

# Avis et constats préliminaires sur les chlorures dans les eaux de surface et ses effets potentiels sur la vie aquatique

Février 2024

## Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction générale des politiques de l'air et du suivi de l'état de l'environnement du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

## Renseignements

Téléphone : 418 521-3830

1 800 561-1616 (sans frais)

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

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

Direction du suivi et de l'évaluation de l'état des milieux aquatiques du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs  
675, boul. René-Lévesque Est, 7<sup>e</sup> étage, boîte 22  
Québec (Québec) G1R 5V7

## Référence à citer

GRENIER, Martine, Olivier JACQUES et Dominic VACHON (2024). *Avis et constats préliminaires sur les chlorures dans les eaux de surface et ses effets potentiels sur la vie aquatique*, Québec, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction générale des politiques de l'air et du suivi de l'état de l'environnement, [En ligne], 16 pages.  
<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/riv-lac.htm>

Dépôt légal – 2024

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN 978-2-550-97211-2 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2024

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. Chlorures dans les eaux de surface : demande du Vérificateur général du Québec (VGQ) et problématique générale</b>	<b>1</b>
<b>2. Objectifs de l’avis et impacts des sels de voirie sur les milieux aquatiques</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Objectifs</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Critères de qualité de l’eau de surface</b>	<b>2</b>
<b>3. Résultats</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Cours d’eau</b>	<b>3</b>
3.1.1 Impacts sur les usages de l’eau – dépassements de critères de qualité de l’eau de surface	4
3.1.2 Cours d’eau davantage touchés par les apports en chlorures	6
3.1.3 Sources probables des apports en chlorures	8
<b>3.2 Fleuve Saint-Laurent</b>	<b>8</b>
3.2.1 Concentrations observées par rapport aux critères de qualité de l’eau de surface du MELCCFP	9
3.2.2 Comparaison avec les valeurs observées dans les Grands Lacs	10
<b>3.3 Lacs</b>	<b>10</b>
3.3.1 Concentrations observées et impacts	11
<b>4. Actions à venir</b>	<b>13</b>
<b>5. Conclusion</b>	<b>13</b>
<b>Références</b>	<b>15</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Critères de qualité de l’eau de surface du MELCCFP relatifs aux chlorures et au sodium	2
Tableau 2 Régions administratives des rivières ayant des dépassements de critères de chlorures	6

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Fréquences de dépassement des critères de protection de la vie aquatique pour les chlorures en fonction des saisons et des mois .....	5
Figure 2	Fréquences de dépassement des critères de protection de la vie aquatique pour les chlorures aux stations ayant au moins un dépassement.....	7
Figure 3	Moyenne par station des concentrations de chlorures (bleu) et de sodium (orange). Les stations sont disposées de l'amont (Montréal) vers l'aval (Québec).....	9
Figure 4	Concentration de chlorures par mois à six stations échantillonnées de janvier 2020 à décembre 2022. Les points bleus représentent les moyennes par mois, et les points gris représentent les valeurs de chaque échantillon. ....	10
Figure 5	Distribution géographique des lacs ayant fait l'objet d'analyses de chlorures de 2019 à 2022.....	11
Figure 6	Teneurs en chlorures dans les lacs du Québec méridional (2019-2022).....	12
Figure 7	Teneurs en sodium dans les lacs du Québec méridional (2016-2022).....	12

# 1. Chlorures dans les eaux de surface : demande du Vérificateur général du Québec (VGQ) et problématique générale

Le chapitre 2 du *Rapport du commissaire au développement durable pour l'année 2021-2022* présente les résultats d'un audit de performance sur la gestion des neiges usées par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) (VGQ, 2021). Ce chapitre fait état de certaines lacunes perçues par le VGQ dans la gestion des neiges usées au Québec. Pour répondre aux commentaires et interrogations du VGQ sur le sujet, le MELCCFP a produit un plan d'action en plusieurs points (MELCC, 2021). L'action 16 de ce plan d'action consistait à produire un avis sur l'impact potentiel des chlorures sur la vie aquatique, à partir des données issues des principaux réseaux de suivi de l'état des milieux aquatiques gérés par le MELCCFP. Le présent document est l'avis du MELCCFP à cet égard.

La problématique de salinisation des eaux douces s'explique surtout par l'utilisation et l'entreposage des sels de voirie employés comme agents de déglacage des routes en hiver, ainsi que par l'utilisation de sels comme abat-poussières en été. Au Québec, chaque année, près de 1,5 million de tonnes de sels de voirie servent d'agents de déglacage et d'antigivrage en hiver.

Une fois dissous, alors que les cations (calcium, potassium, magnésium et sodium) sont davantage fixés par le sol, les chlorures, très solubles, sont lessivés et entraînés vers l'eau souterraine (55 %) et l'eau de surface (45 %) (Howard et Haynes, 1993 *dans* Environnement Canada et Santé Canada, 2001). Ils contribuent à l'augmentation de la salinité et de la conductivité spécifique de l'eau. En plus de poser un risque pour la flore et la faune, cela peut engendrer des coûts importants pour le traitement de l'eau potable et l'entretien des infrastructures.

Au Canada, 97 % des sels de voirie employés sont sous forme de chlorure de sodium (NaCl), 2,9 %, sous forme de chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>), et 0,1 %, sous forme de chlorure de magnésium (MgCl<sub>2</sub>) et de chlorure de potassium (KCl) (Chapra et collab., 2009; L. Trudel, Environnement Canada, comm. pers., *dans* CCME, 2011). Une évaluation scientifique exhaustive réalisée par Environnement Canada a permis de déterminer que les sels de voirie, en concentrations suffisantes, représentent un risque pour la faune, la flore et le milieu aquatique (Environnement Canada et Santé Canada, 2001). Suite à celle-ci, le gouvernement du Canada a publié en 2004 un *Code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie* afin d'aider les municipalités et autres organisations de voirie à mieux gérer l'emploi des sels de voirie, d'une façon qui permet d'atténuer les impacts qu'ils causent à l'environnement, tout en assurant la sécurité routière (Environnement Canada, 2004). Au Québec, les pratiques entourant l'usage des sels de voirie sont encadrées par divers outils administratifs et réglementaires, notamment la *Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie*, ainsi que le *Règlement sur la gestion de la neige, des sels de voirie et des abrasifs*.

## 2. Objectifs de l'avis et impacts des sels de voirie sur les milieux aquatiques

### 2.1 Objectifs

Les sels de voirie épandus étant très majoritairement constitués de chlorure de sodium (NaCl), l'avis porte sur ses deux composantes : les chlorures et le sodium. Il vise principalement à répondre aux questions suivantes :

- 1- Selon les critères de qualité de l'eau de surface du MELCCFP, les concentrations de chlorures et de sodium dans les eaux de surface peuvent-elles avoir des impacts sur les usages des lacs et des cours d'eau et sur la vie aquatique?
- 2- Quels cours d'eau ou plans d'eau sont susceptibles d'être affectés et à quels moments?
- 3- Quelles sont les sources probables des chlorures et du sodium détectés dans nos lacs et cours d'eau?

