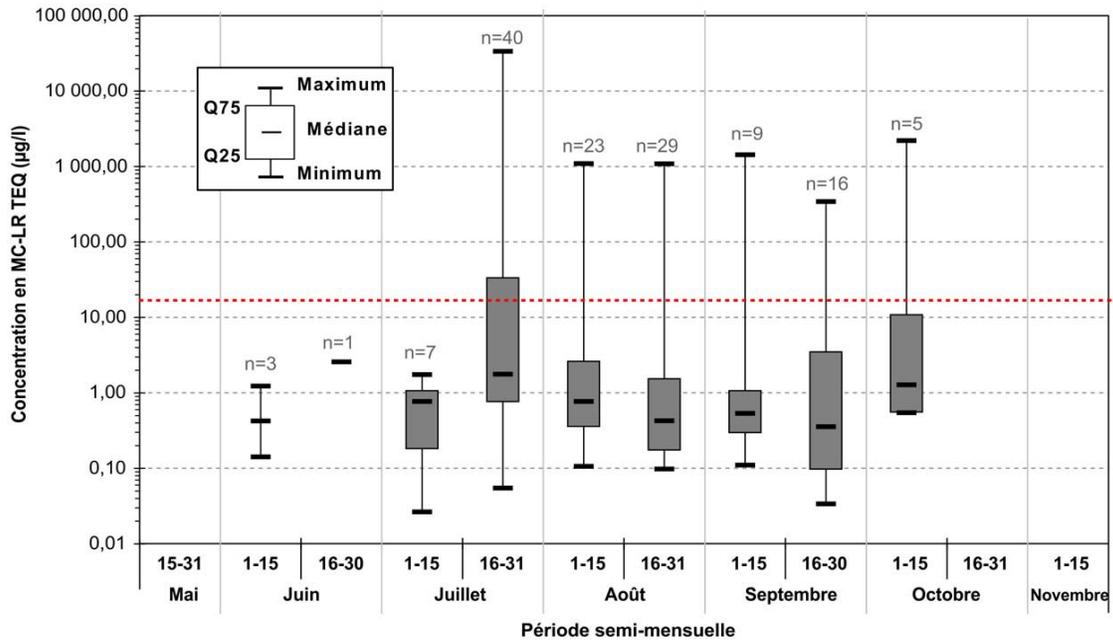


Figure 8 Concentrations semi-mensuelles en MC-LR TEQ durant les *campagnes régulières*, *fleurs d'eau* et *écumes* de 2001 à 2008 (résultats non détectés exclus) et dépassements du seuil pour les usages récréatifs (trait rouge)

Dans la figure ci-dessus, l'échantillon de l'écume échouée sur le rivage (station *d18*) en 2004 à 421 µg/l MC-LR TEQ est exclu.

Les MC sont détectées à partir du début juin. Jusqu'à la première moitié d'octobre, les médianes semi-mensuelles varient entre 0,36 et 1,75 µg/l en MC-LR TEQ. Bien que le nombre de

variantes de MC mesurées soit limité (section 3.2.1.2), les dépassements du seuil de 16 µg/l en MC-LR TEQ pour les usages récréatifs surviennent seulement dans la deuxième moitié de juillet pour le 75^e percentile et de la deuxième moitié de juillet à la première moitié d'octobre inclusivement pour les valeurs maximales (figure 8). Ces dépassements sont pour la plupart attribuables à des échantillons d'écume et à un seul échantillon de fleur d'eau très intense. En ce sens, sur l'ensemble des 133 échantillons dans lesquels des MC ont été détectées, 32 provenaient de *campagnes écumes* (n=32), comparativement à 95 de *campagnes fleurs d'eau* (n=139) et à 6 en *campagnes régulières* (n=9) (données non présentées).

3.2.2.4 Évolution des cyanobactéries à potentiel toxique ou des microcystines en fonction des cyanobactéries totales

Plus les CYANOTOT sont abondantes, plus la proportion de CYANOTOX par rapport au CYANOTOT tend à augmenter (figure 9). Ainsi, les médianes de la proportion de CYANOTOX partent de 9,1 % en l'absence de fleur d'eau pour grimper en présence de fleurs d'eau de niveau 1 (FE-1) puis de celles de niveau 2 (FE-2) pour ensuite culminer à 99,5 % en présence d'écume. Lorsque le seuil de 100 000 cel./ml de CYANOTOT pour les usages récréatifs est atteint (FE-2), la médiane de la proportion de CYANOTOX par rapport aux CYANOTOT est de 72,9 %.

Le même type de constat est obtenu avec les MC. Plus les CYANOTOT sont abondantes ou plus la fleur d'eau devient intense ou en écume, plus la fréquence de détection de MC et celle de dépassement des seuils en MC-LR TEQ tendent à augmenter (tableau 2). En outre, au moins une variante de MC dépasse la LDM dans 82 % et 83 % des échantillons respectivement dans des FE-1 et dans des FE-2. Elle est détectée dans 100 % des échantillons d'écume.

De plus, le pourcentage de dépassements du seuil en MC-LR TEQ pour les usages récréatifs se limite à 2 % des échantillons de fleur d'eau de plus de 100 000 cel./ml de CYANOTOT et il atteint 69 % dans les échantillons d'écume. Cependant, comme on le verra plus loin à l'échelle des stations (section 3.2.4), ce n'est toutefois pas toujours aux abondances cellulaires maximales que l'on enregistre toutes les concentrations maximales en MC-LR TEQ.

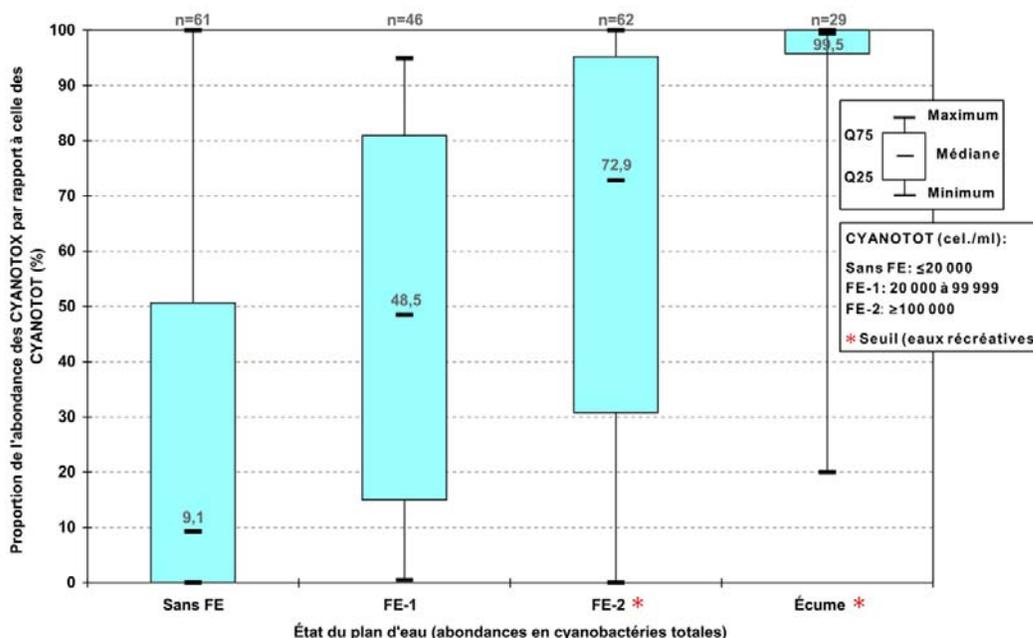


Figure 9 Proportions des CYANOTOX par rapport aux CYANOTOT pour chacun des groupes d'abondances de CYANOTOT dans l'ensemble des stations de la BM de 2000 à 2008

Dans la figure ci-dessus, les groupes en CYANOTOT ont été divisés en fonction des seuils « fleur d'eau » ($\geq 20\ 000$ cel./ml) et « protection des activités récréatives » ($< 100\ 000$ cel./ml).

Tableau 2 Détection de MC et importance des dépassements en MC-LR TEQ de la norme pour l'eau potable au robinet et du seuil pour les activités récréatives selon le nombre et le pourcentage d'échantillons dans différents groupes d'abondances de CYANOTOT à l'échelle de la BM de 2001 à 2008

Groupe de CYANOTOT ⁽¹⁾	n total	MC \geq LDM ⁽⁵⁾		$\geq 1,5\ \mu\text{g/l}$ MC-LR TEQ ⁽⁶⁾		$\geq 16\ \mu\text{g/l}$ MC-LR TEQ ⁽⁷⁾	
		n	%	n	%	n	%
Sans FE ⁽²⁾	49	19	39	1	2	0	0
FE-1 ⁽³⁾	39	32	82	3	8	0	0
FE-2 ^(4,7)	60	50	83	16	27	1	2
Écume ⁽⁷⁾	32 ⁽⁸⁾	32	100	28	88	22	69

- (1) Les premiers groupes d'abondance en CYANOTOT ont été divisés selon les seuils « fleur d'eau » ($\geq 20\ 000$ cel./ml) et « protection des activités récréatives » ($< 100\ 000$ cel./ml).
(2) Sans fleur d'eau (FE) : 0 à 19 999 cel./ml de CYANOTOT.
(3) Fleur d'eau de niveau 1 (FE-1) : 20 000 à 99 999 cel./ml de CYANOTOT.
(4) Fleur d'eau de niveau 2 (FE-2) : $\geq 100\ 000$ cel./ml de CYANOTOT.
(5) Détection d'au moins une variante de MC.
(6) Dépassement de la norme pour l'eau potable applicable au robinet après traitement et non au plan d'eau. Les résultats sont mis à titre indicatif pour apprécier la gradation des dépassements pour l'ensemble des résultats.
(7) Dépassement du seuil pour les usages récréatifs.
(8) Le nombre total d'échantillons exclut celui d'écume échouée sur le rivage (station *d18*) à 421 $\mu\text{g/l}$ MC-LR TEQ.

3.2.2.5 Répartition spatio-temporelle des concentrations de MC-LR TEQ en campagnes écumes

Des écumes de CYANO s'accumulent près des rives, zones où les usagers se trouvent habituellement en plus grand nombre. En *campagnes écumes*, des MC sont détectées dans 100 % des échantillons. Les dépassements du seuil de 16 $\mu\text{g/l}$ de MC-LR TEQ pour les usages récréatifs sont survenus à 11 des 14 stations d'échantillonnage, et ce, principalement durant la période des vacances estivales.

À l'échelle de la BM, le minimum, la médiane et le maximum sont respectivement de 0,1 $\mu\text{g/l}$, de 144 $\mu\text{g/l}$ et de 33 540 $\mu\text{g/l}$ de MC-LR TEQ. D'importantes concentrations de MC-LR TEQ ont été mesurées non seulement dans les secteurs de plages publiques surveillées mais aussi dans les secteurs de plages non surveillées comme celle du Camping Philipsburg (figure 10, annexe 6A). Le maximum mesuré juste au nord du quai de Saint-Armand surpasse de 2 096 fois le seuil pour les activités récréatives. Le secteur du côté est de la BM se caractérise par des valeurs maximales plus élevées que celui de la baie de Venise.

L'effort d'échantillonnage sur toute la période d'étude était faible pour 13 des 14 stations avec une moyenne de 1,4 échantillon par station. Il est probable que des dépassements de seuil supplémentaires ou plus importants soient survenus, compte tenu notamment du fait que moins d'écumes importantes ont pu être échantillonnées avec les années (section 3.2.1.2).

Par ailleurs, sur la base de la répartition dans le temps des quelques échantillons prélevés, les écumes de CYANO près de la rive semblent plus fréquentes dans la deuxième moitié de juillet (43,8 %), puis en août (28,1 %) et en septembre (21,9 %) (annexe 6B). Selon les résultats météorologiques de 1981 à 2010, la fréquence des vents en provenance du sud, du sud-ouest et de l'ouest est d'ailleurs plus élevée en juillet avec 55 % comparativement à 40 % en août et à 42 % en septembre (MDDEFP 2012).

3.2.3 Variabilités spatiales à l'échelle des secteurs de la baie Missisquoi

Pour ces analyses, les stations d'échantillonnage de la BM ont été regroupées en **trois grands secteurs** : la baie de Venise (BV), la station *a* au centre de la BM (BMC) et la BM du côté est (BME) de la pointe Jameson incluant Saint-Armand.

En *campagnes fleurs d'eau*, le seuil minimal de 20 000 cel./ml de CYANOTOT pour une fleur d'eau a été fréquemment atteint ou dépassé dans les trois grands secteurs (figure 11 et annexe 8). Le secteur BME est celui où les médianes en CYANOTOT, en CYANOTOX et en MC-LR TEQ sont les plus élevées (figures 11 et 12) autant en fleurs d'eau qu'en écumes. C'est donc dans ce secteur que les seuils en CYANOTOT et en MC-LR TEQ pour la protection des usages récréatifs sont le plus souvent dépassés. La BV arrive en second rang d'importance des secteurs atteints. Ces secteurs sont les plus touchés probablement en partie en raison des vents. En général, durant les mois de juin à octobre, les vents dominants sont du sud-ouest, puis de l'ouest et du sud (MDDEFP 2012). Ils pousseraient donc les fleurs d'eau plus fréquemment vers le secteur BME mais aussi vers le secteur BV.

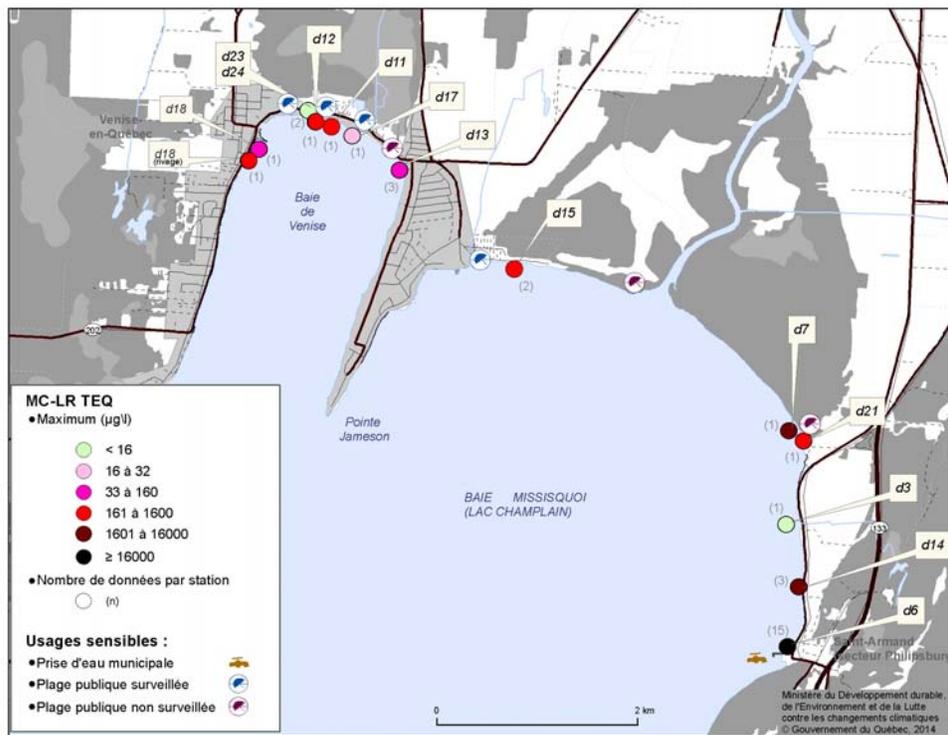


Figure 10 Concentration maximale de MC-LR TEQ aux stations d'échantillonnage en *campagnes écumes* de 2001 à 2008 et importance du dépassement du seuil de 16 µg/l pour les activités récréatives

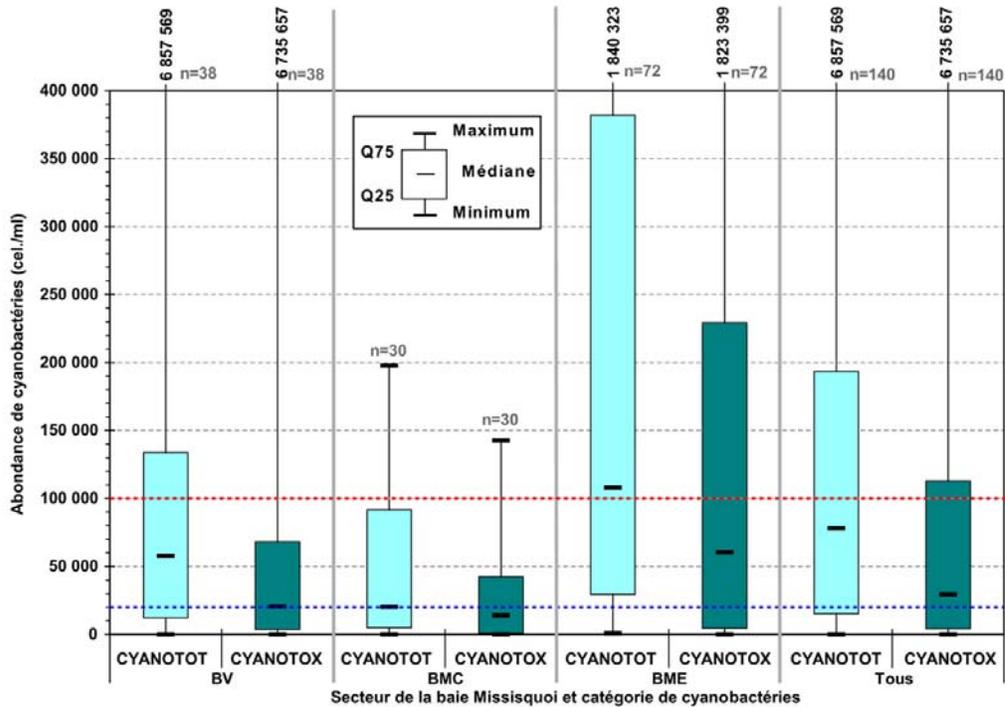


Figure 11 Abondances des CYANOTOT et des CYANOTOX selon les secteurs de la BM en campagnes fleurs d'eau de 2001 à 2008 et dépassements des seuils en YANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge)

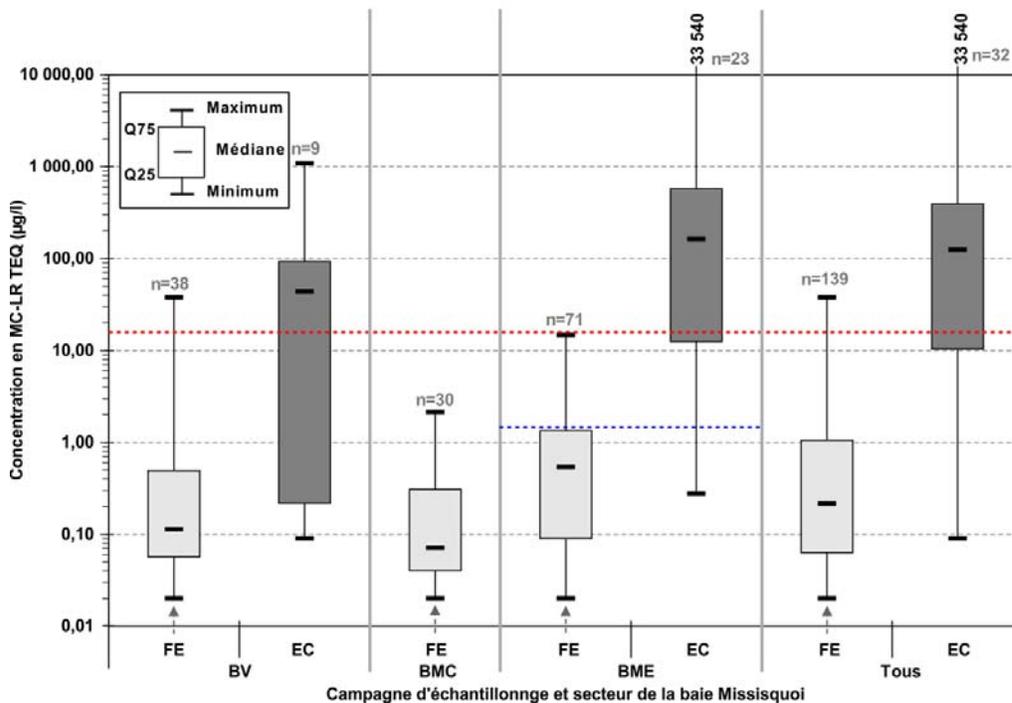


Figure 12 Concentrations en MC-LR TEQ selon les secteurs de la BM en campagnes fleurs d'eau ou écumes de 2001 à 2008 et dépassements du seuil pour les activités récréatives (trait rouge) et de la norme pour l'eau potable au robinet (trait bleu)

Dans la figure ci-dessus, les minimums pointés par une flèche correspondent à la moitié de la LDM. Pour le secteur BV, l'échantillon d'écume échouée sur le rivage (station *d18*) à 421 µg/l MC-LR TEQ est exclu.

