
Références

- (1) Santé Canada (2021). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique : les toxines cyanobactériennes, https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/recommandations-pour-qualite-eau-potable-canada-document-technique-toxines-cyanobacteriennes-document.html#1_0_Recommandation
- (2) Analysis of individual and total microcystins in surface water by on-line preconcentration and desalting coupled to liquid chromatography tandem mass spectrometry; G. Munoz, S. Vo Duy, A. Roy-Lachapelle, B. Husk, S. Sauvé, *Journal of Chromatography A*, (2017) 1516:9-20.
- (3) Règlement sur la qualité de l'eau potable, Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2, a. 31, 45, 45.2, 46, 87, 115.27, 115.34 et 124.1), chapitre Q-2, r. 40.
- (4) Santé Canada (2022). Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada - Les cyanobactéries et leurs toxines Cat. : H129-129/2022F-PDF, ISBN : 978-0-660-41542-0
- (5) Groupe scientifique sur l'eau (2017). Cyanobactéries et cyanotoxines dans l'eau potable et l'eau récréative. Dans *Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine*. Repéré sur le site de l'Institut national de santé publique du Québec : <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/cyanobacteries>.
- (6) Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries (3e édition)
(http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/cyanobacteries/guide.htm)
- (7) U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2015. Drinking Water Health Advisory for Two Cyanobacterial Toxin. EPA 820F15103, Washington, DC; June 2015.
- (8) U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2017. Recommendations for Cyanobacteria and Cyanotoxins Monitoring in Recreational Waters. EPA 820-R-17-001, Washington, DC; June 2017.
- (9) U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2015. Recommendations for Public Water Systems to Manage Cyanotoxins in Drinking Water. EPA 815-R-15-010, Washington, DC; June 2015.
- (10) Les significations environnementales dans ce document sont adaptées du site du Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), section eau (<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/guides-protocoles.htm>).
- (11) Les significations environnementales dans ce document proviennent du site du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) (http://www.ceaeg.gouv.qc.ca/methodes/methode_para.htm).
- (12) Ces trois mesures ont été adaptées du protocole de mesure proposé par Water Rangers (<https://waterrangers.ca/fr/>). Cette organisation à but non lucratif propose aux citoyens des kits de mesure de la qualité d'eau.
- (13) Algues bleu vert - Pour connaître la manière de se protéger en présence d'une fleur d'eau d'algues bleu vert ou pour s'informer à ce sujet (<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/algues-bv/precautions.htm>).
- (14) Prévenir les effets sur la santé liés aux algues bleu vert (<https://www.quebec.ca/sante/conseils-et-prevention/sante-et-environnement/algues-bleu-vert/#precautions-a-prendre-en-presence-d-algues-bleu-vert>).
- (15) Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et Conseil régional de l'environnement des Laurentides (CRE Laurentides), 2017. Protocole d'échantillonnage de la qualité de l'eau, 4e édition, Québec, Direction de l'information sur les milieux aquatiques, ISBN 978-2-550-78284-1 (PDF), 9 p.
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rsvl/protocole-echantill-qualite.pdf>
- (16) L'analyse génomique de type 16S <https://www.youtube.com/watch?v=fCd6B5HRaZ8>
- (17) Detection of Cyanotoxins in Algae Dietary Supplements; A. Roy-Lachapelle, M. Sollicec, M. F. Bouchard and S. Sauvé, *Toxins* (2017), *Toxins* 2017, 9(3), 76.
- (18) Fecal coliforms, caffeine and carbamazepine in stormwater collection systems in a large urban area; S. Sauvé, K. Aboufadel, S. Dorner, P. Payment, G. Deschamps, M. Prévost (2012), *Chemosphere* 86 (2012) 118–123.
- (19) Evaluating pharmaceuticals and caffeine as indicators of fecal contamination in drinking water sources of the Greater Montreal region; A. Daneshvar, K. Aboufadel, L. Viglino, R. Broséus, S. Sauvé, AS. Madoux-Humery, GA. Weyhenmeyer, M. Prévost (2012), *Chemosphere* 88 (2012) 131–139.
- (20) The distribution dynamics and desorption behaviour of mobile pharmaceuticals and caffeine to combined sewer sediments; M. Hajj-Mohamad, H. Darwano, S. Vo Duy, S. Sauve, M. Prevost, H.P.H. Arp, S. Dorner (2016), *Water Research* 108 (2017) 57e67.
- (21) WHO (2022) Chemical fact sheets: Microcystins (cyanobacterial toxins)

Remerciements à Mme Stéphanie McFayden (Santé Canada), Mme Sylvie Blais (MELCC) et à Mme Célia Kodja (UdeM) pour leur contribution à la rédaction du rapport.