### 2.2 Critères de qualité de l'eau de surface

Les critères de qualité de l'eau de surface du MELCCFP applicables aux chlorures et au sodium sont listés dans le tableau 1. Ces critères sont tirés du répertoire des critères de qualité de l'eau de surface du MELCCFP : [Critères de qualité de l'eau de surface \(gouv.qc.ca\)](http://gouv.qc.ca). Le critère de prévention de la contamination de l'eau et des organismes aquatiques (CPCEO) est la concentration qui, si dépassée, pourrait altérer les propriétés organoleptiques<sup>1</sup> ou esthétiques de l'eau de consommation. Le critère pour la protection de la vie aquatique chronique (CVAC) est la concentration d'une substance qui ne produit aucun effet néfaste sur les organismes aquatiques et leur progéniture lorsqu'ils y sont exposés quotidiennement pendant toute leur vie, alors que le critère de vie aquatique aigu (CVAA) est la concentration maximale d'une substance à laquelle les organismes aquatiques peuvent être exposés pour une courte période sans être gravement touchés.

Tableau 1 Critères de qualité de l'eau de surface du MELCCFP relatifs aux chlorures et au sodium

Paramètres			
Usages de l'eau	Prévention de la contamination de l'eau et des organismes aquatiques (CPCEO)	Protection de la vie aquatique	
		Effet chronique (CVAC)	Effet aigu (CVAA)
Chlorures (mg/L)	250	120	320
Sodium (mg/L)	200	-	-

<sup>1</sup> Qui agit sur la perception sensorielle : goût, odeur, couleur, aspect, consistance, etc.

## Conductivité spécifique

La conductivité des eaux dépend de leur concentration en ions majeurs (p. ex : chlorures, sodium, calcium, potassium et magnésium) et de leur température. Elle donne une bonne indication de leur concentration en minéraux. Bien qu'aucun critère ne soit retenu par le MELCCFP pour ce paramètre, l'eau douce a généralement une conductivité inférieure à 925  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Singh et Kalra, 1975). En limnologie, la conductivité est plus couramment utilisée que la salinité, laquelle l'est plus fréquemment en océanographie.

## Chlorures

Le CVAC représente une bonne estimation du seuil sans effets indésirables d'une substance pour les organismes aquatiques. Lorsque la concentration est continuellement au-dessus de ce critère dans un milieu aquatique, des effets indésirables sont susceptibles de se produire. Toutefois, de légers écarts au-dessus du CVAC ne causeront pas nécessairement d'effets sur les organismes aquatiques si la durée et l'intensité de ces dépassements sont limitées et s'il y a des périodes de compensation où la concentration dans le milieu est inférieure à celle du critère (MELCCFP, 2023). Ainsi, des concentrations de chlorures qui ne dépassent qu'occasionnellement le CVAC de 120 mg/L ne sont pas problématiques pour le milieu aquatique. À l'inverse, les dépassements du CVAA de 320 mg/L sont préoccupants, même s'ils ne sont pas fréquents. En effet, des effets graves sur les espèces les plus sensibles sont possibles si ce dépassement est d'une durée prolongée, particulièrement si l'amplitude de dépassement est importante.

Au-delà d'une concentration de 250 mg/L de chlorures, les propriétés organoleptiques de l'eau de consommation peuvent être altérées. Pour cette raison, le critère CPCEO de 250 mg/L de chlorure s'applique aux lacs et aux cours d'eau où il y a des prises d'eau potable.

## Sodium

Au-delà d'une concentration de 200 mg/L de sodium, les propriétés organoleptiques de l'eau de consommation humaine peuvent être altérées. Comme pour les chlorures, le critère CPCEO pour le sodium s'applique aux lacs et aux cours d'eau où il y a des prises d'eau potable.

# 3. Résultats

## 3.1 Cours d'eau

Les concentrations de métaux, ainsi que de chlorures et des cations associés (calcium, potassium, magnésium et sodium), sont mesurées par le MELCCFP depuis 2008 à l'embouchure de seulement neuf rivières se déversant dans le fleuve Saint-Laurent et ce, uniquement de mai à octobre. D'autres suivis de ces paramètres ont été réalisés sporadiquement depuis 1979. La conductivité de l'eau, pour sa part, est mesurée depuis 1979 dans le cadre des activités du Réseau-rivières.

Afin de documenter la problématique des sels de voirie dans les cours d'eau du Québec méridional, une meilleure couverture spatiale et temporelle était nécessaire. En effet, peu de cours d'eau faisaient l'objet d'un suivi durant l'hiver et le printemps, les périodes les plus susceptibles de mener à une accumulation et à un ruissellement des sels de voirie dans l'environnement. Un suivi des paramètres relatifs aux sels de voirie, soit les chlorures et les ions associés (calcium, magnésium, potassium et sodium), a été effectué d'avril 2019 à juin 2022, donc sur 3 ans, à 224 des 261 stations du Réseau-rivières. Une interruption des activités du Réseau-rivières s'est produite entre avril et juin 2020 en raison de la pandémie de COVID-19. Le suivi a été poursuivi jusqu'en juin 2022 afin d'obtenir des données sur trois ans. Au total, ce sont 69 stations faisant l'objet d'un suivi annuel (sur les 75 du Réseau-rivières) et 155 (sur les 186 du Réseau-rivières) faisant l'objet d'un suivi d'avril à novembre (8 mois, la période où l'eau est libre de glace) qui ont été échantillonnées.

### 3.1.1 Impacts sur les usages de l'eau – dépassements de critères de qualité de l'eau de surface

Les concentrations en chlorures varient de 0,09 à 690 mg/l et les concentrations en sodium de 0,4 à 370 mg/l. Les valeurs de conductivité spécifique varient de 9,9 à 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et sont corrélées aux concentrations en chlorures ( $R^2 = 0,74$ ;  $p < 0,01$ ) et en sodium ( $R^2 = 0,78$ ;  $p < 0,01$ ).

Peu d'échantillons dépassent les critères de qualité de l'eau de surface du MELCCFP pour les chlorures et le sodium, et ces dépassements se produisent dans un nombre réduit de stations. Le critère pour la prévention de la contamination de l'eau et des organismes aquatiques (CPCEO) n'est dépassé que dans 0,35 % des échantillons pour ce qui est des chlorures et 0,25 % pour ce qui est du sodium. Les dépassements de ces critères n'ont pas lieu dans des cours d'eau où il y a des prises d'eau potable en aval de la station, ce qui signifie que les chlorures et le sodium ne sont pas actuellement préoccupants pour cet usage dans les 224 cours d'eau du Réseau-rivières suivis pour les chlorures et autres ions associés aux sels de voirie.

En ce qui concerne le critère de protection de la vie aquatique, 1,35 % des échantillons dépassent le critère de vie aquatique chronique (CVAC) et 0,27 % dépassent le critère de vie aquatique aigu (CVAA) pour les chlorures. Ces critères sont principalement dépassés en hiver, puis en été (figure 1). En hiver, les concentrations de chlorures dépassent le CVAC et le CVAA dans respectivement 5,8 % et 1,6 % des échantillons. Les mois de février et de mars sont les deux mois de l'année durant lesquels les fréquences de dépassement des critères en chlorures sont les plus élevées, avec respectivement 6,9 % et 6,7 % de dépassement du CVAC, ainsi que 3 % et 1,7 % de dépassement du CVAA (figure 1). En été, le CVAC et le CVAA ne sont dépassés que dans respectivement 1,4 % et 0,25 % des échantillons. Les mois d'août et de septembre sont les deux mois de l'été ayant les fréquences de dépassement les plus élevées, soit 1,7 % et 0,3 % pour le CVAC et le CVAA respectivement (figure 1).

