

Juliette Mochizuki

**Évaluation de la contamination du lac Clément, de son bassin versant et de
la nappe phréatique par les sels de voirie - Charlesbourg, Québec**

Essai présenté à M^{me} Sonja Behmel et M. François Proulx,
dans le cadre du programme de maîtrise professionnelle en biogéosciences de l'environnement
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

DÉPARTEMENT DE GÉOGRAPHIE
FACULTÉ DE FORESTERIE, DE GEOGRAPHIE ET DE GEOMATIQUE
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2011

Résumé

Le lac Clément, situé à la limite de l'arrondissement de Charlesbourg (Ville de Québec) et de la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury, est sujet à une problématique de dégradation anthropique par les sels de voirie. Le lac Clément, ainsi que ses tributaires, connaissent des valeurs de conductivité et de concentrations en ions chlorure anormalement élevées, dépassant de manière générale le seuil de toxicité chronique pour les chlorures, établi à 230 mg/L par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Face à cette problématique de dégradation d'environnements lacustres et riverains par les agents d'entretien hivernal, il est préalablement nécessaire de procéder à l'élaboration d'un portrait approfondi du bassin versant du lac Clément, ainsi que de quantifier les quantités d'agents d'entretien hivernal épandues, afin de proposer des méthodes d'atténuation adaptées à la problématique en question.

Pour ainsi faire, il a été nécessaire de procéder à une analyse de données descriptives (rapports, documentation), cartographiques et physico-chimiques (bases de données) fournies par l'Association pour la protection du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL), le ministère des Transports du Québec (MTQ) et la Ville de Québec. Un volet terrain (échantillonnage du lac et des tributaires) a permis de compléter cette section. En parallèle, une revue de la littérature sur les méthodes alternatives de gestion hivernale a été effectuée. Finalement, l'élaboration d'un portrait de la gestion hivernale actuelle a été possible suite à la rencontre d'acteurs clés dans le domaine.

Dans le cas du lac Clément et de ses tributaires, les méthodes d'atténuation proposées au sein de cet essai, prennent la forme d'une nouvelle gestion hivernale pour les tronçons de route traversant le bassin versant du lac, ainsi que d'une mise en place d'un projet pilote de lit filtrant de calcite sur le tributaire principal et le plus pollué du lac. Afin d'assurer une mise en place adaptée de ces mesures, l'accent doit être mis sur l'étape clé d'une concertation et d'une collaboration entre les diverses entités responsables de l'entretien hivernal dans le secteur (ministère des Transports du Québec, Ville de Québec, entrepreneurs privés).

Table des matières

Résumé.....	i
Introduction et mise en situation.....	1
Territoire et problématique	4
Objectifs.....	8
Chapitre 1 : Méthodologie	9
1.1 Premier objectif (élaboration d'un portrait du bassin versant et des affluents du lac Clément – section 2.1) :	9
1.2 Deuxième objectif (évaluation des quantités de sels épandues dans le bassin versant – section 2.2.1) :	17
1.3 Troisième objectif (mesures d'atténuation) :	17
Chapitre 2 : Analyse des résultats.....	19
2.1 Portrait du bassin versant du lac Clément.....	19
2.1.1 Occupation du territoire	19
2.1.2 Évolution du bassin versant du lac Clément : modifications majeures depuis 1949	20
2.1.3 Caractéristiques géologiques et topographiques du bassin versant	22
2.1.4 Portrait des eaux de surface : conductivité et ions chlorure	25
2.1.5 Portrait des eaux souterraines	59
2.2 L'entretien hivernal à l'aide des sels de voirie	61
2.2.1 Évaluation des quantités de sels de voirie ou d'agents déglaçants épandues dans le bassin versant	61
2.2.2 Mesures d'atténuation envisageables face à la contamination des eaux de surface et souterraines par les sels de voirie dans le bassin versant du lac Clément.....	71
Chapitre 3 : Discussion	87
3.1 Mesures d'atténuation principales	88
3.1.1 Une nouvelle gestion de l'entretien hivernal	88
3.1.2 La mise en place d'un lit filtrant sur le tributaire 1	92
3.2 Mesures d'atténuation secondaires	95
3.2.1 Une déviation du ruisseau Dugas à l'embouchure du lac Clément	95
3.2.2 Une déviation des eaux du lac Fortier au nord du lac Clément	96
3.3 Conclusion sur les mesures d'atténuation pour le lac Clément	97
Conclusion	98
Bibliographie	101
Annexes	109
Annexe 1 : Fiche synthèse – Les sels de voirie et l'environnement	110

Annexe 2 : Fiche synthèse – Les abrasifs et l’environnement.....	122
Annexe 3 : Fiche synthèse – Évolution des paramètres physico-chimiques (température, oxygène dissous, pH, transparence de la colonne d’eau) entre 2007 et 2011 ; station CL05	123
Annexe 4 : Évolution de la conductivité (2011)	127
Annexe 5 : Ensemble des données physico-chimiques (lac et tributaires)	132

Liste des tableaux

Tableau 1 : Variation de l’utilisation des sels de déglçage en fonction de la température ...	1
Tableau 2 : Description synthèse des photographies aériennes retenues pour l’étude historique du bassin versant du lac Clément.....	10
Tableau 3 : Synthèse des données physico-chimiques disponibles (1981, 2007 à 2011).....	11
Tableau 4 : Description synthèse des stations d’échantillonnage préétablis et choisis pour le lac Clément et ses tributaires	13
Tableau 5: Caractéristiques du bassin versant du lac Clément.....	19
Tableau 6 : Concentrations de référence en chlorures (mg/L) pour les plans d’eau intacts du Bouclier Canadien, ainsi que pour les lacs en milieux peu urbanisés à proximité du lac Clément.....	26
Tableau 7 : Concentrations en chlorures (mg/L) dans des lacs en milieux fortement urbanisés au sein du territoire de l’agglomération de Québec.....	26
Tableau 8 : Caractéristiques physiques du lac Clément	47
Tableau 9 : Données de 1981 de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) (ministère de l’Environnement), pour la température (°C), l’oxygène dissous (mg/L), le pH, la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et les concentrations en ions chlorure (mg/L) pour le lac Clément – à proximité de la station CL05 actuelle.....	48
Tableau 10 : Valeurs de conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et concentrations en chlorures (mg/L) minimales et maximales et retrouvées pour la période 2007 à 2011 – station CL05.	51
Tableau 11 : Valeurs de conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et en chlorures (mg/L) en temps sec et en temps de pluie mesurées à la station RDV05 en 2011.....	52
Tableau 12 : Verso du « Guide approximatif d’application des matériaux de déglçage » (Chouinard et Dubé, 1999)	62
Tableau 13 : Recto du « Guide approximatif d’application des matériaux de déglçage » (Chouinard et Dubé, 1999).	63
Tableau 14 : Niveau de service de déneigement offert pour les axes routiers au sein du bassin versant du lac Clément.....	64
Tableau 15 : Description synthèse des niveaux de priorité d’entretien des axes routiers	64
Tableau 16 : Gestion et caractéristiques des contrats de déneigement pour les axes routiers au sein du bassin versant du lac Clément.	65
Tableau 17 : Caractéristiques physiques du bassin de drainage et du lac à la Truite	78

Tableau 18 : Arrondissements favorables au projet de quartier blanc en 2007, Ville du Saguenay	83
Tableau 19 : Quartiers blancs de la Ville du Saguenay	84
Tableau 20 : L'évaluation des impacts des sels de voirie sur les eaux de surface et sur les aquifères, ainsi que les impacts des ferrocyanures sur les mêmes milieux.	120
Tableau 21 : Classes des niveaux trophiques des lacs avec les valeurs correspondantes de transparence de la colonne d'eau (m)	125
Tableau 22 : Transparence de la colonne d'eau aux stations CL01, CL02 et CL05 pour les mois d'août et octobre 2011.....	126
Tableau 23 : Ensemble des données physico-chimiques pour la station CL05 – 2007 à 2011	132
Tableau 24 : Ensemble des données physico-chimiques pour les stations CL01 et CL02 - 2011	138
Tableau 25 : Ensemble des données physico-chimiques pour les stations CLTR1, CLTR2, CLTR3, CLTR5, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c – 2008 à 2011	139

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du lac Clément et des stations d'échantillonnage au sein du haut-bassin de la rivière Saint-Charles (en 2007 et 2008).	6
Figure 2 : Localisation du bassin versant du lac Clément et présentation générale de l'utilisation du territoire.....	7
Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage sur le lac Clément et sur les tributaires du lac.....	16
Figure 4 : Modifications principales du bassin versant du lac Clément depuis 1949.....	21
Figure 5 : Topographie du bassin versant du lac Clément et intensité des pentes. Source : APEL, 2010a	23
Figure 6 : Topographie moyenne dans le bassin versant du lac Clément et dans ses alentours.....	24
Figure 7 : Localisation des trois tributaires du lac Clément	28
Figure 8 : Évolution des paramètres physico-chimiques (conductivité, température et pH) des tributaires du lac Clément aux stations CLTR1, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, entre 2008 et 2011.....	38
Figure 9 : Corrélation entre les valeurs de conductivité et de chlorures pour les tributaires 1, 2 et 3.....	39
Figure 10 : Évolution de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour les tributaires du lac Clément (stations CLTR1, CLTR1a, CLTR1b, CLTR2, CLTR3, CLTR5, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c) pour les mois de mars, mai, juin, août et octobre 2011	42

Figure 11 : Évolution des concentrations en chlorures (mg/L) pour les tributaires du lac Clément (stations CLTR1, CLTR1a, CLTR2, CLTR3, CLTR5) pour les mois de mars, mai, juin, août et octobre 2011	43
Figure 12 : Synthèse des valeurs de conductivité retrouvées pour l'année 2011 pour les tributaires du lac Clément	45
Figure 13 : Caractérisation de la bande riveraine en périphérie du lac Clément (15 m).	46
Figure 14 : Carte bathymétrique du lac Clément, réalisée en septembre 2008 en collaboration avec le MRNF.....	47
Figure 15 : Mise en relation de la conductivité en fonction de la présence d'ions chlorure – station CL05 du lac Clément (2007-2010)	51
Figure 16 : Mise en relation de la conductivité en fonction de la présence d'ions chlorure – station CL05 du lac Clément (2011).....	52
Figure 17: Comparaison des conductivités ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurées au lac Clément (juillet 2007 à 2010) avec les conductivités ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurées aux lacs Saint-Charles, Delage, Durand et Trois-petits-lacs (en 2007). Source : APEL, 2010a.....	53
Figure 18 : Caractéristiques physico-chimiques (température, oxygène dissous, pH et conductivité) de la colonne d'eau (0 -5,5 m) à la station CL05 pour les années 2007 à 2011	55
Figure 19 : Caractéristiques physico-chimiques (température, oxygène dissous, pH et conductivité) de la colonne d'eau (0 -5,5 m) aux stations CL01, CL02 et CL05 – 11 août 2011	56
Figure 20 : Caractéristiques physico-chimiques (température, oxygène dissous, pH et conductivité) de la colonne d'eau (0 -5,5 m) aux stations CL01, CL02 et CL05 – 18 octobre 2011	56
Figure 21 : Évolution de la conductivité dans le lac Clément (station CL05) entre juillet 2007 et août 2011.....	58
Figure 22 : Synthèse de l'épandage de sels de voirie au sein du bassin versant du lac Clément.....	67
Figure 23 : Localisation de la route blanche au lac Mégantic	79
Figure 24 : Projet de valorisation des abrasifs autour du Lac Magog	82
Figure 25 : Synthèse d'un plan de gestion alternatif des sels de voirie au sein du bassin versant du lac Clément.....	90
Figure 26 : Mise en place d'un lit de calcite sur le tributaire principal du lac Clément.....	92
Figure 27 : Flux des sels de voirie dans l'environnement	111
Figure 28 : Températures annuelles moyennes ($^{\circ}\text{C}$) et précipitations totales mensuelles (mm d'eau) – mesures effectuées à l'aéroport Jean-Lesage, Québec	126
Figure 29 : Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) aux stations CLTR1, CLTR2 et CLTR5, le 17 mars 2011	127
Figure 30 : Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) aux stations CLTR1, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, le 16 mai 2011	128

Figure 31 : Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) aux stations CLTR1, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, le 27 juin 2011	129
Figure 32 : Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) aux stations CLTR1, CLTR1a, CLTR1b, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c, le 11 août 2011	130
Figure 33 : Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) aux stations CLTR1, CLTR1a, CLTR1b, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c, le 18 octobre 2011.	131

Abréviations

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

MDDEP : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

MTQ : Ministère des Transports du Québec

Introduction et mise en situation

Environ 1,5 million de tonnes de sels de voirie sont épandues annuellement au Québec (MTQ, 2010a). Les sels les plus couramment utilisés sont le chlorure de sodium (NaCl) et le chlorure de calcium (CaCl_2), ainsi que le chlorure de magnésium (MgCl_2) et le chlorure de potassium (KCl), mais ces derniers de manière moins importante (Charbonneau, 2006) (tableau 1). De manière générale, le chlorure de sodium (NaCl) constitue l'agent de déglacage privilégié. Ce dernier est en effet facile à entreposer et à épandre, tout en étant moins coûteux que les autres agents déglacants (Ramakrishna et Viraraghavan, 2005).

