

SUIVI DU LAC CLÉMENT

Évaluation de la contamination par les sels de voirie



*Association pour la protection de l'environnement du
lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL)*

Décembre 2010

Échantillonnage et travaux de terrain

Mathieu Durette, *Biologiste* (2008)

Andréanne Boisvert, *Biologiste, M.Sc.* (2009 - 2010)

Anne-Sophie Maitret, *Hydrobiologiste* (2010)

Sonja Behmel, *Géographe, M.Sc.* (2010)

Réalisation de la bathymétrie

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Michel Breton, *Géographe*

Cartographie

Michel Breton, *Géographe*

Analyse des données

Andréanne Boisvert, *Biologiste, M.Sc.*

Rédaction

Andréanne Boisvert, *Biologiste, M.Sc.*

Sonja Behmel, *Géographe, M.Sc.*

Révision

Mélanie Deslongchamps, *Directrice générale*

François Côté, *Adjoint à la direction, M.Sc.*

Référence à citer

APEL (2010) Suivi du lac Clément - Évaluation de la contamination par les sels de voirie, Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 46 pages.

Description de la photo en page couverture

Photo aérienne du lac Clément et de son bassin versant, Mélanie Deslongchamps, 2007

Sommaire exécutif

En 2007, dans le cadre de l'*Étude limnologique du haut-bassin de la rivière Saint-Charles*, une conductivité anormalement élevée a été détectée dans les eaux du lac Clément. La conductivité indique la présence d'ions qui peuvent provenir de détergents, d'abrasifs pour la route ou d'autres sources anthropiques. C'est une mesure indirecte de substances dissoutes dans l'eau.

En 2008, l'APEL a reçu le mandat d'échantillonner le lac Clément et ses tributaires afin de déterminer la nature des ions dans le lac et d'en identifier les sources. Les ions se sont avérés être principalement des chlorures en provenance des tributaires drainant le réseau routier, notamment de l'autoroute 73, du boulevard Talbot et de l'avenue de la Rivière-Jaune.

Le suivi du lac Clément s'est poursuivi en 2009 et 2010. Les ions chlorures et la conductivité mesurés au printemps 2009 étaient particulièrement élevés. Les données de 2010 démontrent une baisse légère de ces valeurs. Ceci pourrait s'expliquer par les faibles précipitations de neige durant l'hiver 2009 – 2010, conditions qui ont nécessité moins d'épandage de sels de déglçage.

Les sels de voirie sont la principale cause de l'augmentation de la conductivité des eaux du lac Clément. Conséquemment, il est nécessaire d'identifier les sources pour mieux cibler les moyens de réduction (considérant aussi l'aspect de la sécurité routière), car la concentration en chlorures de la masse d'eau profonde du lac Clément est supérieure au seuil de toxicité chronique de 230 mg/L proposé par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP).

Il est à noter que le lac Clément a démontré une température anormalement élevée dans toute sa colonne d'eau durant l'été 2010. Les rives du lac sont relativement peu végétalisées et la construction illégale de murs décoratifs (2009 – 2010) contribue à ce réchauffement des eaux. Aussi, la transparence est de plus en plus élevée. Ceci pourrait être un signe de la toxicité accrue des ions chlorures dans le lac qui a comme effet une réduction de la productivité biologique.

À l'heure actuelle, l'épandage des sels dans le sous-bassin versant du lac Clément se fait par deux entités distinctes : le Ministère des Transports de Québec (MTQ) (autoroute 73) et la division des travaux publics de l'arrondissement de Charlesbourg pour les autres voies de communication. Nous recommandons que ces deux entités soient consultées afin qu'on puisse déterminer précisément quelles sont les quantités de sels épandues annuellement (dresser un historique), identifier la nature des abrasifs, ainsi que les méthodes d'épandage utilisées, afin qu'un plan de réduction des abrasifs et que d'autres mesures d'atténuation puissent être élaborés.

Table des matières

Sommaire exécutif.....	i
Table des matières.....	ii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux	v
1. Introduction	1
2. Activités réalisées et méthodologies utilisées.....	1
Acquisition d'informations manquantes.....	1
Localisation des tributaires	1
Suivi de la qualité de l'eau des tributaires.....	2
Suivi de la qualité de l'eau du lac Clément	2
3. Description du lac et de son bassin versant	3
4. Contexte hydrologique du lac	7
5. Contexte géologique.....	8
6. Conditions météorologiques	9
7. Résultats de qualité de l'eau	10
7.1 Lac Clément	10
7.2 Tributaires du lac Clément	14
8. Discussion.....	17
8.1 Conductivité et ions chlorures	17
8.2 Sources d'ions chlorures	17
8.3 Évolution de la contamination par les sels de voirie	18
8.4 Conséquences des sels de voirie sur l'eau douce	18
9. Conclusions et recommandations.....	19
10. Glossaire.....	22

11. Références.....	23
Rapports d'analyse 2010	24
Rapports d'analyse 2009	24
Rapports d'analyse 2008	24
ANNEXE 1 : Données brutes du lac Clément.....	25
ANNEXE 2 : Données brutes des tributaires	29
ANNEXE 4 : Plainte.....	30

Liste des figures

Figure 1 : Photo aérienne du lac Clément et de son bassin versant (APEL, 2007).....	3
Figure 2 : Localisation du lac Clément, de ses principaux affluents (CLTR1 à 3) et des sites d'échantillonnage (CL05, CLTR1 à 3).....	4
Figure 3 : Carte topographique du bassin versant du lac Clément présentant l'intensité des pentes	5
Figure 4 : Carte bathymétrique du lac Clément, réalisée en septembre 2008 en collaboration avec le MRNF	6
Figure 5 : Géologie et dépôts de surface du bassin versant de la rivière Saint-Charles (Tiré de Gérardin et Lachance, 1997).....	8
Figure 6 : A) Températures mensuelles moyennes (°C) mesurées à l'aéroport Jean-Lesage; B) Précipitations totales mensuelles (équivalence en mm d'eau) mesurées à l'aéroport Jean-Lesage	9
Figure 7 : Profils d'oxygène dissous (mg/L) et de pH mis en relation avec les profils de température (°C) du lac Clément en 2008, 2009 et 2010.....	11
Figure 8 : Profils de conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et concentrations de chlorures (mg/L) mis en relation avec les profils de température (°C) du lac Clément en 2008, 2009 et 2010	12
Figure 9 : Évolution de la transparence au lac Clément de 2007 à 2010.....	13
Figure 10 : A) Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurée au lac Clément en juillet 2007, 2008, 2009 et 2010; B) Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurée aux lacs Saint-Charles, Delage, Durand et Trois-Petits-Lacs en juillet 2007	13
Figure 11 : Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), température (°C) et pH des affluents du lac Clément en 2008, 2009 et 2010.....	16
Figure 12 : Évolution de la valeur moyenne annuelle en chlorure dans l'eau brute de la prise d'eau potable de la rivière Saint-Charles entre 1977 et 2008 (François Proulx, 2009).	19

Liste des tableaux

Tableau 1 : Détails de l'échantillonnage par année et par tributaire.....	2
Tableau 2 : Détails de l'échantillonnage du lac Clément à la station CL05.	2
Tableau 3 : Caractéristiques physiques du lac Clément et de son bassin versant.	3
Tableau 4 : Concentrations en chlorures (mg/L) de référence pour les plans d'eau naturels intacts du Bouclier canadien et pour les lacs en milieu peu urbanisé à proximité du lac Clément.	14
Tableau 5 : Concentrations en chlorures (mg/L) retrouvées dans deux lacs en milieu fortement urbanisé sur le territoire de la ville de Québec.....	14

1. Introduction

En 2007, dans le cadre d'une étude limnologique se déroulant dans l'ensemble du haut-bassin de la rivière Saint-Charles (APEL 2009), il a été observé que la conductivité des eaux du lac Clément était beaucoup plus élevée que celle mesurée dans d'autres lacs situés à proximité.

En 2008, l'APEL a été mandatée par le Service de l'Environnement de la Ville de Québec pour approfondir les connaissances sur le lac Clément. L'APEL devait, entre autres, réaliser une étude permettant d'expliquer la forte conductivité. Les résultats de cette étude avaient démontré une teneur en chlorures anormalement élevée dans le lac et les tributaires drainant le réseau routier. Les sels de voirie semblaient donc contribuer significativement à l'augmentation de la conductivité du lac Clément.

En 2009, le mandat de l'APEL au lac Clément s'est poursuivi. Le but était alors de réaliser un suivi de la conductivité et de la concentration en ions chlorures (Cl⁻) dans le lac et ses tributaires lors de la fonte printanière. En effet, les ions chlorures sont considérés comme un bon indicateur de la contamination de l'eau par les sels de voirie (Environnement Canada & Santé Canada 2001).

Chaque année, un rapport présentant les résultats a été remis au Service de l'Environnement de la Ville de Québec afin d'appuyer ses démarches internes et celles en collaboration avec le Ministère des Transports du Québec (MTQ).

En 2010, le suivi de la conductivité et de la concentration en chlorures du lac Clément et de ses tributaires s'est poursuivi, mais la période d'échantillonnage s'est étalée au-delà de la fonte printanière. Ce rapport fait le point sur les données récoltées de 2008 à 2010 et sur la problématique de contamination du lac par les sels de voirie.

2. Activités réalisées et méthodologies utilisées

Acquisition d'informations manquantes

La bathymétrie du lac Clément a été réalisée en 2008 en collaboration avec le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF).

La superficie et l'occupation du sol du bassin versant, le nombre d'habitations, la superficie et le volume du lac ont été révisés en 2009 par des requêtes aux systèmes d'information géographique (SIG).

Le temps de renouvellement du lac a été estimé en 2009 à partir du volume du lac, de la superficie du bassin versant du lac et du débit spécifique moyen de 0,038 m³/sec/km² calculé pour le bassin versant de la rivière Jaune. Ce débit spécifique a été calculé à partir d'une série de débits journaliers de la rivière Jaune fournie par le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ).

Localisation des tributaires

Avant 2008, seul l'affluent principal du lac (CLTR1) était connu. Deux autres affluents (CLTR2, CLTR3) ont été localisés au cours du suivi de 2008.

Suivi de la qualité de l'eau des tributaires

Les sites d'échantillonnage des trois tributaires sont localisés sur la carte de la figure 2. Ils ont été positionnés le plus près possible du lac.

Le tableau suivant donne les détails de l'échantillonnage par année et par tributaire.

Tableau 1 : Détails de l'échantillonnage par année et par tributaire.

Période de suivi		Site d'éch.	Paramètres mesurés avec multisonde HI9828	Paramètres analysés en laboratoire	Laboratoire	Nb. analyses
2008	28 mars au 7 juill.	CLTR1	T°, pH, O ₂ dissous, conductivité	Ca ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻	Maxxam	3
	1 ^{er} mai au 7 juillet	CLTR2				1
	7 juillet	CLTR3				0
2009	23 mars au 12 mai	CLTR1	T°, pH, O ₂ dissous, conductivité	Cl ⁻	Maxxam	4
		CLTR2				3
		CLTR3				3
2010	15 mars au 14 oct.	CLTR1	T°, pH, O ₂ dissous, conductivité	Cl ⁻	Ville de Québec	8
		CLTR2				6
		CLTR3				8

Suivi de la qualité de l'eau du lac Clément

L'échantillonnage du lac a été réalisé au point le plus profond du lac. Le site d'échantillonnage est localisé à la figure 2. Lors des sorties sur le lac, des profils de température, de pH, d'oxygène dissous et de conductivité ont été réalisés en prenant des mesures à chaque 0,5 m de profondeur avec une multisonde HI9828. La transparence de l'eau a aussi été mesurée à l'aide d'un disque Secchi. De plus, des échantillons ont été prélevés en surface et près du fond afin de faire analyser en laboratoire la concentration en chlorures et autres ions. Les détails de l'échantillonnage sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Détails de l'échantillonnage du lac Clément à la station CL05.

Période de suivi	Nb. de profils réalisés avec multisonde HI9828	Paramètres analysés en laboratoire	Profondeur	Laboratoire	Nb. analyses par profondeur
14 mai au 30 oct. 2008	4	Ca ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻	Surf. : 0 m Fond : 5 m	Maxxam	1
12 mai au 26 oct. 2009	4	Cl ⁻	Surf. : 0 m Fond : 4 à 5 m	Maxxam	4
29 avril au 14 oct. 2010	5	Cl ⁻	Surf. : 0 m Fond : 5 m	Ville de Québec	5

3. Description du lac et de son bassin versant

Le lac Clément est relativement petit et peu profond (Tableau 3, Figure 4). Comme pour plusieurs lacs de tête de la région, son bassin versant a une superficie limitée par rapport à la superficie du lac (Tableau 3, Figure 2).

Dans le bassin versant du lac Clément, les surfaces anthropisées représentent 20,8 % du territoire et l'on y retrouve 107 unités d'habitation (Tableau 3). La majorité des habitations sont situées à moins de 150 m du lac. Une partie des habitations dispose d'installations septiques individuelles et une autre est reliée à un système d'égout sanitaire.