Selon des analyses préliminaires, les variations dans les concentrations moyennes et médianes de chlorures et les dépassements de critères suivent un cycle saisonnier possiblement relié aux apports en sels (surtout de décembre à avril), aux débits des cours d'eau et aux apports provenant des eaux souterraines. Les concentrations les plus élevées ainsi que les dépassements de critères sont enregistrés en hiver, puis en été, et sont minimaux au printemps et en automne. Les concentrations suivent un patron généralement inverse des débits mesurés dans les cours d'eau. Les concentrations plus élevées en hiver et en été et les dépassements de critères pourraient s'expliquer par un apport en sels en provenance des eaux souterraines. En effet, durant ces périodes d'étiage des cours d'eau (été comme hiver), le niveau d'eau de base est principalement assuré par les eaux souterraines. De plus, en hiver, les eaux de ruissellement produites lors des opérations de déglacage, par fonte de la neige et de la glace, sont transportées vers les cours d'eau. Finalement, les redoux hivernaux occasionnent des épisodes de fonte, entraînant ainsi les sels contenus dans la neige et la glace vers les cours d'eau. Ces opérations de déglacage et redoux hivernaux expliquent possiblement les valeurs extrêmes de concentrations en sels mesurées durant l'hiver (influence sur les concentrations moyennes surtout), ces apports se combinant à ceux des eaux souterraines. Cette combinaison d'apports souterrains et de surface pourrait expliquer que les concentrations maximales et les dépassements de critères sont mesurés en hiver.

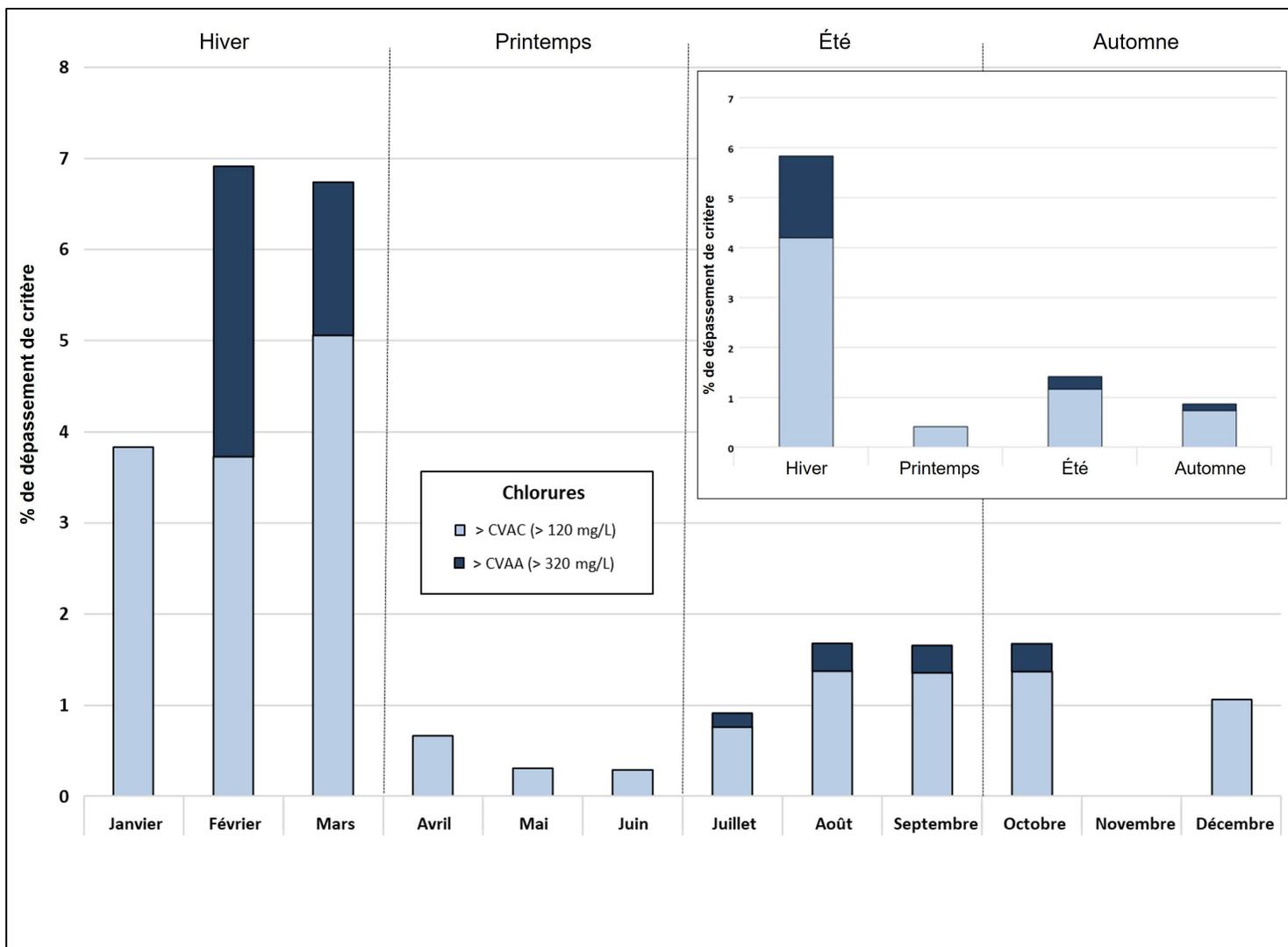


Figure 1 Fréquences de dépassement des critères de protection de la vie aquatique pour les chlorures en fonction des saisons et des mois

### 3.1.2 Cours d'eau davantage touchés par les apports en chlorures

Bien que les dépassements de critères soient peu fréquents, ils se produisent à un nombre restreint de stations : 21 stations sur 224 (9,4 %) pour ce qui est du CVAC et 6 stations sur 224 (0,03 %) pour ce qui est du CVAA (figure 2). À ces stations, les dépassements peuvent se produire dans près d'un échantillon sur deux (figure 2) et le plus souvent en hiver et à la fin de l'été. Les sept stations dont les concentrations dépassent le CVAC le plus souvent sont celles situées à l'embouchure des rivières Saint-Régis (44,1 %), aux Chiens (44 %), Petite rivière Yamachiche (43,8 %), Saint-Jacques (25,7 %), des Hurons (20 %), Saint-Charles (16,2 %) et de l'Achigan (16 %) (figure 2). L'amplitude moyenne de l'ensemble des dépassements du CVAC est d'environ deux fois la valeur du critère. Les six cours d'eau ayant des concentrations de chlorures qui dépassent le CVAA sont la Petite rivière Yamachiche (21,9 %) ainsi que les rivières Saint-Jacques (11,4 %), de la Tortue (6,1 %), Madeleine (4,5 %), Saint-Régis (2,7 %) et Saint-Charles (2,7 %). Pour le CVAA, l'amplitude moyenne de l'ensemble des dépassements est d'environ 1,5 fois la valeur du critère. Ces fréquences et amplitudes de dépassement des critères CVAC et CVAA sont suffisamment élevées et persistantes pour signifier que les chlorures pourraient avoir des effets négatifs sur ces cours d'eau. Cette probabilité est augmentée du fait que les organismes d'eau douce ne tolèrent les chlorures que sur une plage restreinte de concentrations sans subir de toxicité aiguë (MELCCFP, 2023), comme l'indique l'écart relativement restreint entre le CVAC (120 mg/L) et le CVAA 320 (mg/L).