Tableau 1 : Variation de l'utilisation des sels de déglacage en fonction de la température

Types de sels	Température (°C)	Commentaires
NaCl	0 à -10	Peut être efficace jusqu'à -21 °C (action alors moins rapide)
$\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$	-10 à -35	Dispendieux et augmentation des coûts d'entretien routier
$\text{MgCl}_2 + \text{NaCl}$	-10 à -35	<i>Idem.</i>

Source : Charbonneau, 2006

En ce qui concerne les abrasifs, l'utilisation de sable, de gravier, de pierre concassée et de litière est opérée en cas d'inefficacité des sels de déglacage sur la glace (Charbonneau, 2006). Les abrasifs peuvent être utilisés seuls ou de manière combinée (faibles quantités de fondants). Au Québec, chaque tonne d'abrasif contient une moyenne de 5% de sels de voirie (*Comm. pers.* Grondin, 2011). De manière générale, les abrasifs sont utilisés sur tous les types de routes lorsque la température est inférieure à -15°C (MTQ, 2007).

Les années 1990 marquèrent le début d'une prise de conscience de l'importance de l'utilisation des sels de voirie, ainsi que de leurs impacts potentiels sur l'environnement (annexe 1). La toxicité des sels de voirie a été légiférée suite à la réalisation à partir de 1995, d'une évaluation scientifique des sels de voirie (sels de chlorure, saumures et additifs à base de ferrocyanure) par le gouvernement fédéral et de la publication des résultats en 2001 : « Sur la base de l'évaluation critique des données pertinentes, les sels de voirie qui contiennent des sels inorganiques de chlorure avec ou sans sels de ferrocyanures sont considérés toxiques au sens de l'article 64 de la *Loi canadienne sur la protection de*

l'environnement (LCPE) 1999 (Santé Canada et Environnement Canada 2001 In Charbonneau, 2006) » (*Rapport d'évaluation de la liste des substances d'intérêt prioritaire sur les sels de voirie*) (Charbonneau, 2006, Environnement Canada, 2001 et Environnement Canada, 2006). Depuis 2002, les sels de voirie sont donc mentionnés au sein de l'annexe 1 de la LCPE (*Liste des substances toxiques*) (Charbonneau, 2006). Précisons toutefois que l'évaluation des sels de voirie en 2001 portait sur le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (CaCl₂), le chlorure de magnésium (MgCl₂), le chlorure de potassium (KCl), les saumures pour le déglçage, l'anti-givrage des routes et à la suppression de la poussière, les sels entrant dans la composition des mélanges d'abrasifs, ainsi que les additifs contenus dans les sels de voirie (ferrocyanures) (Environnement Canada, 2006).

Le Québec s'engagea dans une gestion environnementale de l'épandage de sels de voirie depuis 2004, avec la mise en place d'une approche concertée et l'élaboration de la *Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie* (- active en automne 2010) en partenariat avec le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), l'Union des municipalités du Québec et la Fédération québécoise des municipalités (*Ibid.*). L'objectif principal vise à assurer une gestion responsable des sels de voirie, notamment à l'aide de l'élaboration et de la mise en œuvre d'un plan de gestion en ce qui concerne l'approvisionnement, l'épandage, l'entreposage et l'élimination de la neige (*Ibid.*). *La gestion environnementale des sels de voirie* fait partie de la *Stratégie de développement durable 2009-2013* du ministère des Transports du Québec (MTQ) (mise en place dans le cadre de la *Loi sur le développement durable*) ; ainsi que du *Plan ministériel de gestion environnementale des sels de voirie 2008-2011* adopté par le même ministère (MTQ, 2010a).

Ainsi, de nombreuses normes sur le *Réseau routier* du MTQ (disponibles en ligne) gèrent l'épandage d'agents déglçants sur les tronçons de routes sous autorité du MTQ :

- Tome VI *Entretien* – Chapitre 6 *Viabilité Hivernale* (actuellement en révision)
- Tome VII *Matériaux* - Chapitre 12 *Sels de déglçage* ; Chapitre 14 *Matériaux divers*

En parallèle, le Québec publia en 1997, le *Règlement sur les lieux d'élimination de neige* (L.R.Q., c. Q-2, r-15.1), ainsi que le *Règlement sur l'utilisation de pneus conçus spécifiquement pour la conduite hivernale* (L.R.Q., c. C-24.2, a. 440.1; 2007, c.40, a.59; 2008, c.14, a.48) (MTQ, 2010a).

Au niveau fédéral, Environnement Canada mit notamment en place en 2004 le *Code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie* dans le cadre de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE 1999) (Environnement Canada, 2004). Ce dernier soulève deux recommandations principales : 1) « L'élaboration de plans de gestion des sels de voirie, basés sur la révision des opérations annuelles d'entretien des routes, l'identification de moyens et l'établissement d'objectifs pour réduire les impacts négatifs des rejets de sels de voirie » ; 2) « La mise en œuvre de meilleures pratiques de gestion dans les domaines de l'épandage des sels, de l'entreposage des sels et de l'élimination de la neige » (*Ibid.*).

Mentionnons finalement que les impacts reliés à l'utilisation des sels de voirie restent de nature multiple, notamment les impacts sur les eaux de surface et souterraines, sur le sol, sur la flore et la faune. Ces derniers peuvent toutefois aussi prendre un aspect socio-économique (paysage, corrosion des automobiles, destruction des infrastructures, etc.) (Charbonneau, 2006). Une description sommaire des impacts des sels de voirie sur les milieux lacustres et terrestres (sol) est présentée à l'annexe 1. Cependant, le présent essai traitera uniquement des impacts sur le milieu aquatique (lacustre, riverain, aquifères), et ce plus spécifiquement au lac Clément, situé dans le bassin versant de la rivière Saint-Charles, Québec (figure 1).

Territoire et problématique

Le lac Clément, situé dans le bassin versant de la rivière Saint-Charles, a été l'objet d'analyses physico-chimiques en 2007, dans le cadre d'une étude limnologique par *l'Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord* (APEL), se déroulant sur l'ensemble du haut-bassin de la rivière Saint-Charles (figure 1). Le lac Clément, situé aux limites de l'arrondissement de Charlesbourg (Ville de Québec) et de la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury connaissait alors des valeurs de conductivité anormalement élevées. La conductivité relevée était alors plus élevée que celle mesurée dans des milieux lacustres avoisinants (APEL, 2010a). La problématique d'une contamination anthropique potentielle du lac a été l'objet de nombreux questionnements, le lac Clément étant notamment situé au sein du réseau hydrographique alimentant la prise d'eau potable de la Ville de Québec (figure 1).

En 2008, l'APEL, mandatée par le Service de l'environnement de la Ville de Québec, avait procédé à l'élaboration d'une étude plus approfondie du lac Clément. Un des objectifs a alors été de déterminer l'origine de la forte conductivité retrouvée dans le lac. Celle-ci a été attribuée à l'utilisation de sels de voirie sur les axes routiers traversant le bassin versant du lac en question (figure 2) (*Ibid.*).

En 2009, le mandat de l'APEL a été poursuivi et ce, dans le but de réaliser un suivi de la conductivité et de la concentration en ions chlorure (Cl⁻) dans le lac et ses tributaires lors de la fonte printanière. En 2010, ce mandat a été renouvelé, cette fois sur une période d'échantillonnage dépassant la saison de la fonte printanière (*Ibid.*).

En 2011, l'APEL, mandatée par la Division de la qualité de l'eau du Service de l'environnement de la Ville de Québec, souhaite ainsi poursuivre l'évaluation de la contamination du lac Clément, de son bassin versant ainsi que de la nappe phréatique par les sels de voirie.

L'important taux d'urbanisation dans le bassin versant du lac Clément favorise la dégradation de ce milieu naturel en raison de la forte présence d'activités anthropiques (réseaux routiers, activités sportives estivales et hivernales, urbanisation et villégiature, destruction des bandes riveraines, etc.). Dans le cas du lac Clément, cette dégradation anthropique se caractérise principalement par un taux de conductivité anormalement élevé des eaux du lac. Ceci est attribuable à l'utilisation de sels de voirie au sein du bassin versant (APEL, 2010a et Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2011). La dégradation anthropique du lac Clément est d'autant plus évidente que les eaux de surface retrouvées dans le contexte géologique du bassin versant, dont les gneiss et granites du Bouclier Canadien, se caractérisent naturellement par une faible charge ionique et donc, une faible salinité et conductivité (Wetzel, 2001).

Les concentrations en chlorures retrouvées dans la masse d'eau profonde du lac en 2008 (550 mg/L à 5 m) dépassaient le seuil de toxicité chronique de 230 mg/L proposé par le ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Les concentrations en chlorure retrouvées en surface (130 mg/L à 0 m) restaient, quant à elles, « plus élevées que les valeurs attendues pour ce type de lac et se comparaient aux concentrations retrouvées dans les lacs de milieux fortement urbanisés, comme le lac Saint-Augustin » (APEL, 2009a).

Les concentrations importantes en chlorures retrouvées dans le lac Clément peuvent soulever des inquiétudes quant à la dégradation des habitats des communautés aquatiques en raison d'une modification de l'équilibre osmotique, de la mise en place d'une stratification haline et d'un phénomène d'accentuation de la stratification hivernale et estivale, créant par la suite des conditions quasi-anoxiques dans le fond de la colonne d'eau (annexe 1). En parallèle, rajoutons que les concentrations en chlorures dans le lac Clément 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 » de la Ville de Québec située sur la rivière Saint-Charles (APEL, 2010a).

De la problématique générale des sels de voirie et du cas spécifique du lac Clément découle l'objectif de cet essai qui consiste en la proposition de mesures d'atténuation de la contamination du lac Clément par les sels de voirie.

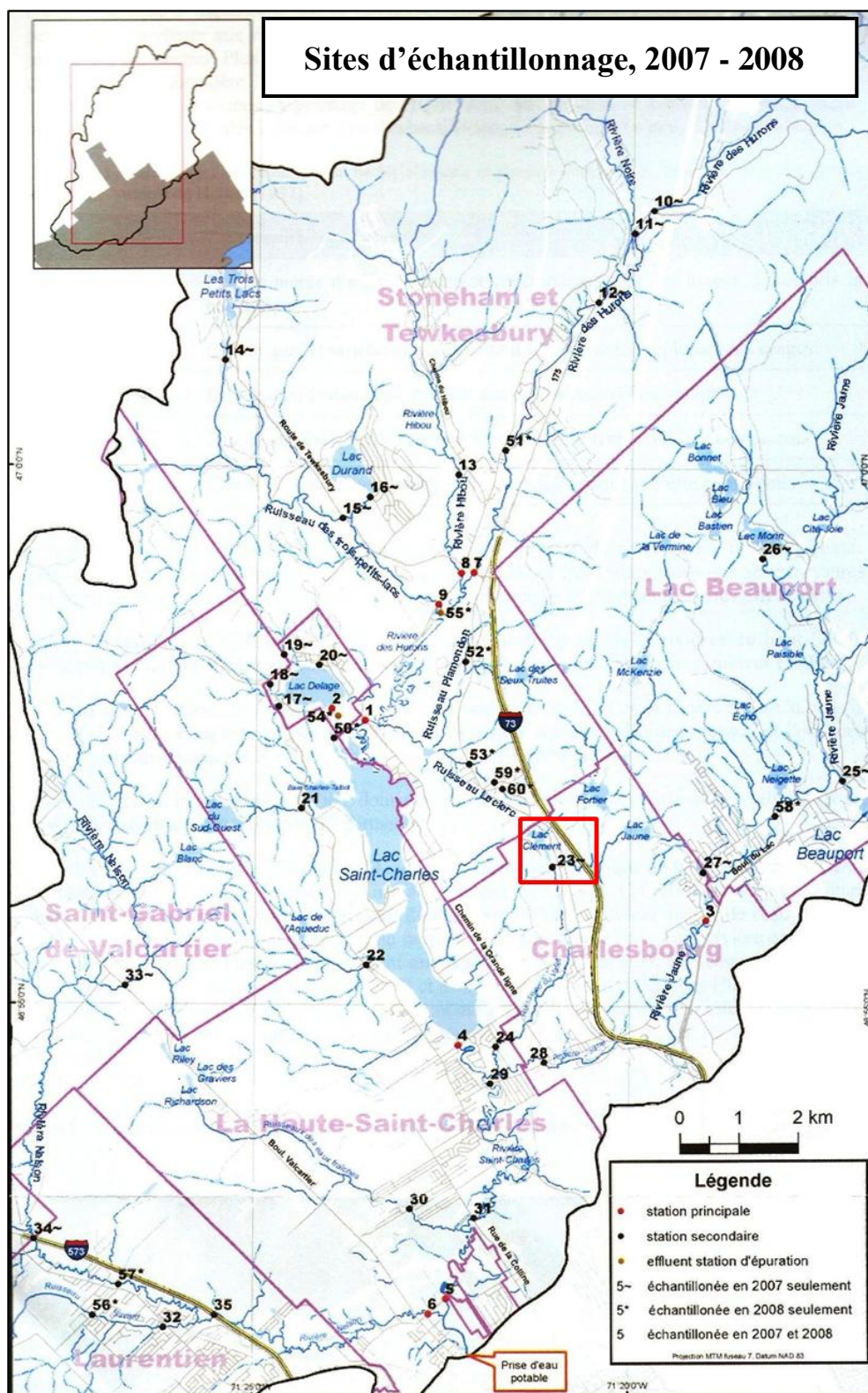


Figure 1 : Localisation du lac Clément et des stations d'échantillonnage au sein du haut-bassin de la rivière Saint-Charles (en 2007 et 2008).