Le réseau routier (routes et accotements) occupe 7 % du bassin versant du lac Clément. Une rue résidentielle encercle le lac et deux axes routiers importants le longent : l'autoroute 73 et le boulevard Talbot (Figure 2).

La majeure partie du bassin versant (63,1 %) est occupée par des milieux boisés. Néanmoins, les terrains boisés sont répartis en périphérie du bassin versant et les terrains urbanisés sont dans l'environnement immédiat du lac Clément. Les routes et les habitations ont donc un effet direct sur le lac. La photographie aérienne présentée à la figure 1 donne un aperçu de l'utilisation du territoire dans le bassin versant du lac Clément.

Tableau 3 : Caractéristiques physiques du lac Clément et de son bassin versant.

Caractéristiques du lac	
Superficie	0,085 km ²
Profondeur maximale	6,14 m
Volume	195 644 m ³
Temps de renouvellement	60 jours
Caractéristiques du bassin versant	
Superficie	0,988 km ²
Nombre d'unités d'habitation	107
Réseau routier	7,0 %
Lac Clément	8,3 %
Milieux forestiers	63,1 %
Milieux habités ou déboisés	20,8 %
Autres	0,8 %

tiré de APEL, 2009



Figure 1 : Photo aérienne du lac Clément et de son bassin versant (APEL, 2007)

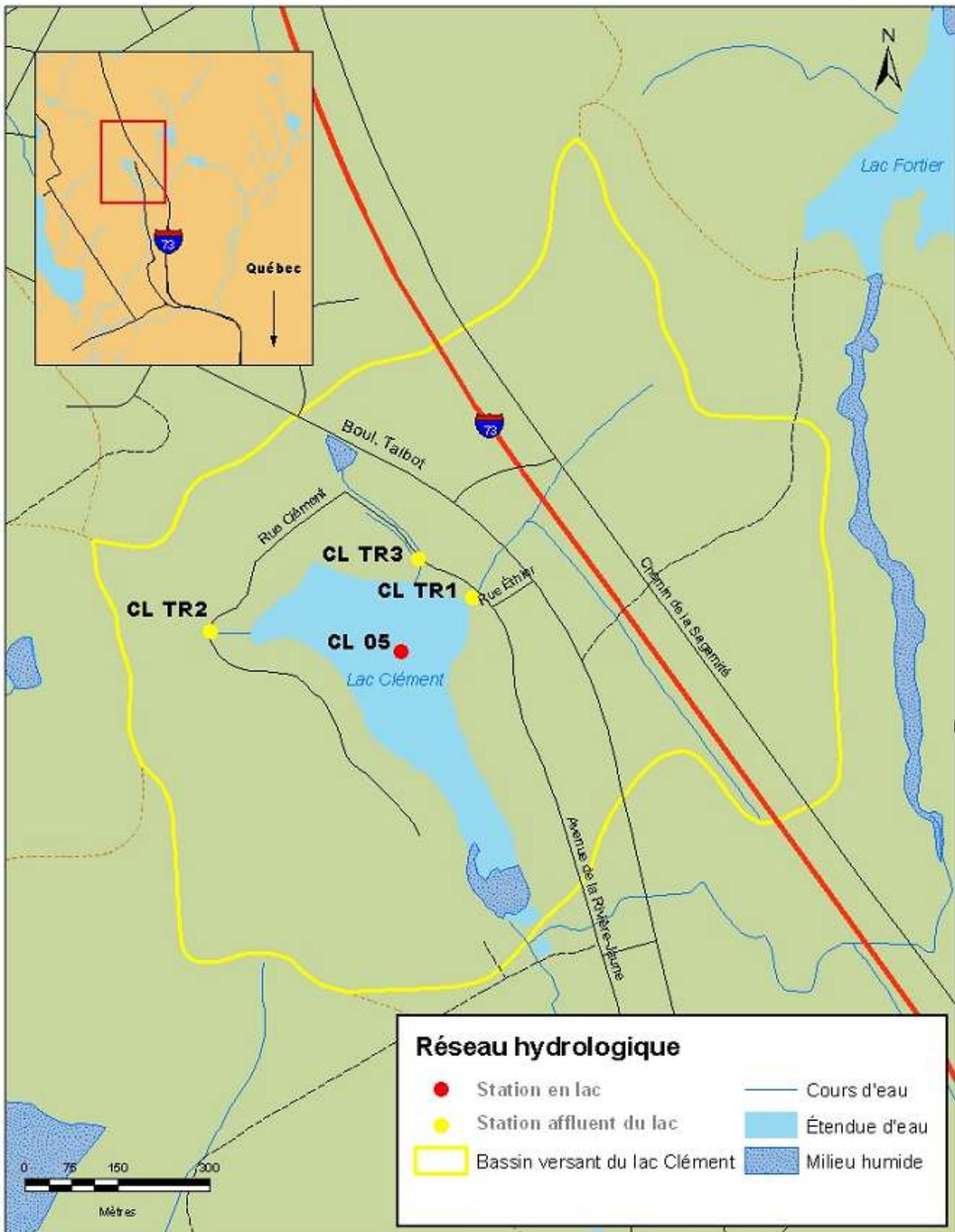


Figure 2 : Localisation du lac Clément, de ses principaux affluents (CLTR1 à 3) et des sites d'échantillonnage (CL05, CLTR1 à 3)

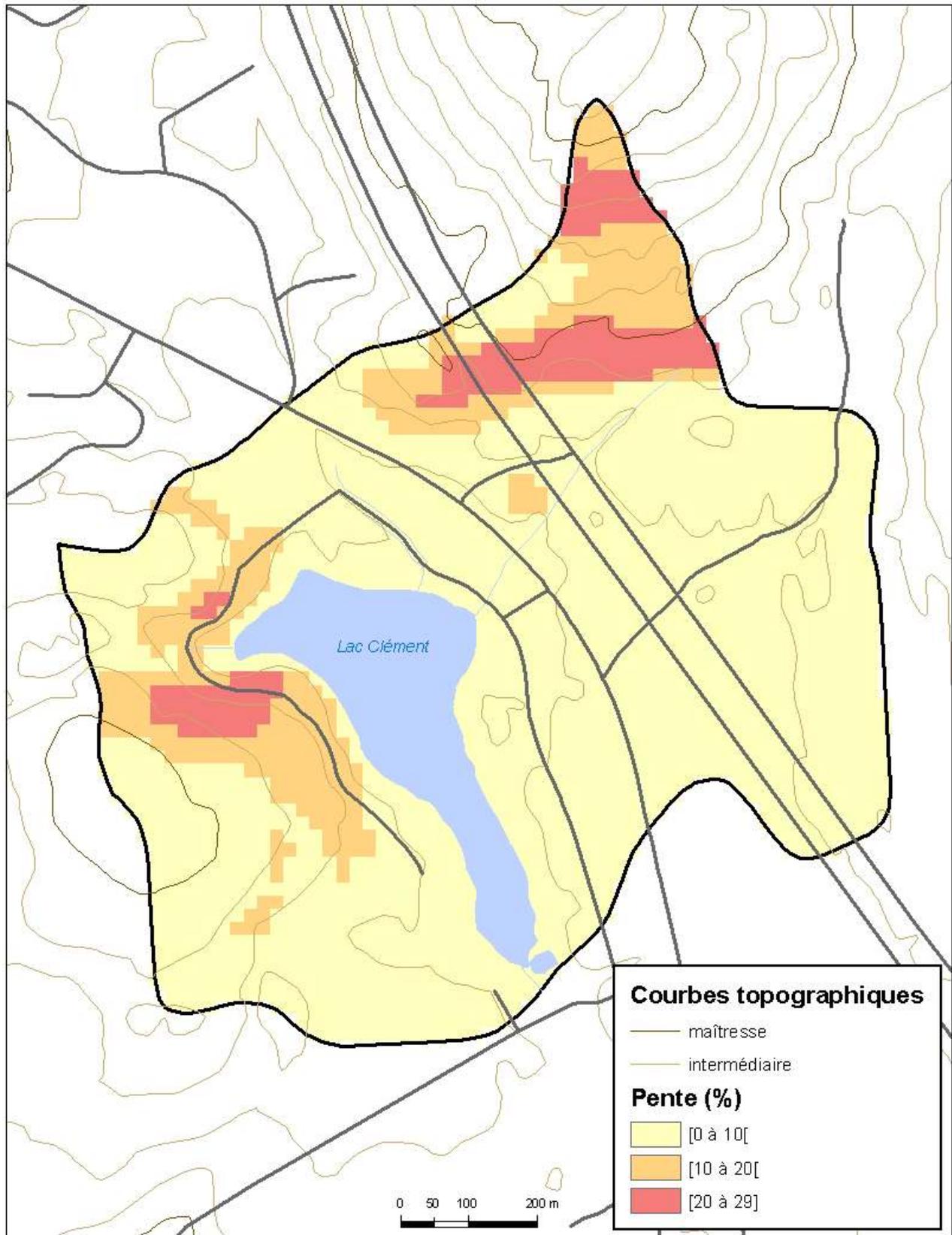


Figure 3 : Carte topographique du bassin versant du lac Clément présentant l'intensité des pentes

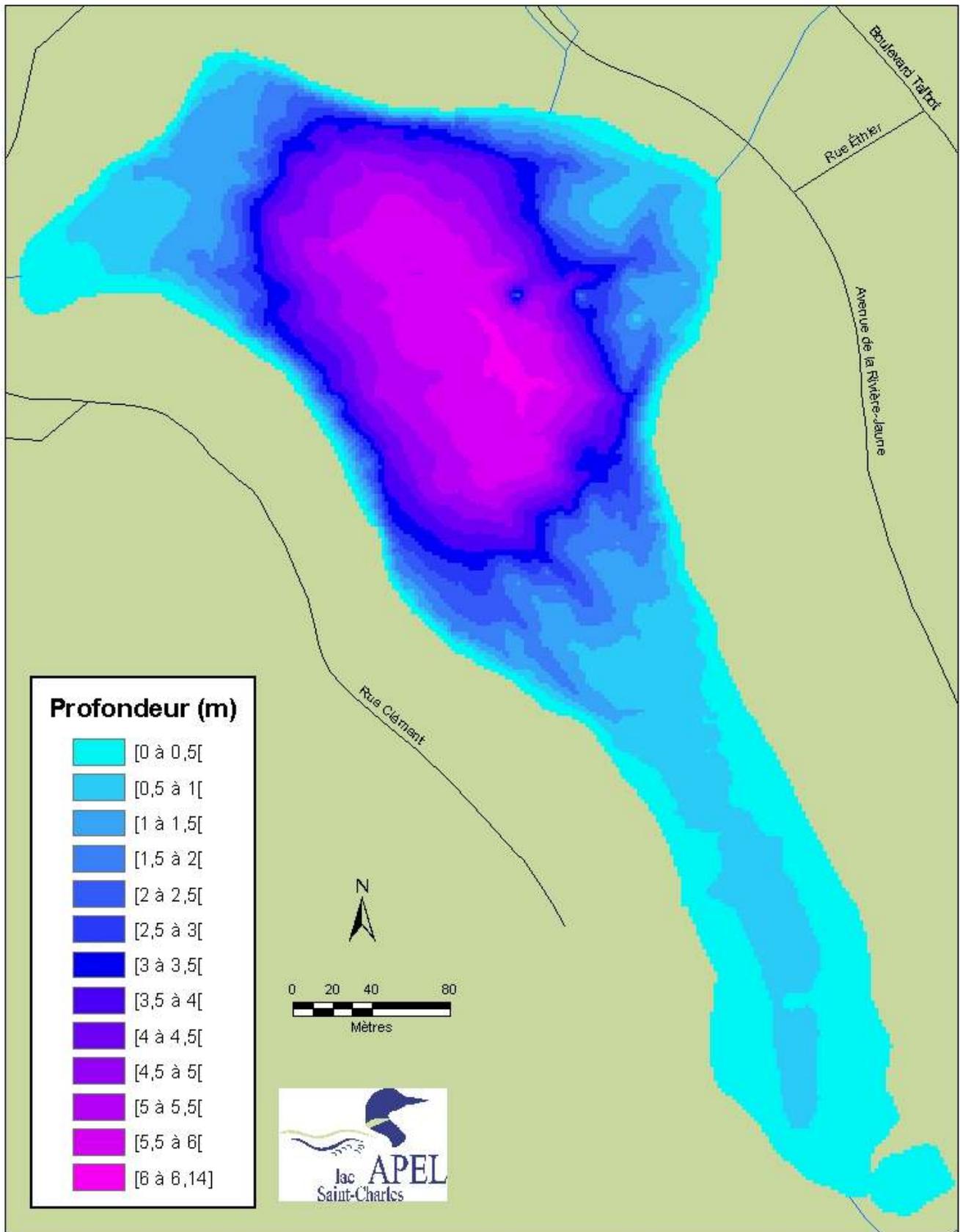


Figure 4 : Carte bathymétrique du lac Clément, réalisée en septembre 2008 en collaboration avec le MRNF

4. Contexte hydrologique du lac

Dans sa partie sud, le lac Clément se déverse par le ruisseau du Valet vers la rivière Jaune. Il est inclus dans le bassin versant de la prise d'eau potable de la Ville de Québec située sur la rivière Saint-Charles.