Tableau 2 Régions administratives des cours d'eau ayant des dépassements de critères de chlorures

Identifiant BQMA	Cours d'eau	Région administrative
04300002	Kinojévis	Abitibi-Témiscamingue
02540002	Saint-Jean	Bas-Saint-Laurent
02E90001	Fouquette	Bas-Saint-Laurent
05040139	Noire	Capitale-Nationale
05090017	Saint-Charles	Capitale-Nationale
05400006	Beauport	Capitale-Nationale
02400005	Bécancour	Chaudière-Appalaches
02180001	Ruisseau de l'Église	Chaudière-Appalaches
03040075	Ruisseau Castor	Estrie
01020001	Du Petit Pabos	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine
02080005	Madeleine	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine
04640003	Mascouche	Lanaudière
05220005	De l'Achigan	Lanaudière
04650001	Aux Chiens	Laurentides
05290001	Petite rivière Yamachiche	Mauricie
03030038	Chibouet	Montréal
03040007	Des Hurons	Montréal
03060001	Saint-Jacques	Montréal
03070015	De la Tortue	Montréal
03080001	Saint-Régis	Montréal
03090001	Châteauguay	Montréal

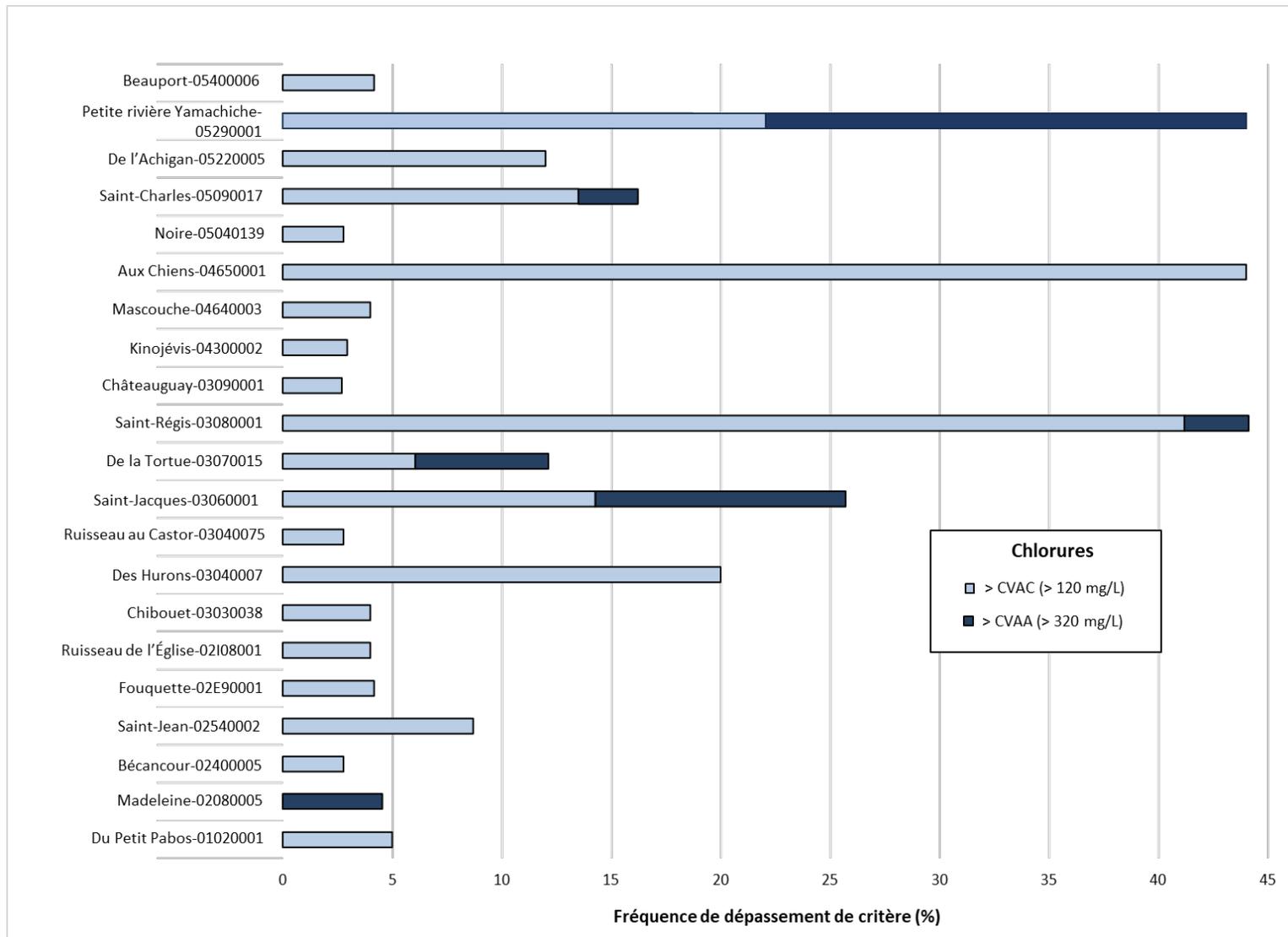


Figure 2 Fréquences de dépassement des critères de protection de la vie aquatique pour les chlorures aux stations ayant au moins un dépassement

### 3.1.3 Sources probables des apports en chlorures

Dans les eaux douces, les sources naturelles reconnues de chlorures et de sodium sont les dépôts atmosphériques, la pluie provenant de l'évaporation de l'eau de mer, la remontée d'eau salée ou saumâtre par les marées, les eaux souterraines et la dissolution de la roche mère. Dans le cas particulier du territoire du Québec méridional, la dissolution de saumure, dérivée de lentilles d'eau ancienne piégées dans les sédiments de la mer de Champlain, peut avoir une influence pour les cours d'eau dont le bassin versant est situé dans les basses-terres du Saint-Laurent ou les basses-terres de la baie d'Hudson (Alazard, 2019). Pour éviter l'effet de la remontée d'eaux saumâtres ou salées à l'embouchure des cours d'eau se déversant dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, les cours d'eau susceptibles de subir cette influence n'ont pas été échantillonnés aux fins de la présente étude. Toutefois, la remontée des eaux salées à l'embouchure des rivières Madeleine et Petit Pabos, par l'action des marées, pourrait expliquer les concentrations de chlorures plus élevées à ces stations.

Aux États-Unis, où les chlorures sont suivis de façon régulière dans les cours d'eau, les sources anthropiques incluent les sels de déglacage, les abat-poussières, les eaux usées, les sources agricoles et les lieux d'élimination des matières résiduelles. Les sels de déglacage représentent la source principale (Granato et collab., 2015). Toutefois, plusieurs études négligent les autres sources comme facteurs explicatifs, surtout la densité de la population humaine et les apports agricoles. Les sources agricoles sont, par ordre d'importance : les fertilisants chimiques, les déjections animales, l'irrigation et l'aquaculture (Granato et collab., 2015). L'épandage de fumier et de lisier comme fertilisants, les zones de rétention des animaux et les rejets ou les fuites des installations de stockage sont des sources de sels dissous provenant des déjections animales.

Selon des analyses préliminaires portant sur les ratios molaires Na/Cl<sup>2</sup>, des sources naturelles pourraient influencer les résultats observés à certaines stations, dont quelques-unes présentant des dépassements de critères, soit : la Petite rivière Yamachiche, le ruisseau au Castor (basses-terres du Saint-Laurent) et les rivières de la Tortue, Châteauguay, Kinojévis (basses-terres de la baie d'Hudson), Beauport, Madeleine et du Petit Pabos. La part attribuable aux sources naturelles ne peut cependant pas être déterminée.