Le secteur BMC semble le moins à risque pour la pratique d'activités récréatives de contact avec les eaux. En effet, le 75^e percentile en CYANOTOT et la valeur maximale en MC-LR TEQ se trouvaient sous les seuils des usages récréatifs pour ces paramètres.

C'est dans le secteur BME – un peu au large du quai de Saint-Armand – que se trouve la prise d'eau de l'installation de production d'eau potable de Bedford. Dans ce secteur de la baie, le 75^e percentile en MC-LR TEQ durant les *campagnes fleurs d'eau* se tient sous la norme pour l'eau potable qui est normalement applicable à l'eau distribuée après traitement. Les résultats qui concernent la station *d2*, située dans la zone de la prise d'eau, sont présentés à la section 3.2.4.1.

3.2.4 Variabilités temporelles à l'échelle des principales stations

3.2.4.1 Cyanobactéries et microcystines en *campagnes régulières et fleurs d'eau*

Les **stations a, b et d8** se rapportent à des *campagnes régulières* et *fleurs d'eau*, alors que la **station d2** a été échantillonnée seulement en *campagnes fleurs d'eau*.

Comme **constats globaux**, la **proportion de CYANOTOX par rapport aux CYANOTOT** est très variable d'une station à une autre et d'une date à une autre. Elle est toutefois plus importante aux stations *b* et *d2*, du moins aux dates d'échantillonnage (figures 13, 15, 17 et 19). Cela n'est pas étonnant puisque ces stations sont situées dans la partie est de la BM, où l'on trouve les abondances les plus fortes en CYANOTOT. La station *d2* a d'ailleurs été échantillonnée seulement en fleurs d'eau. De plus, la **proportion de picocyanobactéries (PICO)** par rapport au total des autres CYANO et des CYANOTOX présente aussi de telles variabilités. Les stations *a* et *d8* ont affiché à certaines périodes les plus importantes proportions de picocyanobactéries.

À ces **quatre stations** relativement aux **usages récréatifs**, plusieurs résultats en CYANOTOT dépassent le **seuil** de 100 000 cel./ml. Cependant, ils n'atteignent jamais le seuil de 16 µg/l en MC-LR TEQ (figures 14, 16, 18 et 20).

Compte tenu des valeurs plus élevées en CYANOTOT, en CYANOTOX et en MC-LR TEQ aux **stations b et d2**, l'échelle de l'axe des y des figures correspondantes est plus élevée que celle des figures des deux autres stations.

La **station a** se trouve vers le centre de la baie (figure 1). Les principaux usages sensibles sont la pratique d'activités nautiques dont certaines impliquent le contact avec les eaux, comme la motomarine et le ski nautique.

En *campagnes régulières*, alors qu'aucune fleur d'eau n'a été visuellement remarquée sur le terrain, les abondances en CYANOTOT ont dépassé le seuil minimal de 20 000 cel./ml pour désigner une fleur d'eau dans 46 % des échantillons correspondant à des dates d'échantillonnage sur la figure. Les dépassements de ce seuil sont observés surtout durant les cinq dates en 2000, avec un maximum de 60 052 cel./ml, puis le 17 juin 2004, avec 200 399 cel./ml (figure 13). En 2000, les CYANO étaient surtout représentées par des picocyanobactéries.

À l'opposé, en *campagnes fleurs d'eau*, où par définition on détecte visuellement une efflorescence, 50 % des échantillons se trouvaient en deçà du seuil « fleur d'eau » de 20 000 cel./ml de CYANOTOT (figure 13 et annexe 8). Cette apparente contradiction

s'expliquerait notamment par la présence d'algues eucaryotes et non de CYANO. En effet, pour l'échantillon d'une de ces dates, soit le 12 juillet 2007, il n'y avait aucune cyanobactérie; la communauté phytoplanctonique était dominée en biomasse surtout par des cryptophycées puis par des bacillariophycées, appelées aussi diatomées. D'ailleurs, pour la majorité des autres échantillons où le seuil n'était pas atteint, des groupes d'algues eucaryotes dominaient aussi en biomasse, par exemple par des chlorophycées (13 août 2007), des dinophycées (18 septembre 2007) et des cryptophycées (6 novembre 2008) (annexe 9) (figure 6 dans Bowling *et al.* 2014).

Toujours en *campagnes fleurs d'eau*, le seuil de 100 000 cel./ml en CYANOTOT pour les activités récréatives a été atteint ou dépassé dans les échantillons de 23 % des dates (figure 13). La concentration maximale en MC-LR TEQ, de 2,13 µg/l, se rapporte à l'échantillon du 19 juillet 2005 (figure 14). Dans le même échantillon, il y avait 66 671 cel./ml de CYANOTOT, alors que 56 % d'entre elles étaient des CYANOTOX. Cela démontre que des quantités appréciables de MC peuvent être présentes sans que les abondances de CYANO ou les proportions de CYANOTOX soient importantes (figure 13). Il est à noter que *Microcystis aeruginosa* (92 %) et *Microcystis flos-aquae* (4 %) dominaient alors la biomasse de cyanobactéries (données non présentées).

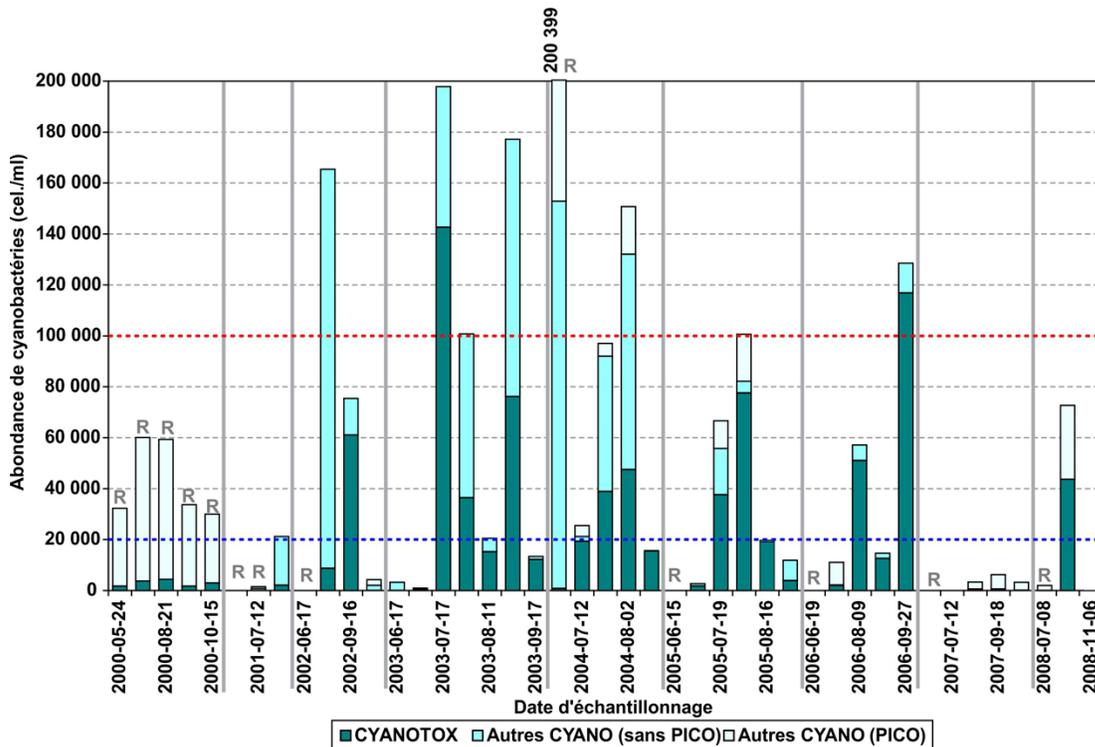


Figure 13 Abondances des CYANOTOT (CYANOTOX et autres) à la station a en *campagnes régulières* (R) et *fleurs d'eau* et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge)

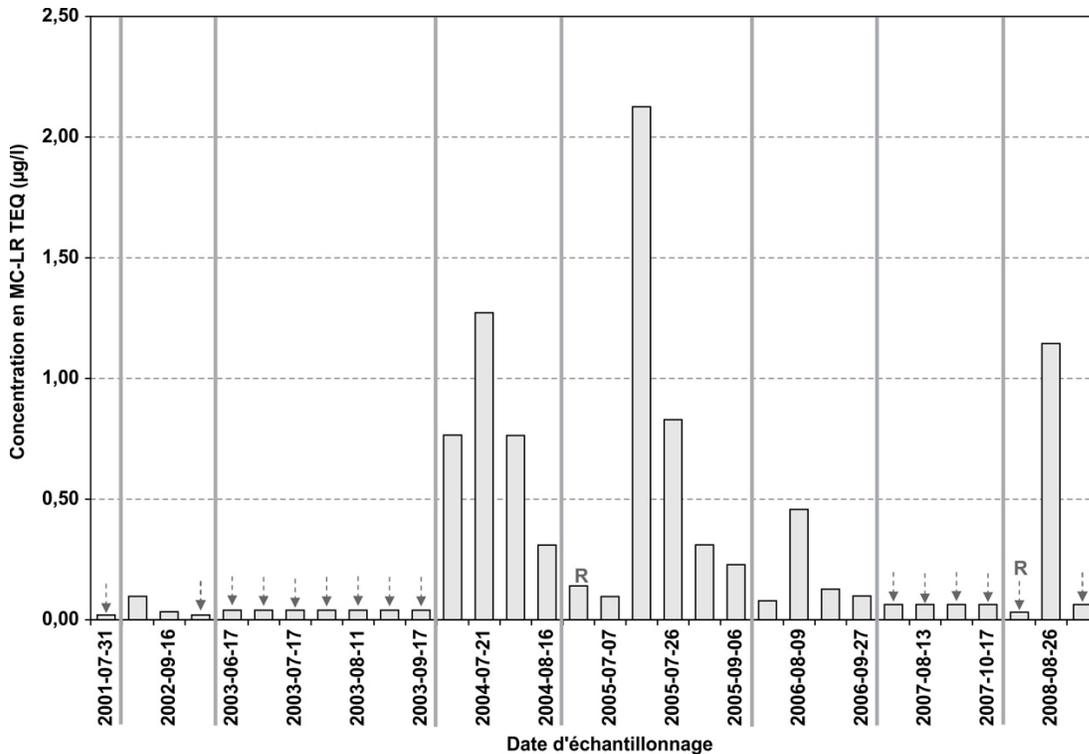


Figure 14 Concentrations en MC-LR TEQ à la station a en *campagnes régulières (R)* et *fleurs d'eau*

Dans la figure ci-dessus, les flèches indiquent les résultats correspondant à la moitié de la limite de détection de la méthode.

La **zone de la station b** se situe dans le secteur est de la BM, un peu au large d'une plage publique non surveillée (figure 1) (Mimeault 2012). Cette zone est très fréquentée par les véliplanchistes (Chevrette 2013a).

En *campagnes régulières*, l'abondance de CYANOTOT était au-dessus du seuil « fleur d'eau » pour 22 % des échantillons de la station b. Le seuil pour la protection des eaux récréatives a toujours été respecté (figure 15). C'est pour l'échantillon du 15 juin 2005 que la concentration maximale en MC-LR TEQ est notée avec 1,23 µg/l (figure 16). À ce moment, il y avait seulement 15 415 cel./ml de CYANOTOT mais incluant 99,3 % de CYANOTOX. Il est à noter que la biomasse totale des CYANO était alors très faible par rapport à celle des échantillons des autres dates, mais qu'elle était dominée par un genre à potentiel toxique : *Microcystis* sp. (donnée non présentée). Ceci illustre encore une fois que des quantités non négligeables de MC peuvent être présentes même en l'absence d'une fleur d'eau visible et inférieure à 20 000 cel./ml de CYANOTOT.

En *campagnes fleurs d'eau*, 21 % des échantillons se trouvaient sous le seuil « fleur d'eau » de 20 000 cel./ml de CYANOTOT (figure 15). Ce qui avait été observé sur le terrain correspondait pour la plupart de ces échantillons à des communautés phytoplanctoniques dominées en biomasse notamment par des cryptophycées (annexe 9) (figure 7 dans Bowling *et al.* 2014).

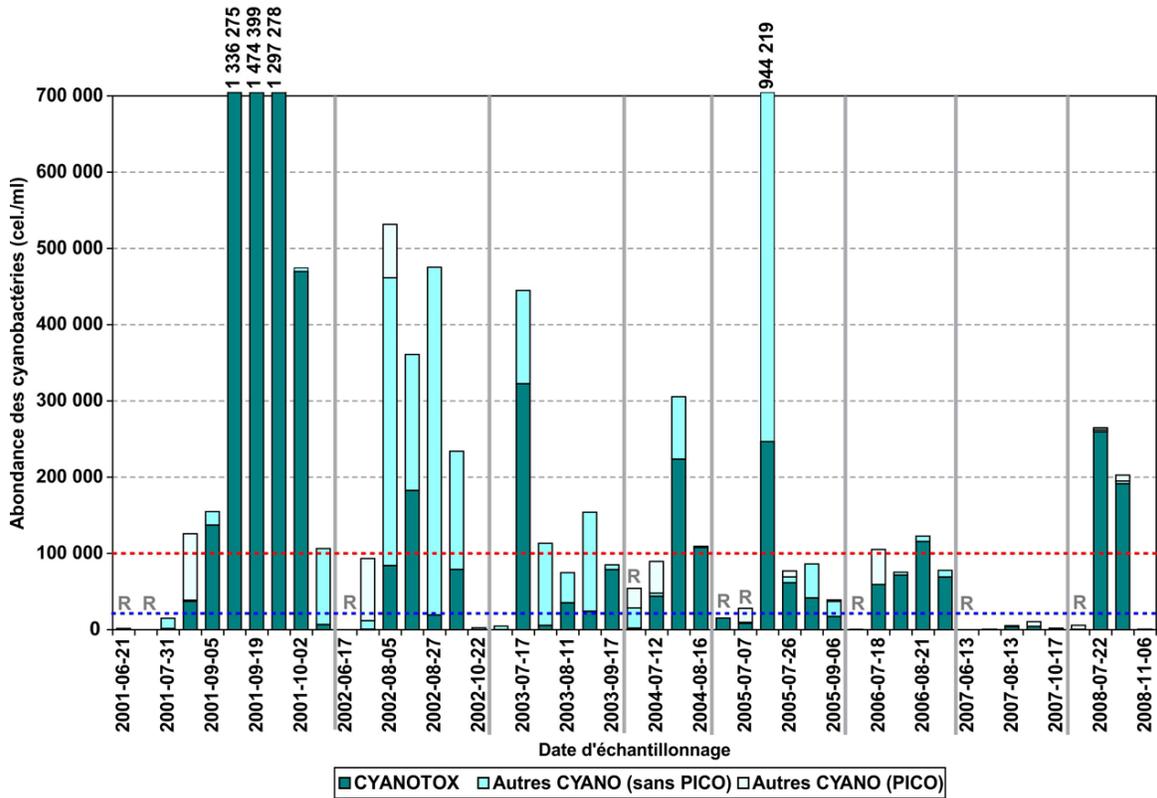


Figure 15 Abondances des CYANOTOT (CYANOTOX et autres) à la station *b* en campagnes régulières (R) et fleurs d'eau et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge)

Dans la figure ci-dessus, les trois échantillons du 11 au 26 septembre 2001 sont composés respectivement de 76 %, 92 % et de 99 % de CYANOTOX.

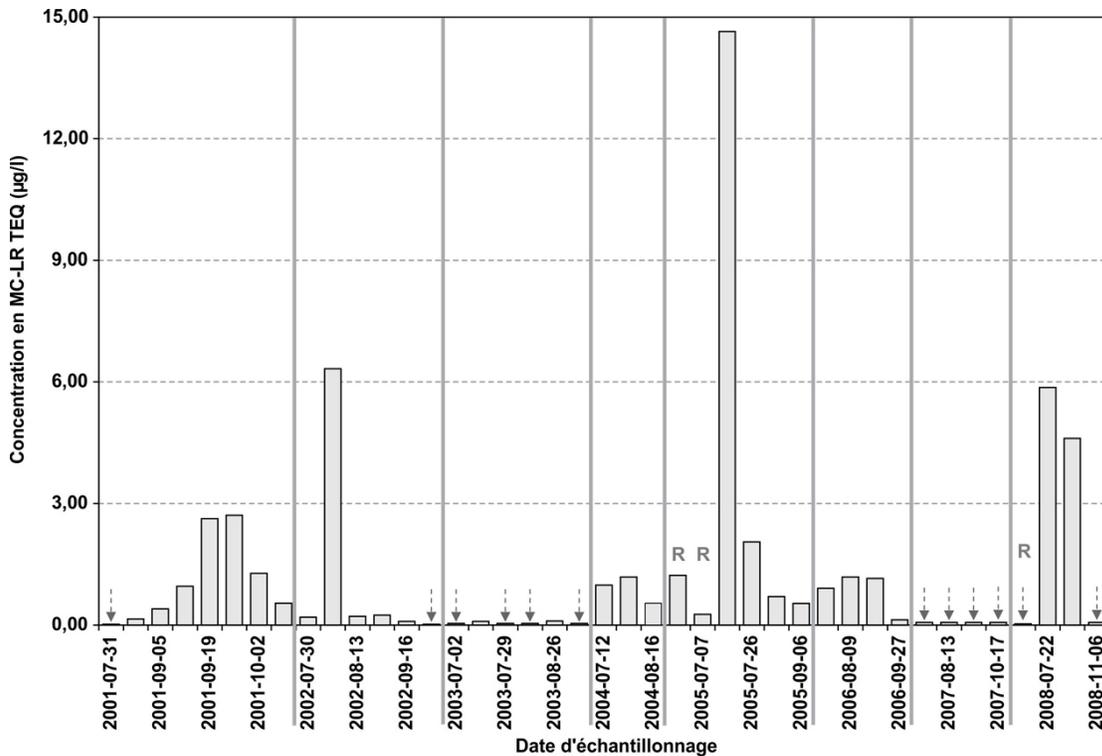


Figure 16 Concentrations en MC-LR TEQ à la station *b* en campagnes régulières (R) et fleurs d'eau

Dans la figure ci-dessus, les flèches indiquent les résultats correspondant à la moitié de la LDM.

Relativement à la protection des usages récréatifs, le seuil de 100 000 cel./ml de CYANOTOT a été dépassé dans 55 % des échantillons (figure 15). Les dépassements en CYANOTOT plus ou moins importants sont survenus à toutes les années d'échantillonnage sauf en 2007.