Trois tributaires ont été identifiés pour le lac Clément. Ils sont localisés à la figure 2. Voici une brève description de ces trois affluents :

CLTR1 : Principal affluent du lac. Ruisseau naturel passant sous tous les axes routiers adjacents au lac. Les fossés du boulevard Talbot et de l'autoroute 73 s'y déversent.

CLTR2 : Source souterraine provenant d'une zone forestière et créant un petit ruisseau 60 m avant le lac.

CLTR3 : Cet affluent intermittent est constitué des fossés de l'avenue de la Rivière-Jaune. Un des fossés draine un petit milieu humide longeant le boulevard Talbot.

En 2008, l'effort d'échantillonnage a été mis en priorité sur l'affluent CLTR1 puisqu'il draine le réseau routier et que son débit est le plus important. En 2009, une plus grande quantité de données est disponible pour l'affluent CLTR1, car il était le seul à présenter un débit lors du premier échantillonnage au mois de mars. En 2010, le ruisseau CLTR2 était à sec en juillet et en août et n'a donc pas pu être échantillonné.

Du côté ouest, le lac est bordé par des terrains au fort dénivelé. Plusieurs petites sources suintent de ces parois et se déversent dans le lac.

L'APEL n'a pas de données disponibles sur les apports d'eaux souterraines au lac Clément. La quantité et la qualité des eaux souterraines alimentant le lac Clément ne sont pas connues. Néanmoins, on peut supposer que l'écoulement des nappes phréatiques se fait de la route vers le lac en suivant la topographie (Figure 3).

5. Contexte géologique

Le lac Clément et son bassin versant sont situés sur le Bouclier canadien (Figure 5). Ils se trouvent dans une zone où les minces dépôts de surface sont composés de till et où la roche-mère affleure souvent la surface (Commission géologique du Canada 2008; Gérardin & Lachance 1997). Les eaux de surface retrouvées dans ce genre d'environnement géologique ont généralement une faible charge ionique et, conséquemment, une faible salinité et une faible conductivité (Environnement Canada & Santé Canada 2001; Wetzel 2001). En effet, ce genre d'assemblage géologique se dissout difficilement et libère peu d'ions (Wetzel 2001).

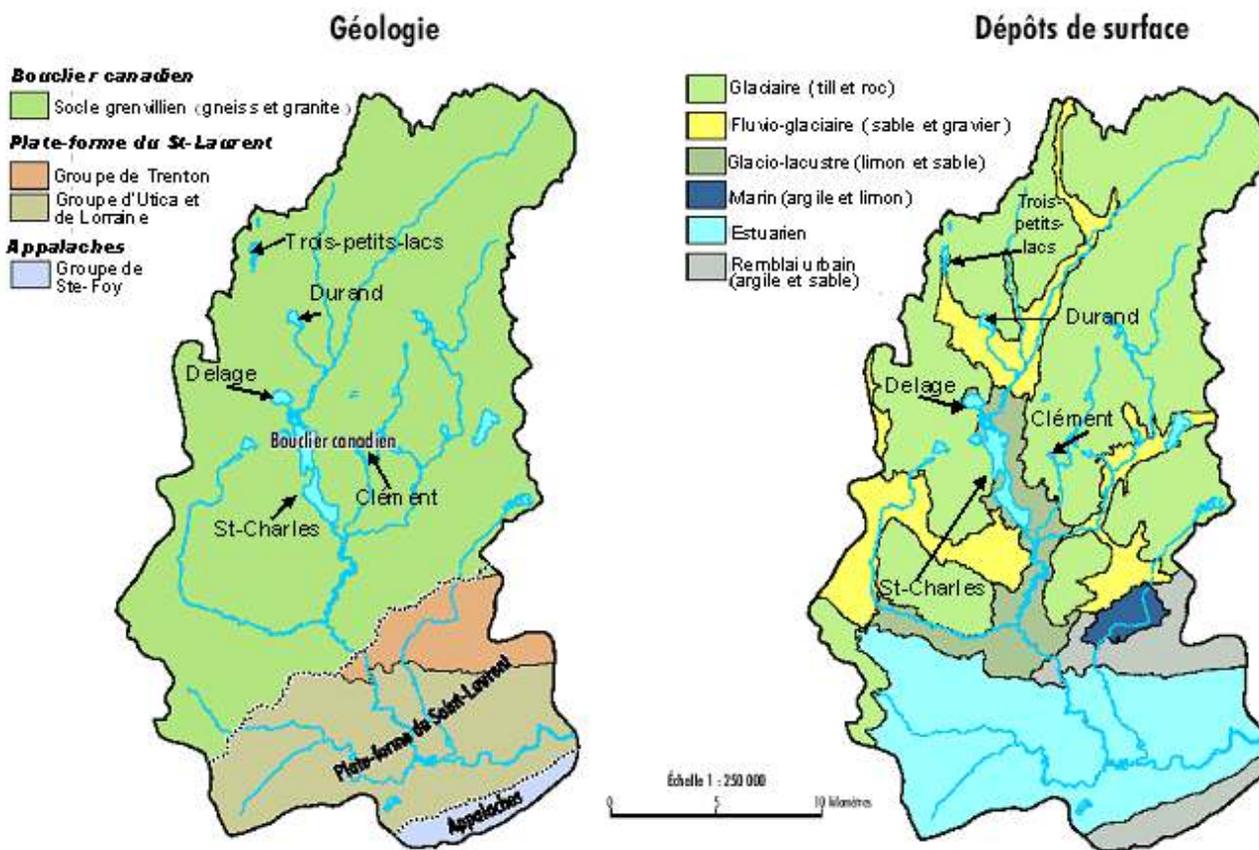


Figure 5 : Géologie et dépôts de surface du bassin versant de la rivière Saint-Charles (Tiré de Gérardin et Lachance, 1997)

6. Conditions météorologiques

Les précipitations de neige et de pluie, les températures hivernales, ainsi que les périodes de fonte printanière ont varié entre les années 2008, 2009 et 2010. Cela a pu influencer les concentrations de chlorures et la conductivité observées dans le lac et ses tributaires. Quelques statistiques météorologiques enregistrées par Environnement Canada à l'aéroport Jean-Lesage sont donc présentées (Figure 6) pour évaluer les différences entre les trois années de suivi.

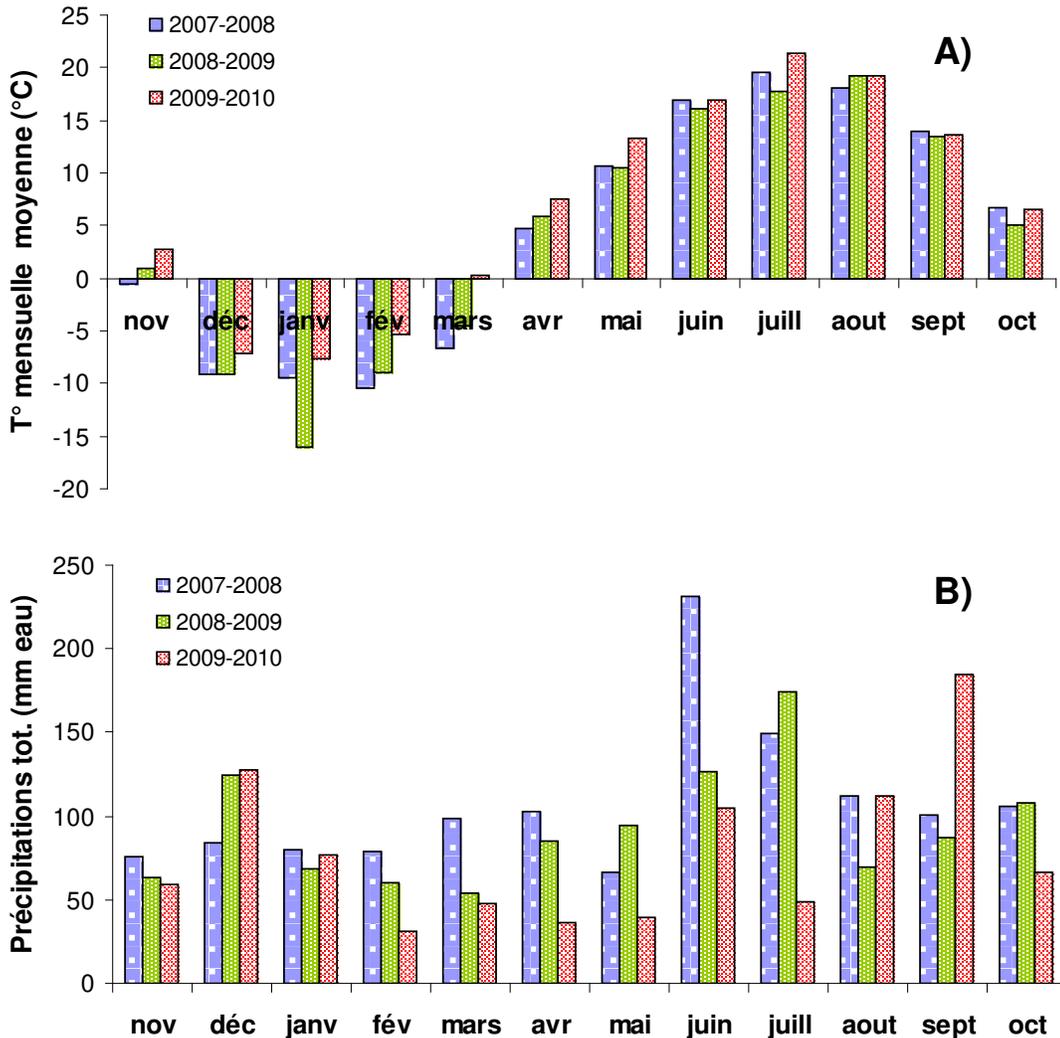


Figure 6 : A) Températures mensuelles moyennes (°C) mesurées à l'aéroport Jean-Lesage; B) Précipitations totales mensuelles (équivalence en mm d'eau) mesurées à l'aéroport Jean-Lesage

L'hiver 2009-2010 a connu des températures plus douces que les deux hivers précédents (Figure 6A). De plus, au mois de février 2010, il y a eu très peu de précipitations comparativement à 2008 et 2009 (Figure 6B) et selon les observations faites sur le terrain, il n'y a pas eu de précipitations significatives de neige en février et mars 2010 au lac Clément. Toujours d'après les observations de terrain, la fonte des neiges dans le bassin versant du lac Clément s'est faite graduellement de la mi-mars à la fin avril en 2008 et en 2009, alors qu'en 2010, la fonte a été très rapide et a eu lieu au début de février à la suite de fortes pluies. Les quantités de sels de voirie épandues sur le réseau routier du bassin versant n'ont pas été communiquées à l'APEL. Par contre,

en se basant sur les statistiques et les observations météorologiques, il semble plausible qu'à l'hiver 2009-2010, beaucoup moins de sels aient été utilisés par rapport aux deux hivers précédents.

Toujours en comparaison avec 2008 et 2009, le printemps 2010 (avril et mai) a été particulièrement chaud et sec (Figure 6). Les mois de juin et juillet 2010 ont aussi été très secs (Figure 6B) Les faibles précipitations enregistrées entre février et juillet 2010 ont mené à des niveaux d'eau extrêmement bas dans les rivières et les lacs de tout le bassin versant de la rivière Saint-Charles à l'été 2010 (observations de terrain, 2010, APEL). Pendant cette sécheresse, l'alimentation du lac Clément et de ses tributaires était donc principalement assurée par les apports d'eau des nappes phréatiques.

7. Résultats de qualité de l'eau

7.1 Lac Clément

L'ensemble des données brutes mesurées au lac Clément de 2007 à 2010 est présenté à l'annexe 1.

La figure 7 montre les profils de température, d'oxygène dissous et de pH réalisés en 2008, 2009 et 2010 au lac Clément.

Lors des trois années, une stratification thermique s'est établie dans le lac au cours du printemps et de l'été. De plus, les températures mesurées en octobre indiquent qu'il y a eu un mélange automnal de la colonne d'eau en 2008, 2009 et 2010. Par contre, il faut noter qu'en 2010, la température de l'eau dans l'épilimnion (couche d'eau au-dessus de la thermocline) était très élevée (>25 °C) en juillet. Un fait à remarquer est qu'en août, le lac n'était plus stratifié et que toute la colonne d'eau avait une température d'environ 21 °C. Plusieurs hypothèses pourraient expliquer ce phénomène :

- un réchauffement du lac par réverbération par des murs de soutènement décoratifs et le manque de végétation en rive;
- des températures extérieures élevées;
- un hiver doux ayant permis un réchauffement plus tôt dans la saison (Section 6).