Source : APEL, 2009a

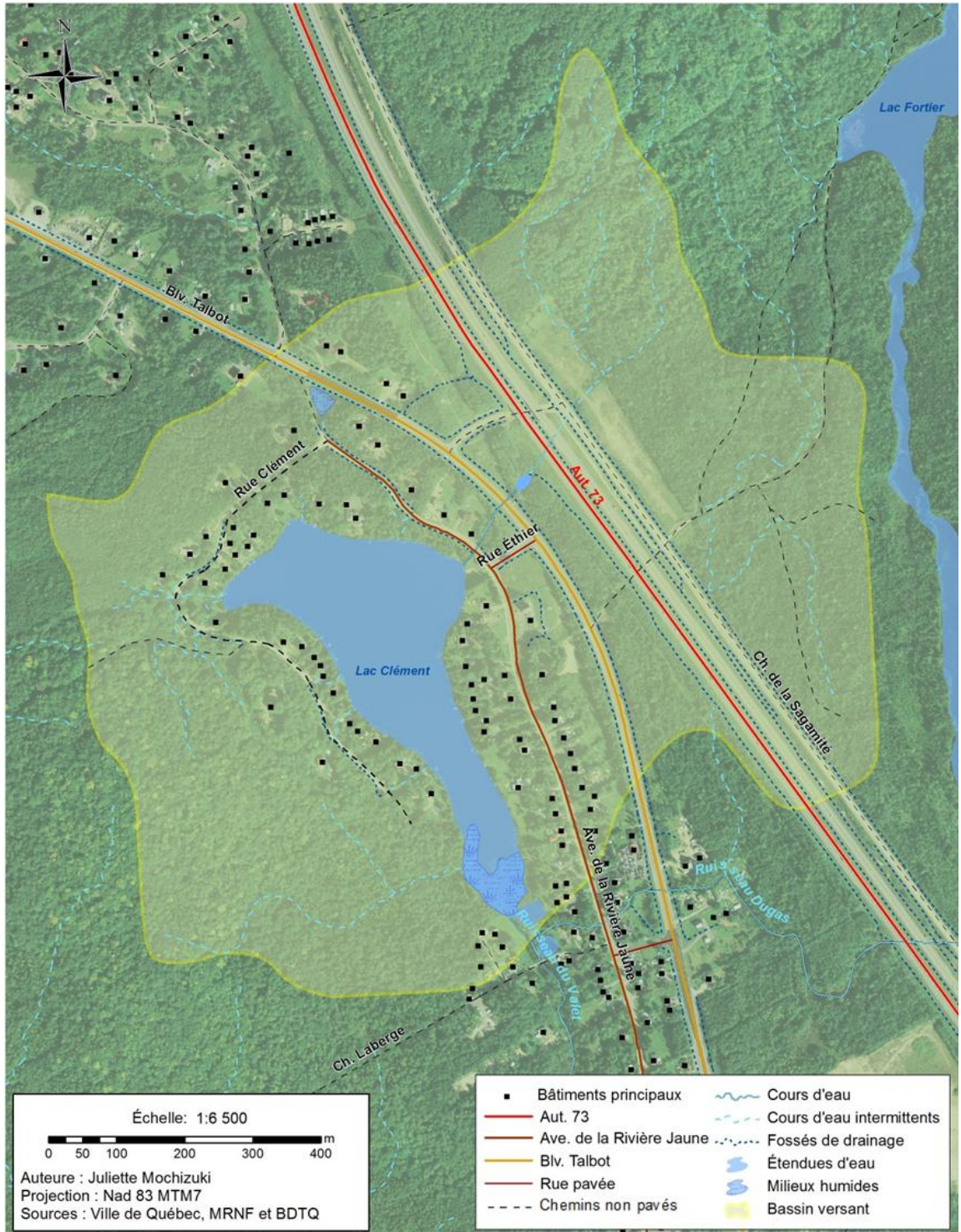


Figure 2 : Localisation du bassin versant du lac Clément et présentation générale de l'utilisation du territoire

Objectifs

À l'objectif général de l'essai consistant en la proposition de mesures d'atténuation de la contamination du lac Clément par les sels de voirie, s'ajoutent trois objectifs spécifiques :

1. Procéder à un état des connaissances :
 - Réaliser un portrait du bassin versant du lac Clément en ce qui a trait aux eaux de surface, aux eaux souterraines, à l'occupation du sol, aux types de sols présents, aux caractéristiques des aquifères, ainsi que procéder à une validation du réseau de drainage du bassin versant.
 - Dresser le portrait du lac Clément, ainsi que des affluents du lac Clément.
2. Évaluer les quantités de sels épandues dans le bassin versant.
3. Procéder à une revue de la littérature et des connaissances sur les projets et les mesures d'atténuation possibles.

Afin de répondre aux trois objectifs définis, l'essai se structure comme suit :

- Introduction et mise en situation
- Territoire et région d'étude
- Chapitre 1 : Méthodologie suivie
- Chapitre 2 : Analyse des résultats
 - Cette section comprend l'élaboration du portrait du lac Clément, de ses tributaires et du bassin versant du lac Clément (objectif 1). Par la suite, cette section traite des quantités de sels de voirie épandues sur les axes routiers (objectif 2). Sont présentés finalement, les principaux projets et mesures d'atténuation (mis en place au Québec) face à la problématique de contamination de l'environnement par les sels de voirie (objectif 3).
- Chapitre 3 : Discussion
 - Cette section décrit les méthodes d'atténuation envisageables afin de faire face à la problématique de dégradation anthropique observable au lac Clément (objectif 3).
- Conclusion (atteinte des objectifs et recommandations)

Chapitre 1 : Méthodologie

Afin de simplifier la compréhension de cette section, une division de la méthodologie par objectifs visés, ainsi qu'une numérotation des étapes clés ont été mises en place.

1.1 Premier objectif (élaboration d'un portrait du bassin versant et des affluents du lac Clément – section 2.1) :

Une première étape a consisté en une synthèse de la littérature et ce, notamment à l'aide des rapports annuels de l'APEL sur la caractérisation du bassin versant du lac Clément (2007 - 2011). Une analyse des cartes géologiques et des études élaborées par le ministère de l'Environnement et de la Faune à l'échelle du bassin versant de la rivière Saint-Charles a été nécessaire afin d'obtenir un portrait global des aquifères, ainsi que des types de sols présents. Ces données ont été tirées plus précisément de l'*Atlas du cadre écologique de référence du bassin versant de la rivière Saint-Charles, Québec, Canada* (Gerardin et Lachance, 1997), ainsi que des données cartographiques produites par la Commission Géologique du Canada. Des bases de données sur les eaux souterraines du ministère des Transports du Québec ont aussi été utilisées.

Des données numériques (format *shapefile*) transmises par l'APEL et la Ville de Québec ont été utilisées afin d'analyser plus en détails l'occupation du sol et le réseau de drainage dans le bassin versant du lac Clément. Une étape de cartographie et de modélisation synthèse (Modèle Numérique de Terrain) a été ici réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS 10.0, notamment afin de mieux comprendre le système de drainage du bassin versant. Les bases de données fournies sur l'occupation du sol et du territoire (base de données mise à jour en 2011 à partir d'orthophotos de 2008 et 2009) comprennent entre autres les courbes topographiques (1 m), les points cotés (20 m), les limites territoriales, les voies de communication, l'utilisation du sol (infrastructures), le réseau pluvial (conduites, ponceaux, raccords, regards), le réseau de drainage et l'indice de qualité des rives du lac. Un traitement préliminaire des données a toutefois été nécessaire, notamment au niveau du réseau hydrographique (cours d'eau et fossés de drainage) et des bâtiments (mise à jour de

certaines tronçons du territoire). Une étude du bassin versant à l'aide des courbes topographiques au 1 mètre et une visite du terrain ont respectivement été nécessaires.

Une utilisation de photographies aériennes disponibles au *Centre GéoStat* de l'Université Laval a permis, quant à elle, une visualisation de l'évolution du lac Clément. Des orthophotos de 1949, 1950, 1960, 1965, 1973, 1977, 1993, 1998 et 2002 ont été numérisées (tableau 2).

Tableau 2 : Description synthèse des photographies aériennes retenues pour l'étude historique du bassin versant du lac Clément

Numéro de rouleau	Numéro de photo	Numéro de ligne	Année	Échelle	Longitude	Latitude
Q02708	96	16-O	2002	15000	-71,34416962	46,94150162
HMQ98103	23	45-E	1998	15000	-71,36446204	46,94331883
HMQ93138	96	45-O	1993	15000	-71,349586	46,94520486
Q77863	83	44-NO	1977	10000	-71,33883178	46,94097041
Q73105	87	I-S	1973	15000	-71,35194975	46,94373342
Q65347	141	31-E	1965	15840	-71,36610325	46,94706167
A17256	53	14W	1960	30000	-71,27358	46,935944
A12715	344	5W	1950	40000	-71,391111	46,969972
A11715	378	7E	1949	25000	-71,354167	46,924861

Source : GéoPhoto, Centre GéoStat, Université Laval, 2011

En parallèle, il a été nécessaire de procéder à l'analyse de bases de données disponibles sur les eaux de surface (du lac Clément et de ses tributaires) à l'aide de fichiers *Excel* fournis par l'APEL (données 2007, 2008, 2009, 2010, 2011) et par le MDDEP (ministère de l'Environnement - données de 1981) (annexe 5 et tableau 9). Les données physico-chimiques recueillies comprennent entre autres les critères suivants : température (°C), pH, taux d'oxygène dissous (mg/l), conductivité ($\mu\text{S/cm}$), ions chlorure (mg/L) (tableau 3).

Tableau 3 : Synthèse des données physico-chimiques disponibles (1981, 2007 à 2011)

	Dates	Stations (figure 3)		Données		Sonde	Échantillonnage lac (<i>Ze</i> ; <i>Zmax</i>) et laboratoire
		Lac	Trib.	Lac	Trib.		
BQMA	1981	NA	-	Cond. ($\mu\text{S/cm}$)	-	NA	<i>Zmax</i> : 5,5 m et 6,2 m ----- NA
	2007	CL05	-	Temp. ($^{\circ}\text{C}$) ; Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; pH ; O_2 dissous (mg/L)	-	HI9828	<i>Ze</i> : 0,5 m. ; <i>Zmax</i> : 5,0 m. ----- Maxxam
APEL	2008	CL05	CLTR1 CLTR2 CLTR3	Temp. ($^{\circ}\text{C}$) ; Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; pH ; O_2 dissous (mg/L) ; chlorures (mg/L)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$) ; pH; Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; chlorures (mg/L)	HI9828	<i>Ze</i> : 0,5 m. ; <i>Zmax</i> : 5,5 m. ----- Maxxam
	2009	CL05	CLTR1 CLTR2 CLTR3	Temp. ($^{\circ}\text{C}$) ; Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; pH ; O_2 dissous (mg/L) ; chlorures (mg/L)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$) ; pH; Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; chlorures (mg/L)	HI9828	<i>Ze</i> : 0,5 m. ; <i>Zmax</i> : 5,5 m. ----- Maxxam
	2010	CL05	CLTR1 CLTR2 CLTR3	Temp. ($^{\circ}\text{C}$) ; Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; pH ; O_2 dissous (mg/L) ; chlorures (mg/L)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$) ; pH; Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; chlorures (mg/L)	HI9828	<i>Ze</i> : 0,5 m. ; <i>Zmax</i> : 5,5 m. ----- Ville de Québec
	2011	CL01 CL02 CL05 RDV05	CLTR1 CLTR1a CLTR1b CLTR2 CLTR3 CLTR5 CLTR5a CLTR5b CLTR5c	Temp. ($^{\circ}\text{C}$) ; Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; pH ; O_2 dissous (mg/L) ; chlorures (mg/L) ----- <i>sauf CL01 et CL02 pour les chlorures</i> ----- <i>RDV05</i> : Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; chlorures (mg/L)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$) ; pH; Cond. ($\mu\text{S/cm}$) ; chlorures (mg/L) ----- <i>sauf CLTR1b, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c pour les chlorures</i>	YSI 6600 V2	<i>Ze</i> : 0,5 m. ; <i>Zmax</i> : 5,5 m. ----- Ville de Québec

Note : « Temp. » : température ; « Cond. » : conductivité ; « O_2 dissous » : oxygène dissous ; « Trib. » : tributaires ; « *Ze* » : profondeur d'échantillonnage régulière le long de la colonne d'eau ; « *Zmax* » : profondeur maximale échantillonnée

Sources : APEL, 2007, APEL, 2008, APEL, 2009, APEL, 2010b, APEL, 2011b, APEL, 2011c et BQMA, 1981 In MDDEP, 2010

Finalement, un volet terrain a été effectué dans le but de valider le réseau de drainage du bassin versant et d'effectuer un suivi du lac Clément et de ses tributaires.

- a) Afin de mieux cerner la problématique de la contamination par les sels de voirie dans le bassin versant du lac Clément, une étape préliminaire de détermination de nouvelles stations d'échantillonnage a été opérée à la fois pour le lac Clément (CL01 et CL02), mais aussi pour les tributaires (CLTR1a, CLTR1b, CLTR5a, CLTR5b, CLTR5c) (figure 3). Les stations CL01 et CL02 ont été mises en place afin de vérifier la remontée potentielle des eaux de la nappe phréatique dans le lac. Les stations sur les tributaires ont été déterminées dans le but de mieux cerner la problématique des sels de voirie en provenance des axes routiers. Une description détaillée de l'ensemble des sites d'échantillonnage (lac et tributaires) est présentée au tableau 4.

- b) Les premiers échantillons ont été pris le 11 août 2011. La deuxième période d'échantillonnage a eu lieu le 18 octobre 2011. Lors de la première période d'échantillonnage du 11 août 2011, l'échantillonnage du lac a été réalisé aux stations CL01, CL02 et CL05 (point le plus profond du lac). Lors de la séance du 18 octobre 2011, l'échantillonnage a eu uniquement lieu aux stations CL01 et CL05 (tableau 4). Il est à noter que l'échantillonnage de 2011 a débuté le 17 mars 2011 pour les tributaires (stations CLTR1, CLTR1a, CLTR1b, CLTR2, CLTR3, CLTR5, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c). Pour les stations CL01, CL02 et CL05 du lac, les premiers échantillons ont été pris le 16 mai 2011 (annexe 5).