La concentration maximale en MC-LR TEQ de près de 15 µg/l a été notée le 19 juillet 2005. On comptait alors 944 219 cel./ml de CYANOTOT incluant 246 894 cel./ml de CYANOTOX (figures 15 et 16). Les trois espèces de CYANOTOX dominantes en biomasse étaient *Microcystis aeruginosa* (76 %), *Gloeotrichia echinulata* (16 %) et *Microcystis flos-aquae* (3 %) (section 3.4).

Comme plusieurs vents dominants sont de l'ouest, du sud et du sud-ouest (MDDEFP 2012), ceux-ci peuvent pousser des fleurs d'eau – provenant plus ou moins du large comme de la station *b* – vers l'est ou le nord-est et les entasser près de la rive. Puis, si les vents se calment, des écumes de CYANO se forment près du rivage, notamment dans le secteur de la plage avec des concentrations de cyanotoxines qui sont très élevées (figure 10 et annexe 6A).

La **station d2** est située dans le secteur est de la BM, un peu au large du quai de Saint-Armand, dans la même zone que la prise d'eau de l'installation de production d'eau potable de Bedford (figure 1). C'est la station *d2* qui affiche les proportions de picocyanobactéries les plus faibles et les proportions de CYANOTOX les plus fréquemment élevées en *campagnes fleurs d'eau*, du moins lors des échantillonnages (figures 13, 15, 17 et 19). Par ailleurs, trois (18 %) des échantillons étaient caractérisés par une abondance en CYANOTOT inférieure au seuil « fleur d'eau » (figure 17). Pour deux de ces échantillons, la faible biomasse du phytoplancton était dominée par des algues eucaryotes (annexe 9) (figure 8 dans Bowling *et al.* 2014).

Quant à la protection des usages récréatifs lors des échantillonnages, le seuil de 100 000 cel./ml de CYANOTOT a été dépassé surtout en août mais aussi en septembre et en octobre pour 2001, du moins durant l'année où la fréquence d'échantillonnage a été plus élevée. Les abondances totales ont même presque atteint ou dépassé le million de cel./ml à certaines dates en 2001 et en 2006 (figure 17). Malgré ces importantes abondances de CYANOTOT et de CYANOTOX, le seuil de 16 µg/l en MC-LR TEQ pour ces usages n'a jamais été atteint (figure 18).

À titre indicatif, la norme de 1,5 µg/l en MC-LR TEQ pour la qualité de l'eau potable au robinet a été dépassée à la station *d2* pour 31 % des échantillons (figure 18). Rappelons que les échantillons de la station *d2* intègrent une certaine hauteur de la colonne d'eau de la baie en excluant une certaine épaisseur au-dessus du fond pour ne pas contaminer les eaux échantillonnées avec le substrat (sauf les 18 septembre et 17 octobre 2007 alors que des échantillons ponctuels de surface avaient dû être prélevés). Pour leur part, les eaux brutes de l'installation de production d'eau potable de Bedford proviennent du fond de la baie. En fait, la prise d'eau municipale se trouve en moyenne à 3,5 mètres de profondeur. Elle peut être à 2,5 mètres en période d'étiage et à 4,5 mètres en période de hautes eaux (Mimeault 2012). Bien qu'il y ait eu quelques dépassements de la norme, pour l'eau potable au robinet, à la station *d2*, les analyses réalisées de 2001 à 2006 à l'installation de Bedford démontrent que les cyanotoxines ne sont généralement pas détectées et lorsqu'elles le sont, les concentrations se trouvent bien en deçà de la norme. En effet, la concentration maximale à l'eau traitée a été de 0,1 µg/l en MC-LR TEQ (n=42) (Robert *et al.* 2004; Robert 2008).

Des résultats dans le plan d'eau à la station *d2* sont d'ailleurs comparés à ceux de l'eau brute de l'installation de production d'eau potable, et ce, pour les périodes communes d'échantillonnage à l'intérieur des saisons 2001 et 2004 (Robert *et al.* 2004; Robert 2008). Ces deux années contiennent un nombre faible de données de périodes communes, mais celui-ci est tout de même plus élevé que pour les autres années. Pour les CYANOTOT, les abondances cellulaires à la station *d2* sont plus importantes que celles à l'eau brute. Ainsi, à la station *d2* comparativement à l'eau brute pour les années 2001 et 2004 respectivement, les médianes sont environ 19 et 3 fois plus élevées et les maximums le sont approximativement 2 et 6 fois. Quant à la MC-LR TEQ, les écarts sont moindres entre les résultats de la station *d2* et ceux à l'eau brute. Les médianes annuelles durant ces deux années sont environ deux fois plus élevées aussi à la station *d2*. Le maximum est pour sa part un peu plus élevé seulement en 2004 (de 1,4 fois) alors qu'il est 50 % inférieur à celui à l'eau brute en 2001 (annexe 10).

Les résultats sont presque toujours plus élevés à la station *d2* qu'à la prise d'eau, surtout pour les CYANO (annexe 10). Toutefois, les écarts entre les deux endroits de prélèvement pourraient s'expliquer par des dates ou des heures différentes d'échantillonnage. De plus, le nombre de données est insuffisant pour conclure que la tendance observée reflète la réalité, bien qu'il paraisse plausible que les CYANO puissent être moins abondantes dans les eaux les plus profondes et donc à la prise d'eau brute.

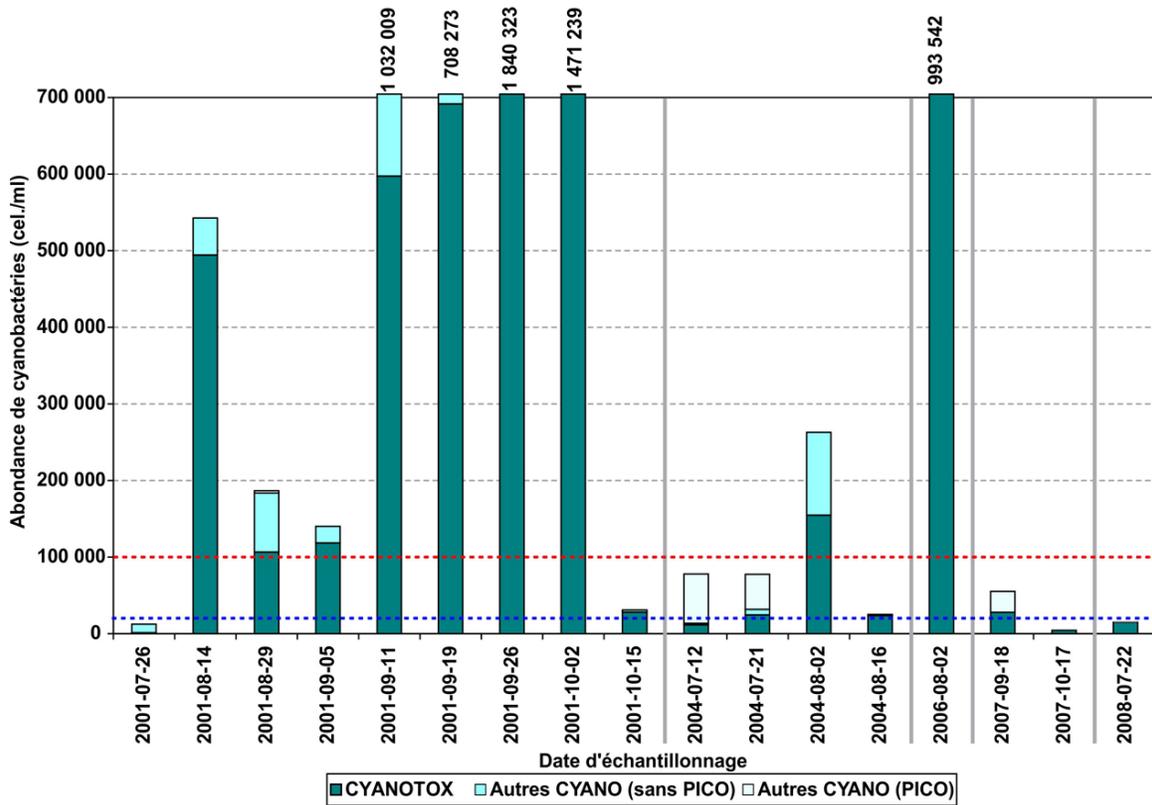


Figure 17 Abondances des CYANOTOT (CYANOTOX et autres) à la station d2 en *campagnes fleurs d'eau* et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge)

Dans la figure ci-dessus, les échantillons du 26 septembre et du 2 octobre 2001 ainsi que du 2 août 2006 sont composés respectivement de 99,1 %, de 98,8 % et de 99,5 % de CYANOTOX.

La **station d8** se situe dans la baie de Venise, près de deux plages publiques organisées (Mimeault 2012) mais un peu au large de celles-ci (figure 1). De la voile et du cerf-volant de traction sont aussi pratiqués dans ce secteur (Chevrette 2013b).

En *campagnes régulières*, l'abondance de CYANOTOT était simultanément bien au-dessus des seuils « fleur d'eau » et « usages récréatifs » les 17 juin 2004 et 8 juillet 2008. Ces abondances étaient si élevées qu'elles dépassaient même celles de plusieurs échantillons en *campagnes fleurs d'eau* (figure 19). Dans ces deux cas, la population de CYANO était dominée en abondance à 97,1 et 99,8 % par des picocyanobactéries formant donc une très faible biomasse (figure 5B dans Bowling *et al.* 2014) et une fleur d'eau non visible.

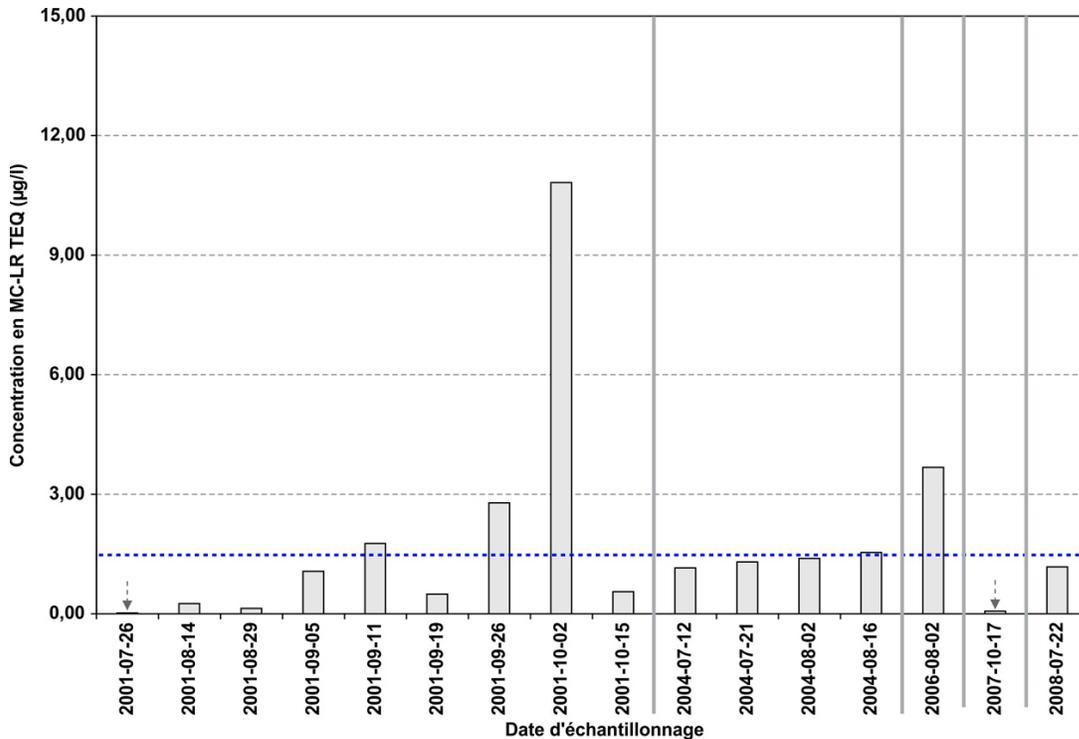


Figure 18 Concentrations en MC-LR TEQ à la station d2 en campagnes régulières et fleurs d'eau et dépassements de la norme pour l'eau potable au robinet (trait bleu)

Dans la figure ci-dessus, les flèches indiquent les résultats correspondant à la moitié de la LDM.

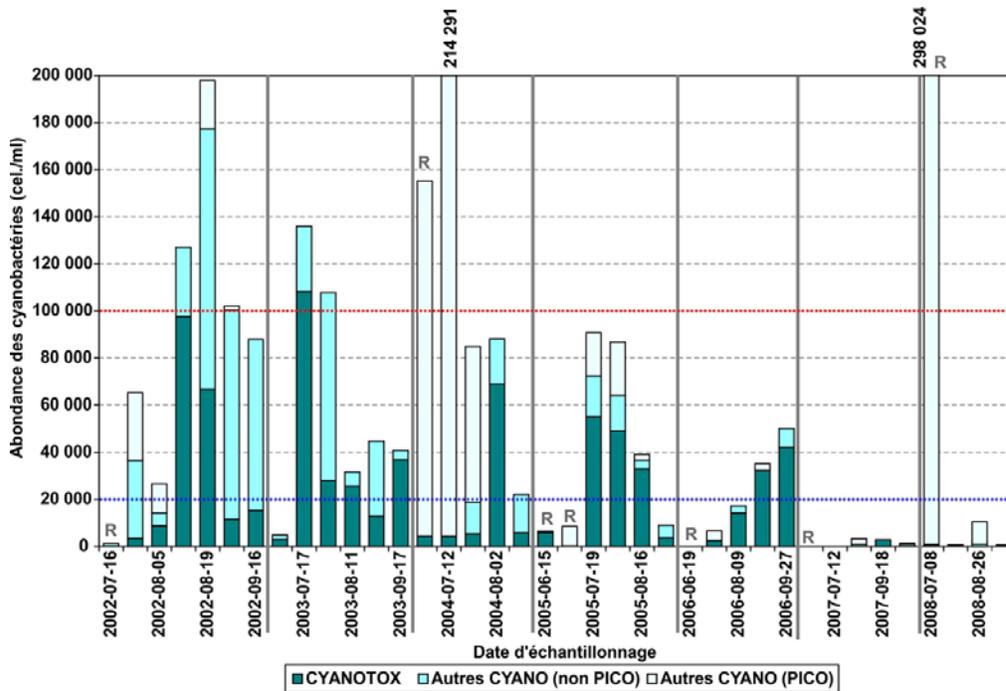


Figure 19 Abondances des CYANOTOT (CYANOTOX et autres) à la station d8 en campagnes régulières (R) et fleurs d'eau et dépassements des seuils en CYANOTOT pour une fleur d'eau (trait bleu) ou pour les usages récréatifs (trait rouge)

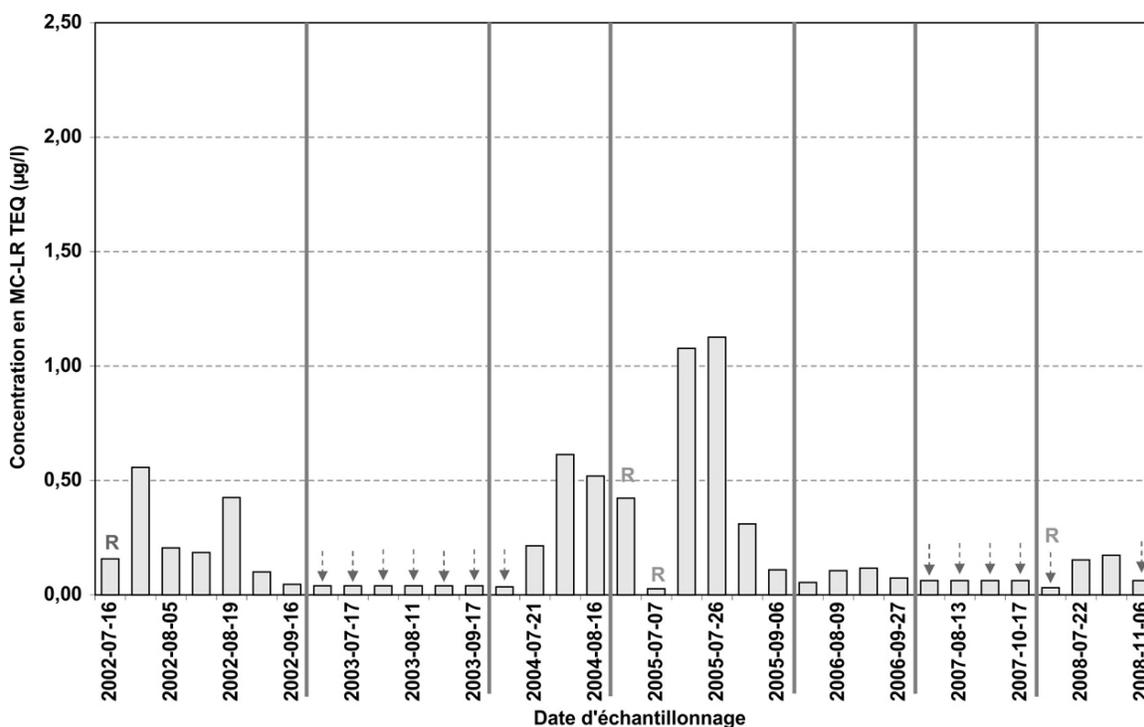


Figure 20 Concentrations en MC-LR TEQ à la station d8 en *campagnes régulières (R)* et *fleurs d'eau*

Dans la figure ci-dessus, les flèches indiquent les résultats correspondant à la moitié de la LDM.

En *campagnes fleurs d'eau*, 35 % des échantillons se trouvaient sous le seuil « fleur d'eau » de 20 000 cel./ml de CYANOTOT. Les dates concernées dans la figure 19 sont associées à des échantillons dont la biomasse est généralement grandement dominée, surtout en 2007 et en 2008, non pas par des CYANO mais plutôt par des groupes d'algues eucaryotes : souvent des cryptophycées mais aussi des dinophycées, des diatomées et des chlorophycées (annexe 9) (figure 9 dans Bowling *et al.* 2014). Relativement à la protection des usages récréatifs, le seuil en CYANOTOT a été dépassé dans six échantillons, et ce, seulement de 2002 à 2004. Pour trois de ces six échantillons, les dépassements étaient causés par des picocyanobactéries (figure 19).

Par ailleurs, c'est en 2005 que les concentrations maximales en MC-LR TEQ ont été observées; elles dépassaient 1 µg/l. Durant cette année aussi, ce paramètre se trouve au-dessus des limites de détection non seulement en *campagnes fleurs d'eau* mais aussi lors de certaines *campagnes régulières*. Par exemple, le 15 juin 2005, il y avait 0,42 µg/l MC-LR TEQ (figure 20), et ce, même si l'abondance en CYANOTOT était aussi faible que 6 753 cel./ml (figure 19) mais dominée en abondance (86 %) et en biomasse (67 %) par la seule CYANOTOX présente, qui est *Microcystis* sp (donnée non présentée). Le même constat semble donc s'appliquer à cette station, à savoir que les MC peuvent être mesurées même en l'absence d'une abondance élevée de CYANO. Il s'agit probablement de toxines résiduelles après un phénomène de lyse cellulaire et donc de mortalité de CYANO ou encore de la présence de certaines souches produisant une forte quantité de MC par cellule. Cette dernière hypothèse semble plus plausible car dans cet échantillon, il y a deux fois plus de MC intracellulaires que de MC extracellulaires (données non présentées).

Comme certains vents dominants sont du sud et du sud-ouest (MDDEFP 2012), ceux-ci peuvent pousser des fleurs d'eau – provenant plus ou moins du large comme de la station *d8* – vers le nord et les entasser près de la rive. Puis, si les vents se calment, il y a alors formation d'écumes dans le secteur des plages publiques de la baie de Venise, avec des concentrations de cyanotoxines plus élevées (figure 10 et annexe 6A). Dans d'autres situations, les densités d'algues phytoplanctoniques observées sur ces plages publiques pourraient, comme à la station *d8*, ne pas être dominées par des CYANO mais plutôt par des eucaryotes sans risque pour la santé des baigneurs (annexe 9).