La transparence, mesurée à l'aide du disque Secchi, va jusqu'à 5,25 m en 2010 (Figure 9). Dans le cas du lac Clément, cela est probablement un signe que le niveau de toxicité pour la productivité biologique est déjà atteint (Wetzel 2001).

En 2008, 2009 et 2010, l'épilimnion semblait bien oxygéné (>6 mg O₂/L) et la concentration en oxygène dissous diminuait dans l'hypolimnion (couche profonde sous la thermocline). Pendant la période de stratification, la masse d'eau se situant sous les quatre mètres de profondeur était peu oxygénée (< 4 mg O₂/L) et parfois anoxique.

La figure 8 met en relation la stratification thermique avec les profils de conductivité et les concentrations en chlorures du lac Clément en 2008, 2009 et 2010.

Pour les trois années, on remarque que, pendant la stratification thermique, la conductivité et la concentration en chlorures étaient plus élevées dans la masse d'eau profonde. Dans l'hypolimnion, les plus fortes valeurs de conductivité et de chlorures ont été retrouvées chaque printemps lors du premier échantillonnage puis, lors des échantillonnages suivants, elles diminuaient graduellement. En même temps que la stratification thermique, une stratification haline semble donc s'établir chaque printemps dans le lac, s'atténuer légèrement pendant l'été et disparaître avec le brassage automnal.

La conductivité et les concentrations en chlorures retrouvées dans l'épilimnion du lac étaient similaires lors des trois années. Par contre, en 2010, la conductivité et la teneur en chlorures étaient beaucoup plus faibles dans la couche d'eau profonde.

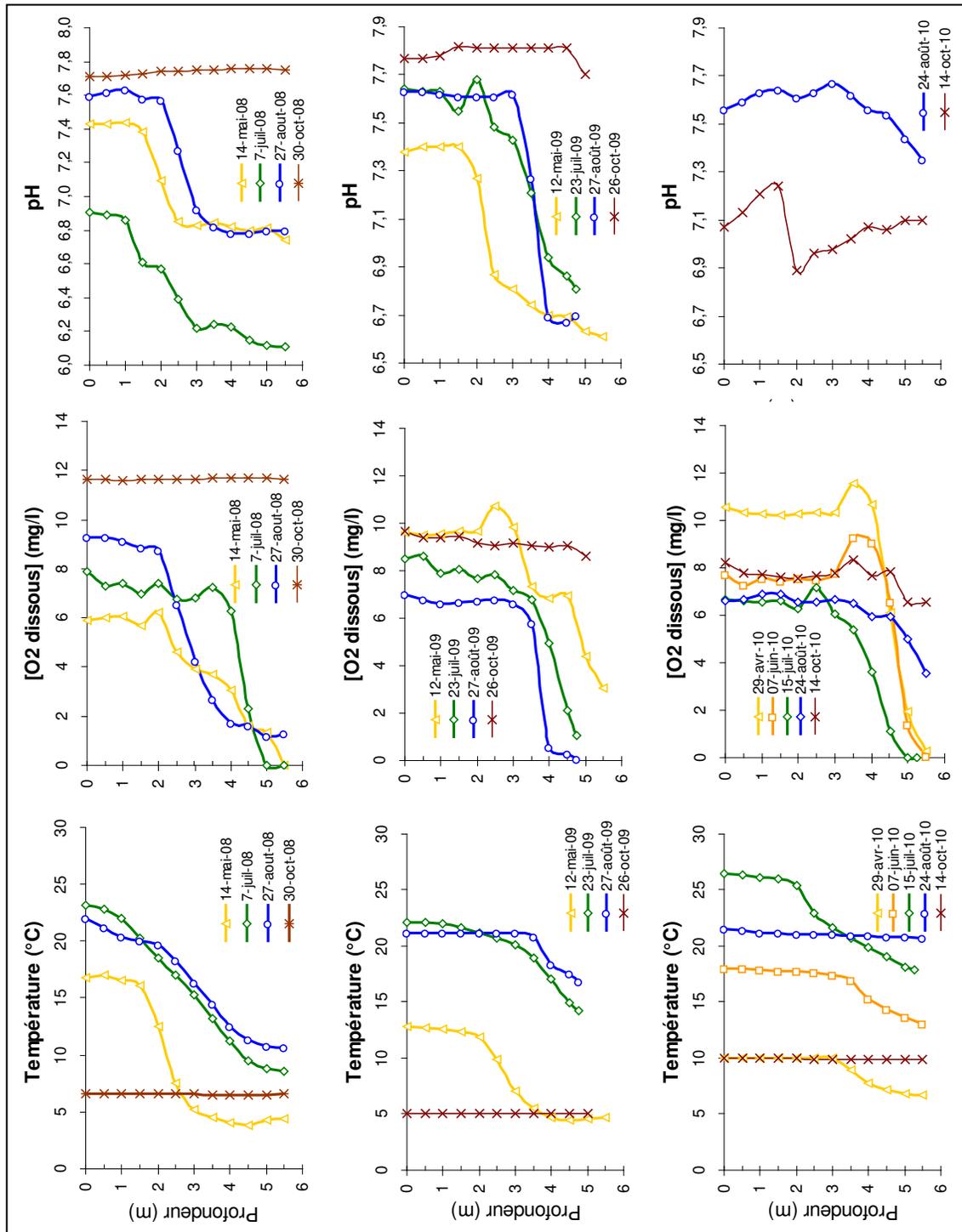


Figure 7 : Profils d'oxygène dissous (mg/L) et de pH mis en relation avec les profils de température (°C) du lac Clément en 2008, 2009 et 2010

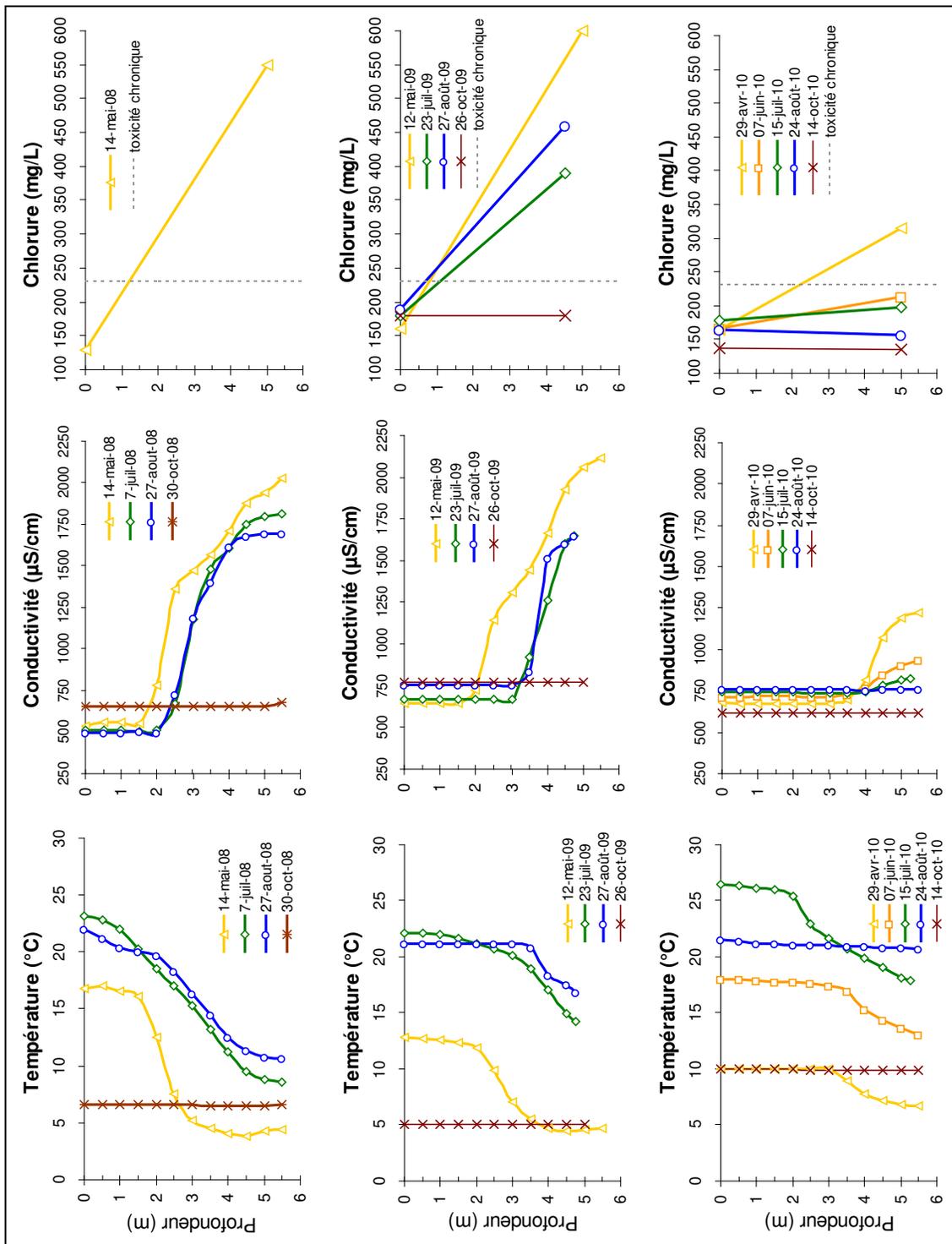


Figure 8 : Profils de conductivité (µS/cm) et concentrations de chlorures (mg/L) mis en relation avec les profils de température (°C) du lac Clément en 2008, 2009 et 2010

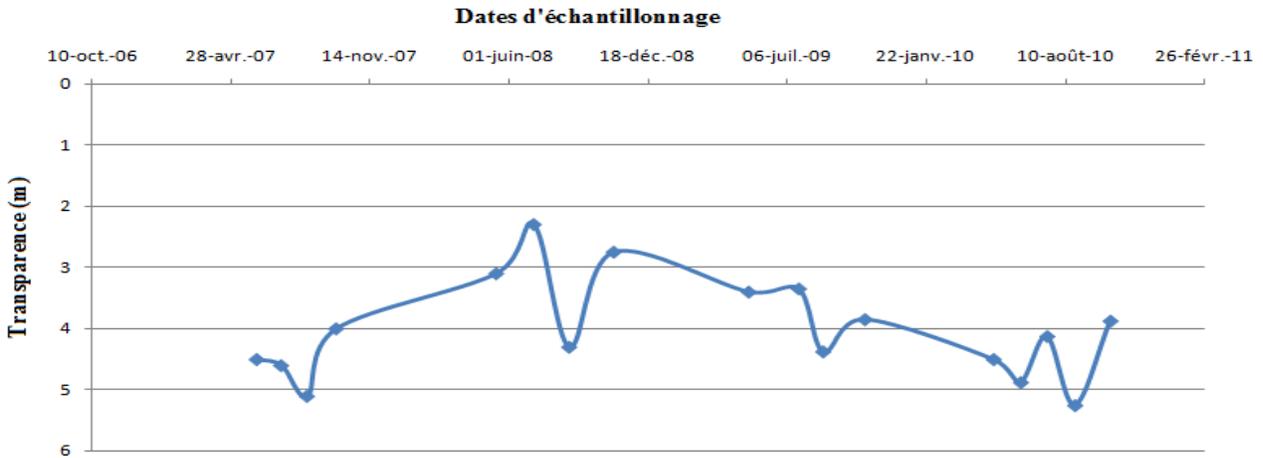


Figure 9 : Évolution de la transparence au lac Clément de 2007 à 2010

La figure 10 montre les profils de conductivité réalisés au lac Clément en juillet 2007, 2008, 2009 et 2010, ainsi que ceux réalisés dans quatre lacs de la région en juillet 2007. Ces lacs sont localisés à la figure 5.

Ces résultats démontrent que, malgré un contexte géologique semblable pour tous les lacs, la conductivité au lac Clément est beaucoup plus élevée et se trouve dans un tout autre ordre de grandeur. De plus, il est intéressant de remarquer que, contrairement au lac Clément, la conductivité des autres lacs de la région chute dans l'hypolimnion. La stratification haline retrouvée au lac Clément semble donc être un phénomène anormal.