Tableau 4 : Description synthèse des stations d'échantillonnage préétablis et choisis pour le lac Clément et ses tributaires

Stations (figure 3)	Longitude	Latitude	Description de la localisation	Justification de la localisation	Informations supplémentaires/échantillonnage ² et laboratoires
CLTR1 (A)	-71,351901	46,943505	En aval du pont en béton traversant l'avenue de la Rivière Jaune à 30 m au nord de l'intersection avec la rue Éthier.	Station intégratrice du tributaire principal	2008 - 2011 ----- 2008-2009 : Maxxam ; 2010-2011 : Ville de Québec
CLTR1a (N)	-71,351901 <i>Coordonnées approximatives – station CLTR1</i>	46,943505 <i>Coordonnées approximatives – station CLTR1</i>	Sous le pont en béton traversant l'avenue de la Rivière Jaune à 30 m au nord de l'intersection avec la rue Éthier.	Fossé de drainage souterrain localisé en dessous de l'avenue de la Rivière Jaune	Août et octobre 2011 ----- Ville de Québec
CLTR1b (N)	-71,351901	46,943505	En amont du pont en béton traversant l'avenue de la Rivière Jaune à 30 m au nord de l'intersection avec la rue Éthier	Vérification de la conductivité en amont du pont traversant l'avenue de la Rivière Jaune	Août et octobre 2011 ----- Ville de Québec
CLTR2 (A)	-71,357118	46,942838	Prélèvements faits dans le mince cours d'eau longeant le 2610 rue Clément entre la rue et le lac.	Station intégratrice du deuxième tributaire du lac.	2008 - 2011 ----- 2008-2009 : Maxxam ; 2010-2011 : Ville de Québec
CLTR3 (A)	-71,35299	46,943888	En aval du ponceau traversant l'avenue de la Rivière Jaune juste avant que le cours d'eau passe sous la clôture du 2555 (domaine boisé). Le ponceau traverse la rue entre les numéros 2562 et le 2552	Station intégratrice du troisième tributaire du lac	2008 - 2011 ----- 2008-2009 : Maxxam ; 2010-2011 : Ville de Québec

Stations (figure 3)	Longitude	Latitude	Description de la localisation	Justification de la localisation	Informations supplémentaires/ échantillonnage ² et laboratoires
CLTR5 (A)	-71,350833 <i>Coordonnées approximatives - Google Earth (2003)</i>	46,56111 <i>Coordonnées approximatives - Google Earth (2003)</i>	En aval d'un petit étang entre l'autoroute 73 et le boulevard Talbot	Station intégratrice du tributaire principal. Station d'échantillonnage depuis mars 2011 dans le but de quantifier les apports de sels de voirie de l'autoroute vs. le réseau local (boul. Talbot et avenue de la Rivière Jaune).	Mars, mai, juin, août et octobre 2011 Ville de Québec
CLTR5a (N)	-71,35085	46,9449	En aval du fossé de drainage le long de l'autoroute 73), en amont du bassin d'eau (entre le blv. Talbot et l'autoroute 73)	Détermination de l'apport en sels de voirie du fossé de drainage de l'autoroute 73	Août et octobre 2011 Ville de Québec
CLTR5b (N)	-71,35085 <i>Coordonnées approximatives - station CLTR5A</i>	46,9449 <i>Coordonnées approximatives - station CLTR5A</i>	En aval de la canalisation passant sous l'autoroute 73 ; en amont du bassin d'eau (entre le blv. Talbot et l'autoroute 73)	Vérification de la conductivité de l'eau à la sortie des eaux de fossés canalisés de l'autoroute 73	Août et octobre 2011 Ville de Québec
CLTR5c (N)	-71,3504	46,94437	En amont du fossé de drainage le long de l'autoroute 73	Détermination de la conductivité en amont du fossé de drainage le long de l'autoroute 73	Août et octobre 2011 Ville de Québec
CL01 (N)	-71,35458	46,94238	En bordure nord-ouest du lac Clément (environ 10-15 m de la berge)	Zone de résurgence potentielle des eaux souterraines	Août et octobre 2011 Ville de Québec
CL02 (N)	-71,35373	46,94342	En bordure nord-est du lac Clément (environ 10 m de la berge)	Zone de résurgence potentielle des eaux souterraines	Août et octobre 2011 Ville de Québec

Stations (figure 3)	Longitude	Latitude	Description de la localisation	Justification de la localisation	Informations supplémentaires/ échantillonnage ² et laboratoires
CL05 (A)	-71,35367	46,94244	Point le plus profond du lac	NA	2007 - 2011 ----- 2007-2009 Maxxam ; 2010-2011 Ville de Québec
RDV05 ¹ (A)	-71,351069 <i>Coordonnées approximatives - Google Earth (2003)</i>	46,938894 <i>Coordonnées approximatives - Google Earth (2003)</i>	À l'embouchure du lac Clément, au niveau du ruisseau du Valet (exutoire du lac)	Vérification de la qualité de l'eau provenant du lac Clément	2011 ----- Ville de Québec

Notes : (A) : sites d'échantillonnage antérieurs à août 2011 – définis par l'APEL ; (N) : nouveaux sites d'échantillonnage définis en août 2011 ; (¹) : suivi effectué uniquement par l'APEL. Aucune prise d'échantillon dans le cadre de ce projet. ; (²) : cf. annexe 5

Sources : APEL, 2007, APEL, 2008, APEL, 2009, APEL, 2010*b* et APEL, 2011*b*

- c) En ce qui concerne l'échantillonnage du lac Clément, les données ont été recueillies à chaque 0,5 m de profondeur à l'aide d'une sonde YSI 6600 V2 (profils de température, pH, conductivité, oxygène dissous) et la transparence de la colonne d'eau, à l'aide d'un disque de Secchi.

Les échantillons d'eau récoltés (en surface et près du fond de la colonne d'eau) ont été analysés par le laboratoire de la Division de la qualité de l'eau du Service de l'environnement de la Ville de Québec (Centre analytique 210, avenue Saint-Sacrement Québec, Québec G1N3X6). Les concentrations en ions chlorure au sein de la colonne d'eau ont alors été déterminées à deux profondeurs (en surface et à 5 m).

- d) Pour ce qui est de l'échantillonnage des tributaires, chaque station échantillonnée a été l'objet d'une prise de données à l'aide d'une sonde YSI 6600 V2 (température, pH, conductivité, oxygène dissous), mais aussi d'un prélèvement d'échantillons d'eau selon les stations, afin de déterminer les concentrations en ions chlorure retrouvées dans les différentes sections du bassin versant étudié. Les échantillons recueillis ont été aussi analysés par le laboratoire de la Division de la qualité de l'eau du Service de l'environnement de la Ville de Québec.

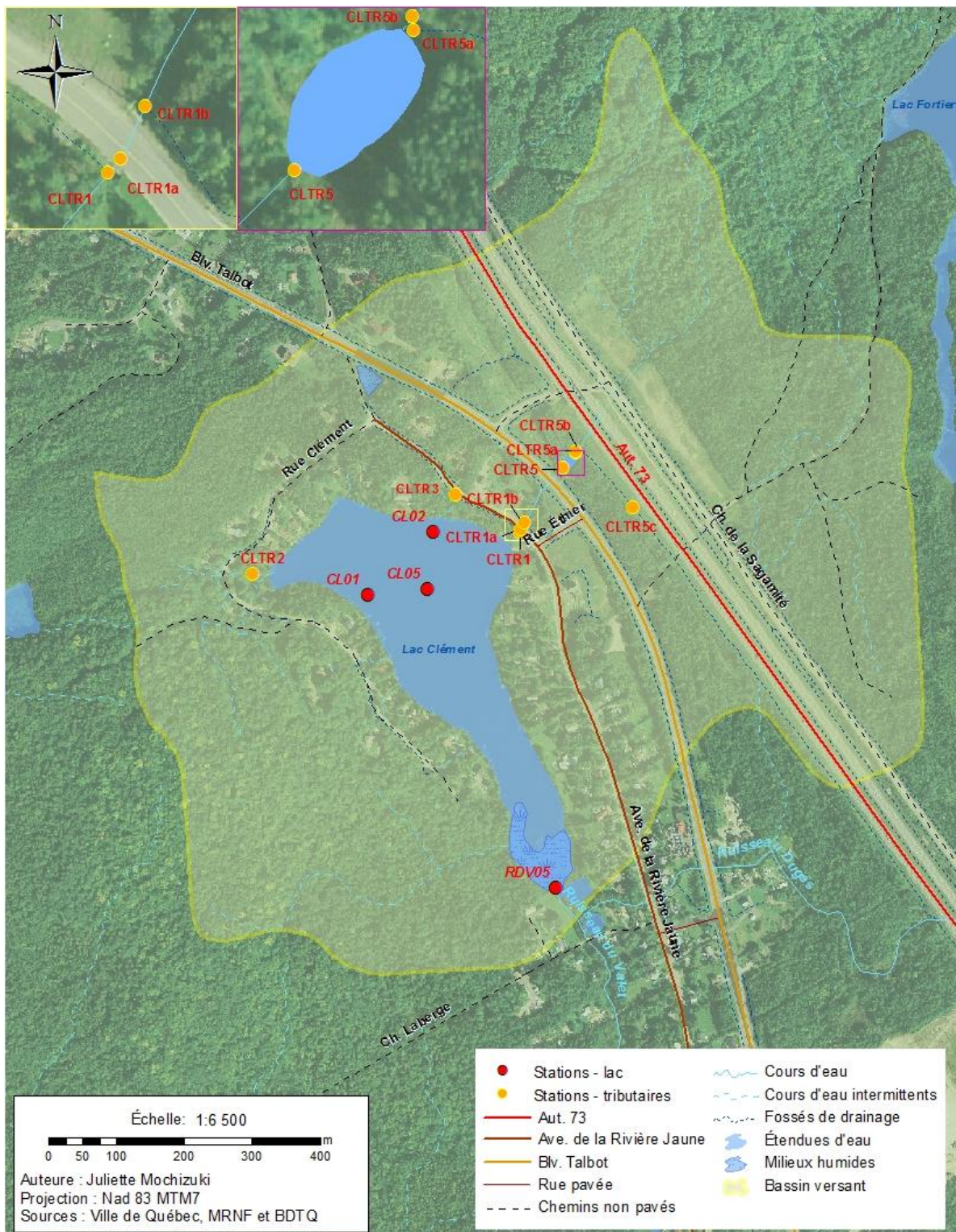


Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage sur le lac Clément et sur les tributaires du lac

1.2 Deuxième objectif (évaluation des quantités de sels épandues dans le bassin versant – section 2.2.1) :

Une rencontre avec des personnes ressources a été ici essentielle, la gestion des sels de voirie au sein du bassin versant relevant du MTQ pour l'autoroute 73 et le chemin de la Sagamité ; et de l'arrondissement de Charlesbourg (Division des travaux publics) pour les autres tronçons routiers (figure 22) (cf. la liste d'experts consultés en bibliographie).

Aucune base de données sur les quantités de sels épandues n'a été disponible. Les valeurs obtenues ont été déduites par interpolation à partir de valeurs moyennes régionales d'épandages de sels de voirie, ainsi qu'à partir des quantités de sels de déglacage autorisées par les normes d'épandage québécoises, fournies par le MTQ. Les estimations des entrepreneurs concernant les quantités d'épandages d'agents déglaçants ont aussi été prises en compte.

1.3 Troisième objectif (mesures d'atténuation) :

La démarche suivie a été réalisée en trois étapes :

- a) Une revue de la littérature scientifique sur les impacts des sels de voirie et ce, plus particulièrement en milieu lacustre (annexe 1)
- b) Une synthèse des mesures d'atténuation mises en place au Québec (section 2.2.2)
- c) La proposition de mesures d'atténuation et de recommandations spécifiques au territoire à l'étude (section 3.1)

Pour la première étape (revue de la littérature), des articles scientifiques, des sites internet de qualité, des publications gouvernementales, la documentation de l'APEL et d'organismes de bassin versants ont été consultés.

En ce qui concerne la deuxième étape, une synthèse des mesures de gestions mises en place par le MTQ, ainsi qu'une étude des mesures de nature expérimentale ou mises en place au Québec ont été faites afin de mieux cerner les principaux enjeux et attraits des mesures d'atténuation possibles. Il ne s'agit pas non plus de négliger ici l'intérêt présenté

par les rencontres avec des personnes ressources et/ou acteurs clés dans le domaine, chargés de projets spécifiques pour la mise en place de plan de réhabilitation face à la contamination des milieux lacustres par les sels de voirie (personnel du MTQ, chercheurs et étudiants gradués de l'Université Laval, personnel de la Ville de Sherbrooke et de la Ville de Québec) (cf. la liste d'experts consultés en bibliographie).

Enfin, une troisième étape a consisté en la visite du terrain du bassin versant du lac Clément avec des experts du MTQ et de l'APEL, dans le but de pouvoir proposer des mesures d'atténuation adéquates face aux caractéristiques topographiques, géologiques et d'occupation anthropique du bassin versant visé.