3.2.4.2 Microcystines en *campagnes écumes*

La situation est beaucoup plus à risque dans les écumes accumulées près des rives, zone où les usagers se trouvent habituellement en plus grand nombre (section 3.2.2.5). Les concentrations en MC-LR TEQ sont d'ailleurs en général de 100 à 1 000 fois plus élevées dans les écumes prélevées en surface près du rivage que dans les fleurs d'eau prélevées sur une certaine épaisseur de la colonne d'eau au large (figure 5). Selon Chorus *et al.* (1999), les densités de cellules de cyanobactéries peuvent être jusqu'à un million de fois plus élevées dans les écumes et les toxines beaucoup plus que 1 000 fois.

La **station *d6*** est la seule ayant un nombre suffisant de données pour tracer un certain portrait temporel de la MC-LR TEQ en *campagnes écumes*. Elle se trouve du côté est de la BM, près du quai de Saint-Armand, plus précisément juste au nord de celui-ci et de sa rampe publique de mise à l'eau.

À la lumière des résultats de leur étude, Lévesque *et al.* (2014) pensent que les personnes qui pratiquent des activités de contact indirect avec les eaux seraient moins prudentes que des baigneurs, en présence de fleurs d'eau ou d'écume, puisque leur contact avec l'eau est limité. Or, les gens doivent éviter de porter à la bouche les mains qui avaient été préalablement souillées par une fleur d'eau de cyanobactéries (MSSS 2013a; MSSS 2013b).

En ce sens, la zone de la station *d6* est très fréquentée par des plaisanciers qui mettent à l'eau leur embarcation ou leur bateau; des parties du corps de certaines de ces personnes entrent ainsi en contact avec les eaux. À l'occasion, on observe aussi dans cette zone des chiens qui s'abreuvent (Chevrette 2013a et 2013b) de même que des pêcheurs dont les mains entrent en contact avec des poissons.

Dix échantillons (67 %) ont dépassé le seuil de 16 µg/l en MC-LR TEQ pour la protection des usages récréatifs de contact direct avec les eaux. Les dépassements sont survenus à toutes les années d'échantillonnage, sauf en 2004 alors qu'une seule date avait fait l'objet d'échantillonnage dans de l'écume (figure 21). Pour l'ensemble des données, la médiane et le maximum sont respectivement de 144 µg/l et de 33 540 µg/l (annexe 6A), soit de 9 à 2 096 fois plus élevés que ce seuil.

Les abondances de CYANOTOT les plus basses sont de 507 380 cel./ml et les plus élevées sont de 1 127 450 980 cel./ml avec une médiane de 9 690 948 cel./ml (données non présentées). Le pourcentage de CYANOTOX par rapport au CYANOTOT a varié de 72 à 100 %, mais se trouve surtout entre 90 et 100 % (figure 21). Cela tend aussi à confirmer que ce sont les CYANOTOX qui sont majoritairement dominantes dans les écumes (figures 9 et 21). La « courbe » de variabilité des concentrations de cyanotoxines ne concorde pas toujours avec celle des

proportions en CYANOTOX (figure 21). Ce constat pourrait notamment s'expliquer par le fait que tous les taxons de CYANOTOX ou toutes les souches d'une même espèce n'ont pas le même potentiel de production des MC, ou que les conditions environnementales favorables à cet effet ne sont pas toujours réunies.

Il est à noter que les MC mesurées à la station *d6* se trouvaient majoritairement sous la forme intracellulaire, sauf pour l'échantillon du 19 août 2002 alors que les MC étaient extracellulaires à plus de 85 % (données non présentées). Ces dernières étaient vraisemblablement des toxines résiduelles après la mortalité, donc la lyse, des cellules de CYANO.

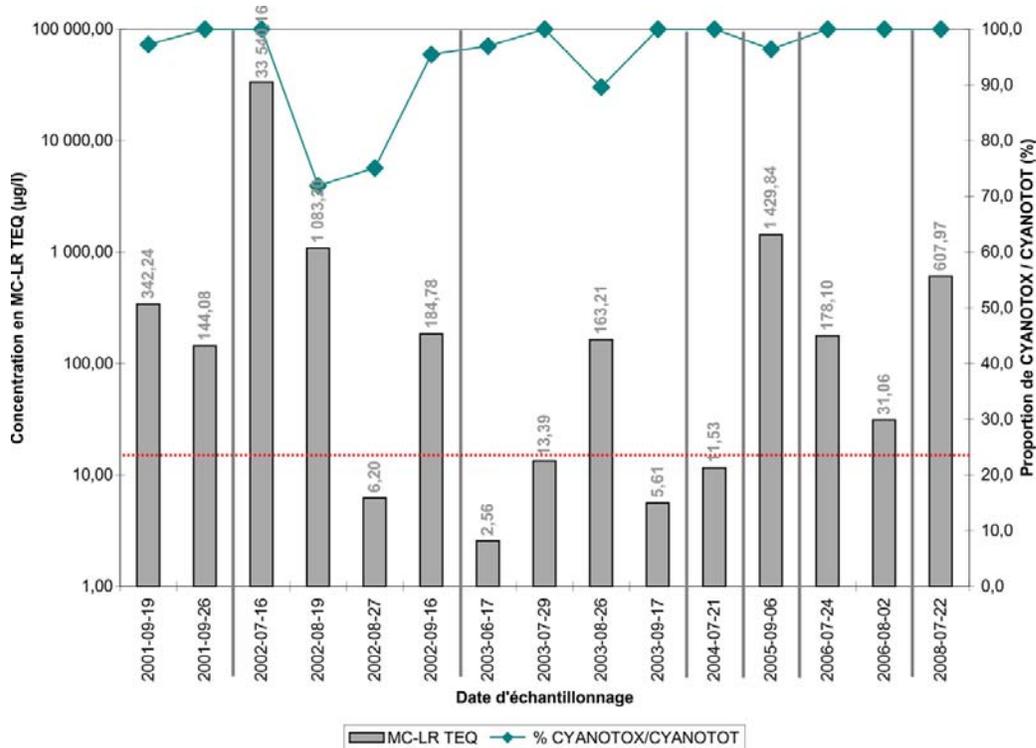
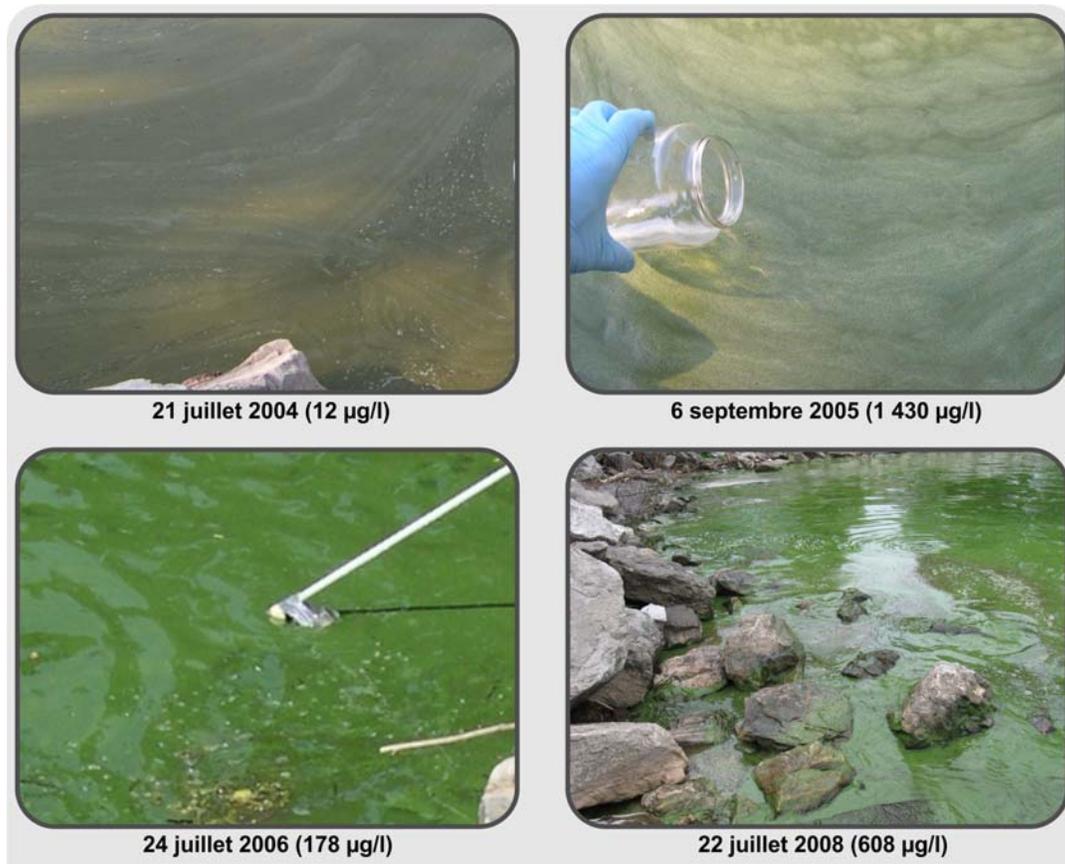


Figure 21 Concentrations en MC-LR TEQ à la station *d6* en campagnes écumes et dépassements du seuil pour les activités récréatives (ligne rouge) comparativement aux proportions des CYANOTOX par rapport aux CYANOTOT



Exemples d'écumes de CYANO échantillonnées entre juillet 2004 et juillet 2008 à la station d6 ainsi que leur concentration respective en MC-LR TEQ (photos : adaptées de celles de Patrick Chevrette, CCEQ)

3.3 Autres cyanotoxines

3.3.1 Anatoxine-a

L'anatoxine-a a été analysée dans 195 échantillons prélevés en *campagnes régulières* (6 %), *fleurs d'eau* (78 %) et *écumes* (16 %) de 2001 à 2008. Elle a été détectée dans un seul échantillon (station d3, 21 août 2001); sa concentration de 0,240 µg/l était bien en deçà du seuil provisoire de 40 µg/l pour les eaux récréatives. Par ailleurs, dans le cadre du PG pour la BM de 2004 à 2013, l'anatoxine-a n'a pas été détectée dans l'ensemble des 183 échantillons prélevés en fleur d'eau (78 %) et en écume (22 %) (Bourbonnais 2014a).

Différentes hypothèses pourraient expliquer cette faible fréquence de détection d'anatoxine-a et la faible concentration mesurée. Premièrement, les échantillons n'auraient peut-être pas été prélevés lors des pics de cette cyanotoxine. Celle-ci se dégraderait rapidement à la lumière et à pH élevé et ne persisterait alors pas longtemps dans le milieu (Osswald *et al.* 2007; Boyer 2010). D'ailleurs, le pH tend à monter à mesure que les abondances de CYANO augmentent (figure 22). Deuxièmement, les souches de CYANO présentes à la BM ou certaines d'entre elles n'auraient peut-être pas le gène permettant de produire cette toxine. Troisièmement, les conditions environnementales nécessaires à l'expression de ce gène n'étaient peut-être pas réunies peu avant les campagnes d'échantillonnage ou lors de celles-ci. Quatrièmement, l'homoanatoxine-a, une variante de l'anatoxine-a qui serait très présente dans l'environnement (Wood *et al.* 2011) et

de toxicité similaire (Wonnacott *et al.* 2006), n'a pu être recherchée dans les échantillons de la BM par le CEAEQ, faute d'étalon de mesure.

La première et la troisième hypothèses semblent les plus plausibles, compte tenu de mesures d'anatoxine-a du côté américain du lac Champlain, bien que l'homoanatoxine-a ne semble pas y avoir été recherchée non plus. En effet, selon les années de 2000 à 2004, la fréquence de détection de l'anatoxine-a a varié entre 1 à 4 % des échantillons avec des concentrations maximales de l'ordre de 1,0 µg/l. Il faut garder en mémoire que du côté américain du lac Champlain, des chiens sont morts en raison de l'exposition probable à l'anatoxine-a dans des fleurs d'eau au début des années 2000 (Rosen *et al.* 2001; Boyer 2007; Boyer 2008), et plusieurs de ces chiens sont morts dans les heures après y avoir ingéré des CYANOTOX (Boyer 2007). Il est à noter que du côté québécois, aucun chien ne serait mort à cause de cette neurotoxine.

3.3.2 Saxitoxine, néosaxitoxine et cylindrospermopsine

Durant la période de cette étude, les analyses en saxitoxine, néosaxitoxine et cylindrospermopsine ont été réalisées à titre exploratoire seulement la dernière année, soit en 2008 pour des échantillons prélevés aux stations *a*, *b*, *d2*, *d6* et *d8* (n=10). En 2009, d'autres mesures ont été effectuées (n=11) selon les mêmes méthodes d'échantillonnage et d'analyse que celles de 2008; les échantillons avaient été prélevés aux stations *a*, *b*, *d1*, *d2* et *d8*. Tous les résultats de 2008 et de 2009 de ces trois cyanotoxines se trouvaient sous la LDM (< 0,1 ou 0,2 µg/l).

Bien que des taxons de cyanobactéries susceptibles de produire ces cyanotoxines étaient présents, on ne peut pas conclure – sur la base de ces seuls résultats – que ces toxines sont absentes ou peu présentes à la BM. Premièrement, seul un petit nombre d'échantillons ont fait l'objet d'analyse et ceux-ci avaient de très faibles abondances en CYANOTOT et en CYANOTOX, avec des médianes respectivement de 16 524 et de 10 900 cel./ml et des 75^e percentiles de 28 307 et de 18 217 cel./ml. Deuxièmement, seules quelques variantes de ces familles de cyanotoxines ont été analysées, soit 2 des 28 variantes du groupe de saxitoxines (Nicholson *et al.* 2007) et 1 des 3 variantes de cylindrospermopsine (Banker *et al.* 2000; Norris *et al.* 2001). Troisièmement, dans le cadre d'une autre étude, une concentration de 0,29 µg/l de cylindrospermopsine a été mesurée dans de l'écume à la surface du clarificateur de l'installation de production d'eau potable de Bedford le 29 juillet 2010 (Zamyadi *et al.* 2012). Cette installation puise ses eaux brutes dans la BM (près de la station *d2*).

3.4 Cyanobactéries présumées responsables de la production de microcystines ou d'anatoxine-a

Aucune analyse génétique n'a été réalisée dans le cadre de cette étude pour tenter d'isoler des gènes pouvant produire des cyanotoxines chez différentes espèces de CYANO de la BM. Néanmoins, dans le cadre de l'analyse des résultats des échantillons des stations *a*, *b*, *d2* et *d8*, des corrélations positives et significatives ($p < 0,001$) avec des coefficients plus ou moins élevés selon les cas ont été obtenues par le test de Spearman entre les MC totales (MC tot.) ou certaines des variantes de MC et la biomasse de *Microcystis aeruginosa*, de *Microcystis* totaux ou de *Microcystis* sp. Il est à noter que l'espèce *M. aeruginosa* est corrélée avec chacune des variantes de MC (LR, RR et YR) et les MC tot. en plus d'afficher les coefficients de corrélation les plus élevés (tableau 1 dans Bowling *et al.* 2014). *Microcystis* et *M. aeruginosa* sont des taxons reconnus dans la littérature pour produire de la MC (Blais *et al.* 2008).

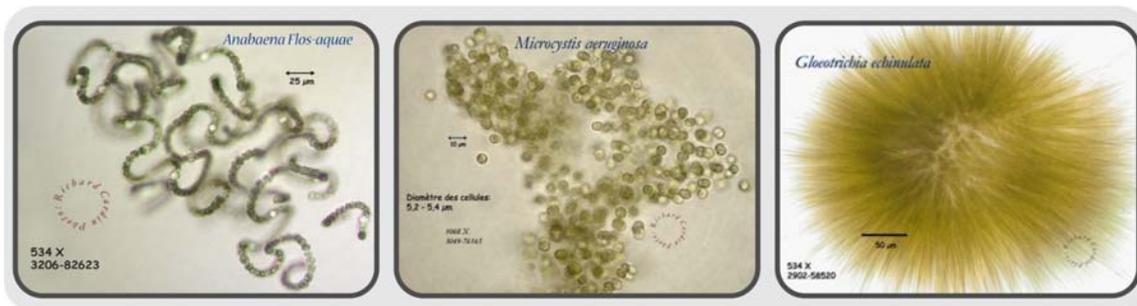
Une autre analyse donne des constats complémentaires. Les résultats des 32 échantillons d'écume prélevés dans la BM ont été vérifiés pour identifier ceux se limitant à un seul taxon ou presque de CYANO, et ce, lorsque des concentrations de MC étaient mesurées seulement dans les cellules. (Les MC n'avaient pas été détectées à l'extérieur de celles-ci.) Ainsi, seuls trois échantillons ont pu être retenus. Dans l'échantillon comptant deux taxons, le deuxième taxon, soit

Phormidium mucicola, représentait une très faible proportion de la biomasse totale et n'est pas reconnu pour produire des MC. Les résultats portent donc à croire qu'au minimum les taxons suivants comptent au moins une souche pouvant produire des MC à la BM : *Anabaena flos-aquae*, *Gloeotrichia echinulata* et *Microcystis* sp. (tableau 3). Ces taxons sont reconnus dans la littérature pour être susceptibles de produire de la MC (Blais *et al.* 2008).

Tableau 3 Cyanobactéries identifiées à partir d'échantillons d'écume pour compter au moins une souche pouvant produire de la MC à la BM

Taxon présent et suspecté	Raisons	Variantes de MC détectée (MC-LR TEQ µg/l)	Date de l'échantillon (station)
<i>Anabaena flos-aquae</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ MC intracellulaires seulement ○ Échantillon monospécifique 	LR et YR (5,605)	17 septembre 2003 (d6)
<i>Gloeotrichia echinulata</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ MC intracellulaires seulement ○ Échantillon monospécifique 	LR, RR et YR (6,510)	2 août 2004 (d14)
<i>Microcystis</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> ○ MC intracellulaires seulement ○ Autre taxon non toxique⁽¹⁾ : <i>Phormidium mucicola</i> à 1,4 % de la biomasse totale 	LR, RR et YR (2,561)	17 juin 2003 (d6)

(1) Espèce non reconnue pour produire des MC selon Blais *et al.* (2008).



Taxons produisant des MC à la BM (photos : Richard Cardin, CEAEQ)

Ces taxons ressortent aussi parmi l'ensemble des CYANO présentes dans les 22 échantillons de 2001 à 2008, dépassant le seuil de 16 µg/l en MC-LR TEQ pour la protection des activités récréatives. En effet, parmi les CYANOTOX susceptibles de produire de la MC, celles retrouvées le plus fréquemment sont les *Microcystis* (*Microcystis* sp., *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis totaux*, etc.) mais aussi *A. flos-aquae* et *G. echinulata* (annexe 11). Il est à noter que de 2001 à 2004, les espèces *M. aeruginosa* et *M. flos-aquae* ont été considérées comme le genre *Microcystis* sp. De 2005 à 2008, des CYANO ont été identifiées comme *Microcystis* sp.

seulement lorsque l'identification à l'espèce était impossible (annexe 3). C'est pour cette raison que sur l'ensemble des huit années, les *Microcystis* sp. correspondaient à une forte proportion des *Microcystis* totaux. Cela explique sûrement aussi que *M. aeruginosa* ait été identifié dans seulement 23 % des échantillons.