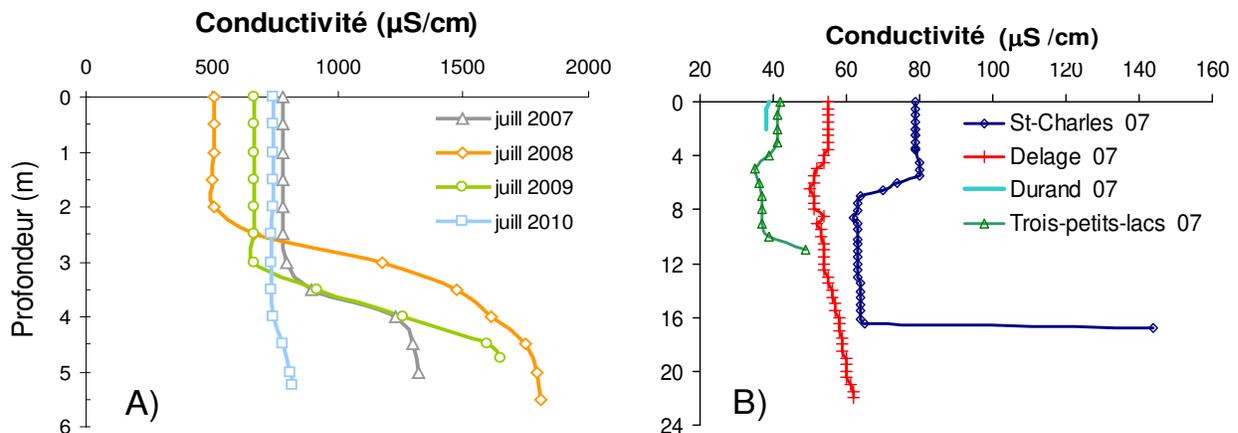


Figure 10 : A) Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurée au lac Clément en juillet 2007, 2008, 2009 et 2010; B) Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurée aux lacs Saint-Charles, Delage, Durand et Trois-Petits-Lacs en juillet 2007

Les tableaux 4 et 5 présentent les concentrations en chlorures retrouvées respectivement dans des plans d'eau peu ou pas perturbés du Bouclier canadien et dans des lacs en milieux fortement urbanisés sur le territoire de la Ville de Québec.

Les concentrations en chlorures mesurées au lac Clément (Figure 8) étaient beaucoup plus élevées que les valeurs attendues pour ce type de lac (Tableau 4) et se comparent aux concentrations retrouvées dans les lacs de milieux fortement urbanisés (Tableau 5).

De plus, pendant les périodes de stratification du lac étudiées, la concentration en ions chlorures de la masse d'eau profonde du lac Clément (Figure 8) était fortement supérieure au seuil de toxicité chronique de 230 mg/L proposé par le MDDEP (2008). Les dépassements de ce seuil étaient

particulièrement fréquents en 2009. Des valeurs régulièrement supérieures à ce seuil compromettent l'intégrité des communautés aquatiques.

Tableau 4 : Concentrations en chlorures (mg/L) de référence pour les plans d'eau naturels intacts du Bouclier canadien et pour les lacs en milieu peu urbanisé à proximité du lac Clément.

	[Cl ⁻] (mg/L)
Concentration moyenne mondiale pour les rivières non polluées sur socle de gneiss et de granite (Wetzel 2001)	0
Concentrations retrouvées dans les lacs et rivières non pollués du Bouclier canadien (Environnement Canada & Santé Canada 2001)	< 1 à 10
Concentrations moyennes des lacs à proximité du lac Clément dans les années 1980 (BAPE 1988)	10 à 20

Tableau 5 : Concentrations en chlorures (mg/L) retrouvées dans deux lacs en milieu fortement urbanisé sur le territoire de la ville de Québec (données du Service de l'Environnement, Ville de Québec).

		Profondeur	[Cl ⁻] (mg/L)
Lac Saint-Augustin	Concentrations mesurées en 2001 et 2006	surface	124 à 150
Lac Laberge (bassin central)	Concentrations moy. mesurées entre 2004 et 2007	surface	140
		fond	450

7.2 Tributaires du lac Clément

L'ensemble des données brutes mesurées dans les tributaires du lac Clément de 2008 à 2010 est présenté à l'annexe 2.

La figure 11 montre les valeurs de conductivité et les concentrations en chlorures mesurées dans les tributaires du lac Clément en 2008, 2009 et 2010.

Comme pour la colonne d'eau du lac Clément, la variation de la conductivité semble corrélérer avec la concentration en chlorures dans les tributaires (Figure 11).

Pendant les trois années de suivi, la conductivité et la concentration en chlorures des affluents drainant les axes routiers (CLTR1 et CLTR3) étaient beaucoup plus élevées que celle du ruisseau CLTR2 (Figure 11) qui est alimenté par des sources souterraines en provenance d'une zone forestière. La conductivité du ruisseau CLTR2 est restée inférieure à 100 µS/cm et sa concentration en chlorures a varié entre <1 et 11 mg/L, alors que la conductivité des deux autres affluents a varié entre 400 et 3660 µS/cm et que leur concentration en chlorures se trouvait entre 120 et 1000 mg/L (Figure 11). Lors de tous les échantillonnages, les concentrations en ions chlorures des affluents CLTR1 et CLTR3 étaient donc grandement supérieures aux valeurs comprises entre 0 et 10 mg/L qui sont attendues pour les rivières de la région (Tableau 4). Au cours des périodes printanières étudiées, les taux de chlorures retrouvés dans CLTR1 étaient souvent près ou supérieurs au seuil de toxicité chronique de 230 mg/L avancé par le MDDEP (2008). Le 23 mars 2009, la concentration en chlorures de ce ruisseau a d'ailleurs dépassé le seuil de toxicité aiguë de 860 mg/L (MDDEP 2008).

Lors des échantillonnages du mois de mars en 2008 et 2009, pendant la fonte des neiges, des valeurs extrêmes de conductivité et de chlorures ont été observées dans le ruisseau CLTR1 (Figure 11). Ce

même type de valeurs extrêmes n'a pas été retrouvé dans le ruisseau CLTR1 en mars 2010, puisque la fonte avait eu lieu en février. La fonte printanière semble causer des apports extrêmes en chlorures au lac Clément par ses tributaires drainant le réseau routier.

L'échantillonnage continu des tributaires pendant l'année 2010 a révélé que les concentrations en chlorures dans les affluents CLTR1 et CLTR3 se sont maintenues près du seuil de toxicité chronique de 230 mg/L pendant l'été et l'automne. Les affluents drainant le réseau routier semblent donc causer des apports importants en chlorures au lac Clément tout au long de l'année.

Il est intéressant de constater que la concentration en chlorures des affluents CLTR1 et CLTR3 a augmenté en juillet et en août 2010, alors que la sécheresse sévissait et que les débits étaient très faibles (Annexe 2). À 840 m au nord de l'affluent CLTR1, des puits ont été contaminés par le passé, ce qui renforce l'hypothèse de la possible contamination de la nappe.

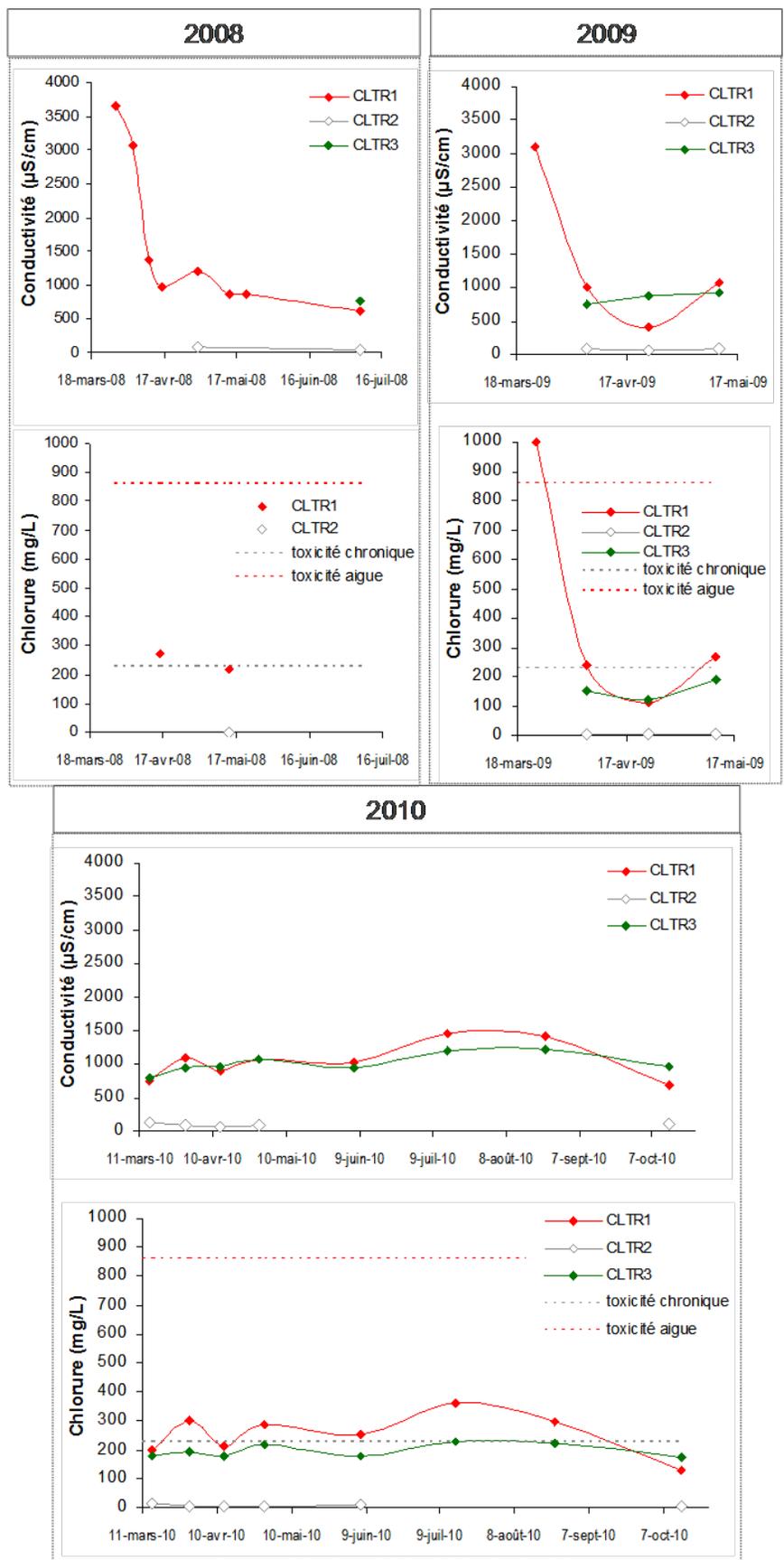


Figure 11 : Conductivité (µS/cm), température (°C) et pH des affluents du lac Clément en 2008, 2009 et 2010

8. Discussion

8.1 Conductivité et ions chlorures

La conductivité du lac Clément est beaucoup plus élevée que celle des autres lacs de la région, et ce, malgré un environnement géologique similaire (Figure 10). Les concentrations en chlorures mesurées dans le lac Clément sont de 10 à 60 fois plus élevées que les concentrations attendues pour la région (Figure 8, Tableau 4). De plus, les variations de la concentration en ions chlorures dans la colonne d'eau du lac Clément suivent celles de la conductivité (Figure 8). Il semble donc que la présence d'ions chlorures en quantité excessive explique une bonne partie de la forte conductivité observée.

8.2 Sources d'ions chlorures

Les concentrations en ions chlorures anormalement élevées du lac Clément (Figure 8, Tableau 4) semblent indiquer une contamination importante par les sels de voirie. En effet, à cause de leur persistance dans l'eau, les ions chlorures sont considérés comme un bon indicateur de la contamination d'un plan d'eau par les sels de voirie (Environnement Canada & Santé Canada 2001). Les concentrations de chlorures du lac Clément s'approchent de celles observées dans les lacs qui sont situés dans un milieu fortement urbanisé comme les lacs Laberge et Saint-Augustin (Tableau 5). L'hypothèse de la contamination du lac Clément par des sels de voirie est aussi supportée par la proximité d'axes routiers d'importance et par le fait que deux affluents majeurs du lac drainent ces routes.

Il semble peu probable qu'un apport d'eau souterraine naturellement salée soit la cause des concentrations en Cl⁻ supérieures à la normale observées dans le lac Clément. En effet, le gneiss et le granite composant le sous-sol de la région ne libèrent pas de chlorures au contact de l'eau. De plus, les filons et les gisements de roches solubles et « salées » comme la sylvite (KCl) et l'halite (NaCl) ne sont pas communs dans la région et aucun n'a été identifié dans les environs du lac Clément.

Les affluents qui drainent les axes routiers (CLTR1 et CLTR3) présentent une très forte conductivité et une concentration en chlorures bien au-dessus des normales (Figure 11, Tableau 4). Ces deux tributaires contribuent à l'augmentation de la conductivité et de la concentration en chlorures dans le lac Clément.

L'affluent CLTR2, situé du côté ouest du lac et alimenté par des sources en provenance d'une zone forestière, ne semble pas participer à la contamination en chlorures ni à la forte conductivité du lac.

Selon les données de 2008 et 2009 (Figure 11), il semble que les affluents drainant les routes (CLTR1 et CLTR3) recueillent une bonne quantité de sels de voirie dissous lors de la fonte des neiges et causent des apports en chlorures extrêmes au printemps. De plus, l'échantillonnage prolongé des tributaires en 2010 (Figure 11) a démontré que ces mêmes affluents présentent des concentrations en chlorures élevées toute l'année. Des apports importants de chlorures arrivent donc au lac pendant toute l'année par le biais des affluents drainant les routes (CLTR1 et CLTR3).