Chapitre 2 : Analyse des résultats

2.1 Portrait du bassin versant du lac Clément

2.1.1 Occupation du territoire

Le bassin versant du lac Clément, de faible taille (0,988 km²), se caractérise par une superficie anthropisée importante (20,8 %) avec 107 unités d'habitations (tableau 5). La majorité de ces dernières se situe à moins de 150 mètres des rives du lac (Ville de Québec, 2011a et APEL, 2010a). Les unités d'habitations situées le long de la rue Clément et l'avenue de la Rivière Jaune (jusqu'à 100 mètres au sud-est de la rue Éthier) possèdent une fosse septique individuelle (APEL, 2011b).

Tableau 5: Caractéristiques du bassin versant du lac Clément

Caractéristiques du bassin versant	
Superficie	0,988 km ²
Nombre d'unités d'habitation	107
Réseau routier	7,0 %
Lac Clément	8,3 %
Milieus forestiers	63,1 %
Milieus habités ou déboisés	20,8 %
Autres	0,8 %

Sources : APEL, 2010a, Ville de Québec, 2011a et Ville de Québec, 2011b

En parallèle, le réseau routier (accotements et routes) occupe une superficie équivalant à 7% du bassin versant. Plus spécifiquement, on note la présence d'une rue résidentielle encerclant le lac, ainsi que deux axes routiers importants à proximité du milieu lacustre : l'autoroute 73 et le boulevard Talbot (figure 2).

La majeure partie du bassin versant reste néanmoins caractérisée par la présence de milieux boisés (63,1 %). En revanche, ces derniers restent majoritairement répartis en périphérie du bassin versant, alors que les terrains urbanisés se situent à proximité du lac Clément, d'où la dégradation anthropique observée du milieu lacustre (APEL, 2010a).

2.1.2 Évolution du bassin versant du lac Clément : modifications majeures depuis 1949

L'étude sommaire de l'évolution du lac Clément a été possible à l'aide de photographies aériennes prises en 1949, 1950, 1960, 1965, 1973, 1977, 1993, 1998 et 2002 (tableau 2). En raison d'une résolution insuffisante des photographies aériennes (échelle trop petite) une évolution des tributaires et de l'effluent du lac Clément n'a pas été jugée possible.

Les interprétations suivantes ont été notées pour le lac Clément :

- 1950 : Création d'un premier étang à proximité de l'embouchure du lac Clément (figure 4)
- 1960 : Présence de deux étangs à proximité de l'embouchure du lac Clément (figure 4)
- 1993 : Construction de l'autoroute 73 (figure 4)
- 1998 : Mise en service de l'autoroute 73

La création des deux étangs à l'embouchure du lac Clément eut plusieurs impacts sur le milieu lacustre. La déviation du ruisseau Dugas (en provenance du lac Fortier et se jetant dans le ruisseau du Valet) a eu pour conséquence une modification des conditions hydrologiques à l'embouchure du lac Clément (*Comm. pers.* Behmel, 2011). L'exutoire du ruisseau Dugas dans le ruisseau du Valet fut dévié vers l'aval, créant ainsi des conditions environnementales idéales pour le développement de milieux humides (eaux stagnantes), tel qu'observé aujourd'hui (figure 2).

De plus, un muret érigé sous le niveau des eaux du ruisseau du Valet en aval de l'embouchure du lac Clément accentue la mise en place de conditions favorisant la stagnation de l'eau à l'embouchure du lac Clément (*Comm. pers.* Behmel, 2011 et *comm. pers.* Bédard, 2011).

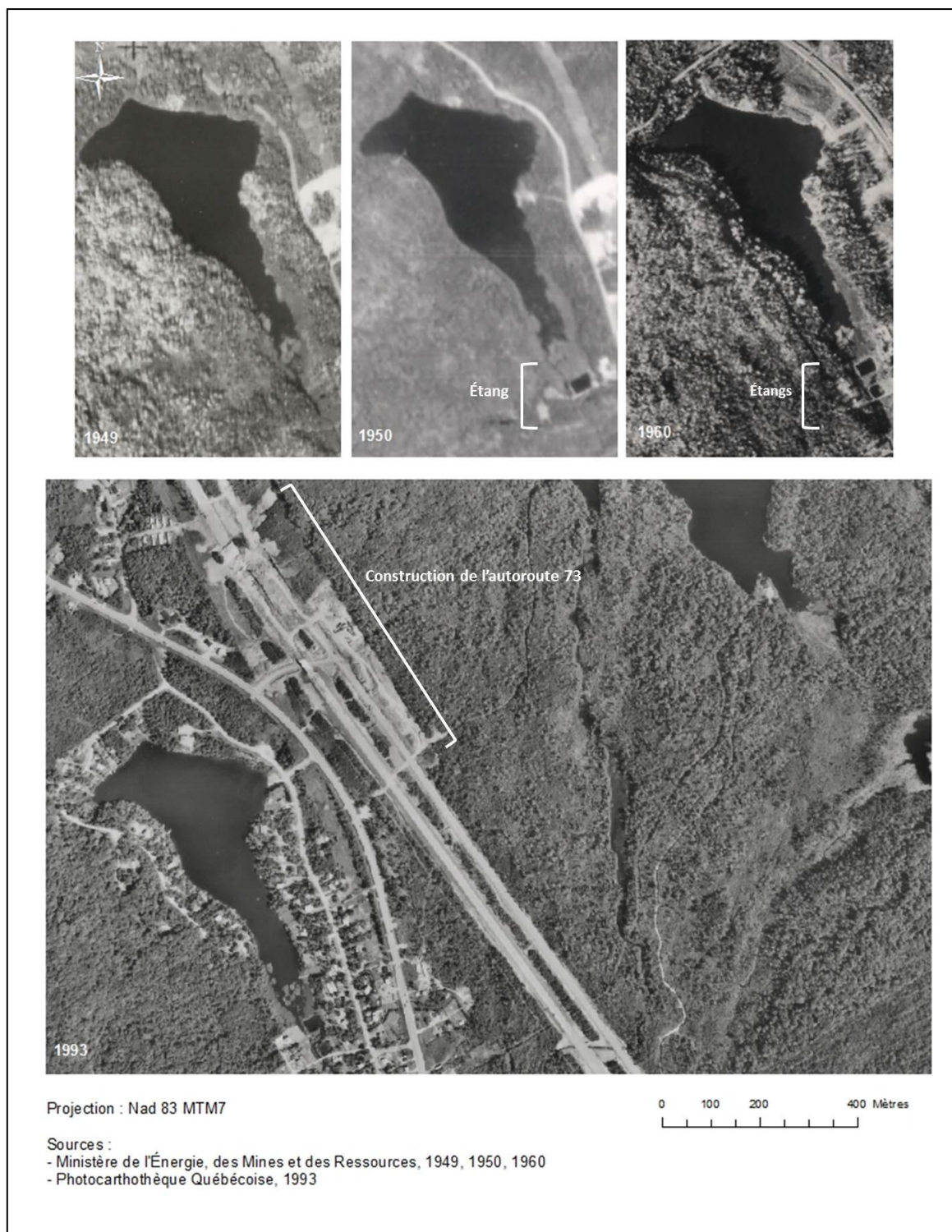


Figure 4 : Modifications principales du bassin versant du lac Clément depuis 1949

2.1.3 Caractéristiques géologiques et topographiques du bassin versant

2.1.3.1 Caractéristiques géologiques

Le bassin versant du lac Clément se situe sur le Bouclier Canadien (socle grenvillien). La roche en place se compose majoritairement de gneiss et de granite (Gérardin et Lachance, 1997).

Les dépôts de surface dans la région sont composés de till remanié en couverture discontinue, de sédiments littoraux, pré-littoraux et d'exondation. La roche-mère affleure aussi souvent en surface (gneiss et granite) (APEL, 2010a et Bolduc *et al.*, 2003). Plus spécifiquement, la couche de till indifférencié (dépôt glaciaire) couvrant l'ensemble du bassin versant du lac Clément se caractérise comme un dépôt « lâche ou compact sans triage constitué d'une farine de roches et d'éléments de toutes tailles généralement anguleux à sub-anguleux. La granulométrie des matériaux peut varier de l'argile au bloc selon les régions » (Ressources Naturelles Canada, 1988). Dans le bassin versant du lac Clément, l'épaisseur moyenne de cette couche sédimentaire est supérieure à 1 m (*Ibid.*).

Selon les caractéristiques des dépôts meubles caractérisant le bassin versant étudié, l'hypothèse d'une infiltration importante des eaux de ruissellement (et donc des chlorures) dans le sol peut être mentionnée. Un test de perméabilité doit toutefois être effectué afin de confirmer cette dernière.

Face aux propriétés géologiques de la région, la forte conductivité du lac peut être rattachée à la présence d'axes routiers à proximité du plan d'eau. En effet, l'hypothèse d'un phénomène de résurgence d'eaux souterraines naturellement salées reste très improbable : le gneiss et le granite formant le sous-sol du bassin versant ne constituent pas des sources en chlorures (Wetzel, 2001). Les eaux de surface sont donc naturellement faiblement minéralisées (Ministère de l'Environnement et de la Faune, 1997). De plus, aucun filon, ni gisement de roches solubles et « salées » (sylvite (KCl), halite (NaCl)) n'a été identifié dans la région autour du lac Clément (APEL, 2010a).

2.1.3.2 Caractéristiques topographiques

Le bassin versant connaît un dénivelé topographique certain, avec des pentes caractérisées par un plan d'inclinaison allant jusqu'à 29% au nord-est et au nord-ouest de la zone d'étude (Figure 5 5) (APEL, 2010a).

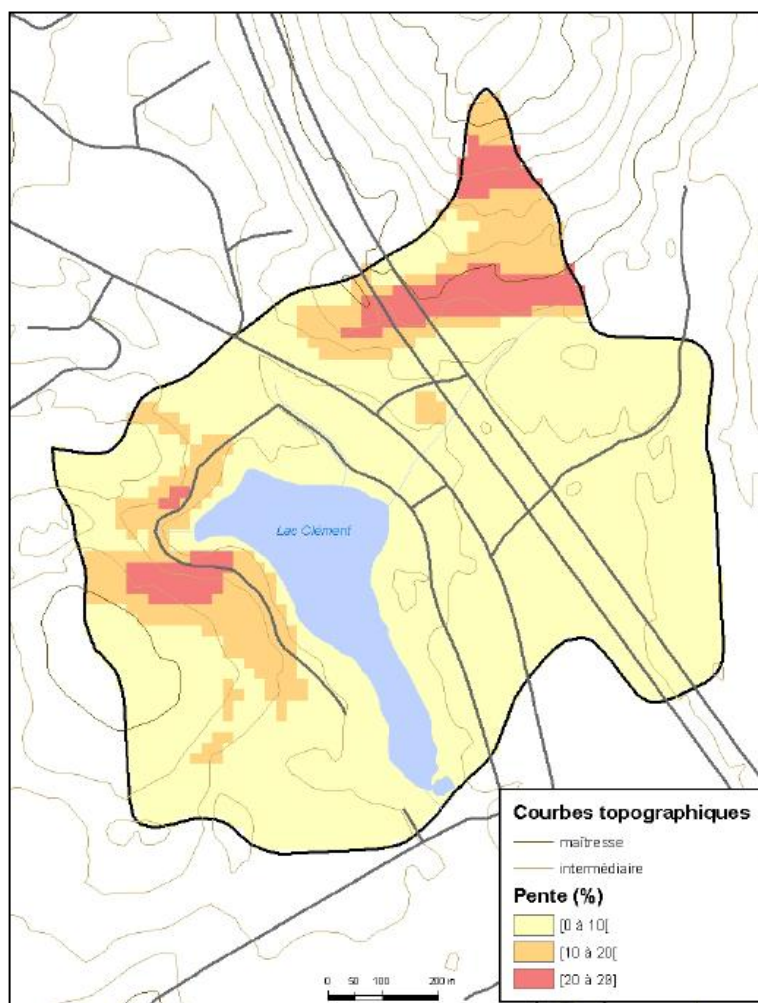


Figure 5 : Topographie du bassin versant du lac Clément et intensité des pentes.

Source : APEL, 2010a

Les données topographiques disponibles pour le bassin versant du lac Clément (courbes de niveau au 1 mètre) indiquent une altitude minimale moyenne de 217 mètres et une altitude maximale moyenne de 312 mètres (Ville de Québec, 2011b). Nous obtenons un dénivelé topographique moyen de 95 mètres (figure 6 – les données d'élévation maximales ont été retenues pour l'ensemble de la superficie cartographique et non en fonction du bassin versant du lac Clément).