D'ailleurs, des quantités appréciables de MC-LR TEQ sont notées lorsque *Microcystis* sp. ou *M. aeruginosa* domine, et ce, même si les abondances de CYANOTOT et de CYANOTOX ne sont pas importantes. C'est par exemple le cas le 15 juin 2005 aux stations *b* et *d8* en *campagne régulière* ainsi que le 19 juillet 2005 à la station *a* en *campagne fleur d'eau*. Une telle situation s'explique probablement par la présence soit de toxines résiduelles après un phénomène de lyse cellulaire et donc de mortalité de CYANO, soit de certaines souches de CYANO produisant une forte quantité de MC par cellule (section 3.2.4.1). Cette dernière hypothèse semble plus plausible car dans ces échantillons, il y a respectivement 16, 2 et 15 fois plus de MC intracellulaires que de MC extracellulaires (données non présentées).

Quant à l'anatoxine-a, le seul échantillon dans lequel cette neurotoxine a été détectée (n=180) provient d'une écume prélevée le 21 août 2001 à la station *d3*, à Saint-Armand. *Anabaena flos-aquae* et *Microcystis* sp. constituaient les seuls taxons présents. *A. flos-aquae* y serait l'espèce responsable de la présence de l'anatoxine-a pour les raisons suivantes. Premièrement, selon la littérature, bien que ces deux taxons soient susceptibles de produire l'anatoxine-a, les espèces du genre *Microcystis* identifiées dans la BM (annexe 3) ne seraient pas reconnues pour produire cette neurotoxine (Blais *et al.* 2008). Deuxièmement, *A. flos-aquae* occupait 99,2 % de la biomasse de l'échantillon et l'anatoxine-a s'y trouvait seulement sous la forme intracellulaire. Troisièmement, aussi dans le lac Champlain mais plus au sud du côté américain, *A. flos-aquae* est l'espèce suspectée d'être responsable de la production d'anatoxine-a qui aurait causé la mort de deux chiens en 2000 au lac Champlain du côté des États-Unis (Rosen *et al.* 2001). Dans le lac Champlain, une co-occurrence significative existe entre la présence de concentrations mesurables d'anatoxine-a et des fleurs d'eau d'espèces de *Anabaena* (Boyer 2008).

Sur la base de ces quelques résultats, on ne peut pas conclure que la liste de taxons de cyanobactéries toxiques de la BM est complète. Les CYANOTOX identifiées à la BM de 2000 à 2008 sont rapportés à l'annexe 3.

3.5 Variabilités du pH

Selon l'OMS (2004), si le pH est trop faible ou trop élevé, il peut contribuer à irriter la peau et les yeux. Le pH des eaux peut être influencé notamment par l'activité photosynthétique et la respiration nocturne des algues ou des CYANO du plan d'eau. En général, durant le jour, ces micro-organismes font surtout de la photosynthèse. Ils puisent alors du CO₂ dans l'eau, rendant celle-ci moins acide, donc plus basique. Ainsi, plus les abondances de CYANO sont élevées, plus le pH tend à augmenter durant le jour, soit la principale période d'activités récréatives de contact avec les eaux (figure 22 et annexe 12).

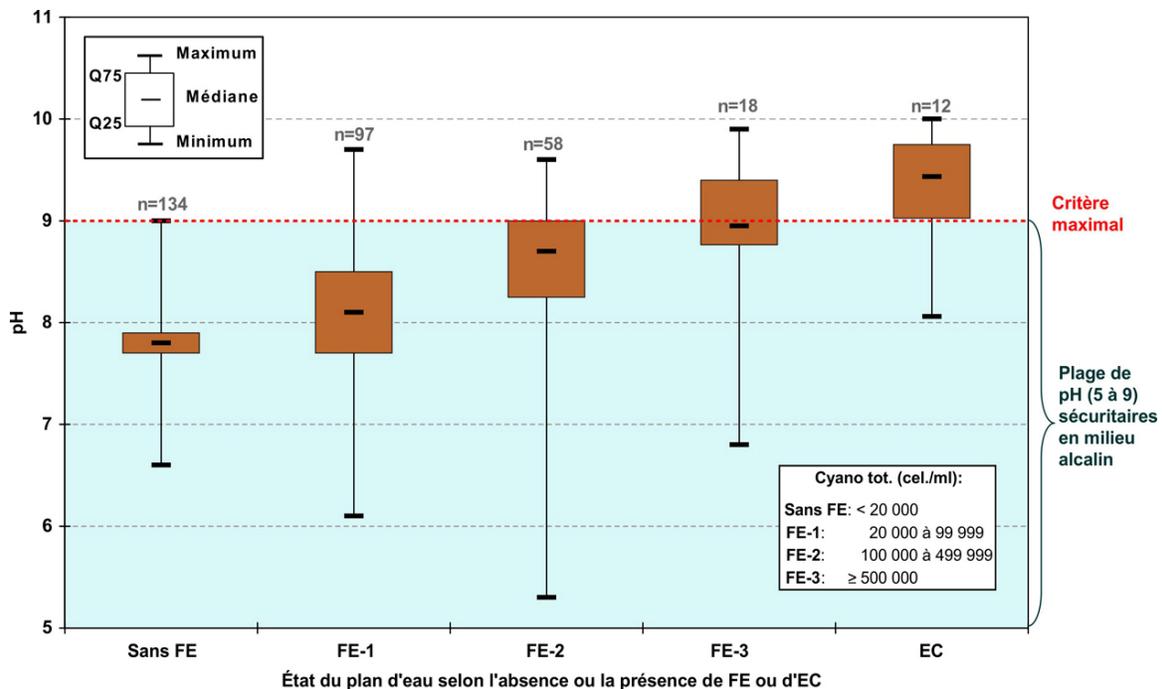


Figure 22 Variabilités du pH diurne dans l'ensemble des stations et dépassements du critère maximal pour la protection des activités récréatives en fonction des groupes d'abondances en CYANOTOT à la BM de 2000 à 2008 (FE : fleur d'eau; EC : écume)

Dans la figure ci-dessous, les premiers groupes de FE ont été divisés en fonction des seuils « fleur d'eau » ($\geq 20\,000$ cel./ml) et « protection des activités récréatives » ($< 100\,000$ cel./ml).

Pour déterminer quels critères de qualité en pH s'appliquent aux eaux récréatives d'un plan d'eau, il faut d'abord vérifier si celui-ci a un bon pouvoir tampon défini par l'alcalinité. Aucune donnée québécoise n'est disponible relativement à l'alcalinité des eaux de la BM. Aux deux stations du Vermont dans la BM de 2000 à 2008, toutes les données d'alcalinité sont supérieures à 21 mg/l ($n=52$). La médiane à chacune des stations dépasse un peu 40 mg/l (VT DEC 2012). Le critère québécois en alcalinité établit qu'une concentration d'au moins 20 mg/l est associée à un bon pouvoir tampon. Ce critère est donc amplement respecté. Avec une telle alcalinité, les critères minimum et maximum en pH pour protéger les activités récréatives s'étendent de 5,0 à 9,0 (MDDEFP 2013b; Santé Canada 2012). Le critère de 9 est souvent dépassé dans des fleurs d'eau du groupe FE-3 ($\geq 500\,000$ cel./ml) et encore davantage dans les écumes de CYANO (figure 22 et annexe 10). La valeur maximale atteint même le pH de 10.

3.6 Détection des fleurs d'eau et constats visuels

La capacité de reconnaître une fleur d'eau de CYANO ou de faire un bon constat visuel peut dépendre de plusieurs facteurs dont la profondeur de la fleur d'eau, la luminosité et les vents ainsi que l'expérience de l'observateur. Dans le cadre de cette étude, ce sont des techniciens

expérimentés qui ont effectué les observations visuelles. Lorsque l'on compare les constats visuels aux dénombrements de cellules excluant les picocyanobactéries des échantillons de l'ensemble des stations, on arrive à :

- 7 % de faux négatifs en *campagnes régulières*. Aucune fleur d'eau n'avait été vue sur le terrain, alors que les résultats d'analyse indiquaient le dépassement du seuil de 20 000 cel./ml en CYANOTOT;
- 34 % de faux positifs en *campagnes fleurs d'eau*. On croyait avoir observé une fleur d'eau de CYANO sur le terrain alors que les résultats d'analyse ont démontré le contraire (tableau 4).

Tableau 4 Appréciation des constats visuels quant à la présence ou à l'absence de fleur d'eau de CYANO observée sur le terrain par des techniciens comparativement au dénombrement de CYANOTOT au laboratoire pour l'ensemble des stations selon que les picocyanobactéries (PICO) sont considérées ou non

Type de constat visuel	Classement des constats visuels (%) selon les dénombrements de CYANOTOT		Causes suspectées
	PICO incluses ⁽²⁾	PICO exclues ^(3,4)	
Faux négatifs (Aucune fleur d'eau vue sur le terrain mais dénombrement \geq seuil ⁽¹⁾)	34,4	6,8	<ul style="list-style-type: none"> • Fleur d'eau pas jusqu'en surface; • Vents importants ou conditions lumineuses non favorables aux observations.
Faux positifs (Fleur d'eau vue sur le terrain mais dénombrement $<$ seuil ⁽¹⁾)	30,1	34,2	<ul style="list-style-type: none"> • Détection de faibles abondances de CYANO; • Dominances d'algues eucaryotes.

(1) Seuil : 20 000 cel./ml CYANOTOT.

(2) Figure 2.

(3) Annexe 4.

(4) Dénombrement cellulaire des PICO exclu depuis 2010 dans le cadre du PG.

En ce qui concerne les faux positifs aux stations *a*, *b*, *d2* et *d8*, et ce, peu importe si les picocyanobactéries sont considérées ou pas, pour 11 % de ces cas (4/37), les techniciens avaient détecté visuellement une biomasse phytoplanctonique dominée par plus de 50 % de CYANO mais dont l'abondance de celles-ci était sous le seuil « fleur d'eau » de 20 000 cel./ml (annexe 9). D'ailleurs, selon Blue-Green Algae Task Force (1992), un employé peut – selon son degré de spécialisation ou de formation dans le domaine ou les outils qu'il a en main – détecter des densités de *Anabaena circinalis* bien inférieures à 20 000 cel./ml jusqu'à 2 000 cel./ml (annexe 13). Cependant, à une même abondance cellulaire et dans les mêmes conditions environnementales, la « visibilité » ou pas d'une fleur d'eau dépend aussi du biovolume cellulaire des espèces présentes. Les fleurs d'eau de CYANO à la baie Missisquoi sont exceptionnellement monospécifiques comme dans l'exemple de Blue-Green Algae Task Force (1992). À titre indicatif, on peut présumer que proportionnellement au biovolume cellulaire de la plupart des CYANOTOX fréquemment retrouvées dans la BM, des fleurs d'eau dominées par ces espèces devraient avoir généralement des abondances minimales qui soient de deux à neuf fois plus élevées que celles de *Anabaena circinalis* mentionnées plus haut pour être visibles par des personnes du même niveau d'expérience (annexe 9).

Dans 89 % des autres cas de faux positifs aux stations *a*, *b*, *d2* et *d8*, la communauté phytoplanctonique était dominée par des algues eucaryotes qui ne présentent pas de risque pour

la santé des usagers du plan d'eau. Les classes d'eucaryotes qui dominaient à au moins 60 à 100 % la biomasse phytoplanctonique (incluant les CYANO) étaient surtout des cryptophycées, ensuite des diatomées puis des dinophycées et des chlorophycées (annexe 9).

Les abondances dominées par des cryptophycées ou des diatomées sont plus brunâtres que la plupart des fleurs d'eau de CYANO. Les techniciens ne semblent pas avoir distingué cette particularité sur le terrain. Il est à noter que 21 des 37 échantillons faux positifs avaient été prélevés durant la période intensive d'activités récréatives de contact direct avec les eaux (annexe 9) dans des secteurs d'usage ou à proximité notamment de plages publiques organisées dans le cas de la station *d8*.

4 CONCLUSION

De 2000 à 2008, des épisodes de fleurs d'eau de CYANO ont atteint la BM, surtout de la mi-juillet à la mi-octobre, mais moins intensément en 2007 et aucunement en 2000, du moins selon nos observations. Le grand secteur le plus intensément touché par les CYANO et les cyanotoxines est celui à l'est de la pointe Jameson vers Saint-Armand, tandis que le secteur de la baie de Venise arrive au second rang. Le secteur du centre de la BM est le moins atteint.

Pour l'ensemble des années et des stations, la comparaison entre les constats visuels et les résultats d'analyse en CYANOTOT excluant les picocyanobactéries indique que, pour 7 % des échantillons, le personnel technique n'a pas vu de fleur d'eau de CYANO sur le terrain alors que les résultats de laboratoire démontrent le contraire avec le dépassement du seuil d'au moins 20 000 cel./ml. Dans 34 % des échantillons où le personnel croyait en avoir observé une, les résultats d'analyse démontrent qu'il n'y en avait pas. Ainsi, pour 86 % (32/37) des échantillons faux positifs de fleurs d'eau de CYANO aux quatre principales stations, la biomasse phytoplanctonique était dominée de 60 à 100 % par des algues eucaryotes. La capacité de reconnaître certaines fleurs d'eau de CYANO sur le terrain peut dépendre de plusieurs facteurs, dont le biovolume cellulaire et l'abondance des espèces présentes.

Généralement, plus la fleur d'eau de CYANO est intense et devient une écume, plus la fréquence de dépassements des seuils en CYANOTOT, en MC-LR TEQ ou en pH pour la protection des usages tend à être élevée. Néanmoins, les concentrations maximales en MC-LR TEQ à certaines stations n'ont pas été enregistrées aux dates où l'abondance de CYANOTOT était parmi les plus élevées. La présence de MC résiduelles après la mortalité et donc la lyse des cellules ou surtout la présence de souches de CYANOTOX produisant peu ou encore beaucoup de toxines par cellule expliquent probablement ce type de disparité.

Quinze espèces de CYANOTOX ainsi que 27 espèces et 2 genres d'autres CYANO ont été identifiés. Parmi les taxons qui peuvent produire des MC à la BM, il y a au moins une ou des souches de *Anabaena flos-aquae* et de *Gloeotrichia echinulata* et fort probablement de façon importante des souches de *Microcystis* sp. et de *Microcystis aeruginosa*. *A. flos-aquae* serait aussi responsable de la production d'anatoxine-a mesurée dans un seul échantillon.

Au moins un des deux seuils visant la protection des usages récréatifs a été dépassé dans 96 % des stations échantillonnées. Globalement, celui de 16 µg/l de MC-LR TEQ a été dépassé dans 69 % des échantillons prélevés dans des *écumes* près du rivage, zone où les usagers se trouvent habituellement en plus grand nombre. La médiane et le maximum ont surpassé respectivement le seuil 9 et 2 096 fois. Toutefois, le dépassement de ce seuil en MC-LR TEQ est demeuré exceptionnel en *campagnes fleurs d'eau*, soit dans 2 % des échantillons prélevés au large. Quant au seuil de 100 000 cel./ml de CYANOTOT, il est toujours surpassé dans les *écumes*, alors qu'au large, les dépassements s'observent dans 42 % des échantillons excluant les picocyanobactéries. La fréquence et l'importance des dépassements en CYANOTOT et en

MC-LR TEQ ont été plus élevées à partir de la deuxième moitié de juillet jusqu'à la première moitié d'octobre.

Depuis la présente étude, la BM a continué à être touchée par des fleurs d'eau de CYANO à tous les ans, autant du côté québécois que du côté américain (MDDEFP 2013a; MDDELCC 2014; Shambaugh *et al.* 2013; Shambaugh *et al.* 2014; données non publiées).

Les fleurs d'eau de CYANO demeurent préoccupantes à la BM. D'une part, la prudence s'impose de la part des adeptes d'activités récréatives de contact direct ou indirect avec les eaux. En présence de fleurs d'eau de CYANO, les usagers de la BM doivent respecter les recommandations de santé publique du MSSS portant sur les précautions à prendre (MSSS 2013a; MSSS 2013b). D'autre part, pour réduire l'importance de cette problématique, les apports de phosphore doivent être diminués autour du lac et en amont dans le bassin versant au niveau des différents tributaires québécois et américains.

Le comité interministériel de concertation de la Montérégie et de l'Estrie, en collaboration avec des représentants de plusieurs ministères et des unités centrales du MDDELCC, a mis en œuvre depuis 2003 un plan d'action pour la réduction du phosphore dans la BM. Les résultats des programmes de suivi de la qualité de l'eau du bassin versant de la BM ont révélé, à la suite des actions réalisées par l'ensemble des partenaires, une tendance marginale à la baisse des concentrations et des charges de phosphore de la rivière aux Brochets au cours de la période 1990-2008. Toutefois, une augmentation des apports provenant de l'ensemble du bassin au Québec et au Vermont, engendrée par la hausse des débits moyens des cours d'eau, a été observée pendant cette période. Cette hausse a également été constatée à la suite des inondations au printemps 2011 (Mimeault 2014).

La poursuite des efforts d'assainissement dans le bassin versant est d'autant plus importante que des facteurs favorables à la prolifération des CYANO – comme la hausse des températures ainsi que des pics de précipitations favorisant le ruissellement du phosphore – risquent d'être plus fréquents avec les changements climatiques (Bird 2008; Paerl *et al.* 2013; Paerl *et al.* 2012; Paerl *et al.* 2007).

5 BIBLIOGRAPHIE

BANKER, Ronny *et al.*, 2000. “7-Epicylindrospermopsin, a Toxic Minor Metabolite of the Cyanobacterium *Aphanizomenon ovalisporum* from Lake Kinneret, Israel”, *Journal of Natural Products*, vol. 63, n° 3, p. 387-389.

BASTIEN, Christian, 17 mai 2012. (christian.bastien@mddep.gouv.qc.ca), *Validation d'informations méthodologiques – Rapport baie Missisquoi 2000-2009*, [Courriel], (sylvie.blais@mddep.gouv.qc.ca).

BÉRUBÉ, Gilles, 26 août 1981. « Aucun moyen de s'en débarrasser à court terme : Des algues microscopiques dans la Baie Missisquoi! », Saint-Jean, *Le Canada Français*, Saint-Jean, p. 41.

BIRD, D., 2008. « [Changements climatiques et cyanobactéries : les crises actuelles et à venir](#) », *Les cyanobactéries – Mieux connaître pour mieux gérer, Colloque de l'Institut Hydro-Québec*, Québec, Université Laval, 34 diapositives.

BLAIS, Sylvie et Marc SINOTTE, 2008. Fiche : Cyanobactéries à potentiel toxique, document non publié, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 14 p.

BLUE-GREEN ALGAE TASK FORCE, 1992. *Final Report of the New South Wales of the Blue-Green Algae Task Force*, Parramatta, Australia, Department of Water Resources, ISBN 0-7305-7886-0.

BOURBONNAIS, Nathalie, 20 septembre 2013. (nathalie.bourbonnais@mddefp.gouv.qc.ca), *Données des nouvelles variantes de MC à la baie Missisquoi*, [Courriel], (sylvie.blais@mddefp.gouv.qc.ca).

BOURBONNAIS, Nathalie, 5 février 2014a. (nathalie.bourbonnais@mddefp.gouv.qc.ca), *Baie Missisquoi / anatoxine-a dans le plan de gestion?* [Courriel], (sylvie.blais@mddefp.gouv.qc.ca).

BOURBONNAIS, Nathalie, 12 août 2014b. (nathalie.bourbonnais@mddelcc.gouv.qc.ca), *Données des nouvelles variantes MC à la baie Missisquoi / PG 2009-2012* [Courriel], (sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca).

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](#), New South Wales, Australia, NSW Government, Department of Primary Industries, Office of Water, 102 p.

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, p. 53-160.

BOYER, Gregory L., 2008. “Cyanobacterial Toxins in New York and the Lower Great Lakes Ecosystems”, p. 153-165 (vol. 619, chapter 7) dans Hudnell, H. K. (éd.), *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. Advances in Experimental Medicine and Biologie*.