L'ion chlorure est soluble et mobile; il ne se volatilise pas, ne précipite pas facilement et il ne se fixe pas non plus à la surface des particules. Ces caractéristiques font en sorte que les chlorures s'infiltreront facilement dans le sol et s'accumulent dans les nappes phréatiques (Environnement Canada & Santé Canada 2001). Les valeurs de conductivité et de chlorures mesurées dans les tributaires en 2010 (Figure 11) laissent croire qu'une nappe phréatique située sous le réseau routier est contaminée par les sels de voirie et que cela cause des apports continus en chlorures au lac par les affluents CLTR1 et CLTR3. En effet, puisque les valeurs de chlorures dans ces ruisseaux se sont

maintenues à un niveau élevé toute l'année, cela indique qu'une source continue de chlorures les alimente. De plus, la concentration en chlorures de ces ruisseaux a augmenté en juillet (Figure 11) alors que les précipitations (Figure 6A) et le débit (Annexe 2) étaient très faibles. On peut déduire que la nappe phréatique contribuait à une plus grande proportion du débit des ruisseaux CLTR1 et CLTR3 en juillet. Conséquemment, une augmentation de la concentration en chlorures dans ces affluents en juillet supporte l'idée que la nappe phréatique est sérieusement contaminée par les sels de voirie.

8.3 Évolution de la contamination par les sels de voirie

Les taux de chlorures mesurés dans l'hypolimnion du lac Clément en 2010 étaient bien inférieurs à ceux mesurés en 2008 et 2009 (Figure 8). De plus, aucun pic extrême de conductivité ou de chlorures n'a été détecté dans l'affluent CLTR1 en mars 2010 (Figure 11). Ces deux observations sont reliées et semblent attribuables aux douces conditions hivernales et au printemps hâtif de 2010. Les quantités de sels de voirie utilisées à l'hiver 2009-2010 étaient probablement bien inférieures à celles des deux hivers précédents. Par conséquent, l'apport printanier de chlorures dû à la fonte des neiges a probablement été beaucoup moins important en 2010, en plus d'arriver très tôt dans l'année (en février).

Il est intéressant de constater qu'en mai 2008, 2009 et 2010, les concentrations de chlorures dans le ruisseau CLTR1 étaient similaires. Nous n'avons malheureusement pas de données après mai en 2008 et 2009. Néanmoins, il semble probable qu'après la fonte des neiges, la concentration de chlorures de l'affluent principal CLTR1 se stabilise à un niveau assez élevé, car la nappe phréatique alimentant ce ruisseau est contaminée par les sels de voirie. Les observations faites dans les affluents par temps de sécheresse en 2010 supportent l'hypothèse de la présence d'un aquifère contaminé.

Ainsi, selon les données de 2010 (Figure 8), il semble qu'en réduisant les épandages de sels sur les axes routiers adjacents au lac Clément, il est possible de maintenir un niveau de chlorures acceptable (<230 mg/L) dans le lac. Néanmoins, les niveaux de chlorures resteront anormalement élevés tant que le volume de la nappe phréatique contaminée ne se sera pas renouvelé avec de l'eau non contaminée par les sels.

8.4 Conséquences des sels de voirie sur l'eau douce

Les sels de voirie contenant des sels inorganiques de chlorures sont considérés comme des substances toxiques par Environnement Canada et Santé Canada (2001). Ces organismes gouvernementaux rapportent qu'une exposition chronique à un taux de 210 mg/L et 240 mg/L de chlorures affecte respectivement 5 % et 10 % des espèces aquatiques. De plus, le MDDEP (2008) considère une concentration de 230 mg/L de chlorures comme seuil de toxicité chronique. Les concentrations de chlorures observées dans le fond du lac Clément lors de la stratification (390 à 550 mg/L) et dans l'affluent CLTR1 (110 à 1000 mg/L) portent à croire qu'un effet toxique sur l'écosystème aquatique est possible.

L'accumulation de sels de voirie dans un plan d'eau douce peut empêcher les mélanges printaniers et automnaux de la colonne d'eau et ainsi compromettre l'oxygénation des couches d'eau profonde (Environnement Canada & Santé Canada 2001; Wetzel 2001). Dans le cas du lac Clément, le mélange automnal de la colonne d'eau est toujours observable. Néanmoins, pendant les périodes de stratification étudiées, la couche d'eau profonde avait une concentration ionique plus élevée notamment à cause de l'accumulation de chlorures. Cette masse d'eau était donc plus dense et accentuait la stratification. Une stratification plus forte favorise la création d'une zone anoxique, et

cela peut conséquemment favoriser la libération du phosphore contenu dans les sédiments et ainsi accélérer le processus d'eutrophisation (Environnement Canada & Santé Canada 2001; Ryding & Rast 1994). Il est à noter qu'un relargage de phosphore par les sédiments semble déjà se dérouler dans le lac Clément en période d'anoxie (APEL 2009).

Les concentrations de chlorures retrouvées dans le lac Clément et ses tributaires soulèvent des inquiétudes quant à la préservation de la qualité de l'eau à long terme dans le bassin versant de la prise d'eau potable. Des concentrations en chlorures aussi élevées dans un plan d'eau et la contamination potentielle d'un aquifère par les sels de voirie dans le bassin versant d'une prise d'eau potable d'importance ont déjà suscité l'attention des autorités responsables de l'approvisionnement en eau et du développement de la région de Québec. En effet, un suivi des teneurs en sels est effectué à l'entrée de l'usine de traitement d'eau potable de Québec. Ce suivi révèle une augmentation constante des teneurs en ions chlorures depuis 1977 (Figure 12), teneurs qui restent néanmoins toujours sous la limite standard. La limite standard pour l'eau destinée à la consommation est de 250 mg/L; au-delà de cette limite, les ions chlorures ont un effet sur le goût de l'eau. Cependant, il est à noter qu'une teneur élevée en ions chlorures peut avoir un effet sur les personnes affectées par des problèmes cardiaques et rénaux (Weiner 2008). Bien que les quantités mesurées à l'entrée de l'usine de traitement soient en deçà de la limite standard, une gestion des sels de voirie est de mise dans le but de protéger l'intégrité des écosystèmes aquatiques qui servent de filtre naturel en amont d'une prise d'eau potable et pour prévenir l'augmentation des concentrations de chlorures à l'usine de traitement.

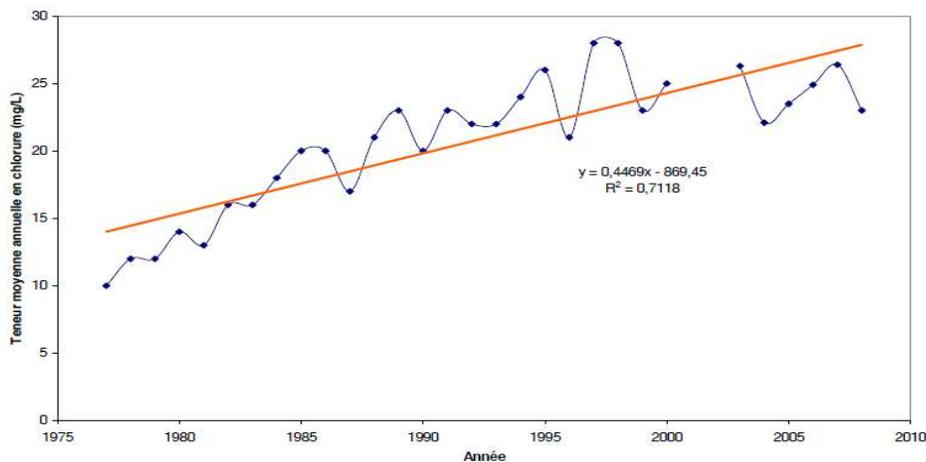


Figure 12 : Évolution de la valeur moyenne annuelle en chlorures dans l'eau brute de la prise d'eau potable de la rivière Saint-Charles entre 1977 et 2008 (François Proulx, 2009).

À l'heure actuelle, la conductivité et la teneur en chlorures de plusieurs lacs et cours d'eau situés dans le bassin versant de cette prise d'eau potable n'ont pas encore été étudiées. L'ampleur de la problématique de la contamination par les sels de voirie n'est donc pas connue, alors qu'elle peut compromettre l'utilisation d'une prise d'eau potable ou augmenter les coûts de traitement si la problématique s'intensifie. Les résultats obtenus au lac Clément démontrent la fragilité de la ressource d'eau potable face à l'urbanisation d'un territoire et son utilisation comme réserve d'eau potable.

9. Conclusions et recommandations

Le lac Clément subit une importante contamination par les sels de voirie épandus sur les axes routiers adjacents. Des concentrations de chlorures supérieures au seuil de toxicité chronique ont été

observées dans la masse d'eau profonde du lac et dans l'affluent CLTR1. Une stratification haline a été observée dans le lac Clément pendant l'été 2010, mais un brassage automnal s'effectue encore. En outre, le lac n'avait plus de stratification thermique en août, mais démontrait une température uniformément élevée (21 °C) jusqu'au fond.

Les tributaires du lac drainant les routes, CLTR1 et CLTR3, peuvent causer des apports extrêmes de chlorures lors de la fonte des neiges et cela entraîne une très forte concentration de cet ion dans l'hypolimnion. Des épandages de sels moins importants pendant l'hiver permettent de réduire ce pic printanier et de maintenir des concentrations en chlorures acceptables (<230 mg/L) dans le lac. Néanmoins, les affluents CLTR1 et CLTR3 alimentent le lac avec une eau fortement chargée en chlorures pendant toute l'année. Cela porte à croire qu'une nappe phréatique alimentant ces ruisseaux est contaminée par les sels de voirie.

À cause de leurs caractéristiques, les ions chlorures peuvent difficilement être retirés de l'eau une fois en solution et ils s'infiltreront facilement jusqu'aux nappes phréatiques (Environnement Canada & Santé Canada 2001). Ainsi, une fois épandus sur le sol, tous les chlorures contenus dans les sels de voirie se retrouveront éventuellement dans l'eau de surface (lac Clément) ou dans la nappe phréatique qui peut elle-même être en lien avec les eaux de surface.

Il est particulièrement pertinent d'essayer de trouver une solution viable pour réduire les épandages de sels de voirie dans le bassin versant du lac Clément, car la contamination de plans d'eau et d'aquifères par les sels de voirie risque d'être de plus en plus courante dans le bassin versant de la prise d'eau potable vu l'augmentation de l'urbanisation du territoire. Des solutions testées dans le bassin versant du lac Clément pourraient être appliquées dans l'ensemble du bassin versant de la prise d'eau potable.

À l'heure actuelle, l'épandage des sels se retrouvant dans le lac Clément se fait par deux entités distinctes : le Ministère des Transports de Québec (MTQ) (autoroute 73) et la division des travaux publics de l'arrondissement de Charlesbourg pour les autres voies de communication dans le sous-bassin versant du lac Clément.

Afin de pouvoir mieux cibler les actions à entreprendre, il est nécessaire de faire appliquer des mesures atténuantes et réductrices des sels de voiries déjà connues. En outre, il est essentiel de connaître la quantité et la nature du mélange utilisé pour le secteur en question par les deux entités.

En ce qui concerne le MTQ, il faudrait vérifier si le « Plan ministériel de gestion environnementale des sels de voirie 2008-2011 » est déjà mis en œuvre pour le secteur. Cela comprend surtout les pratiques proposées par le MTQ pour l'épandage. En effet, il faudrait connaître :

- le type et la nature des produits de déglacage utilisés par le MTQ (produits de prémouillage, chlorures de sodium, produits abrasifs, produits anticorrosifs, etc.);
- les quantités utilisées (obtention de ces données qui sont transmises par télémétrie véhiculaire au Centre intégré de monitoring (CIM));
- l'utilisation de l'outil d'optimisation des stratégies d'épandage (programme d'intelligence artificielle (réseau de neurones));
- l'application des principes « au bon endroit » et « au bon moment », ainsi que « juste à temps » et « juste assez »;
- l'équipement optimal utilisé pour le raclage des routes (lames mobiles) et le meilleur dosage (calibration).

Il faudrait également vérifier si la zone du bassin versant du lac Clément est considérée comme zone vulnérable aux sels de voirie (MTQ 2010).

Concernant la division des travaux publics de l'arrondissement de Charlesbourg, la Ville de Québec a déjà indiqué que la zone du lac Clément est une « Zone sensible au sel de voirie ». Toutefois, il est nécessaire de vérifier avec cette division le respect des obligations qui s'y rattachent, notamment celle qui exige que « l'entrepreneur [utilise] en remplacement un mélange sel-pierre avec un pourcentage de sels inférieur à 10 % » (Com. Jacques Deschênes, Ville de Québec, 2010). Outre la vérification du respect de cette norme, il serait nécessaire de connaître en détail la quantité et la nature du mélange appliqué sur les routes du bassin versant du lac Clément.