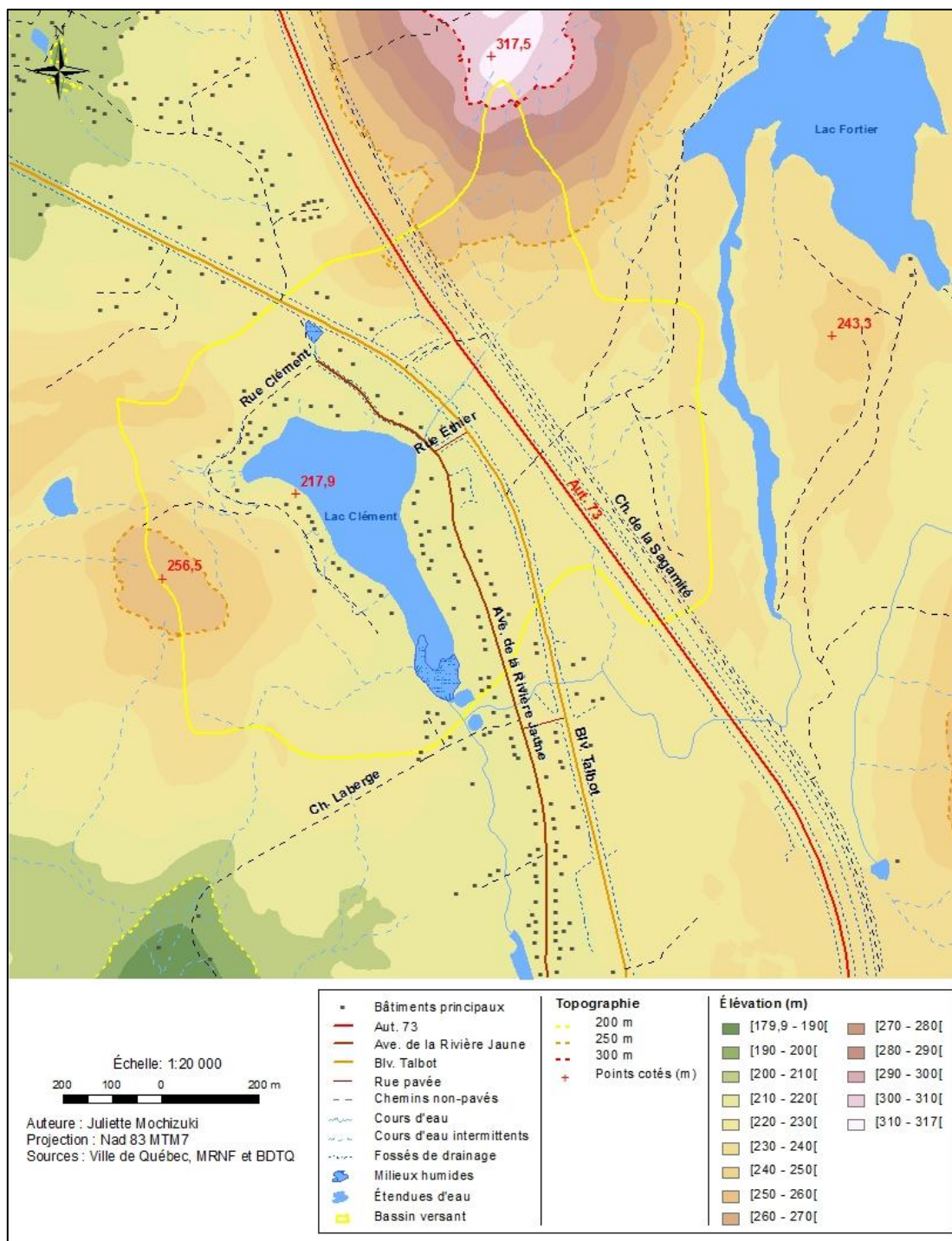


Figure 6 : Topographie moyenne dans le bassin versant du lac Clément et dans ses alentours

Les caractéristiques topographiques du bassin versant peuvent ainsi constituer un frein à la mise en place de nombreux projets d'aménagement ; notamment pour une

déviations, voire une modification de la canalisation des fossés de drainage pour une meilleure gestion des eaux contaminées par les sels de voirie.

En revanche, la dénivellation topographique d'une moyenne de 3 mètres entre l'avenue de la Rivière Jaune et l'autoroute 73 pourrait au contraire, assurer un écoulement naturel et continu des eaux du tributaire 1, dans le cas de la mise en place d'un projet d'aménagement pour ce secteur spécifique (section 3.1.2) (*Comm. pers.* Bédard, 2011).

2.1.4 Portrait des eaux de surface : conductivité et ions chlorure

Le lac Clément et ses tributaires ont été l'objet d'une multitude de périodes d'échantillonnage. Lors des nombreuses périodes d'échantillonnage du lac Clément (1981, 1988, 2007 - 2011) et des tributaires (2007 - 2011), les paramètres analysés ont été la température (°C), le pH, la concentration en oxygène dissous (mg/L), la conductivité et les concentrations en ions chlorure (tableau 3, tableau 4 et annexe 5). L'analyse de données présentée ci-dessous se concentre sur la conductivité et les concentrations en ions chlorure des eaux des tributaires, puis celles du lac Clément. L'analyse des autres paramètres est disponible en annexe 3.

La conductivité (conductivité électrique (CE)) est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique et se définit comme une mesure indirecte de la quantité de substances dissoutes (Environnement Canada, 2010). Ainsi, la conductivité augmente en fonction de la quantité d'ions présents dans le milieu et est directement reliée à la teneur en sel (Morteau, 2008 et Wetzel, 2001).

Dans la présente situation de contamination par les sels de voirie d'un milieu aquatique (annexe 1), mentionnons qu'une conductivité est considérée faible lorsqu'inférieure à 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Celle-ci devient élevée lorsque supérieure à 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (APEL, 2011a). Finalement, une conductivité entre 1000 et 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indique des conditions salines (Environnement Canada, 2010). Dans une situation de conductivité élevée, une détermination des concentrations en ions chlorure semble alors pertinent et judicieux (Environnement Canada, 2010 et APEL, 2011a). Les ions chlorure sont en effet considérés comme de bons indicateurs de la contamination d'un environnement aquatique

par les sels de voirie en raison de leur persistance dans l'eau (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2011 et Environnement et Santé Canada, 2001 *In* APEL, 2010a).

Par ailleurs, les concentrations en chlorures supérieures à 230 mg/L dépassent le seuil de toxicité chronique établi par le MDDEP. Le seuil de toxicité aiguë se situe quant à lui à 860 mg/L (MDDEP, 2002a). Mentionnons toutefois que ces valeurs sont actuellement en révision (*Ibid.*).

De nombreux autres seuils de concentrations en ions chlorure sont mentionnés au sein de la littérature scientifique :

Tableau 6 : Concentrations de référence en chlorures (mg/L) pour les plans d'eau intacts du Bouclier Canadien, ainsi que pour les lacs en milieux peu urbanisés à proximité du lac Clément

	Chlorures (Cl ⁻) (mg/L)
Concentration moyenne mondiale pour les rivières non polluées sur socle de gneiss et de granite (Wetzel, 2001)	0
Concentrations dans les lacs non perturbés du Bouclier Canadien (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2011)	< 1 à 7
« Concentrations moyennes des lacs à proximité du lac Clément dans les années 1980 » (BAPE, 1988)	10 à 20

Tableau 7 : Concentrations en chlorures (mg/L) dans des lacs en milieux fortement urbanisés au sein du territoire de l'agglomération de Québec.

	Dates	Profondeur	Chlorures (Cl ⁻) (mg/L)
Lac Saint-Augustin	2001 et 2006	surface	124 à 150
Lac Laberge (bassin central)	2004 à 2007	surface	140
		fond	450

Source : APEL, 2010a (données de la Ville de Québec)

Parallèlement, les recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (RCQE) face à une protection de la vie aquatique mentionnent que dans un environnement d'eau douce, une concentration de 120 mg/L d'ions chlorure constitue la norme à respecter pour une exposition de longue durée. Pour une exposition de courte durée, la norme indique une concentration de 640 mg/L (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2011).

Finalement, la valeur moyenne de salinité retrouvée en Amérique du Nord pour les rivières serait de 142 mg/L, avec une concentration moyenne de 8,0 mg/L de chlorures (Wetzel, 2001). Plus précisément, le terme « salinité » se définit comme la somme des concentrations de l'ensemble des éléments ioniques dissous dans les eaux intérieures, à la fois fraîches et salines. Celle-ci s'exprime donc en concentrations ioniques totales en mg/L (*Ibid.*).

2.1.4.1 Portrait des tributaires du lac Clément

2.1.4.1.1 Localisation et caractéristiques physiques des tributaires

En ce qui concerne le contexte hydrologique du lac Clément, ce dernier se déverse, dans sa partie sud, dans le ruisseau du Valet, qui s'écoule par la suite vers la rivière Jaune (figure 2). Trois tributaires ont été dénombrés pour le lac.

Le principal affluent du lac, un ruisseau naturel, passe sous l'ensemble des axes routiers adjacents au lac et récupère les eaux des fossés de l'avenue de la Rivière Jaune, du boulevard Talbot et de l'autoroute 73 qui s'y déversent (tributaire 1). Le deuxième tributaire prend la forme d'une source souterraine en provenance d'une zone forestière et se transformant en ruisseau 60 mètres avant le lac. Finalement, le troisième tributaire consiste en un affluent intermittent, constitué des fossés de l'avenue de la Rivière Jaune (drainant notamment un milieu humide situé le long du boulevard Talbot) (figure 7) (APEL, 2010a).

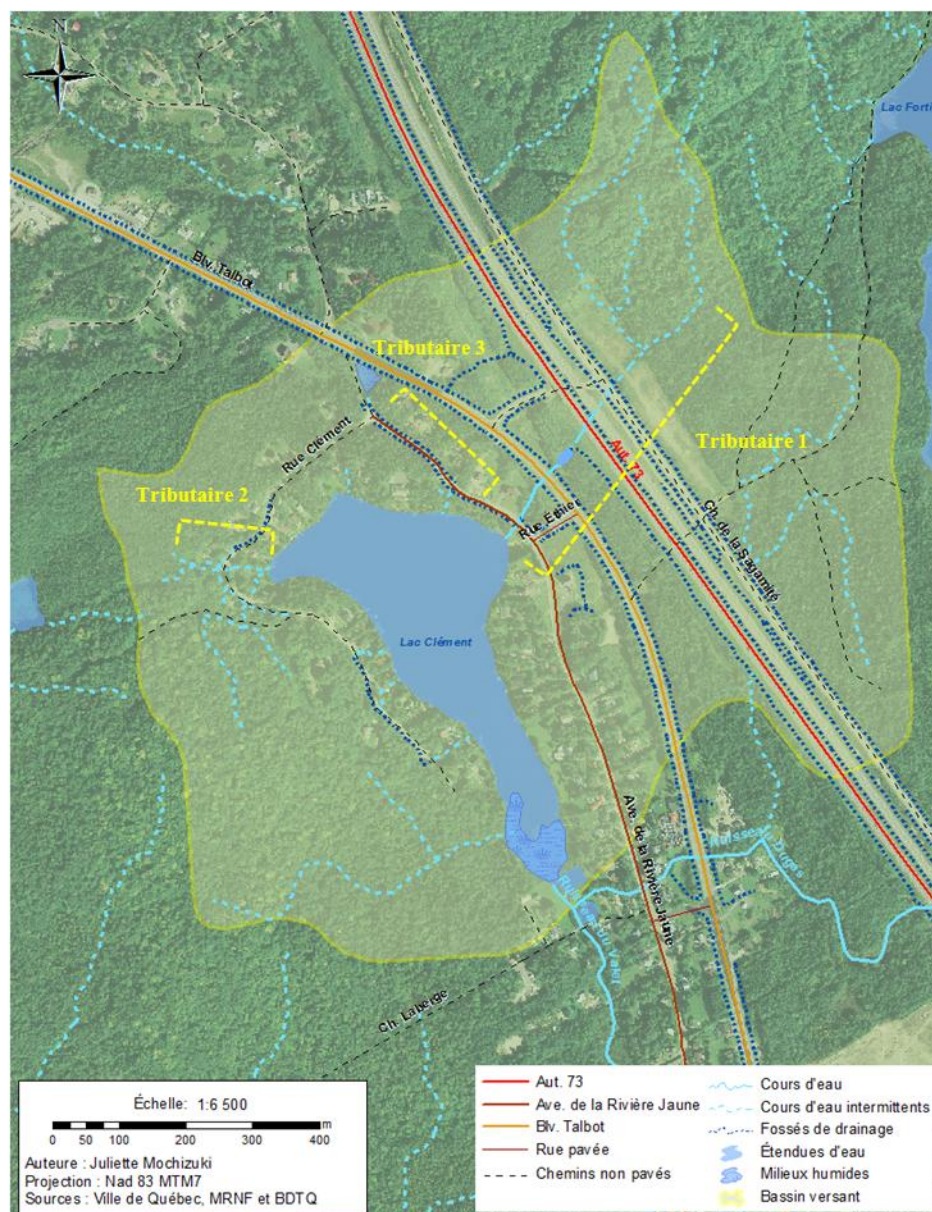


Figure 7 : Localisation des trois tributaires du lac Clément

2.1.4.1.2 Conductivité et chlorures dans les tributaires

L'ensemble des données (valeurs de conductivité et de concentrations en chlorures – 2007 à 2011) mesurées dans les tributaires du lac Clément sont présentées à l'annexe 5.

2.1.4.1.2.1 Situation entre 2008 et 2010 (CLTR1, CLTR2 et CLTR3)

Suite aux périodes d'échantillonnage des tributaires entre 2008 et 2010 (figure 8 et annexe 5), plusieurs analyses et conclusions ont été mises de l'avant par l'APEL (APEL, 2010a) :

- Les mesures de conductivité et de concentrations en ions chlorure étaient plus élevées pour les tributaires 1 et 3 (drainant les axes routiers) que pour le tributaire 2 (alimenté par les eaux souterraines provenant d'une zone forestière)
- La conductivité du tributaire 2 est restée inférieure à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une variation en concentrations en ions chlorure entre $<1 - 11 \text{ mg}/\text{L}$. Pour les tributaires 1 et 3, les valeurs de conductivité ont varié entre 400 et 3660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et les concentrations en chlorures entre 120 et 1000 mg/L . Les valeurs trouvées dépassent ainsi de manière importante les valeurs attendues pour l'environnement visé (tableau 6) et s'apparentent aux données retrouvées dans d'autres milieux urbanisés (tableau 7).
- Lors des périodes printanières (périodes d'échantillonnage des mois de mars et de mai), les taux de chlorures dans le tributaire 1 dépassaient souvent le seuil de toxicité chronique de 230 mg/L du MDDEP, ainsi que le seuil de conductivité élevée de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figure 8). De plus, les concentrations en chlorures en mars 2009 dans le même tributaire ont dépassé le seuil de toxicité aiguë de 860 mg/L du MDDEP (1000 mg/L).
- Les données recueillies aux mois de mars 2008 et 2009 (période de fonte des neiges), ont souligné des valeurs de conductivité et des concentrations en chlorures plus importantes dans le tributaire 1 (figure 8). Les valeurs étaient plus faibles pour le mois de mars 2010, l'hiver ayant été caractérisé par des conditions plus douces et une fonte des neiges hâtive (février 2010). Ainsi, la fonte printanière serait la cause d'apports extrêmes en chlorures au lac Clément. Plus spécifiquement, les apports en chlorures seraient transportés par les tributaires 1 et 3 drainant le réseau routier.