ADOpte UN LAC

Université de Montréal, Campus MIL, Département de chimie
1375, Avenue Thérèse-Lavoie-Roux, Montréal (QC) H2V 0B3
<https://fas.umontreal.ca/adopte-un-lac/>

Annexe 1 : Méthodes d'analyses

Pour les 12 variantes de microcystines (MC) et les six autres cyanotoxines, les échantillons sont analysés en spectrométrie de masse à haute résolution par le biais d'étalons certifiés. La valeur MC_{tot} est la mesure de l'ensemble d'environ 200 variantes de microcystines (les 12 variantes y compris). Le MC_{tot} est analysé par la méthode MMPB².

Annexe 2 : Cyanotoxines, abréviation et types d'effets toxiques

Tableau 1. Cyanotoxines, abréviation et types d'effets toxiques

Microcystines (MC)		
Mode de toxicité connu à ce jour: Hépatotoxicité connue ¹ (dommages au foie)		
Microcystine-RR	Microcystine -LA	[D-Asp3]-RR (dmMC-RR)
Microcystine -YR	Microcystine -LY	HtyR (MC- HtyR)
Microcystine -LR	Microcystine -LW	[D-Asp3]-LR (dmMC- LR)
Microcystine -WR	Microcystine -LF	HilR (MC- HilR)
Autres cyanotoxines		Mode de toxicité connu à ce jour
Anatoxine-a (ANA-A)		Neurotoxique (dommages au système nerveux)
Homoanatoxine-a (HANA-a)		Neurotoxique
Anabaenopeptin-A (AP-A)		Cytotoxique (dommages aux cellules)
Anabaenopeptin-B (AP-B)		Cytotoxique
Cylindrospermopsine (CYN)		Hépatotoxique et cytotoxique

Annexe 3 : Autres recommandations et risques pour la santé

Santé Canada recommande que lorsque de faibles niveaux de MC_{tot} dans l'eau traitée sont détectés au-dessus de 400 ng/l, les autorités de l'eau potable devraient informer le public dans la zone affectée afin qu'une autre source appropriée d'eau (eau en bouteille) soit utilisée pour reconstituer la préparation de lait pour nourrisson¹. Le *Australian National Health and Medical Research Council* a établi une recommandation maximale de 1300 ng/l de MC_{tot} ¹. Aux États-Unis, la *Environmental Protection Agency* (EPA), n'a pas établi de règlements ou directives pour les cyanotoxines. Cependant, en 2015 l'EPA a émis des avis de santé de l'eau potable recommandant une exposition maximale de 300 ng /l pour les microcystines (MC_{tot}) et de 700 ng/l pour cylindrospermopsine (CYN), pour les enfants de moins de six ans⁷. Des concentrations maximales de 1600 ng/l de microcystines (MC_{tot}) et de 300 ng/l cylindrospermopsine (CYN) sont recommandées pour les adultes⁹. Plusieurs états ont développé leur propre guide d'action personnalisé pour la surveillance des eaux de récréation et pour aider les gestionnaires des réseaux d'eau⁸. Il faut noter que les recommandations et les avis ne sont pas des réglementations légales. Pour les eaux récréatives, ces valeurs ne sont plus utilisées dans la gestion des épisodes de fleurs d'eau. À cet effet, le MSSS recommande aux gens de reconnaître une fleur d'eau avec les outils du MELCC (guide d'identification)⁶ et le cas échéant de respecter les précautions à prendre recommandées par le MSSS⁵.