Une fois ces quantités et mélanges connus pour ces deux entités, il faudrait envisager d'optimiser la gestion et d'implanter d'autres mesures. En effet, plusieurs étapes seront ensuite à suivre :

- (1) Évaluer la possibilité d'éliminer la neige au lieu de la pousser en bordure de route pour les secteurs recevant le plus de sels;
- (2) Connaître les actions entreprises dans d'autres secteurs vulnérables faisant l'objet de projets pilotes (projets concernant le lac Magog, le quartier blanc à Ville de Saguenay, etc.) (MTQ 2010);
- (3) Proposer, en fonction de ces expériences et des particularités du secteur du lac Clément, des moyens de réduction concrets;
- (4) Évaluer la possibilité d'aménager des fosses et de réaménager des étangs (entre l'autoroute 73 et le boulevard Talbot) avec des végétaux ayant une bonne capacité d'absorption des sels (à titre d'exemple : *Tsuga canadensis* (pruche du Canada), *Betula alleghaniensis* (bouleau jaune), etc.).
- (5) Suivre les résultats d'une étude menée conjointement par l'Université Laval, le Ministère des Transports et la Ville de Québec (débutant en 2011) dans le secteur du lac Saint-Augustin, intitulée *Natural Geo-filter Bed and Halophyte Wetland: an Eco-engineering System to Mitigate Saline Highway Runoff Impacts*, et vérifier son applicabilité au lac Clément.

Puisque le suivi du lac Clément et de ses tributaires est déjà bien en place et sera poursuivi dans les prochaines années, l'efficacité des mesures entreprises pourrait être évaluée et ainsi servir d'exemple à d'autres secteurs vulnérables du bassin versant.

Par ailleurs, la problématique de contamination des eaux de surface par les sels de voirie devrait être évaluée dans l'ensemble du bassin versant de la prise d'eau potable, notamment dans le bassin versant de la rivière des Hurons et de la rivière Noire (mise en service prochaine de nouveaux segments de l'autoroute 73).

Outre la problématique des sels de voirie, le lac Clément présente un réchauffement excessif dans toute la colonne d'eau. Il est essentiel de revégétaliser les rives et de prendre des mesures correctives concernant les murs de soutènement. À ce sujet nous avons déjà transmis une plainte et des recommandations à l'arrondissement de Charlesbourg. La demande d'intervention porte le numéro 1032222 (Annexe 4). Ces mesures de revégétalisation contribueront également à la filtration des eaux de ruissellement riches en sels.

10. Glossaire

Conductivité : Inverse de la résistance d'un liquide à un courant électrique exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ (Ryding & Rast 1994). La conductivité augmente avec la concentration ionique de l'eau.

Salinité : Concentration ionique totale de l'eau exprimée en mg/L (Ryding & Rast 1994). La salinité n'a pas été mesurée directement lors de cette étude. La conductivité a plutôt été utilisée comme indicateur de la salinité. La concentration en certains ions (Ca^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^-) a été mesurée dans le lac et les tributaires.

Sels de voirie : Au Canada, le sel de voirie le plus étendu sur les routes est le chlorure de sodium (NaCl) (Environnement Canada & Santé Canada 2001). D'autres sels inorganiques sont utilisés comme le chlorure de calcium (CaCl_2), le chlorure de potassium (KCl) et le chlorure de magnésium (MgCl_2) (Environnement Canada & Santé Canada 2001). Tous ces sels se transforment en ions lors de leur contact avec l'eau. L'ion chlorure (Cl^-) est soluble, mobile et persistant dans les eaux de surface. Il ne se volatilise pas, ne précipite pas facilement et il ne se fixe pas non plus à la surface des particules (Environnement Canada & Santé Canada 2001). La présence de cet ion est donc indicatrice d'une contamination de l'eau par des sels de voirie, puisqu'il s'accumule dans les eaux de surface. Ces caractéristiques font en sorte que les chlorures s'infiltrent facilement dans le sol et s'accumulent aussi dans les nappes phréatiques.

Stratification haline : Séparation de la colonne d'eau d'un lac en couches d'eau distinctes présentant des salinités différentes. Plus la salinité (ou concentration ionique) est élevée dans l'eau, plus la densité de celle-ci augmente. Une masse d'eau contenant plus de sels aura donc tendance à couler sous une masse d'eau moins salée. Plus le gradient de salinité est fort dans la colonne d'eau et plus le mélange des différentes couches sera difficile.

Stratification thermique : Séparation de la colonne d'eau d'un lac en couches d'eau distinctes présentant des températures différentes. Généralement, l'eau froide présente une plus grande densité que l'eau chaude. Une masse d'eau froide aura tendance à couler sous une masse d'eau chaude. L'eau présente une densité maximale à 4 °C. Plus le gradient de température est fort dans la colonne d'eau et plus le mélange des différentes couches sera difficile.

11. Références

- APEL (2009) Étude limnologique du haut-bassin de la rivière Saint-Charles, rapport final. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec, 354 pages.
- BUREAU DES AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE) (1988) Rapport d'enquête et audience publique : Prolongement de l'autoroute 73 vers Stoneham, 69 pages.
- COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA Page consultée le 12 décembre 2008. Géologie urbaine de la Vallée du St-Laurent: Épaisseur des dépôts meubles (estimée). URL:http://tsdmaps.gsc.nrcan.gc.ca/website/_urbgeo_stlawrence/drift_thickness_f.htm
- ENVIRONNEMENT CANADA et SANTÉ CANADA (2001) Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Liste de substances d'intérêt prioritaire : Rapport d'évaluation : Sels de voirie, 188 pages.
- GÉRARDIN, V. et Y. LACHANCE (1997) Vers une gestion intégrée des bassins versants. Atlas du cadre écologique de référence du bassin versant de la rivière Saint-Charles, Québec, Canada. Min. de l'Environnement et de la Faune du Québec - Min. de l'Environnement du Canada, 58 pages.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS Page consultée le 12 décembre 2008. Critères de qualité de l'eau de surface. URL : http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS Page consultée le 12 décembre 2008. Le réseau de surveillance volontaire des lacs de villégiature : Les méthodes. URL : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsv-lacs/methodes.htm>
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (Septembre 2010) La gestion environnementale des sels de voirie au Québec, État de la situation partiel.
- PROULX, FRANÇOIS (2009) Évolution de la valeur moyenne annuelle en chlorure dans l'eau brute de la prise d'eau potable de la rivière Saint-Charles entre 1977 et 2008.
- RYDING, S. et W. RAST (1994) Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs, Collection sciences de l'Environnement, Masson, Paris.
- WEINER, EUGENE R. (2008) Applications of Environmental Aquatic Chemistry, A practical Guide. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida.
- WETZEL, R.G. (2001) 3e éd. Limnology: lake and river ecosystems, Academic press, London.

Rapports d'analyse 2010

Maxxam Analytique

Dossier # : B011834

Ville de Québec, Service de l'environnement, Division de la qualité de l'eau, Centre analytique

Rapports # : 10947, 10948, 10949, 11916, 11915, 12849

Rapports d'analyse 2009

Maxxam Analytique

Dossiers # : A912170, A914324, A917567, A920976, A935884, A942802, A954455.

Rapports d'analyse 2008

Maxxam Analytique

Dossiers # : A811412, A813905, A81964.

ANNEXE 1 : Données brutes du lac Clément

Date	Z (m)	Zmax (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	Conductivité (µS/cm)	O2 dissous (mgO2/L)	O2 dissous (% sat.)	pH
5-juin-07	0,0	5,1	4,5	17,86	705	9,34	98,6	7,84
	0,5			17,86	705	9,30	98,1	7,83
	1,0			17,85	705	9,23	97,4	7,82
	1,5			17,82	704	9,22	97,2	7,82
	2,0			17,81	704	9,20	97,0	7,81
	2,5			17,72	707	9,15	96,3	7,8
	3,0			14,40	917	9,83	96,5	7,49
	3,5			11,81	1156	10,36	96,1	7,22
	4,0			9,88	1275	9,72	86,2	7,13
	4,5							
5,0	7,96	1302	3,65	30,9	6,85			
10-juil-07	0,0	5,7	4,6	20,60	780	9,02	101,4	7,9
	0,5			20,40	780	8,90	100,0	7,9
	1,0			20,22	782	8,84	98,2	7,9
	1,5			20,19	782	8,78	97,5	7,9
	2,0			20,20	781	8,83	98,1	7,9
	2,5			20,10	781	8,78	97,5	7,9
	3,0			19,90	796	8,38	93,1	7,8
	3,5			19,09	900	7,64	83,0	7,4
	4,0			16,89	1231	3,38	35,2	7,0
	4,5			15,43	1301	1,29	13,0	7,0
5,0	14,42	1323	0,27	2,7	6,9			
16-août-07	0,0		5,1	20,87	701	8,49	95,2	7,75
	0,5			20,72	701	8,38	93,7	7,73
	1,0			20,60	699	8,48	94,5	7,74
	1,5			20,54	699	8,41	93,7	7,74
	2,0			20,46	707	8,14	90,5	7,69
	2,5			20,43	707	8,04	89,3	7,66
	3,0			20,35	704	7,98	88,5	7,66
	3,5			20,24	725	7,51	83,1	7,56
	4,0			19,61	914	3,33	36,4	7,18
	4,5			18,00	1104	1,11	11,8	6,99
5,0	17,16	1127	0,25	2,6	7,05			
27-sept-07	0,0	5,8	4,0	17,19	680	12,84	133,6	7,76
	0,5			17,21	680	13,18	137,2	7,79
	1,0			17,21	680	13,24	137,9	7,79
	1,5			17,16	680	13,45	139,9	7,8
	2,0			16,65	680	13,01	133,9	7,74
	2,5			16,22	680	12,45	127,0	7,69
	3,0			15,92	681	11,83	119,9	7,64
	3,5			15,74	682	10,57	106,7	7,57
	4,0			15,55	683	7,86	79,0	7,36
	4,5			15,37	691	3,85	38,6	7,24
5,0	15,30	693	2,28	22,8	7,17			

Suivi du lac Clément - Évaluation de la contamination par les sels de voirie

Date	Z (m)	Zmax (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	Conductivité (µS/cm)	O2 dissous (mgO2/L)	O2 dissous (% sat.)	pH	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)
14-mai-08	0,0	5,8	3,1	16,82	533	5,92	62,8	7,43	120	1,8	33	130
	0,5			17,08	558	6,00	64,0	7,43				
	1,0			16,58	558	6,06	64,0	7,44				
	1,5			16,07	554	5,66	59,0	7,38				
	2,0			12,46	783	6,22	60,1	7,09				
	2,5			7,51	1361	4,59	39,6	6,85				
	3,0			5,18	1470	3,89	31,5	6,83				
	3,5			4,47	1566	3,69	30,8	6,84				
	4,0			4,01	1709	3,07	24,1	6,82				
	4,5			3,79	1879	1,61	12,6	6,80				
	5,0			4,23	1943	1,35	10,7	6,81				
5,5	4,37	2024	0,00	0,0	6,74	470	4,6	95	550			
7-juil-08	0,0	5,8	2,3	23,14	512	7,88	95,0	6,91				
	0,5			22,79	512	7,30	87,4	6,89				
	1,0			22,02	513	7,41	87,4	6,86				
	1,5			20,27	505	6,97	79,4	6,61				
	2,0			18,58	508	7,41	81,6	6,57				
	2,5			17,02	667	6,74	71,9	6,39				
	3,0			15,34	1181	6,82	70,2	6,22				
	3,5			13,21	1477	7,22	71,1	6,24				
	4,0			11,21	1609	6,26	58,9	6,23				
	4,5			9,53	1752	2,33	21,1	6,15				
	5,0			8,81	1797	0,00	0,0	6,12				
5,5	8,52	1810	0,00	0,0	6,11							
27-aout-08	0,0		4,3	22,03	497	9,28	106,3	7,59				
	0,5			21,23	498	9,27	104,6	7,62				
	1,0			20,36	494	9,11	101,0	7,63				
	1,5			19,99	502	8,86	97,5	7,58				
	2,0			19,71	497	8,73	95,6	7,57				
	2,5			18,25	727	6,55	69,7	7,27				
	3,0			16,31	1183	4,24	43,4	6,92				
	3,5			14,46	1402	2,69	26,5	6,82				
	4,0			12,46	1617	1,73	16,3	6,78				
	4,5			11,40	1680	1,61	14,8	6,78				
	5,0			10,74	1697	1,20	10,9	6,8				
5,5	10,65	1692	1,29	11,7	6,8							
30-oct-08	0,0		2,75	6,66	656	11,64	95,3	7,71				
	0,5			6,66	656	11,63	95,2	7,71				
	1,0			6,62	656	11,61	94,9	7,72				
	1,5			6,60	657	11,64	95,1	7,73				
	2,0			6,57	657	11,63	95,0	7,74				
	2,5			6,56	657	11,64	95,0	7,74				
	3,0			6,56	657	11,65	95,1	7,75				
	3,5			6,53	657	11,68	95,3	7,75				
	4,0			6,53	657	11,72	95,6	7,76				
	4,5			6,52	657	11,72	95,6	7,76				
	5,0			6,51	657	11,71	95,5	7,76				
5,5	6,63	676	11,66	95,4	7,75							