Une analyse sommaire réalisée avec les données d'utilisation des terres disponibles montre que les concentrations dépassant les critères de qualité d'eau en chlorures et en sodium sont associées presque exclusivement à des petits cours d'eau dont la proportion du territoire occupée par des infrastructures urbaines et agricoles est plus importante, et dont les superficies forestières sont moindres.

En ce qui concerne les chlorures, la superficie médiane des bassins versants connaissant des dépassements de critères est de 162 km<sup>2</sup> ( $p < 0,05$ ; contre 590 km<sup>2</sup> sans dépassement). Elle est généralement inférieure à 404 km<sup>2</sup> dans les bassins versants ayant au moins un dépassement de critère. Les superficies urbanisées occupent en médiane 7,3 % ( $p < 0,05$ ; contre 2,8 % dans les bassins sans dépassement) du territoire et y occupent généralement plus de 2,8 %. Les superficies consacrées à l'agriculture occupent en médiane 43 % ( $p < 0,05$ ; contre 17 % dans les bassins sans dépassement) du territoire et y occupent généralement plus de 8,3 %. Des analyses plus poussées devront être réalisées afin de déterminer quelles variables ont davantage d'influence sur les concentrations de chlorures et de sodium dans les cours d'eau. D'autres variables, telles que la densité et la proximité des routes, devraient être considérées dans ces analyses.

## 3.2 Fleuve Saint-Laurent

Le MELCCFP assure le suivi de la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent depuis les années 1990. Tandis que la conductivité de l'eau fait l'objet d'un suivi systématique, les concentrations de chlorures et des cations associés (calcium, potassium, magnésium et sodium) n'ont été mesurées que sporadiquement

---

<sup>2</sup> Un ratio molaire Na/Cl proche de 1 indique généralement l'influence de l'apport anthropique sur un bassin, sauf si la présence d'halite naturelle a été démontrée dans les formations géologiques (Alazard, 2019).

entre 1993 et 2008. Depuis 2008, la concentration de chlorures est mesurée systématiquement pour quelques stations seulement. C'est à partir de 2020 que ce suivi est assuré pour l'ensemble des 27 stations du fleuve. En 2021, la mesure des cations associés s'y est ajoutée.

Afin de les comparer avec les concentrations dans les rivières, les concentrations de chlorures et des ions associés (calcium, magnésium, potassium et sodium) dans le fleuve Saint-Laurent présentées ici sont celles mesurées d'avril 2020 à octobre 2022. Les échantillons proviennent de 27 stations échelonnées de Valleyfield en amont jusqu'à la pointe ouest de l'île d'Orléans en aval. Ces stations sont représentatives des différentes masses d'eau et portions fluviales (tronçon fluvial entre Montréal et le lac Saint-Pierre, et l'estuaire fluvial du lac Saint-Pierre à Québec). À cinq de ces stations, l'échantillonnage est effectué à la prise d'eau potable de l'usine de filtration de certaines municipalités (Contrecoeur, Montréal, Lavaltrie, Sainte-Foy et Sorel). Pour ces cinq stations et la station de Valleyfield, toutes gérées par le Réseau-rivières, un échantillon d'eau par mois a été collecté. Pour les autres stations, les valeurs proviennent de la période estivale seulement, car l'échantillonnage se fait en bateau. Une interruption des activités d'échantillonnage du fleuve s'est produite entre avril et juin 2020 en raison de la pandémie de COVID-19.

### 3.2.1 Concentrations observées par rapport aux critères de qualité de l'eau de surface du MELCCFP

Dans le fleuve Saint-Laurent entre 2020 et 2022, aucun des 562 échantillons n'a dépassé les critères de qualité de l'eau du MELCCFP pour les chlorures et le sodium listés dans le tableau 1. Les concentrations de chlorures ont varié entre 6,1 mg/l et 36 mg/l, alors que le critère le plus bas pour les chlorures est celui de vie aquatique chronique de 120 mg/l. Pour le sodium, le maximum mesuré, de 15 mg/l, est bien en deçà du critère de 200 mg/L pour protéger les propriétés organoleptiques de l'eau. Par conséquent, les concentrations de chlorures et de sodium dans le fleuve n'ont pas d'incidence sur la protection de la vie aquatique et sur la prévention de la contamination de l'eau et des organismes aquatiques.

Pour l'ensemble des stations du fleuve échantillonnées par bateau entre avril et octobre (21 stations), la concentration moyenne de chlorures est de 19,5 mg/L, avec une variation allant de 6,1 à 24 mg/L selon les stations (figure 3).

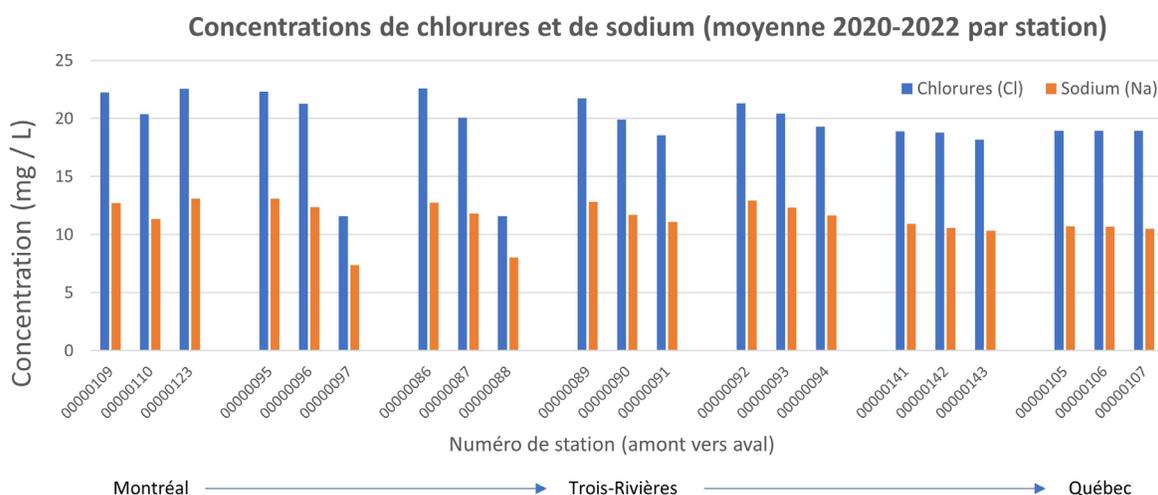


Figure 3 Moyenne par station des concentrations de chlorures (bleu) et de sodium (orange). Les stations sont disposées de l'amont (Montréal) vers l'aval (Québec).

Pour les stations échantillonnées tout au long de l'année (six stations dont cinq sont des prises d'eau potable), la concentration moyenne de chlorures est de 19,7 mg/L, variant entre 6,2 et 36 mg/L (figure 4).