ADOPTÉ UN LAC

Université de Montréal, Campus MIL, Département de chimie
1375, Avenue Thérèse-Lavoie-Roux, Montréal (QC) H2V 0B3
<https://fas.umontreal.ca/adopte-un-lac/>

Risque pour la santé: En quantité trop importante, les cyanobactéries ou les cyanotoxines posent un risque à la santé humaine. On peut s'exposer à un tel risque par :

- La consommation d'eau potable insuffisamment traitée;
- L'ingestion accidentelle d'eau pendant les activités comme la baignade dans un plan d'eau touché par une fleur d'eau^{5,13,14}.
- La consommation d'aliments (poissons, mollusques, légumes, etc.) ou de suppléments alimentaires d'algues contaminés¹⁶.
- Le contact direct ou indirect de votre peau ou de votre figure avec les eaux lors d'activités récréatives (baignade, planche à voile, canotage, pêche, etc.)^{13,14}
- L'inhalation de gouttelettes de fleurs d'eau dans l'air (il s'agit d'une voie d'exposition moins connue)^{13,14}

Pour se protéger lors des épisodes de floraisons de cyanobactéries dans les lacs et cours d'eau, le ministère de la Santé et des Services recommande de respecter les précautions à prendre;¹³ celles-ci diffèrent selon les types d'activités récréatives et les autres usages de l'eau^{1,15}.

Annexe 4 : Facteurs de toxicité

La toxicité dépend de plusieurs facteurs.

- Des variations de densité des cyanobactéries;
- De la succession des espèces et souches de cyanobactéries présentes et si celles-ci peuvent ou non produire des cyanotoxines;
- Des variations des conditions environnementales qui favorisent ou non la production de cyanotoxines par les cyanobactéries.

Annexe 5 : Eutrophisation^{10,11}

Le phénomène d'eutrophisation (vieillesse du lac) est le processus d'enrichissement graduel d'un lac en nutriments (comme l'azote et le phosphore) faisant passer son état d'oligotrophe (qui signifie peu nourri) à eutrophe (qui signifie bien nourri). En état d'eutrophisation, on peut voir une augmentation des algues, cyanobactéries et plantes aquatiques, une baisse de la transparence de l'eau, et une disparation de poissons d'espèces sportives.

L'eutrophisation est un phénomène qui peut être accéléré par les activités humaines sur les rives et dans le bassin versant des lacs. Selon l'occupation du territoire dans le bassin versant, les apports de phosphore peuvent provenir principalement des rejets d'eaux usées domestiques ou municipales ou de certaines fertilisées industries (ex. : agroalimentaires et papetières), d'installations septiques mal entretenues ou désuètes, de terrains de golf, du lessivage et du ruissellement des terres agricoles ou de coupes

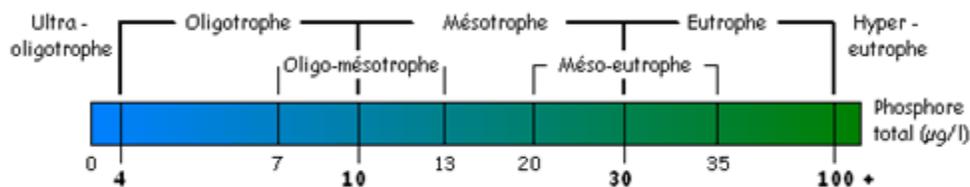
ADOPTE UN LAC

Université de Montréal, Campus MIL, Département de chimie
1375, Avenue Thérèse-Lavoie-Roux, Montréal (QC) H2V 0B3
<https://fas.umontreal.ca/adopte-un-lac/>

forestières, etc. Le vieillissement prématuré est un des principaux problèmes qui affectent les lacs de villégiature et les lacs situés en milieu agricole et urbanisé.

En théorie, la concentration mesurée de phosphore total à la station pourrait correspondre au niveau oligotrophe. *Cependant, on ne peut pas conclure que le lac présente ce niveau trophique.* En effet, l'évaluation à cet effet nécessiterait un suivi plus complet de la qualité des eaux. Une telle évaluation devrait être basée au moins sur plusieurs points mentionnés plus bas. Le diagramme de classement du niveau trophique ci-bas est à titre d'indication l'état du point d'état au point d'échantillonnage.