Date	Z (m)	Zmax (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	Conductivité (µS/cm)	O2 dissous (mgO2/L)	O2 dissous (% sat.)	pH	Cl (mg/L)
12-mai-09 9h30	0,0	5,8	3,4	12,85	646	9,61	93,1	7,38	160
	0,5			12,74	648	9,50	91,8	7,40	
	1,0			12,57	649	9,58	92,2	7,40	
	1,5			12,38	649	9,69	92,9	7,40	
	2,0			11,87	722	9,67	91,6	7,27	
	2,5			9,92	1141	10,72	97,1	6,87	
	3,0			7,06	1308	9,81	83,0	6,81	
	3,5			5,50	1442	7,34	59,7	6,74	
	4,0			4,67	1667	6,84	54,6	6,70	
	4,5			4,52	1925	6,97	55,4	6,69	
	5,0			4,64	2057	4,38	35,0	6,63	
5,5	4,73	2117	3,04	24,3	6,61				
23-juil-09 11h15	0,0	5	3,35	22,12	668	8,50	99,6	7,64	180
	0,5			22,10	668	8,62	101,0	7,63	
	1,0			21,99	669	7,87	92,1	7,63	
	1,5			21,66	669	8,04	93,4	7,55	
	2,0			21,12	672	7,68	88,3	7,68	
	2,5			20,76	672	7,81	89,2	7,48	
	3,0			20,13	672	7,17	80,9	7,43	
	3,5			18,90	923	6,76	74,4	7,21	
	4,0			17,08	1265	4,97	52,8	6,94	
	4,5			14,90	1599	2,10	21,3	6,86	
4,75	14,25	1650	1,03	10,3	6,81				
27-août-09 9h45	0,0	5	4,375	21,19	753	7,02	81,4	7,63	190
	0,5			21,22	753	6,78	78,6	7,63	
	1,0			21,23	753	6,63	76,9	7,62	
	1,5			21,22	753	6,67	77,4	7,61	
	2,0			21,22	753	6,70	77,6	7,61	
	2,5			21,21	753	6,76	78,3	7,61	
	3,0			21,18	752	6,62	76,6	7,62	
	3,5			20,78	837	5,75	66,0	7,27	
	4,0			18,34	1517	0,57	6,2	6,69	
	4,5			17,54	1601	0,30	3,2	6,67	
	4,75			16,83	1651	0,08	0,8	6,70	
26-oct-09 10h	0,0	5	3,85	5,04	770	9,69	77,5	7,77	180
	0,5			5,03	771	9,38	75,0	7,77	
	1,0			5,03	771	9,40	75,2	7,78	
	1,5			5,03	773	9,44	75,5	7,82	
	2,0			5,02	775	9,16	73,2	7,81	
	2,5			5,01	775	9,08	72,6	7,81	
	3,0			5,02	775	9,18	73,4	7,81	
	3,5			5,02	775	9,08	72,6	7,81	
	4,0			5,02	775	9,01	72,1	7,81	
	4,5			5,03	775	9,07	72,5	7,81	
5,00	5,03	775	8,60	68,8	7,70				

Date	Z m	Zmax (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	Conductivité (µS/cm-1)	[OD] (mgO2/L)	OD (% sat.)	pH	Cl (mg/L)
29-avr-10 10h15	0,0	5,8	4,5	9,99	678	10,55	98,0	n.d.	164
	0,5			9,99	674	10,32	95,9	n.d.	
	1,0			9,99	674	10,29	95,6	n.d.	
	1,5			10,00	674	10,22	95,0	n.d.	
	2,0			9,99	674	10,30	95,7	n.d.	
	2,5			9,99	674	10,35	96,1	n.d.	
	3,0			9,99	674	10,36	96,2	n.d.	
	3,5			8,91	698	11,54	104,5	n.d.	
	4,0			7,80	815	10,64	93,8	n.d.	
	4,5			7,21	1072	6,11	53,1	n.d.	
07-juin-10 9h30	0,0	6,4	4,875	18,02	714	7,71	85,2	n.d.	166
	0,5			18,01	715	7,30	80,6	n.d.	
	1,0			17,88	717	7,53	82,9	n.d.	
	1,5			17,79	718	7,45	81,9	n.d.	
	2,0			17,73	718	7,53	82,6	n.d.	
	2,5			17,66	716	7,51	82,2	n.d.	
	3,0			17,38	716	7,77	84,5	n.d.	
	3,5			16,94	730	9,26	99,9	n.d.	
	4,0			15,31	767	9,08	94,5	n.d.	
	4,5			14,39	846	6,56	67,0	n.d.	
15-juil-10 9h30	0,0	5,5	4,125	26,46	745	6,65	84,8	n.d.	178
	0,5			26,35	745	6,63	84,3	n.d.	
	1,0			26,16	746	6,58	83,4	n.d.	
	1,5			25,96	746	6,60	83,3	n.d.	
	2,0			25,44	742	6,26	78,2	n.d.	
	2,5			22,92	738	7,16	85,3	n.d.	
	3,0			21,63	739	6,03	70,1	n.d.	
	3,5			20,68	734	5,41	61,8	n.d.	
	4,0			19,84	742	3,62	40,7	n.d.	
	4,5			19,02	781	1,10	12,1	n.d.	
24-août-10 9h30	0,0	5,9	5,25	21,49	757	6,61	76,6	7,56	164
	0,5			21,46	757	6,64	76,8	7,59	
	1,0			21,19	757	6,88	79,2	7,63	
	1,5			21,15	756	6,90	79,3	7,64	
	2,0			21,10	756	6,54	75,1	7,61	
	2,5			21,07	757	6,53	74,9	7,63	
	3,0			21,04	757	6,66	76,3	7,67	
	3,5			20,98	757	6,50	74,4	7,62	
	4,0			20,93	755	5,96	68,1	7,56	
	4,5			20,86	757	5,94	67,8	7,54	
14-oct-10 10h00	0,0		3,875	9,97	616	8,22	75,0	7,07	138
	0,5			9,96	616	7,79	71,1	7,13	
	1,0			9,96	616	7,74	70,6	7,21	
	1,5			9,96	616	7,59	69,3	7,24	
	2,0			9,95	616	7,58	69,2	6,89	
	2,5			9,93	616	7,68	70,1	6,96	
	3,0			9,91	616	7,78	70,9	6,98	
	3,5			9,88	616	8,36	76,2	7,02	
	4,0			9,86	616	7,66	69,7	7,07	
	4,5			9,86	616	7,84	71,4	7,06	
	5,0			9,86	616	6,53	59,5	7,10	135
	5,5			9,86	616	6,54	59,6	7,10	

ANNEXE 2 : Données brutes des tributaires

	Date	Heure	Temp (°C)	Conductivité (µS/cm)	O2 dissous (mgO2/L)	O2 dissous (% sat.)	pH	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	Débit (estimation visuelle)	
CLTR1	28-mars-08	n.d.	1,10	3660	n.d.	n.d.	8,50	12	4,3	93		n.d.	
	4-avr-08	n.d.	n.d.	3078	n.d.	n.d.	n.d.					n.d.	
	11-avr-08	n.d.	n.d.	1383	n.d.	n.d.	n.d.					n.d.	
	16-avr-08	n.d.	n.d.	980	n.d.	n.d.	n.d.	140	1,7	34	270	n.d.	
	1-mai-08	n.d.	7,73	1196	10,73	91,8	6,89					n.d.	
	14-mai-08	n.d.	15,44	872	7,55	77,8	7,03	180	2,5	50	220	n.d.	
	21-mai-08	n.d.	12,12	874	12,99	127,4	7,54					n.d.	
	7-juil-08	n.d.	16,07	608	9,35	97,7	6,73					n.d.	
	23-mars-09	13:29	1,52	3095	18,67	137,0	6,88				1000		n.d.
	6-avr-09	13:00	3,07	1013	13,76	107,0	6,66				240		n.d.
	23-avr-09	10:11	2,99	400	12,89	100,8	7,23				110		n.d.
	12-mai-09	11:26	9,71	1061	12,70	114,7	7,22				270		n.d.
	15-mars-10	13:32	3,03	744	13,50	103,1	7,88				200		n.d.
	30-mars-10	12:40	3,45	1082	13,41	103,6	7,54				302		n.d.
	13-avr-10	10:59	3,57	901	12,38	94,6	9,08				215		n.d.
	29-avr-10	10:58	4,69	1075	11,20	91,4	n.d.				289		moyen
	07-juin-10	10:27	12,28	1027	9,94	96,8	n.d.				252		moyen
	15-juil-10	10:16	18,08	1448	7,55	81,9	n.d.				359		faible
24-août-10	10:49	15,44	1407	8,35	85,4	7,65				296		faible	
14-oct-10	10:46	7,86	674	10,33	89,7	7,13				130		moyen	
CLTR2	1-mai-08	n.d.	7,74	86	11,53	98,3	6,41					n.d.	
	14-mai-08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2,1	0,6	9,3	<1	n.d.	
	7-juil-08	n.d.	7,69	48	11,68	100,4	6,52					n.d.	
	23-mars-09	14:20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.				n.d.	recouvert de neige	
	6-avr-09	13:40	2,49	76	25,90	197,8	6,91				5,70	n.d.	
	23-avr-09	10:25	4,74	61	12,38	101,3	7,34				2,90	n.d.	
	12-mai-09	11:30	6,67	75	14,07	117,4	7,39				3,60	n.d.	
	15-mars-10	13:52	3,48	125	12,42	95,7	8,05				15		n.d.
	30-mars-10	12:56	4,67	91	11,92	94,9	n.d.				6		n.d.
	13-avr-10	11:12	5,73	69	11,75	94,7	7,83				3		n.d.
	29-avr-10	11:12	5,30	83	11,12	91,9	n.d.				5		très faible
	07-juin-10	10:45	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.				11		très faible
	15-juil-10	10:25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.				n.d.		humide, presque nul
	24-août-10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.				n.d.		nul
14-oct-10	11:04	8,49	100	10,98	96,7	6,88				4,00		moyen	
CLTR3	7-juil-08	n.d.	21,88	758	7,97	93,5	7,01					n.d.	
	23-mars-09	14:00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.				n.d.	recouvert de neige	
	6-avr-09	13:15	1,73	754	22,73	170,4	7,10				150	n.d.	
	23-avr-09	10:18	4,01	875	11,10	89,3	7,36				120	n.d.	
	12-mai-09	11:35	14,78	921	10,20	103,2	7,74				190	n.d.	
	15-mars-10	10:04	5,01	781	12,58	101,2	7,85				180		n.d.
	30-mars-10	12:47	4,01	937	12,02	94,2	8,89				194		n.d.
	13-avr-10	11:04	7,92	971	10,21	87,2	7,96				177		n.d.
	29-avr-10	11:04	6,32	1068	9,67	82,3	n.d.				220		très faible
	07-juin-10	10:31	14,63	950	8,46	86,8	n.d.				178		faible
	15-juil-10	10:21	18,41	1205	6,96	76,0	n.d.				228		très faible
	24-août-10	11:13	17,13	1220	8,84	93,6	7,54				225		presque stagnant
14-oct-10	10:53	8,67	967	8,91	79,0	79,0				171		faible	

ANNEXE 4 : Plainte



Vendredi 22 octobre 2010

Objet : Mur de soutènement décoratif au lac Clément

Le 14 octobre 2010, lors de la prise de données sur la qualité de l'eau du lac Clément, nous avons pu constater que le propriétaire du 2515, av. de la rivière Jaune a complété la construction de son mur de soutènement décoratif (photos 3 à 5). Ce mur a déjà fait l'objet d'une plainte en 2009, lors des travaux de construction (photos 1 et 2).

Ce mur, qui prend toute la largeur de la rive de cette propriété, empiète sur la ligne des hautes eaux (photo 6). Compte tenu de la petite taille du lac Clément (0,085 km²) et de sa faible profondeur, ce mur (d'approximativement 20 m de long sur 1 m de hauteur) a un impact potentiel de réchauffement des eaux du lac par réverbération. De plus, cet impact est rehaussé par le manque de végétation sur la rive où le mur est situé (photos 3 à 6). Ainsi, ce mur contrevient non seulement aux politiques et règlements en vigueur, mais il contribue également à la dégradation du lac Clément.

Nous suggérons donc que ce mur soit revégétalisé à l'aide de vignes (vigne vierge) et que des arbustes soient plantés en haut du mur (spirée, rosier). Au pied du mur, nous suggérons que des saules, myriques et iris versicolores soient plantés. Ainsi, l'ombrage des plantes empêchera le réchauffement excessif de l'eau et les racines contribueront à filtrer les polluants et éléments nutritifs.



Photos 1 et 2 : Construction du mur, 23 juillet 2009



Photos 3, 4 et 5 : Mur complété, 14 octobre 2010



Photo 6 : Mur inondé, 24 août 2010