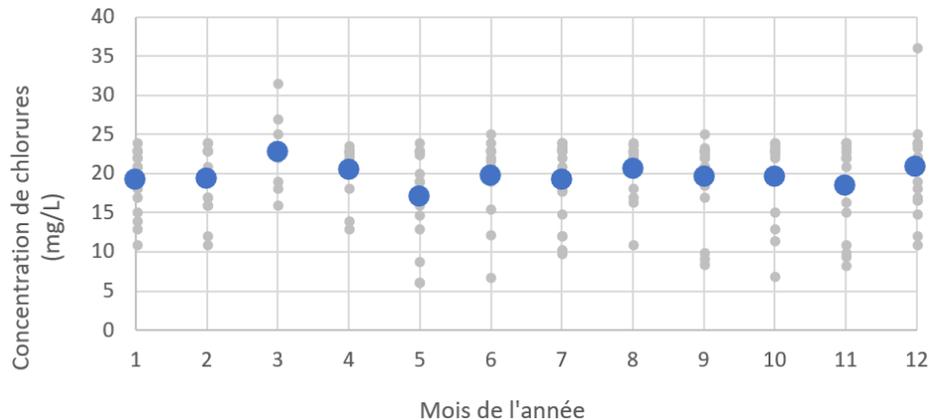


Figure 4 Concentration de chlorures par mois à six stations échantillonnées de janvier 2020 à décembre 2022. Les points bleus représentent les moyennes par mois, et les points gris représentent les valeurs de chaque échantillon.

En ce qui concerne le sodium (Na), la moyenne des concentrations pour l'ensemble des 27 stations était de 11,5 mg/L, variant entre 4,7 et 15 mg/L. Les valeurs de conductivité observées sur l'ensemble des 27 stations sont bien corrélées avec les concentrations de chlorures et de sodium, variant entre 80 et 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 3.2.2 Comparaison avec les valeurs observées dans les Grands Lacs

Les valeurs observées dans le fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Québec semblent concorder avec les valeurs de ses deux tributaires majeurs, soit la sortie du lac Ontario et la rivière des Outaouais. La rivière des Outaouais avait, entre 2019 et 2020, une moyenne des concentrations de chlorures de 5,4 mg/L. Cette rivière contribue à environ 15 % du débit du fleuve à la hauteur de la ville de Québec (Hudon et collab., 2017). La valeur moyenne des concentrations de chlorures du lac Ontario en 2018 était de 22,4 mg/L (Sorichetti et collab., 2022). Le débit à la sortie du lac Ontario correspond à environ 60 % du débit du fleuve à la hauteur de la ville de Québec (Hudon et collab., 2017). Les concentrations de chlorures dans le lac Ontario ont donc un impact important sur les valeurs du fleuve Saint-Laurent. Or, de récentes études ont montré une tendance générale à l'augmentation des concentrations de chlorures dans la région des Grands Lacs (Sorichetti et collab., 2022). Par exemple, dans le lac Michigan, les concentrations de chlorures sont passées de moins de 10 mg/L dans les années 1990 à plus de 15 mg/L en 2020 (Dugan et collab., 2023). Bien que ces concentrations de chlorures soient en deçà des seuils pour la protection de la vie aquatique, les valeurs tendent à augmenter et devront être suivies dans les années à venir.

## 3.3 Lacs

De 2019 à 2022, des données de concentration de chlorures ont été acquises par le MELCFFP pour 722 lacs répartis à la grandeur du Québec méridional (figure 5). Les teneurs en cations et la conductivité ont aussi été respectivement évaluées dans 696 et 500 lacs de 2016 à 2022. L'ensemble des mesures a été obtenu grâce à des prélèvements à la surface de l'eau réalisés de mai à octobre dans le cadre d'activités complémentaires aux suivis de base du Réseau de surveillance volontaire des lacs (RSVL). Avant 2016, les paramètres de chlorures, de cations et de conductivité n'ont été évalués que sporadiquement dans les lacs du Québec.

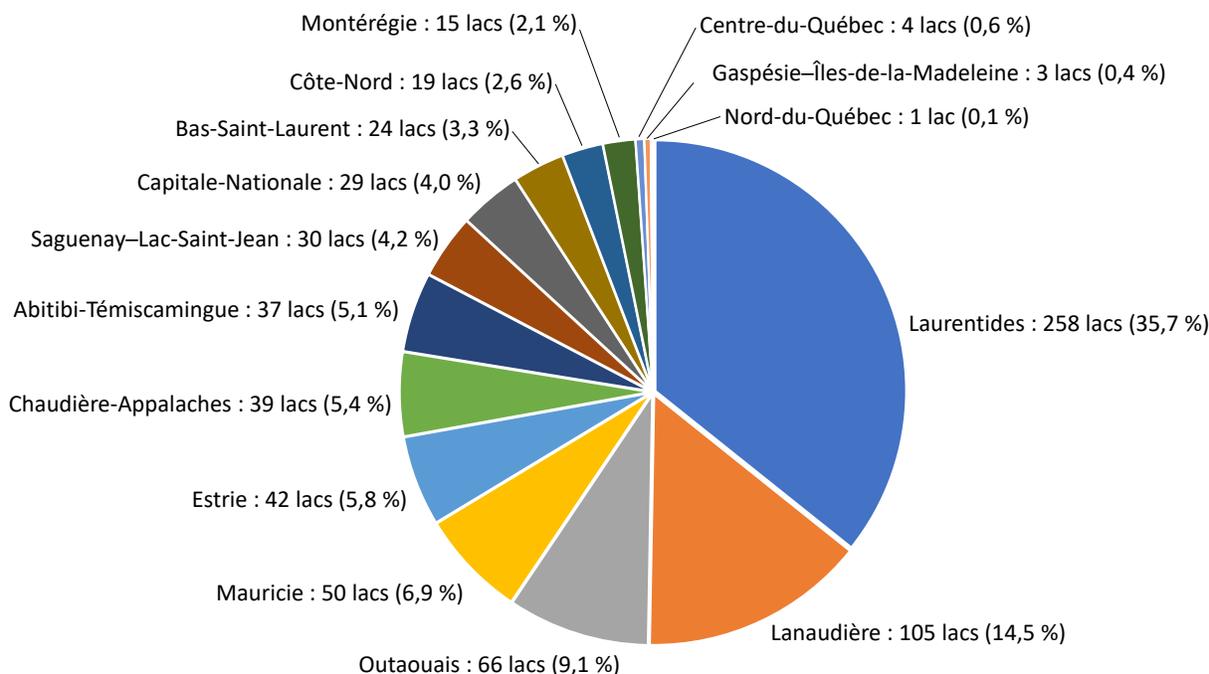


Figure 5 Distribution géographique des lacs ayant fait l'objet d'analyses de chlorures de 2019 à 2022

### 3.3.1 Concentrations observées et impacts

Les concentrations de chlorures mesurées au cours des quatre dernières années dans les lacs du Québec apparaissent plutôt stables. Elles sont généralement plus faibles que dans les cours d'eau et le fleuve Saint-Laurent. Les teneurs moyennes sont inférieures ou égales à 5 mg/L dans 484 lacs (67 %) et inférieures ou égales à 20 mg/L dans 679 des 722 lacs (94 %) analysés de 2019 à 2022 (figure 6). Seul le lac Noranda de la municipalité de Rouyn-Noranda présente une valeur moyenne (123 mg/L) dépassant le critère de vie aquatique chronique de 120 mg/L. Les teneurs moyennes en sodium sont inférieures ou égales à 5 mg/L dans 570 lacs (82 %) et inférieures ou égales à 15 mg/L dans 671 des 696 lacs (96 %) analysés de 2016 à 2022 (figure 7). Aucun lac ne présente une concentration de sodium excédant le critère de prévention de la contamination de l'eau et des organismes aquatiques de 200 mg/L. Il est à noter que ce portrait n'est représentatif que de la couche d'eau de surface et que des analyses supplémentaires en profondeur pourraient apporter des constats différents.