BOYER, Gregory, 2010. “The Photochemistry of Anatoxin-a; Are we missing significant levels of free toxin in the water column?”, p. 8, dans The 8th International Conference on Toxic Cyanobacteria, *Official Program and Abstract Book*.

CEAEQ (CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC), 2012. [Identification, dénombrement et estimation du biovolume des cyanobactéries et des algues](#),

Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, MA. 800 – Cya.alg 1.0, 22 p.

CHEVALIER, Pierre, 23 septembre 2013. (pierre.chevalier@inspq.qc.ca), *Réponse concernant la demande pour le calcul du seuil de 16 µg/l de cyanotoxines pour la baignade*, [Courriel], (sylvie.blais@mddep.gouv.qc.ca).

CHEVRETTE, Patrick, 22 mai 2013a. (patrick.chevrette@mddefp.gouv.qc.ca), *Validation à partir de tes connaissances de terrain pour la baie Missisquoi*, [Courriel], (sylvie.blais@mddefp.gouv.qc.ca).

CHEVRETTE, Patrick, 1^e octobre 2013b. Communication téléphonique personnelle, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs.

CHORUS, Ingrid et Jamie BARTRAM, Éd., 1999. *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*, New York, published on behalf of World Health Organization, E & FN Spon, 416 p. (version papier) ou 400 p. (version électronique).

COLE, Gerald A., 1975. *Textbook of limnology*, Saint-Louis, The C. V. Mosby Company, Department of Zoology, Arizona State University, 283 p.

DASSYLVA, Nathalie, 31 mai et 5 juin 2012. (nathalie.dassylva@mddep.gouv.qc.ca), *Validation d'informations méthodologiques – Rapport baie Missisquoi 2000-2009*, [Courriel], (sylvie.blais@mddep.gouv.qc.ca).

DEBLOIS, Christian, 28 mai 2012a. (christian.deblois@mddep.gouv.qc.ca), *Validation d'informations méthodologiques – Rapport baie Missisquoi 2000-2009*, [Courriel], (sylvie.blais@mddep.gouv.qc.ca).

DEBLOIS, Christian, 11 novembre 2012b. (christian.deblois@mddep.gouv.qc.ca), *Comment vous citer dans l'équipe de réalisation? / rapport Baie Missisquoi*, [Courriel], (sylvie.blais@mddep.gouv.qc.ca).

ELLIS, Donald, 1^{er} novembre 2012. (donald.ellis@mddefp.gouv.qc.ca), *Rapport sur l'eau potable à Bedford en 2004 / question sur des données*, [Courriel], (sylvie.blais@mddefp.gouv.qc.ca).

FONTAINE, Léopold *et al.*, 1968. *Étude de l'état des eaux de la baie Missisquoi (Lac Champlain)*, Comté de Missisquoi, Régie des eaux du Québec, Direction générale de l'assistance technique, 60 p.

GALVEZ, Rosa et Suzanne LEVINE, 2008. "[Canada-USA Agreement On Eutrophication Control And Protection Of Lake Champlain](#)", abstract dans *IV International Symposium on Transboundary Waters Management*, Thessaloniki, Greece, 15th-18th October 2008, 4 p.

GERMAIN, André, François LAVOIE et Mario JANSON, 1987. *Étude sur l'eutrophisation de la baie Missisquoi*, Québec, Environnement Canada, Conservation et Protection, Direction des eaux intérieures et des terres, région de Québec, 97 p.

GROUPE SCIENTIFIQUE SUR L'EAU, 2005. *Propositions de critères d'intervention et de seuils d'alerte pour les cyanobactéries*, Bibliothèque nationale du Québec, Unité Santé et environnement, Direction Risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique du Québec, 4 p.

HOLDREN, C., W. JONES et J. TAGGART, 2001. *Managing Lakes and Reservoirs*, Third Edition, Madison, WI, North American Lake Management Society and Terrene Institute in cooperation with Office of Water, Assessment and Watershed Protection Division, U.S. Environmental Protection Agency, ISBN 1-880686-15-5, EPA 841-B-01-006, 382 p.

KOMÁREK, Jiří et Eliška ZAPOMĚLOV, 2007. "Planktic morphospecies of the cyanobacterial genus *Anabaena* subg. *Dolichospermum* – 1. part: coiled types". *Fottea, Olomouc*, vol. 7, n° 1, p. 1-31, dans BASTIEN, Christian, 29 mai 2013. (christian.bastien@mddefp.gouv.qc.ca), *Biovolume de Anabaena circinalis p/r à celui d'autres espèces au Québec*, [Courriel], (sylvie.blais@mddefp.gouv.qc.ca).

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, p. 315-326.

LÉVESQUE, Benoît et al., 2012. « [Impacts de l'exposition humaine aux cyanobactéries et à leurs toxines : amélioration des connaissances et de la gestion des épisodes de fleurs d'eau de cyanobactéries au Québec](#) », résumé de la conférence dans *Forum de transfert sur les cyanobactéries, Programme de recherche en partenariat sur les cyanobactéries*, tenu à Québec, 9 février 2012, Fonds de recherche nature et technologies Québec, 8 p.

LÉVESQUE, Benoît et al., 2014. "[Prospective study of acute health effects in relation to exposure to cyanobacteria](#)", *Science of the Total Environment*, vol. 466-467, n° 1, January 2014, p. 397-403.

MDDEFPa (MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS), 2013. « [Le Réseau de surveillance volontaire des lacs – Les méthodes](#) » dans le site du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du gouvernement du Québec. (Page Web consultée le 18 septembre 2013).

MDDEFP (MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS), 2012. *Climatologie*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec.

MDDEFP (MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS), 2013a. [Liste des plans d'eau touchés par une fleur d'eau d'algues bleu-vert de 2004 à 2012](#), (PDF) 21 p.

MDDEFP (MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS), 2013b. [Critères de qualité de l'eau de surface](#), 3^e édition, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN-978-2-550-68533-3 (PDF), 510 p. et 16 annexes.

MDELCC (MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES), 2014. [Bilan de la gestion des épisodes de fleurs d'eau d'algues bleu-vert en 2013 – Résultats pour les plans d'eau et les installations municipales de production d'eau potable](#), Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-70348-8 (PDF), 20 p.

MIMEAULT, Martin, 18 octobre 2012. (martin.mimeault@mddefp.gouv.qc.ca), *Rapport baie Missisquoi : validation des usages sur la carte*, [Courriel], (sylvie.blais@mddefp.gouv.qc.ca).

MIMEAULT, Martin, 12 août 2014. (martin.mimeault@mddelcc.gouv.qc.ca), *Rapport cyano à la baie Missisquoi / 2 petites phrases de ta part s.v.p. pour la conclusion*, [Courriel], (sylvie.blais@mddelcc.gouv.qc.ca).

MSSS (MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX), 2013a. « [Précautions à prendre en présence d'algues bleu-vert](#) », dans le *Portail santé mieux-être du gouvernement du Québec*. (Page Web consultée le 30 juillet 2013).

MSSS (MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX), 2013b. [Algues bleu-vert – Agissez avec prudence!](#), Gouvernement du Québec, 2 p.

NHMRC et NRMCC, 2011. [Australian Drinking Water Guidelines](#), Paper 6, National Water Quality Management Strategy, Canberra, National Health and Medical Research Council, National Resource Management Ministerial Council, Commonwealth of Australia.

NICHOLSON, Brenton *et al.*, 2007. *Determination and Significance of Emerging Algal Toxins (Cyanotoxins)*, U.S.A, Awwa Research Foundation and Cooperative Research Center for Water Quality and Treatment. Subject Area: High-Quality Water 91170. 140 p.

NORRIS, R.L.G. *et al.*, 2001. "Extraction and Purification of the Zwitterions Cylindrospermopsin and Deoxycylindrospermopsin from *Cylindrospermopsis raciborskii*", *Environmental Toxicology*, vol. 16, n° 5, p. 391-396.

OLIVER, Roderick L. et George G. GANF, 2000. Freshwater bloom, p. 150-194 (Chapter 6), dans Whitton Brian A. et Malcom Potts (éd.), *The Ecology of Cyanobacteria. Their Diversity in Time and Space*. Boston, Kluwer Academic Publishers.

OMS (ORGANISATION MONDIALE POUR LA SANTÉ) 2004. [Directives pour la sécurité des eaux de baignade](#), vol. 1, Eaux côtières et eaux douces, Genève, 15 p.

OSSWALD, Joana *et al.*, 2007. "Toxicology and detection methods of the alkaloid neurotoxin produced by cyanobacteria, anatoxin-a", *Environment International*, vol. 33, n° 8, p. 1070-1089.

PAERL, Hans *et al.*, 2007. "[Global Proliferation of Harmful Cyanobacterial Blooms: The Blooms: Connections to Human-Induced and Climatic Change](#)", dans *27th International Symposium of the North American Lake Management Society*, Lake Buena Vista, Florida, 31 octobre au 2 novembre 2007, 53 diapositives.

PAERL, Hans W. et Valerie PAUL, 2012. "[Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacterial](#)", *Water Research*, vol. 46, n° 5, p. 1349-1363.

PAERL, Hans W. et Timothy G. OTTEN, 2013. "[Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls](#)", *Microbial Ecology*, vol. 65, no 4, p. 995-1010.

PEARSON, Leanne *et al.*, 2010. "[On the chemistry, toxicology and genetics of the cyanobacterial toxins, microcystin, nodularin, saxitoxin and cylindrospermopsin](#)". *Marine Drugs*, vol. 8, n° 5, p. 1650-1680.

PICHÉ, Isabelle, 2000. *Projet exploratoire de détection de cyanobactéries toxiques et de la microcystine-LR au Québec*, Québec, ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec. (Rapport non publié), 17 p. et 2 annexes.

PUDDICK, Jonathan. *et al.*, 2013. "[Structural Characterization of New Microcystins Containing Tryptophan and Oxidized Tryptophan Residues](#)", *Marine Drugs*, vol. 11, n° 8, p. 3025-3045.

ROBERT, Caroline, Hélène TREMBLAY et Christian DEBLOIS, 2004. [Cyanobactéries et cyanotoxines au Québec : suivi à six stations de production d'eau potable \(2001-2003\)](#), Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques

de l'eau et Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Envirodoq n° ENV/2005/0099, 58 p. et 3 annexes.

ROBERT, Caroline, 2008. [Résultats de cyanobactéries et cyanotoxines à sept stations de production d'eau potable \(2004-2006\)](#), Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de l'eau, ISBN 978-2-550-52735-0 (PDF), 23 p. et 2 annexes.

ROSEN, Barry H. *et al.*, 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.

SANTÉ CANADA, 2012. [Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada](#), 3^e édition, Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario), numéro de catalogue H129-15/2012F, 171 p.

SHAMBAUGH, Angela *et al.*, 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.

SHAMBAUGH, Angela, Andy CHEVREFILS et Mike WINSLOW, 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, 105 p.

SMELTZER, Eric, 8 décembre 2011. (Eric.Smeltzer@state.vt.us), *Water residence of Missisquoi Bay*, [Courriel], (martin.mimeault@mddefp.gouv.qc.ca).

U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) 2012. [Cyanobacteria and Cyanotoxins: Information for Drinking Water Systems](#), Office of Water 4304T, EPA-810F11001, 9 p.

VT DEC, 2012. "[Lake Champlain Long-term Monitoring – Lake Monitoring](#)", dans le site Vermont Department of Environmental Conservation. (Page Web consultée le 5 décembre 2012).

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.

WATZIN, Mary C. *et al.*, 2008. [Monitoring and Evaluation of Cyanobacteria in Lake Champlain Summer 2007](#), Technical Report No. 56 for Lake Champlain Basin Program, 55 p.

WATZIN, Mary C. *et al.*, 2009. [Monitoring and Evaluation of Cyanobacteria in Lake Champlain Summer 2008](#), Technical Report No. 59 for Lake Champlain Basin Program and Vermont Agency of Natural Resources, 67 p.

WHO (World Health Organization), 2003. [Guidelines for safe recreational water environments](#), Geneva, vol. 1, Coastal and fresh waters, ISBN 92-4-154580-1, 219 p.

WONNACOTT, Susan et Timothy GALLAGHER, 2006. "[The Chemistry and Pharmacology of Anatoxin-a and Related Homotropans with respect to Nicotinic Acetylcholine Receptors](#)", *Marine Drugs and Ion Channels*, vol. 4, n° 3, p. 228-254.

WOOD, Susanna A., Patrick T. HOLLAND et Lincoln MACKENZIE, 2011. "Development of solid phase adsorption toxin tracking (SPATT) for monitoring anatoxin-a and homoanatoxin-a in river water", *Chemosphere*, vol. 82, n° 6, p. 888-894.

ZAMYADI, Arash *et al.*, 2012. "Toxic cyanobacterial breakthrough and accumulation in a drinking water plant: A monitoring and treatment challenge", *Water Research*, vol. 46, p. 1511-1523.

Annexe 1 (A) Liste des stations et des périodes d'échantillonnage, des nombres d'analyses pour les cyanobactéries et les microcystines et des types de campagnes et (B) Nombre de visites de terrain par année

Annexe 1A : Liste des stations et des périodes d'échantillonnage, des nombres d'analyses pour les cyanobactéries et les microcystines et des types de campagnes dans la baie Missisquoi de 2000 à 2008

Les zones bleutées du tableau correspondent aux stations les plus étudiées.

Station	Période d'échantillonnage ^(1,2)	Nombre d'échantillons par paramètre pour l'ensemble des campagnes ⁽³⁾		Types de campagnes et d'échantillons (n) ⁽⁴⁾		
		CYANO et eucaryotes	MC et anatoxine-a	R	FE	EC
<i>a</i>	24 mai 2000 au 6 novembre 2008	43	32	√ (13)	√ (30)	
<i>b</i>	21 juin 2001 au 6 novembre 2008	47	41	√ (9)	√ (38)	
<i>d1</i>	26 juillet 2001 au 18 juillet 2007	3	3		√ (1S)	
<i>d2</i>	26 juillet 2001 au 22 juillet 2008	17	16		√ (2S)	
<i>d3</i>	21 août 2001	1	1			√
<i>d4</i>	21 août 2001	1	1		√	
<i>d5</i>	21 août 2001	1	1		√	
<i>d6</i>	19 septembre 2001 au 22 juillet 2008	15	15			√
<i>d7</i>	2 octobre 2001	0	1			√
<i>d8</i>	16 juillet 2002 au 6 novembre 2008	38	35	√ (7)	√ (31)	
<i>d9</i>	16 juillet 2002 au 17 juin 2003	3	3		√	
<i>d10</i>	16 juillet 2002 au 19 août 2002	5	5		√	
<i>d11</i>	30 juillet 2002	1	1			√
<i>d12</i>	5 août 2002	1	1			√
<i>d13</i>	19 août 2002 au 9 août 2006	3	4		√ (1S)	√ (3)
<i>d14</i>	17 juillet 2004 au 3 août 2005	2	3			√
<i>d15</i>	19 juillet 2004 au 24 juillet 2006	3	3		√ (1S)	√ (2)
<i>d16</i>	21 juillet 2004	1	1		√	
<i>d17</i>	26 juillet 2005 au 2 août 2006	3	3		√ (2S)	√ (1)
<i>d18</i>	26 juillet 2005	1	1			√
<i>d18 (rivage)</i>	26 juillet 2005	0	1			√ (Ri) ⁽⁵⁾
<i>d19</i>	6 septembre 2005	1	1		√	

Station	Période d'échantillonnage ^(1,2)	Nombre d'échantillons par paramètre pour l'ensemble des campagnes ⁽³⁾		Types de campagnes et d'échantillons (n) ⁽⁴⁾		
		CYANO et eucaryotes	MC et anatoxine-a	R	FE	EC
d20	18 juillet 2006 au 9 août 2006	2	2		√	
d21	24 juillet 2006	1	1			√
d22	24 juillet 2006	1	1		√ (1S)	
d23 ⁽⁶⁾	27 septembre 2006	1	1			√
d23B ⁽⁶⁾	21 août 2006	1	1		√ (1S)	
d24	27 septembre 2006	1	1			√
d25	12 juillet 2007	1	1		√ (1S)	
TOTAL échantillons (incluant d18 rivage)		198	181	29 ⁽⁷⁾	140 ⁽⁸⁾	33 ⁽⁹⁾

(1) Informations tirées en partie de Bowling *et al.* 2014.

(2) Dates du premier échantillon et du dernier.

(3) Un sous-échantillon par date par groupe de paramètres.

(4) En campagnes *régulières* (R) et fleurs d'eau (FE), des échantillons intégrés d'une épaisseur déterminée de la colonne d'eau sont prélevés, alors qu'en *campagnes écumes* (E), ce sont des échantillons ponctuels de surface. Pour des campagnes FE, la lettre « S » signifie que l'échantillon a été prélevé exceptionnellement en surface en raison de contraintes de terrain. Le chiffre qui accompagne le « S » se rapporte au nombre (n) de dates concernées. Lorsque la station a fait l'objet de deux types de campagne d'échantillonnage, les chiffres entre parenthèses correspondent aux nombres (n) de dates propres à chacune des campagnes.

(5) Le « Ri » signifie que l'échantillon a été prélevé sur le rivage dans de l'écume échouée.

(6) Les stations d23 et d23B sont situées respectivement à Venise-en-Québec et à Saint-Armand.

(7) Campagnes R : 29 échantillons pour les cyanobactéries et eucaryotes et 9 pour les cyanotoxines.

(8) Campagnes FE : 140 échantillons pour les cyanobactéries et eucaryotes et 139 pour les cyanotoxines.

(9) Campagnes E : 29 échantillons pour les cyanobactéries et eucaryotes et 33 pour les cyanotoxines.

(Annexe 1B) Nombre de visites de terrain par année à la baie Missisquoi de 2000 à 2008

Années	Nombre de dates de visite ⁽¹⁾
2000	5
2001	13
2002	9
2003	7
2004	8
2005	7
2006	7
2007	5
2008	4
Total	65 ⁽²⁾

(1) Avec observations et échantillonnage.

(2) Moyenne de 7,2 visites par année.

Annexe 2 Méthodes d'analyse employées au CEAEQ

Paramètres	Méthodes d'analyse
CYANO et algues eucaryotes ⁽¹⁾	<i>Identification, dénombrement et estimation du biovolume des cyanobactéries et des algues.</i> (Identification surtout à l'espèce pour les cyanobactéries et au genre pour les eucaryotes.) Microscope droit Leica puis, à partir d'août 2003, microscope inversé.
MC et anatoxine-a ⁽²⁾	Détermination des cyanotoxines dans les eaux de surface : dosage par chromatographie liquide couplé à un spectromètre de masse de type MS/MS. Analyse des formes extracellulaires (libres dans l'eau) et intracellulaires. Variantes de MC analysées : LR, YR, RR.
Saxitoxine, néosaxitoxine et cylindrospermopsine ⁽³⁾	Détermination des cyanotoxines dans les eaux de surface : dosage par injection directe en chromatographie liquide couplé à un spectromètre de masse de type MS/MS. Analyse des formes extracellulaires (libres dans l'eau) et intracellulaires.
pH ⁽⁴⁾	Méthode avec un titrateur automatique.

- (1) Bastien 2012.
(2) Deblois 2012a.
(3) Deblois 2012b.
(4) Dassylva 2012.