- Les concentrations en ions chlorure dans les tributaires 1 et 3 sont restées proches du seuil de toxicité chronique de 230 mg/L pendant l'été et l'automne pour les années 2008, 2009 et 2010. Il a par conséquent été conclu que « les affluents drainant le réseau routier semblent donc causer des apports importants en chlorures au lac Clément tout au long de l'année » (APEL, 2010a).
- Finalement, les concentrations en chlorures dans les tributaires 1 et 3 ont augmenté en juillet et en août 2010 (figure 8). Les débits des tributaires étaient alors très faibles (période de chaleur). L'hypothèse de la contamination de la nappe phréatique par les sels de voirie a donc été mentionnée par l'APEL.

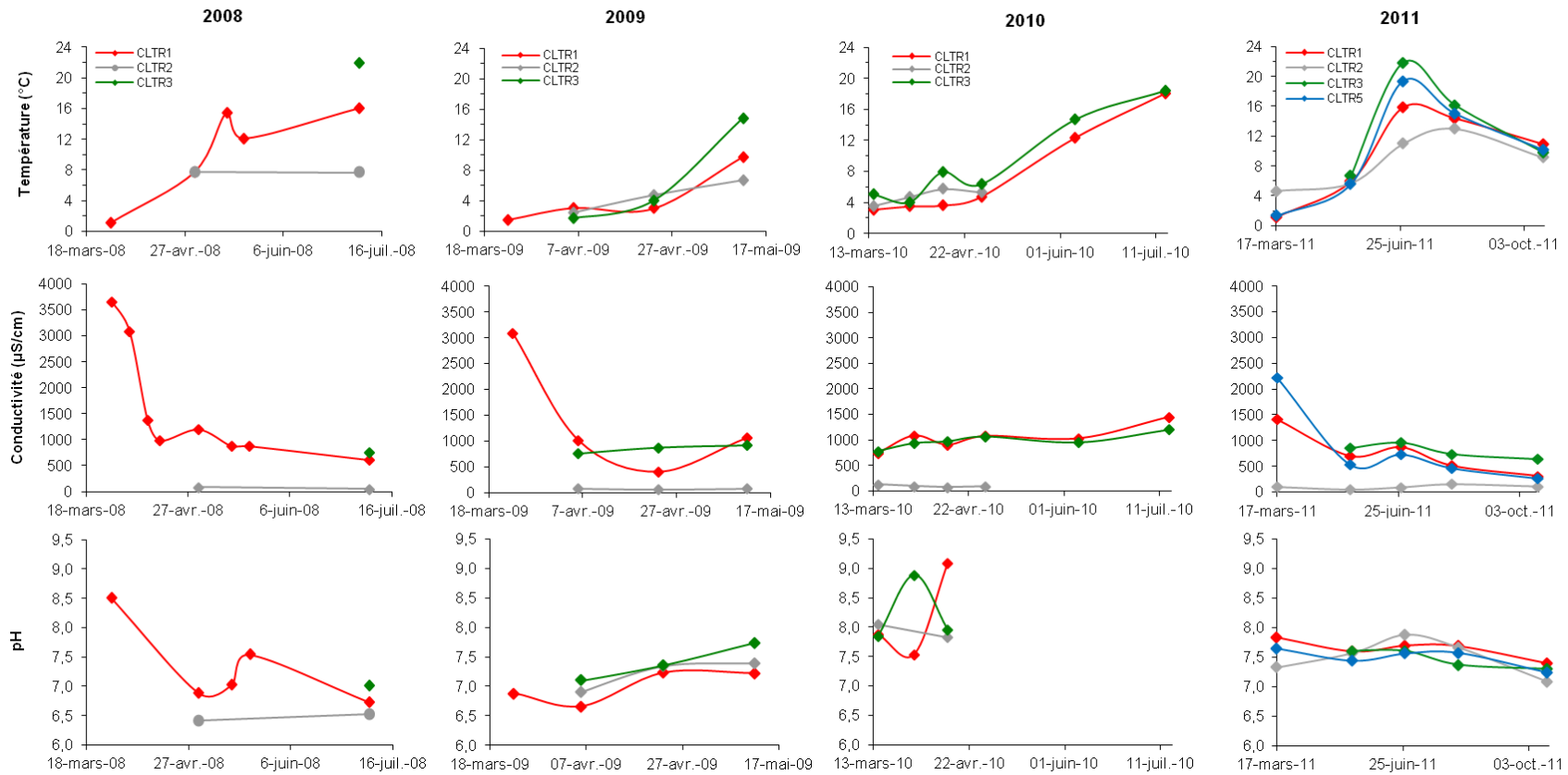


Figure 8 : Évolution des paramètres physico-chimiques (conductivité, température et pH) des tributaires du lac Clément aux stations CLTR1, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, entre 2008 et 2011.

2.1.4.1.2.2 Situation en 2011 (CLTR1, CLTR1a, CLTR1b, CLTR2, CLTR3, CLTR5, CLTR5a et CLTR5b)

De manière générale, nous observons une relation de corrélation entre les variations des concentrations en chlorures en fonction de la conductivité (figure 9).

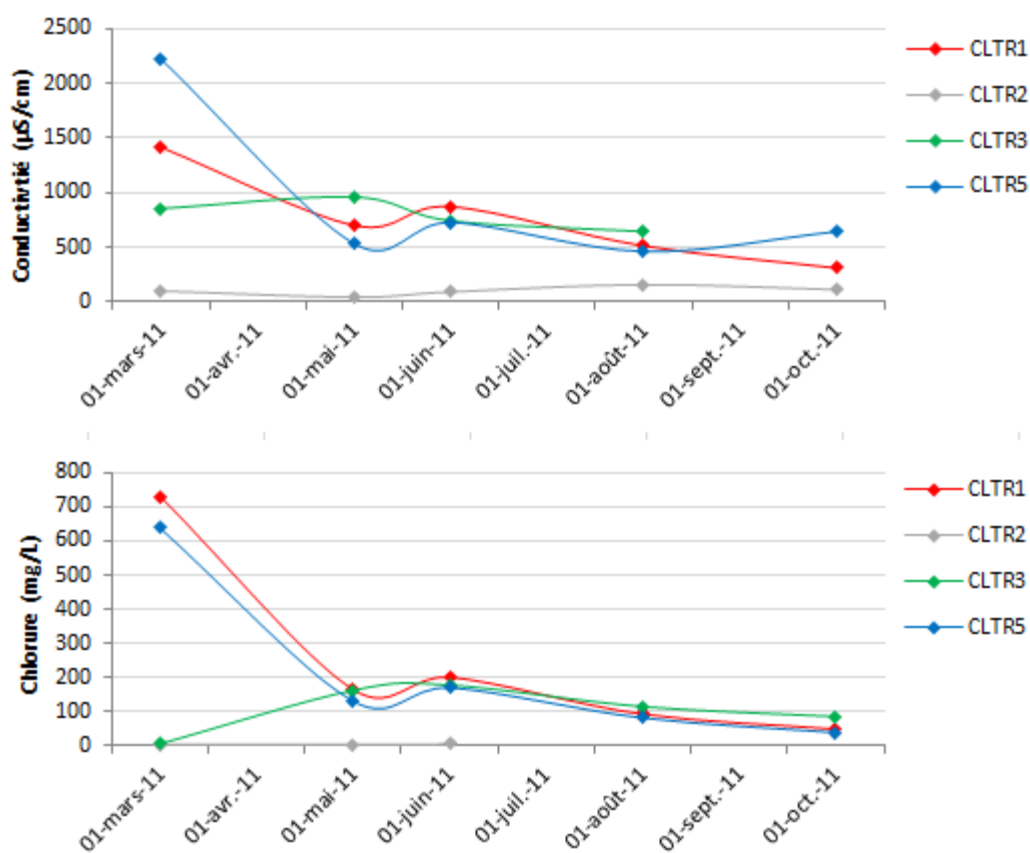


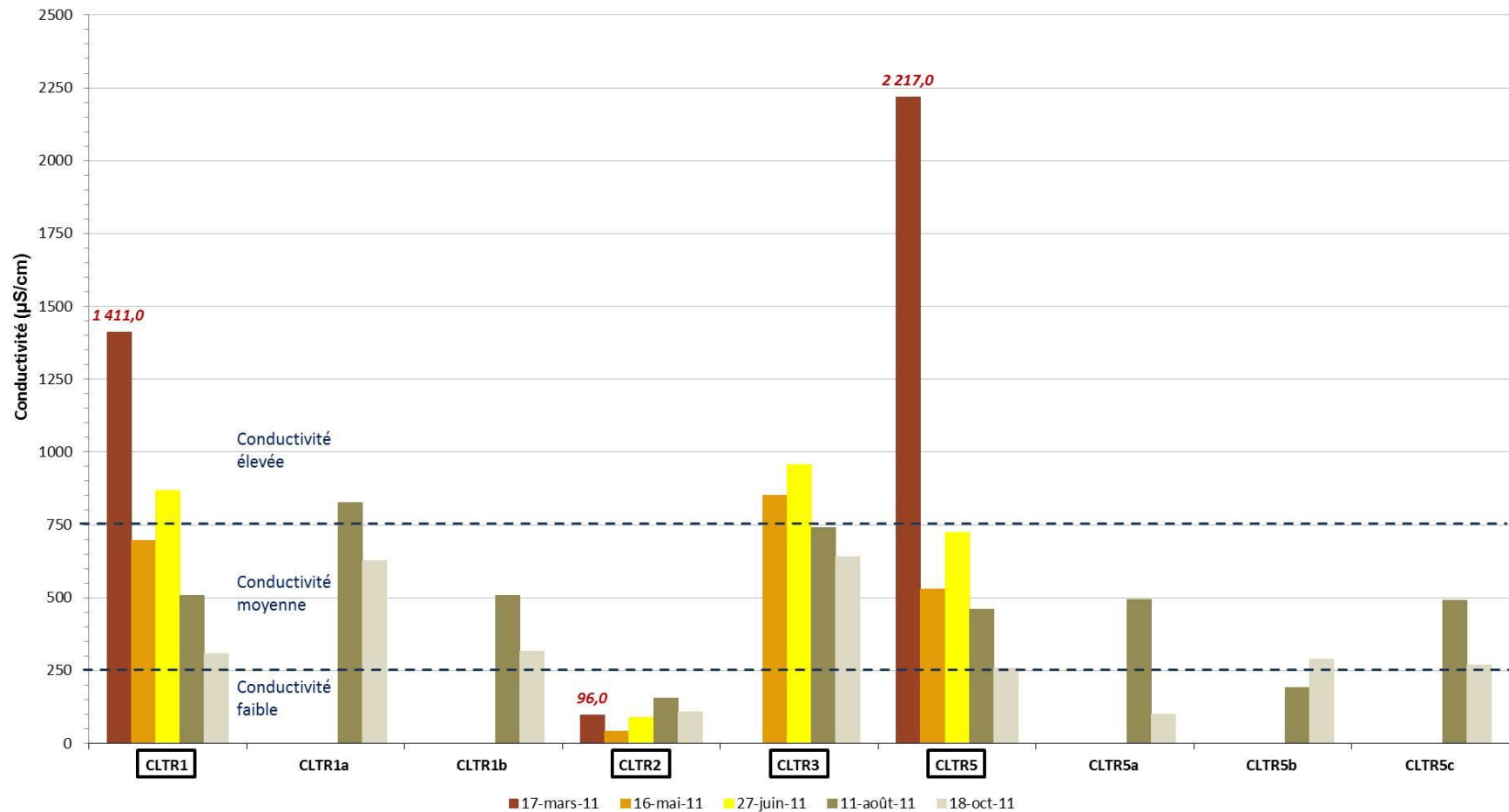
Figure 9 : Corrélation entre les valeurs de conductivité et de chlorures pour les tributaires 1, 2 et 3

Pour l'année 2011, des échantillons ont été pris à 5 nouvelles stations (tableau 4). La cartographie de l'évolution des valeurs de conductivités pour les stations sur les tributaires est présentée en annexe 4.

- Le tributaire CLTR2 reste toujours peu affecté par les sels de voirie (conductivité maximale de 154 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et concentration maximale en chlorures de 4 mg/L) (figure 9 et figure 10).