Les impacts des sels de voirie sur les lacs vont au-delà d'une simple augmentation de la charge ionique de l'eau. Les sels affectent aussi la densité et favorisent ainsi une plus forte stratification et une plus grande stabilité des couches d'eau. Par conséquent, ces dernières sont plus résistantes au brassage, ce qui nuit à l'oxygénation (Ramakrishna et Viraraghavan, 2005; Ladwig et collab., 2023). Dans les pires cas, par exemple pour des lacs présentant des concentrations de chlorures de plus de 100 mg/L, les sels peuvent empêcher le mélange saisonnier complet de la colonne d'eau et entraîner une anoxie<sup>3</sup> en profondeur (p. ex. : Novotny et collab., 2008; Sibert et collab., 2015; Wiltse et collab., 2020). Même si les apports en sels sont relativement stables, le niveau de salinité d'un lac peut s'accroître au fil des années en fonction des conditions limnologiques prévalentes (p. ex. : volume d'eau, temps de séjour de l'eau).

<sup>3</sup> Déficit complet d'oxygène.

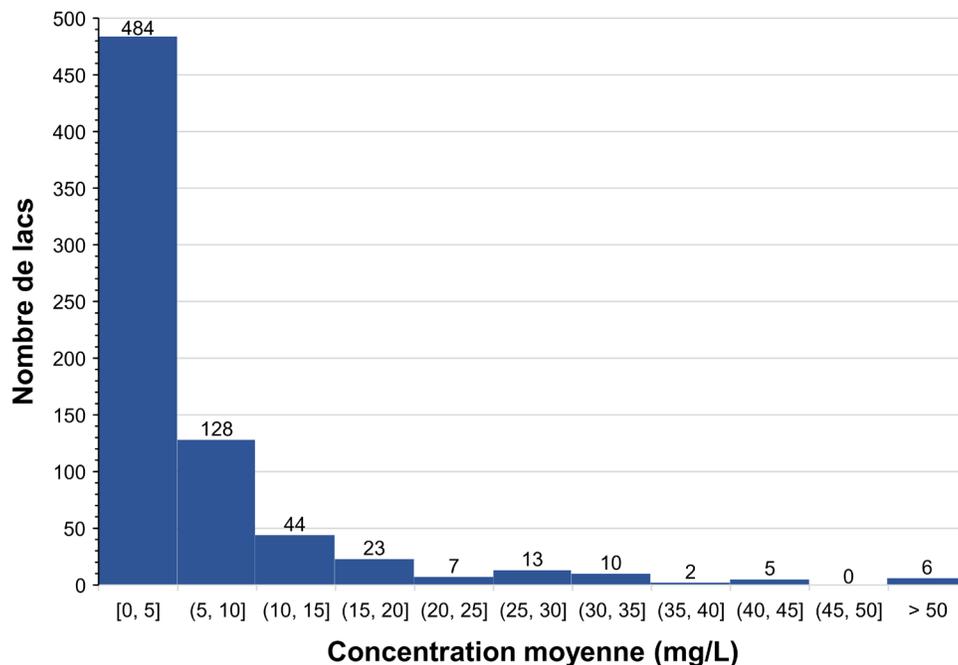


Figure 6 Teneurs en chlorures dans les lacs du Québec méridional (2019-2022)

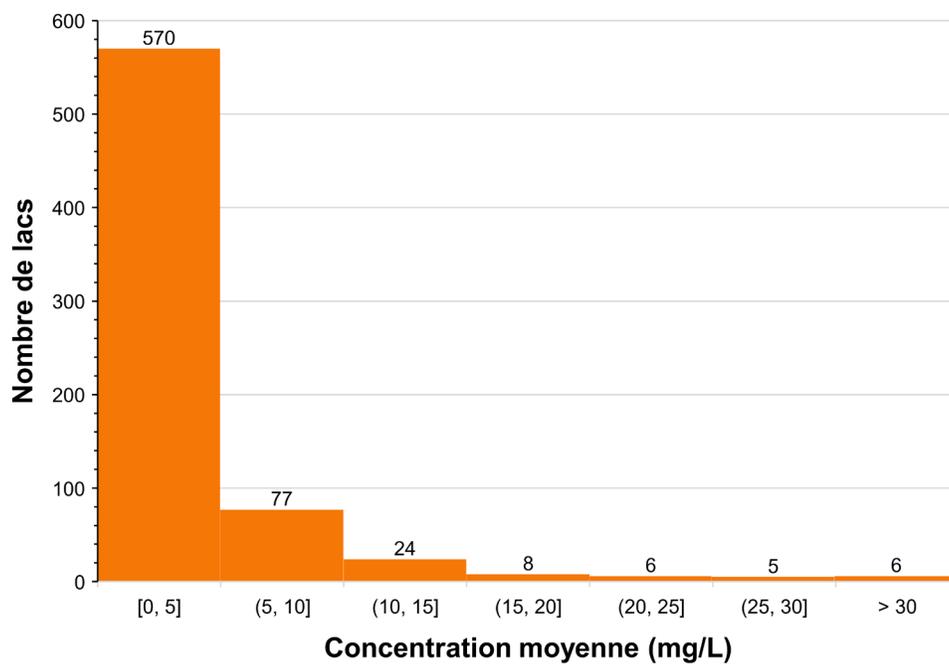


Figure 7 Teneurs en sodium dans les lacs du Québec méridional (2016-2022)

## 4. Actions à venir

En rivière et dans le fleuve Saint-Laurent, un second suivi aux mêmes 224 stations du Réseau-rivières, ainsi qu'à 6 stations du fleuve, devrait être réalisé de 2024 à 2026 afin de cerner adéquatement cette problématique, ainsi que les causes sous-jacentes. Une revue de la littérature portant sur les sources de chlorures et de sodium, de même que sur les suivis des sels de voiries dans le monde, permettrait une analyse plus approfondie de la situation.

Finalement, le MELCCFP amorcera en 2024 une analyse plus approfondie des impacts des sels de voirie sur les lacs du Québec. L'acquisition de données de chlorures sur les lacs du RSVL se poursuivra pour encore au moins trois ans. Il est aussi prévu que les teneurs en chlorures et en cations et la conductivité continuent à être mesurées annuellement dans 15 lacs échantillonnés à haute fréquence et à plusieurs profondeurs dans le cadre du projet des « Lacs témoins ». Par ailleurs, des profils verticaux de conductivité ont récemment été acquis pour 96 lacs et d'autres seront réalisés l'an prochain. Les informations obtenues à ce sujet pourront servir d'outils afin d'évaluer les changements de salinité à différentes profondeurs de la colonne d'eau des lacs.

## 5. Conclusion

La problématique des sels dissous dans l'eau, donc de salinisation des eaux douces, semble affecter surtout les petits cours d'eau en milieux urbains et agricoles. Aucun dépassement des critères de qualité de l'eau de surface n'a été observé pour le fleuve Saint-Laurent, tandis qu'un seul a été constaté pour les lacs. Les concentrations problématiques affectent un nombre restreint de cours d'eau et se produisent presque exclusivement en hiver et en été, potentiellement en raison des apports des eaux souterraines et des eaux de ruissellement produites lors des opérations de déglacage et lors de redoux hivernaux. Les dépassements des critères de qualité de l'eau pour les chlorures sont toutefois fréquents dans certains cours d'eau, dont six montrent même des dépassements du critère de vie aquatique aigu, ce qui indique que des effets graves sur les espèces les plus sensibles sont possibles. De plus, considérant que les échantillons ont été prélevés seulement une fois par mois, sans que soient nécessairement ciblées les périodes de redoux hivernaux et d'étiage estival, il est possible que davantage d'épisodes de concentrations élevées aient eu lieu, mais n'aient simplement pas été captés lors de l'échantillonnage.