Diagramme de classement du niveau trophique des lacs ¹⁰



L'évaluation de l'état d'eutrophisation nécessiterait un suivi plus complet de la qualité des eaux¹⁵. Une telle évaluation devrait être basée au moins sur les points suivants :

- Un minimum de trois dates d'échantillonnage par année réparties durant la période sans glace sur le lac;
- Une station située vis-à-vis la fosse la plus profonde du lac ;
- Un échantillon non limité à la surface, mais intégrant par exemple le premier mètre de la colonne d'eau;
- Un même échantillon divisé en sous-échantillons soit un pour chacun des paramètres (plutôt qu'un échantillonnage distinct pour chacune échantillon
- Le cumul des données de deux paramètres en plus du phosphore soit de la chlorophylle *a* et de la transparence de l'eau.

Annexe 6 : pH, alcalinité et dureté de l'eau

- **pH:** Comme l'échelle des pH est logarithmique, cela indique une différence de 10 entre chacune des unités. Par exemple, un pH de 5 est 10 fois plus acide qu'un pH de 6 et 100 fois plus qu'un pH de 7. Le pH influence la toxicité de plusieurs éléments en régissant un grand nombre de réactions chimiques. Les rivières et les lacs varient entre 5 (acide) à 9 (basique). Dans les eaux naturelles peu soumises aux activités humaines, le pH dépend de la nature du sol et de la roche. Par ailleurs, une densité importante de cyanobactéries, d'algues ou de plantes aquatiques peut faire varier le pH de l'eau dans une journée. Pendant qu'elles respirent, elles libèrent du gaz carbonique (CO₂) dans l'eau et la rendent plus acide. À l'opposé, lorsqu'elles font de la photosynthèse le jour, le CO₂ qu'elles captent dans l'eau la rend moins acide.

ADOPTE UN LAC

Université de Montréal, Campus MIL, Département de chimie
1375, Avenue Thérèse-Lavoie-Roux, Montréal (QC) H2V 0B3
<https://fas.umontreal.ca/adopte-un-lac/>

- **Alcalinité:** La sensibilité d'un milieu aquatique à l'acidification varie avec l'alcalinité. L'alcalinité est mesurée en termes d'une concentration équivalente de carbonate de calcium (CaCO_3) et est affectée par le sol environnant, le substrat rocheux, les végétaux et les déchets industriels. L'alcalinité élevée n'est pas nécessairement signe de mauvaise qualité de l'eau. On considère qu'un niveau de sensibilité à l'acidification est élevé (alcalinité de $< 10 \text{ mg/l CaCO}_3$), moyenne ($10\text{-}20 \text{ mg/l CaCO}_3$) et faible ($> 20 \text{ mg/l CaCO}_3$).
- **Dureté :** La dureté est liée à l'alcalinité et elles changent souvent ensemble. La dureté est basée sur la teneur en calcium et en magnésium; ces minéraux sont dissous lorsque l'eau entre en contact avec le calcaire. Le processus inverse peut produire une accumulation de tartre à l'intérieur des tuyaux. On considère qu'une eau est douce ($0\text{-}20 \text{ mg/l}$), modérément douce ($21\text{-}60 \text{ mg/l}$), modérément dure ($61\text{-}120 \text{ mg/l}$), dure ($121\text{-}180 \text{ mg/l}$) et très dure ($>180 \text{ mg/l}$).

Annexe 7 : L'analyse génomique de type 16S¹⁷

L'analyse génomique de type 16S est utilisée pour confirmer si des cyanobactéries sont présentes ou pas dans l'échantillon reçu. Étant donné que les micro-organismes sont très difficiles à identifier, même avec un microscope, les scientifiques ont mis au point un moyen rapide et précis de les détecter dans les échantillons environnementaux en utilisant les informations présentes dans leur ADN. Une fois l'ADN extrait nous utilisons la technique d'amplification en chaîne par polymérase (PCR) qui crée plusieurs copies d'un fragment de l'ADN de ces bactéries qui nous permet de les identifier comme une empreinte digitale. La dernière étape consiste à lire les informations présentes dans l'ADN des bactéries présentes dans l'échantillon d'eau de lac. Pour cela, nous utilisons une machine appelée séquenceur d'ADN (Miseq Illumina séquenceur). Nous insérons les multiples copies de « l'empreinte bactérienne » et la machine génère (séquence) les données qui, une fois traitées par le biais de la technologie de bio-informatique, nous informent sur la quantité et l'identité des espèces présentes dans l'échantillon.