Annexe 3 Cyanobactéries et algues eucaryotes dans les échantillons de la baie Missisquoi pour l'ensemble des stations et des campagnes de 2000 à 2008

Taxon	Année								
	n échantillons								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	5	30	32	25	28	21	29	19	13
Cyanobactéries à potentiel toxique^(1a)									
1. <i>Anabaena circinalis</i>						√			
2. <i>Anabaena flos-aquae</i> ^(1a, 1b)	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3. <i>Anabaena planctonica</i>					√		√	√	
4. <i>Anabaena spiroides</i>		√	√	√	√	√	√	√	√
5. <i>Anabaena</i> sp.		√						√	√
6. <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>		√	√	√	√	√	√	√	√
7. <i>Aphanizomenon</i> sp.		√							
8. <i>Coelosphaerium kuetzingianum</i>	√							√	
9. <i>Coelosphaerium naegelianum</i>			√						
10. <i>Gloeotrichia echinulata</i> ^(1a, 1b)				√	√	√	√		
11. <i>Gomphosphaeria lacustris</i>						√			
12. <i>Microcystis</i> sp. ^(1a, 1b, 2)		√ ⁽²⁾	√ ⁽²⁾	√ ⁽²⁾	√ ⁽²⁾	√	√	√	√
13. <i>Microcystis aeruginosa</i> ^(1a, 1b)						√	√		√
14. <i>Microcystis flos-aquae</i>						√			√
15. <i>Microcystis viridis</i>					√	√			
16. <i>Microcystis wesenbergii</i>							√		
17. <i>Planktothrix aghardii</i>			√	√					
18. <i>Woronichinia naegeliana</i>	√								
Total ⁽¹⁾	3	6	6	6	7	10	8	7	7
Autres cyanobactéries⁽³⁾									
1. <i>Anabaena crassa</i> ⁽⁴⁾		√		√		√	√		√
2. <i>Aphanizomenon gracile</i>		√							√
3. <i>Aphanocapsa delicatissima</i> ⁽⁵⁾		√	√		√	√	√	√	√
4. <i>Aphanocapsa elachista</i>		√	√		√	√		√	
5. <i>Aphanocapsa planctonica</i> ⁽⁵⁾					√				
6. <i>Aphanocapsa</i> sp. ⁽¹⁾						√			
7. <i>Aphanothece bachmanii</i> ^(5, 6)	√	√	√		√		√	√	√
8. <i>Aphanothece clathrata</i> ⁽⁵⁾		√							√
9. <i>Aphanothece microspora</i>		√							√
10. <i>Aphanothece smithii</i>								√	
11. <i>Chroococcus dispersus</i>		√	√	√	√	√		√	√
12. <i>Chroococcus dispersus</i> var. <i>minor</i>				√	√	√			
13. <i>Chroococcus limneticus</i>	√			√	√	√		√	√
14. <i>Chroococcus minutus</i>						√	√		
15. <i>Chroococcus</i> sp.							√		
16. <i>Coelomoron</i> sp.									√
17. <i>Lyngbya limnetica</i> ⁽⁵⁾		√			√				
18. <i>Lyngbya mucicola</i> ⁽⁵⁾						√			
19. <i>Merismopedia glauca</i>		√			√				
20. <i>Merismopedia minima</i>							√		
21. <i>Merismopedia punctata</i>		√			√	√		√	√
22. <i>Merismopedia tenuissima</i> ⁽⁵⁾						√		√	√
23. <i>Oscillatoria limnetica</i>		√		√	√		√		
24. <i>Oscillatoria tenuis</i>						√	√		√
25. <i>Oscillatoria lauterbonii</i>			√			√			
26. <i>Oscillatoria utermoehlii</i>		√	√		√				

Taxon	Année								
	n échantillons								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	5	30	32	25	28	21	29	19	13
27. <i>Phormidium mucicola</i>		√	√	√	√	√	√		
28. <i>Planktolyngbya</i> sp.									√
29. <i>Pseudanabaena limnetica</i>								√	√
30. <i>Pseudanabaena mucicola</i>									√
31. <i>Pseudanabaena</i> sp.									√
32. <i>Rhabdoderma lineare</i>			√				√		
Total ⁽²⁾	2	14	8	6	13	14	10	9	16
Total de tous les taxons de cyanobactéries	5	20	14	12	20	24	19	16	23
Algues eucaryotes									
Bacillariophycée	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Chlorophycée	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Chrysophycée	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Cryptophycée	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Dinophycée	√			√			√	√	√
Euglenophycée			√		√	√	√	√	√
Nombre de genres d'eucaryotes	31	31	32	28	30	39	37	38	43

^(1a) On compte 18 taxons de cyanobactéries à potentiel toxique (CYANOTOX) qui se résument à 15 espèces différentes (en présumant que *Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp. et *Microcystis* sp. seraient inclus dans ces espèces si l'identification avait pu être plus poussée). Selon les résultats de la section 3.4, les taxons indiqués en caractères gras (*Anabaena flos-aquae*, *Gloeotrichia echinulata*, *Microcystis* sp. et *Microcystis aeruginosa*) compteraient sûrement au moins une souche toxique dans la BM.

^(1b) N. B. : Le potentiel de *Anabaena flos-aquae*, *Gloeotrichia echinulata*, *Microcystis* sp. et *Microcystis aeruginosa* à produire des MC dans la BM est appuyé par les résultats de la présente étude. *A. flos-aquae* y aurait produit aussi de l'anatoxine-a (section 3.4).

⁽²⁾ De 2001 à 2004, les espèces *Microcystis aeruginosa* et *Microcystis flos-aquae* ont été considérées comme le genre *Microcystis* sp.

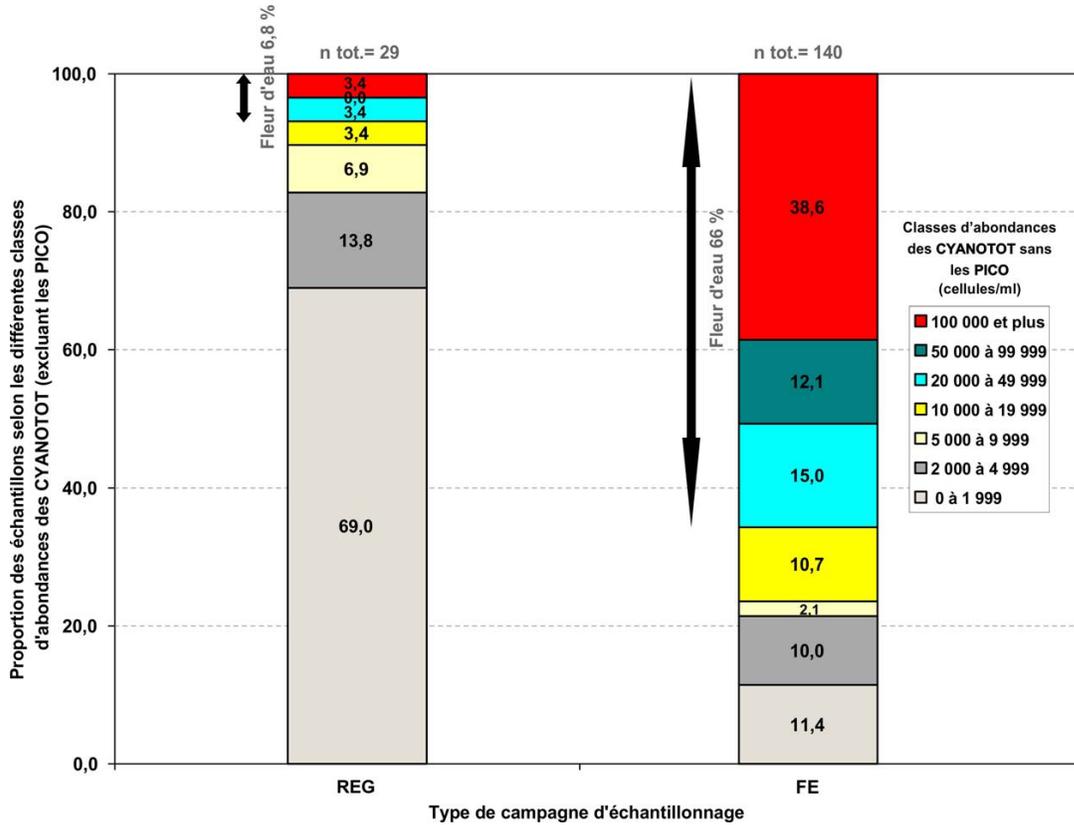
⁽³⁾ On compte 32 taxons d'autres cyanobactéries qui se résument à 27 espèces et 5 genres (en présumant que *Aphanocapsa* sp., *Chroococcus* sp. et *Pseudanabaena* sp. seraient inclus dans les espèces répertoriées si leur identification avait pu être plus poussée).

⁽⁴⁾ Ancien nom = *Anabaena spiroides* var. *crassa*.

⁽⁵⁾ Taxons considérés comme des picocyanobactéries avec moins de 2 µm de diamètre pour les cellules sphériques ou de longueur pour les cellules des autres formes. Le document CEAEQ (2012) est ici utilisé pour classer les taxons selon les biovolumes.

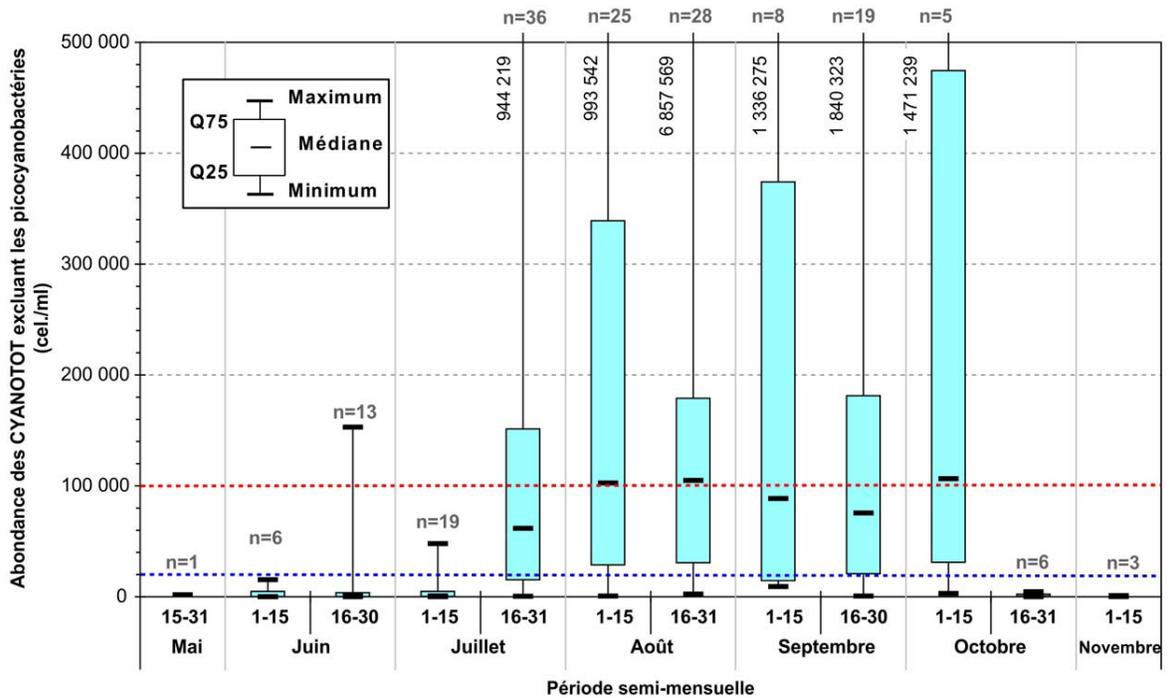
⁽⁶⁾ De 2000 à 2004, l'espèce *Aphanothece bachmanii* avait été identifiée par le CEAEQ sous son ancien nom, qui est *Aphanothece clathrata* var. *brevis*.

Annexe 4 Proportions des échantillons selon différentes classes d'abondances de CYANOTOT excluant les picocyanobactéries en *campagnes régulières* et *fleurs d'eau* pour l'ensemble des stations de 2000 à 2008* à la baie Missisquoi



*En 2000, il y a eu seulement des *campagnes régulières* (R), étant donné qu'aucune fleur d'eau (FE) n'avait été vue sur le terrain

Annexe 5 Abondances semi-mensuelles des CYANOTOT excluant les picocyanobactéries en campagnes régulières et fleurs d'eau de 2000 à 2008 à la baie Missisquoi et dépassement des seuils en CYANOTOT pour désigner la présence d'une fleur d'eau (ligne bleue) ou pour protéger les usages récréatifs (ligne rouge)



Annexe 6 (A) Concentrations en MC-LR TEQ des échantillons d'écume selon les secteurs et les stations et (B) Répartition semi-mensuelle des échantillons d'écume (excluant l'échantillon prélevé sur la rive en juillet 2004)

Annexe 6 A Concentrations en MC-LR TEQ des échantillons d'écume à la baie Missisquoi de 2001 à 2008 selon les secteurs et les stations

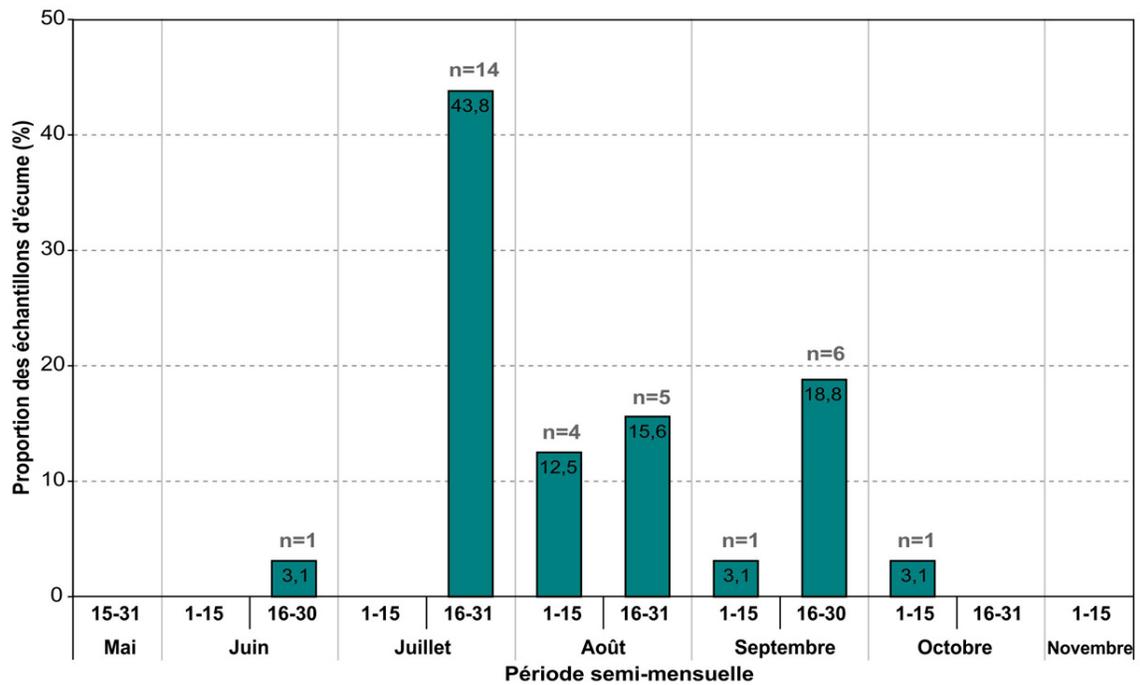
Secteur	Station ⁽¹⁾	Usage majeur sur place ou à proximité ⁽¹⁾	Date	Statistiques descriptives			
				n	Minimum (µg/l)	Médiane (µg/l)	Maximum (µg/l)
Baie de Venise	d11	Plage publique surveillée	2002-07-30	1	319,02		319,02
	d12	Plage publique surveillée	2002-08-05	1	1 090,21		1 090,21
	d13	Plage publique non surveillée	2002-08-19 2003-07-29 2004-07-17	3	0,09	43,85	93,42
	d17	Plage publique surveillée	2004-07-26	1	30,05		30,05
	d18	Quai de Venise-en-Québec	2004-07-26	1	58,01		58,01
	d18 rivage ⁽²⁾	Quai de Venise-en-Québec	2004-07-26	1	421,30		421,30
	d23	Plages publiques surveillées	2006-09-27	1	0,22		0,22
	d24	Plages publiques surveillées	2006-09-27	1	0,11		0,11
	Toutes			10 ⁽²⁾	0,09	50,93	1 090,21
Est de la BM	d3		2001-08-21	1	0,28		0,28
	d6	Quai de Saint-Armand, rampe de mise à l'eau et pourvoyeur	Toutes les années sauf 2007 (mois variables : 06, 07 et 08) ⁽³⁾	15	2,56	163,21	33 540,16
	d7	Camping et plage publique non surveillée	2001-10-02	1	2 204,08		2 204,08
	d14		2004-07-17 2004-08-02 2005-08-03	3	6,51	146,34	1 610,54
	d15	Plage publique surveillée	2004-07-19 2004-07-26 2006-07-24	2	105,65		313,61
	d21	Camping et plage publique non surveillée	2006-07-24	1	559,29		559,29
	Toutes			23	0,28	163,21	33 540,16
Tous	Toutes			33 ⁽²⁾	0,09	144,08	33 540,16

(1) Certaines stations sont devenues inaccessibles avec le temps (accès refusé par les propriétaires).

(2) L'échantillon d'écume échouée et séchée et sur le rivage a été prélevé à la même date que celui prélevé à la station d18 dans l'eau. L'échantillon d'écume échouée sur le rivage est retenu seulement pour ce tableau.

(3) Dates disponibles à la figure 21.

Annexe 6B Répartition semi-mensuelle des échantillons d'écume à la baie Missisquoi de 2001 à 2008 (excluant l'échantillon prélevé sur la rive en juillet 2004)



Annexe 7 Statistiques descriptives de 2009 à 2012 des douze variantes de MC⁽¹⁾ et dépassements des seuils en MC-LR TEQ dans le cadre du Plan de gestion des épisodes de fleurs d'eau de cyanobactéries à la baie Missisquoi⁽²⁾

Échantillon 0-1 m dans une fleur d'eau															
	MC-LR	MC-YR	MC-RR	MC-LR TEQ excluant MC-LA	MC-LA	MC-LR TEQ incluant MC-LA ⁽⁵⁾	MC-LY	MC-LW	MC-LF	MC-WR	(D- Asp3) MC-LR	(D- Asp3) MC-RR	MC-HiIR	MC-HtyR	
Minimum ⁽³⁾	0,02	0,01	0,02	0,026	0,03	0,026	0,04	0,01	0,03	0,04	0,06	0,03	1,3	0,01	
Médiane ⁽³⁾	0,16	0,04	0,18	0,244	0,13	0,278	0,09	0,07	0,06	2,07	3,13	0,04	1,3	0,02	
Maximum ⁽³⁾	200	78	1 200	398	17	415	0,5	0,1	0,09	4,1	6,2	19	1,3	17	
n ≥ LDM	33	18	28	33	19	33	9	2	2	2	2	5	1	8	
n total ⁽⁴⁾	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	17	17	17	17	
% n ≥ LDM	94	51	80	94	54	94	26	6	6	6	12	29	6	47	
n ≥ 1,5 mg/l MC-LR TEQ	N/A	N/A	N/A	5	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
n ≥ 16 mg/l MC-LR TEQ	N/A	N/A	N/A	1	N/A	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Échantillon de surface dans une fleur d'eau															
	MC-LR	MC-YR	MC-RR	MC-LR TEQ excluant MC-LA	MC-LA	MC-LR TEQ incluant MC-LA ⁽⁵⁾	MC-LY	MC-LW	MC-LF	MC-WR	(D- Asp3) MC-LR	(D- Asp3) MC-RR	MC-HiIR	MC-HtyR	
Minimum ⁽³⁾	0,01	0,02	0,03	0,006	0,02	0,006	0,01	0,02	0,04	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	
Médiane ⁽³⁾	0,39	0,09	0,4	0,479	0,3	0,625	0,12	0,05	0,04	0,08	0,1	0,165	0,046	0,185	
Maximum ⁽³⁾	9,2	9	83	55,3	26	81,3	1,8	0,21	0,04	0,5	1,6	5,1	0,1	2	
n ≥ LDM	45	28	37	46	30	46	21	5	1	4	8	10	5	8	
n total ⁽⁴⁾	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	47	47	47	47	
% n ≥ LDM	87	54	71	88	58	88	40	10	2	8	17	21	11	17	
n ≥ 1,5 mg/l MC-LR TEQ	N/A	N/A	N/A	9	N/A	13	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
n ≥ 16 mg/l MC-LR TEQ	N/A	N/A	N/A	3	N/A	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

Échantillon de surface dans une écume															
	MC-LR	MC-YR	MC-RR	MC-LR TEQ excluant MC-LA	MC-LA	MC-LR TEQ incluant MC-LA ⁽⁵⁾	MC-LY	MC-LW	MC-LF	MC-WR	(D- Asp3) MC-LR	(D- Asp3) MC-RR	MC-HiIR	MC-HtyR	
Minimum	0,07	0,05	1,1	0,2	0,5	0,2	0,08	0,05	0,92	0,1	0,2	0,3	0,1	0,01	
Médiane	13	3,1	50,5	25	9	41,97	2,1	0,53	1,9	1,05	1,2	5,5	0,8	2	
Maximum	220	38	980	263	360	482,7	50	11	11	1,6	9,9	110	2,6	2,7	
n ≥ LDM	27	26	26	27	21	27	22	7	3	6	12	14	7	11	
n total ⁽⁴⁾	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	16	16	16	16	
% n ≥ LDM	96	93	93	96	75	96	79	25	11	21	75	88	44	69	
n ≥ 1,5 mg/l MC-LR TEQ	N/A	N/A	N/A	23	N/A	24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
n ≥ 16 mg/l MC-LR TEQ	N/A	N/A	N/A	16	N/A	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

(1) Les variantes MC-LR, MC-YR et MC-RR étaient les seules analysées avant 2009.