Au regard des analyses préliminaires réalisées, les constats sont les suivants :

- Dans les cours d'eau, 21 des 224 stations d'échantillonnage (9,4 %) présentent des dépassements des critères de qualité de l'eau pour les chlorures.
- Les dépassements de critères sont peu fréquents, mais se produisent à un nombre restreint de stations, où ils peuvent être présents dans près d'un échantillon sur deux. Six cours d'eau ont enregistré des concentrations de chlorures qui dépassent le critère de vie aquatique aigu (CVAA), soit la Petite rivière Yamachiche, les rivières Saint-Jacques, de la Tortue, Madeleine, Saint-Régis et Saint-Charles. Quinze autres cours d'eau présentent des dépassements du critère de vie aquatique chronique (CVAC).
- Les sels de voirie ne constituent pas le seul facteur pouvant influencer les concentrations de chlorures dans les cours d'eau. D'autres caractéristiques des bassins versants peuvent avoir une influence comme la nature des sols, la proportion du territoire occupée par les terres agricoles et les milieux urbanisés, la densité de la population humaine et d'animaux d'élevage, etc. Des investigations supplémentaires devront être menées pour identifier les causes des dépassements de critères observés.

- Les sites d'échantillonnage retenus pour l'étude des chlorures ne doivent pas subir l'effet des marées à l'embouchure des cours d'eau des régions du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie, de Charlevoix et de la Côte-Nord.
- Pour les cours d'eau, le MELCCFP dispose de données sur la conductivité de l'eau à davantage de sites et pour une plus longue période que pour les chlorures et les autres ions majeurs. La possibilité d'estimer le dépassement des critères de qualité de l'eau associés aux chlorures et au sodium, à partir des valeurs de conductivité, est une piste à explorer. L'utilisation des données de conductivité pourrait peut-être permettre de cibler les secteurs devant faire l'objet de mesures des chlorures et autres ions majeurs.
- Dans le fleuve Saint-Laurent, aucun échantillon n'a dépassé les critères de qualité de l'eau pour les chlorures et le sodium.
- Les concentrations de chlorures et de sodium sont généralement faibles dans les lacs du Québec. Seul le lac Noranda de Rouyn-Noranda présente une teneur en chlorures excédant le CVAC.
- Davantage de données sur les chlorures, les cations et la conductivité dans les rivières, le fleuve et les lacs seront acquises dans les prochaines années et permettront une analyse plus approfondie pour ce type de milieu, qui portera entre autres sur les relations avec l'occupation du territoire.
- Le MELCCFP poursuit ses actions afin de mieux cerner la situation.

## Références

- ALAZARD, M. (2019). *Utilitaire permettant l'interprétation simplifiée des analyses en ions majeurs des eaux de surface et/ou souterraines*. [Fichier Microsoft Excel], Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, UQAM, Montréal, Canada.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME) (2011). "Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Chloride." Dans : *Canadian Environmental Quality Guidelines*, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. 16 p.
- CHAPRA, S.C., DOVE, A., et ROCKWELL, D.C. (2009). "Great lakes chloride trends: long-term mass-balance and loading analysis". *Journal of Great Lakes Research*, 35, p. 272-284, [<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2008.11.013>].
- DUGAN, H.A., ROCK, L.R., KENDALL, A.D., et MOONEY, R.J. (2023). "Tributary chloride loading into Lake Michigan". *Limnology and Oceanography Letters*, 8, p. 83-92, [<https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/lo2.10228>].
- ENVIRONNEMENT CANADA ET SANTÉ CANADA (2001). *Rapport d'évaluation de la liste des substances d'intérêt prioritaire – Sels de voirie*. Ottawa, Environnement Canada, 188 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2004). *R code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie*. Ottawa, Environnement Canada, 23 p. [<https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/polluants/sels-voirie/code-pratique-gestion-environnementale.html>]
- GRANATO, G.E., DeSIMONE, L.A., BARBARO, J.R., et JEZNACH, L.C. (2015). *Methods for Evaluating Potential Sources of Chloride in Surface Waters and Groundwaters of the Conterminous United States*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2015–1080, 89 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20151080> L'USGS (2015-1080), [<https://pubs.usgs.gov/of/2015/1080/ofr20151080.pdf>].
- HUDON, C., GAGNON, P., RONDEAU, M., HÉBERT, S., GILBERT, D., HILL, B., PATOINE, M., et STARR, M. (2017). "Hydrological and biological processes modulate carbon, nitrogen and phosphorus flux from the St. Lawrence River to its estuary (Québec, Canada)". *Biogeochemistry*, 135, p. 251-276.
- LADWIG, R., ROCK, L.A., et DUGAN, H.A. (2023). "Impact of salinization on lake stratification and spring mixing". *Limnology and Oceanography Letters*, 8, p. 93-102, [<https://doi.org/10.1002/lo2.10215>].
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023). *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec*. Québec, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, [[http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres\\_eau/index.asp](http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp)]. (page consultée le 2 avril 2023).
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (MELCC) (2021). *Plan d'action neiges usées*. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Plan d'action adopté le 12 octobre 2021, 11 p.
- NOVOTNY, E.V., MURPHY, D., et STEFAN, H.G. (2008). "Increase of urban lake salinity by road deicing salt." *Science of the Total Environment*, 406, p. 131-144, [<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.037>].
- RAMAKRISHNA, D. M., et VIRARAGHAVAN, T. (2005). "Environmental impact of chemical deicers—a review." *Water, Air, and Soil Pollution*, 166, p. 49-63, [<https://doi.org/10.1007/s11270-005-8265-9>].

- SIBERT, R.J., KORETSKY, C.M., et WYMAN, D.A. (2015). "Cultural meromixis: effects of road salt on the chemical stratification of urban kettle lake". *Chemical geology*, 395, p. 126-137, [<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.12.010>].
- SINGH, T., et KALRA, Y.P. (1975). "Specific conductance method for in situ estimation of total dissolved solids". *American Water Works Association*, 67, p. 99-100, [<https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1975.tb02168.x>].
- SORICHETTI, R.J., RABY, M., HOLETON, C., BENOIT, N., CARSON, L., De SELLAS, A., DIEP, N., EDWARDS, B., HOWELL, T., KALTENECKER, G., McCONNELL, C., NELLIGAN, C., PATERSON, A.M., ROGOJIN, V., TAMANNA, N., YAO, H., et YOUNG, J.D. (2022). "Chloride trends in Ontario's surface and groundwaters". *Journal of Great Lakes Research*, 48, p. 512-525, [<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2022.01.015>].
- VÉRIFICATEUR GÉNÉRAL DU QUÉBEC (VGQ) (2021). *Rapport du Vérificateur général du Québec à l'Assemblée nationale pour l'année 2021 – Rapport du commissaire au développement durable. Chapitre 2 Neiges usées : répercussions sur l'environnement – Audit de performance*, 41 p.
- WILTSE, B., YERGER, E.C., et LAXSON, C.L. (2020). "A reduction in spring mixing due to road salt runoff entering Mirror Lake (Lake Placid, NY)". *Lake and Reservoir Management*, 36, p. 109-121, [<https://doi.org/10.1080/10402381.2019.1675826>].



**Environnement,  
Lutte contre  
les changements  
climatiques,  
Faune et Parcs**

**Québec** 