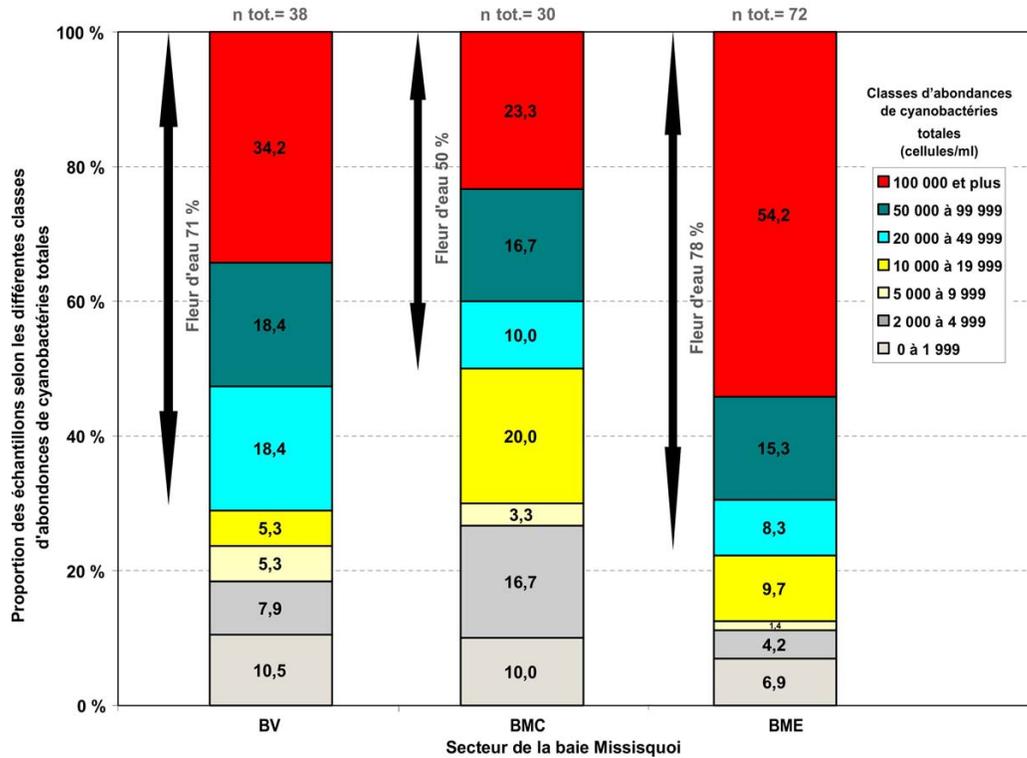
(2) Les statistiques et résultats proviennent de Bourbonnais 2013 et 2014b.

(3) Les minimums, médianes et maximums sont calculés seulement à partir des résultats au-dessus de la LDM.

(4) n Total = n de tous les échantillons.

(5) Un facteur de la toxicité équivalente à la MC-LR de 1 a été proposé pour la MC-LA (Groupe scientifique sur l'eau 2005).

Annexe 8 Proportion des échantillons selon différentes classes d'abondances de CYANOTOT en campagnes fleurs d'eau de 2000 à 2008 dans les trois secteurs de la baie Missisquoi



BV : baie de Venise
 BMC : BM au centre, soit la station a
 BME : BM à l'est de la pointe Jameson

Annexe 9 Groupes d'algues dominantes dans les échantillons faux positifs⁽¹⁾ en campagnes fleurs d'eau aux stations a, b, d2 et d8 de la baie Missisquoi avec ou sans picocyanobactéries

10 à 19 %	20 à 39 %	40 à 59 %	60 à 79 %	80 à 100 %
-----------	-----------	-----------	-----------	------------

Station	Année	Mois	Jour	Période de vacances ⁽²⁾	Classes d'algues dominantes en biomasse par ordre décroissant ⁽³⁾					Biomasse Eucaryotes / Algues	Algues tot. ⁽⁴⁾	
					CYANO	Eucaryotes					Abondance (cel./ml)	Biomasse (mg/m ³)
						DIATOM	CRYPTO	CHLORO	DINO			
a	2002	10	22			1	2			98,5	6 401	4 926
a	2003	6	17			1	2			96,4	4 396	3 401
a	2003	7	2	√			1			94,6	1 888	1 507
a	2003	9	17		1	2	3			56,2	14 577	3 226
a	2004	8	16	√	1		2			24,7	16 237	3 412
a	2005	7	7	√	2	1	3			82,9	3 490	1 962
a	2005	8	16	√	2	1				64,9	22 540	7 487
a	2005	9	6	√	2	1				76,5	15 809	7 107
a	2006	7	18	√	1	2	3			63,1	11 713	1 618
a	2006	8	21	√	1	3	2			32,8	15 100	895
a	2007	7	12	√		2	1	3		100,0	2 168	899
a	2007	8	13	√			2	1		99,5	6 585	5 944
a	2007	9	18				2		1	95,5	9 299	4 223
a	2007	10	17			2	1			93,4	3 791	609
a	2008	11	6				1			99,9	5 170	12 437
b	2001	7	31	√	2	3	1			69,7	16 777	3 048
b	2002	10	22			2	1			97,0	4 001	3 376
b	2003	7	2	√	3		1	2		88,1	9 750	1 953
b	2007	7	12	√		2	1			99,7	4 863	4 589
b	2007	8	13	√	3		1	2		86,4	10 933	3 276
b	2007	9	18						1	98,9	14 834	59 792
b	2007	10	17			3	1		2	99,2	1 618	1 289
b	2008	11	6				1			99,5	4 900	9 984
d2	2001	7	26	√	2	3	1			65,9	13 725	1 027
d2	2007	10	17		1	3	2			21,0	4 952	1 492
d2	2008	7	22	√	3	4	2	1		83,3	23 270	6 550
d8	2003	7	2	√	2		1	3		74,8	7 862	17 120
d8	2005	9	6	√	1	3	2	3		62,8	10 765	2 521
d8	2006	7	18		3		2	4	1	79,4	7 946	1 315
d8	2006	8	9		1		2			41,5	18 318	1 676
d8	2007	7	12	√		2	1			100,0	1 400	2 662
d8	2007	8	13	√			1	2		85,4	5 259	1 645
d8	2007	9	18		3		2		1	89,0	4 759	4 300

Station	Année	Mois	Jour	Période de vacances ⁽²⁾	Classes d'algues dominantes en biomasse par ordre décroissant ⁽³⁾					Biomasse Eucaryotes / Algues	Algues tot. ⁽⁴⁾	
					CYANO	Eucaryotes					Abondance (cel./ml)	Biomasse (mg/m ³)
						DIATOM	CRYPTO	CHLORO	DINO			
d8	2007	10	17				1		2	99,5	1 980	1 178
d8	2008	7	22	√		3	1	2		99,1	3 907	3 619
d8	2008	8	26	√	3	1	2			81,6	11 223	1 362
d8	2008	11	06				1			99,8	2 418	4 482
n échantillons				n	n ≥ 50 %							
37				21	33							
					n ≥ 60 %							
					32							
					n ≥ 80 %							
					24							

⁽¹⁾ Échantillons sous le seuil « fleur d'eau » de 20 000 cel./ml de CYANOTOT, alors que le personnel technique sur le terrain croyait avoir observé une fleur d'eau de CYANO (*campagne fleur d'eau*). Aucun échantillon faux positif en 2000.

⁽²⁾ Vacances estivales considérées du 20 juin au 7 septembre débutant un peu avant la fête de la Saint-Jean-Baptiste et se terminant vers la fête du travail : période la plus intensive d'activités récréatives de contact direct avec les eaux.

⁽³⁾ Données adaptées de Bowling *et al.* 2014. CYANO : cyanobactéries; DIATOM : diatomées, CRYPTO : cryptophycées; CHLORO : chlorophycées; DINO : dinophycées.

⁽⁴⁾ Eucaryotes et cyanobactéries (incluant les picocyanobactéries).

Annexe 10 Comparaison de la médiane et du maximum en CYANOTOT et en MC-LR TEQ entre la station d2 de la baie Missisquoi et la prise d'eau brute de l'installation de production d'eau potable de Bedford durant les périodes communes d'échantillonnage

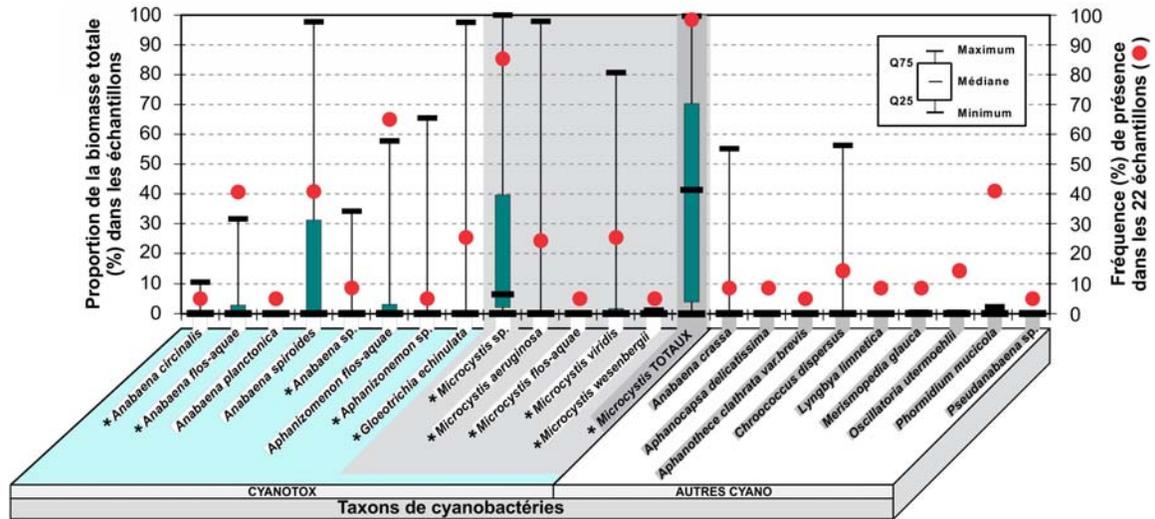
Paramètre		2001			2004		
		Station d2	Eau brute ⁽¹⁾	Ratio d2/Eau brute	Station d2	Eau brute ⁽²⁾	Ratio d2/Eau brute
CYANOTOT	Période commune ⁽³⁾	Juillet à septembre			Juillet et août		
	n	7	9	N/A	4	4	N/A
	Médiane (cel./ml)	542 623	28 216	19,2	77 753	30 439	2,6
	Maximum (cel./ml)	1 840 323	1 074 144	1,7	262 869	45 050	5,8
MC-LR TEQ	Période commune ⁽³⁾	Août à mi-septembre			Juillet et août		
	n	4	5	N/A	4	4	N/A
	Médiane (µg/l)	0,66	0,29	2,3	1,35	0,81	1,7
	Maximum (µg/l)	1,76	3,54	0,5	1,54	1,14	1,4

(1) Robert *et al.* 2004 pour les CYANOTOT; adapté de Robert *et al.* 2004 pour la MC-LR TEQ.

(2) Robert 2008 pour les CYANOTOT; adapté de Robert 2008 et de Ellis 2012 pour la MC-LR TEQ.

(3) Les dates ou moments d'échantillonnage n'étaient toutefois pas les mêmes.

Annexe 11 Fréquence de présence des taxons de cyanobactéries et proportion de leur biomasse dans les 22 échantillons de plus de 16 µg/l de MC-LR TEQ de la baie Missisquoi de 2001 à 2008



*Taxons de CYANOTOX susceptibles de produire des MC selon la littérature inventoriée dans Blais *et al.* (2008).

À noter :

- Les résultats se rapportent à 1 échantillon de fleur d'eau et à 21 échantillons d'écume.
- Pendant quatre des huit ans de suivi, soit de 2001 à 2004, les espèces *Microcystis aeruginosa* et *Microcystis flos-aquae* ont été considérées comme le genre *Microcystis* sp. De 2005 à 2008, des CYANO ont été identifiées comme *Microcystis* sp. seulement lorsque l'identification à l'espèce était impossible. C'est pour cette raison que sur l'ensemble des huit années, les *Microcystis* sp. correspondent à une forte proportion des *Microcystis* totaux.

Annexe 12 Statistiques descriptives du pH et dépassements du seuil maximal pour la protection des activités récréatives en fonction des groupes de densités des CYANOTOT à la baie Missisquoi de 2000 à 2008 pour l'ensemble des stations

Situation ⁽¹⁾ (abondance de CYANOTOT en cel./ml)	n	Statistiques descriptives					Dépassement du critère maximal ⁽²⁾ n pour pH \geq 9 (%)
		Minimum	Q25	Médiane	Q75	Maximum	
Sans FE (sous 20 000)	134	6,60	7,70	7,80	7,90	9,00	1 (0,7 %)
FE-1 (20 000 à 99 999)	97	6,10	7,70	8,10	8,50	9,70	12 (12 %)
FE-2A (100 000 à 499 999)	58	5,30	8,25	8,70	9,00	9,60	18 (31 %)
FE-2B (500 000 et plus)	18	6,80	8,76	8,95	9,40	9,90	9 (50 %)
Écume	12 ⁽³⁾	8,06	9,03	9,44	9,75	10,0	9 (75 %)

(1) FE : fleur d'eau.

(2) Selon MDDEFP 2013b, il devrait être acceptable de se baigner dans une eau dont le pH se situe entre 5,0 et 9,0. Si le pouvoir tampon de l'eau est très faible, critères de 6,5 à 8,5.

(3) Données de pH disponibles exceptionnellement dans de l'écume (non prévues au protocole).

Annexe 13 Variation de la détection visuelle d'une population de *Anabaena circinalis* et d'autres espèces selon l'expérience de l'observateur

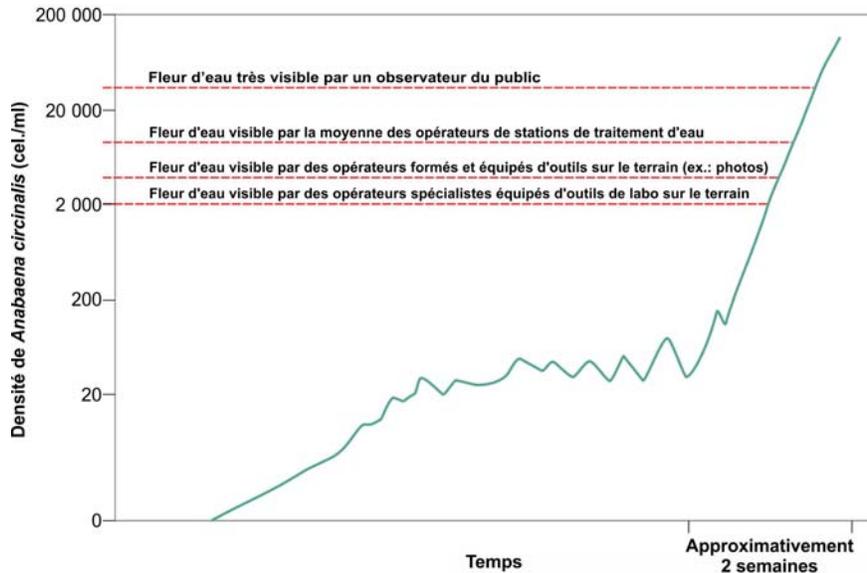


Figure constituant un extrait de celle de Blue-Green Algae Task Force (1992)

A. circinalis est très visible par des observateurs du public à partir d'environ 40 000 cel./ml. Cette espèce a été identifiée une seule fois de 2000 à 2008 à la BM. À titre d'exemple dans le tableau ci-après, le biovolume de cette espèce ainsi que son abondance minimale pour être très visible sont comparés à ceux d'espèces communément retrouvées dans la BM (annexe 3).

Espèce	Biovolume (μm^3) ⁽¹⁾	Rapport de biovolumes <i>A. circinalis</i> / espèce x	Abondance minimale pour être très visible par le public (cel./ml) ⁽²⁾
Toxique ou à potentiel toxique			
<i>Anabaena circinalis</i>	449	1/1	40 000 ⁽³⁾
<i>Anabaena flos-aquae</i>	151	3/1	118 940
<i>Anabaena planctonica</i>	1 437	1/3	12 498
<i>Anabaena spiroides</i>	268	2/1	67 015
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	89	5/1	201 798
<i>Gloeotrichia echinulata</i>	98	5/1	183 265
<i>Microcystis aeruginosa</i>	65	7/1	276 308
<i>Planktothrix aghardii</i>	102	4/1	176 078
Autre			
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	0,22	2 041/1	81 636 364
<i>Chroococcus dispersus</i>	48	9/1	374 167
<i>Phormidium mucicola</i>	15	30/1	1 197 333

⁽¹⁾ Le biovolume cellulaire moyen de l'espèce *A. circinalis* concernée par cette figure serait de $449 \mu\text{m}^3$; il a été calculé à partir de données ne provenant pas de l'Amérique du Nord (Komárek *et al.* 2007). Les biovolumes cellulaires des autres espèces sont des valeurs québécoises tirées de CEAEQ 2012.

⁽²⁾ Abondance des différentes espèces évaluée à partir de l'abondance approximative associée à *A. circinalis* ainsi que le rapport de biovolume entre cette espèce et l'espèce x, et ce, dans l'hypothèse d'une communauté monospécifique.

⁽³⁾ Abondance approximative pour que *A. circinalis* soit très visible (selon figure tirée de Blue-Green Algae Task Force, 1992). Si l'on considère le rapport de biovolumes de *A. circinalis* sur celui d'autres espèces toxiques ou à potentiel toxique retrouvées dans la BM, il ressort que pour bon nombre d'espèces, l'abondance minimale pour être visible par des citoyens ou touristes dépasserait le seuil de 100 000 cel./ml de CYANOTOT pour les eaux récréatives. Par exemple, pour l'espèce *Microcystis aeruginosa*, qui est très commune dans la BM, il faudrait au moins près de 275 000 cel./ml pour qu'elle soit visible.