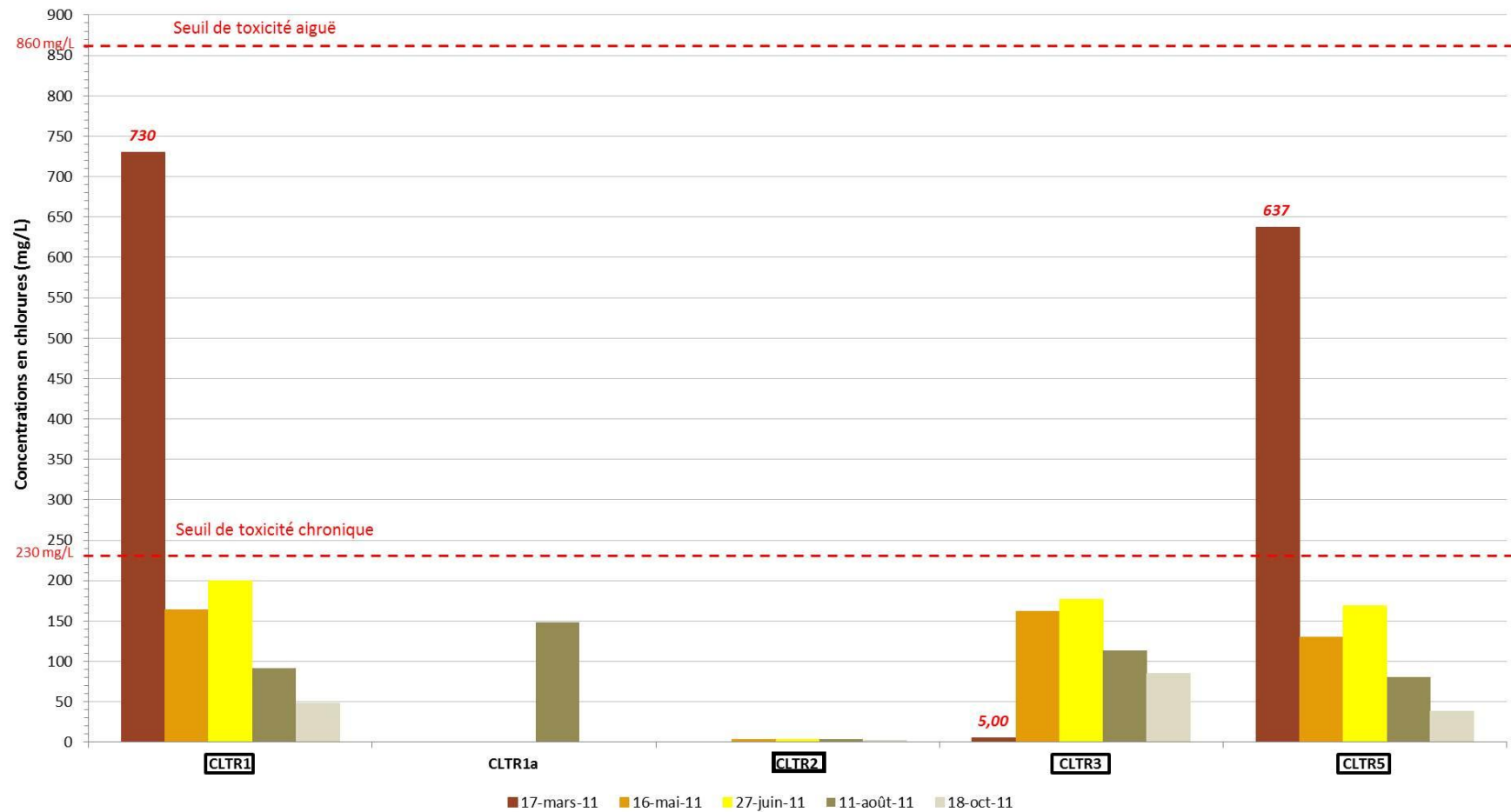
- Les mesures de conductivité et de concentrations en ions chlorure ont été plus élevées pour le tributaire 1 (stations CLTR1 et CLTR5) et ce, particulièrement pour le mois de mars (période de fonte printanière). Nous observons alors une conductivité de 2217 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la station CLTR5 (637 mg/L de chlorures) et 1411 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la station CLTR1 (730 mg/L de chlorures) (figure 10 et figure 11). En moyenne, les concentrations en chlorures, bien qu'inférieures au seuil de toxicité chronique, se rattachent aux valeurs moyennes obtenues dans la région pour les milieux aquatiques en zone urbaine (tableau 7). La problématique de contamination du bassin versant par les sels de voirie se rattache donc majoritairement aux activités de déglacage, particulièrement celles ayant lieu sur l'autoroute 73.
- La station CLTR5 connaît les valeurs de conductivité les plus importantes de toutes les stations du bassin versant du lac Clément (figure 10). Les mesures effectuées aux stations CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c indiquent une conductivité plus importante aux stations CLTR5a et CLTR5c (figure 10) situées le long du fossé de drainage de l'autoroute 73. Les valeurs de conductivité élevées retrouvées au printemps à la station CLTR5 s'expliquent donc par l'épandage de sels de voirie sur l'autoroute.
- Le tributaire CLTR3 se caractérise par les valeurs de conductivité les plus importantes pour les mois de mai et de juin 2011 (figure 10). Les fortes précipitations observées pendant le mois de mai (figure 28) pourraient expliquer ce phénomène (effet de canalisation des ions chlorure en provenance du boulevard Talbot et de remise en suspension des ions accumulés dans les sols). Les fortes concentrations retrouvées pour la même période pour le tributaire 1 (stations CLTR1 et CLTR5) renforcent cette hypothèse. Les valeurs de conductivité étant toujours aussi importantes au mois d'août (figure 10), en période sèche, l'hypothèse d'un apport en eau contaminée par la nappe phréatique peut aussi être mise de l'avant, tel que mentionné par l'APEL (annexe 3).

- Les mesures de conductivité prises à la station CLTR1a restent plus importantes que celles mesurées à la station CLTR1b en amont (figure 10). Le réseau d'égout sous l'avenue de la Rivière Jaune drainant les eaux pluviales du boulevard Talbot et de l'avenue de la Rivière Jaune constitue donc une source potentielle en chlorures. D'autres mesures devront être prises lors de la fonte printanière afin de confirmer cette hypothèse et quantifier l'importance de l'apport par cette bouche d'égout.
- Suite à la période d'échantillonnage des mois de mai, d'août et d'octobre, nous remarquons que l'ensemble des valeurs de conductivité et de concentrations en chlorures diminue (figure 10, annexe 4 et annexe 5). Tel que mentionné précédemment, la fonte printanière semble donc causer un apport important et soudain de sels de voirie dans l'environnement. Nous remarquons toutefois une augmentation légère de la conductivité entre les mois de mai et juin alors qu'une diminution des précipitations (figure 10) est observable pour la même période. Un apport en eaux contaminées de la nappe phréatique sous-jacente pourrait expliquer ce phénomène.
- Les tributaires 1 et 3 gardent en moyenne des valeurs de conductivité au-dessus de 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (conductivité moyenne) entre les mois de mars et d'octobre. Toutefois, les valeurs obtenues sont moins importantes que celles mesurées en 2009 et 2010, mais se rapprochent de la situation observée en 2008. Les fortes précipitations observées pour les mois d'été de l'année 2011 (figure 28) créant un phénomène de dilution du sel épandu dans l'environnement pourrait être une hypothèse à avancer.



Note : *Encadrés* : stations de l'APEL et échantillonnées par l'APEL le 17 mars 2011, le 16 mai 2011 et le 27 juin 2011 (tableau 4)

Figure 10 : Évolution de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour les tributaires du lac Clément (stations CLTR1, CLTR1a, CLTR1b, CLTR2, CLTR3, CLTR5, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c) pour les mois de mars, mai, juin, août et octobre 2011



Note : *Encadrés* : stations de l'APEL et échantillonnées par l'APEL le 17 mars 2011, le 16 mai 2011 et le 27 juin 2011 (tableau 4)

Figure 11 : Évolution des concentrations en chlorures (mg/L) pour les tributaires du lac Clément (stations CLTR1, CLTR1a, CLTR2, CLTR3, CLTR5) pour les mois de mars, mai, juin, août et octobre 2011

2.1.4.1.3 Conclusion sur le portrait de la qualité de l'eau des tributaires

Les activités d'entretien hivernal dans le bassin versant du lac Clément modifient de manière importante les propriétés physico-chimiques des milieux riverains traversant les sections couvertes par des réseaux routiers (annexe 1 et annexe 2).

De manière générale, mais ce plus particulièrement lors de la période de la fonte printanière, les concentrations en ions chlorure retrouvées dans les tributaires dépassent de manière importante les concentrations attendues pour un environnement tel que le lac Clément.

Les variations de conductivité entre la période de fonte printanière et estivale soulignent l'importance du ruissellement dans la diffusion des sels de voirie dans l'environnement, tant terrestre qu'aquatique. Les apports en chlorures dans l'environnement connaissent un pic au cours de la saison de fonte des neiges. Plus précisément, les tributaires CLTR1 et CLTR3 présentent les concentrations en chlorures et les valeurs en conductivité les plus importantes. Le tributaire CLTR1, ramassant les eaux des fossés de drainage de l'autoroute 73, constitue le milieu riverain le plus dégradé. Les concentrations en chlorures atteintes (CLTR1) laissent croire qu'un effet toxique sur l'écosystème aquatique est possible (Wetzel, 2001).

Des concentrations élevées en chlorures pour les tributaires CLTR1 et CLTR3 ont toutefois été notées pendant toute l'année (APEL, 2010a). Le lac Clément est donc alimenté constamment en eaux contaminées par les sels de voirie (figure 12).

Finalement, les valeurs de conductivité et les concentrations en chlorures mesurées dans les tributaires entre 2008 et 2011 « laissent croire qu'une nappe phréatique située sous le réseau routier est contaminée par les sels de voirie et que cela cause des apports importants et continus en chlorures au lac par les affluents CLTR1 et CLTR3 » (APEL, 2010a). Une augmentation moyenne en chlorures observée au mois de juillet 2010, alors que les précipitations étaient faibles, soulignent l'idée que la nappe phréatique sous-jacente serait « sérieusement contaminée par les sels de voirie » (*Ibid.*).

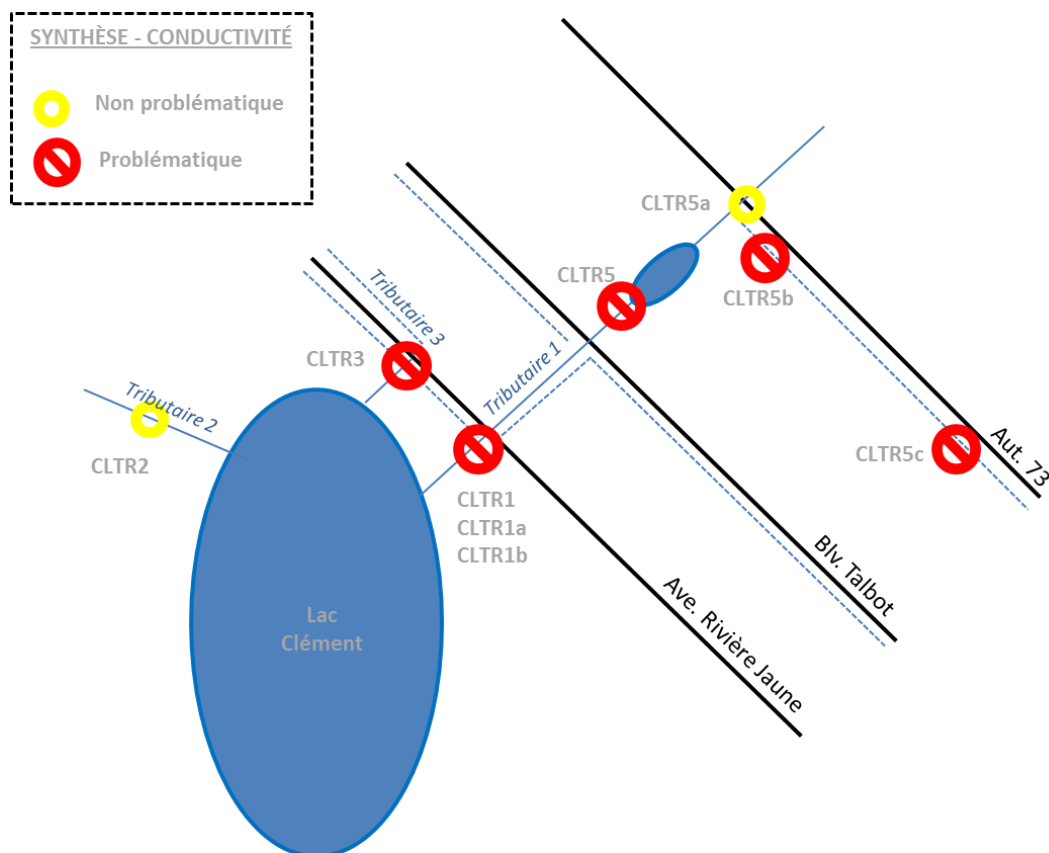


Figure 12 : Synthèse des valeurs de conductivité retrouvées pour l'année 2011 pour les tributaires du lac Clément

Les concentrations en chlorures resteront donc potentiellement élevées dans le lac Clément tant que les eaux contaminées de la nappe phréatique n'auront pas été renouvelées et remplacées par des eaux non-contaminées par les sels de voirie. Ainsi, il s'agit de procéder à un suivi des conditions physico-chimiques des eaux souterraines suite à la mise en place de plans de réhabilitation pour la réduction des épandages de sels de voirie dans la région.

2.1.4.2 Portrait du lac Clément

2.1.4.2.1 Caractéristiques physiques du lac Clément

Le lac Clément se caractérise comme un plan d'eau privé, sans accès public. L'ensemble du pourtour du lac est habité et la bande riveraine du lac (0 à 15 m) a été caractérisée de « fortement artificialisée » au sein de l'étude de caractérisation de l'APEL en 2010 (APEL, 2010a). La majorité de la bande riveraine du lac Clément se composait de 20 à 39% de végétation naturelle en 2009 (figure 13) (APEL, 2009a).

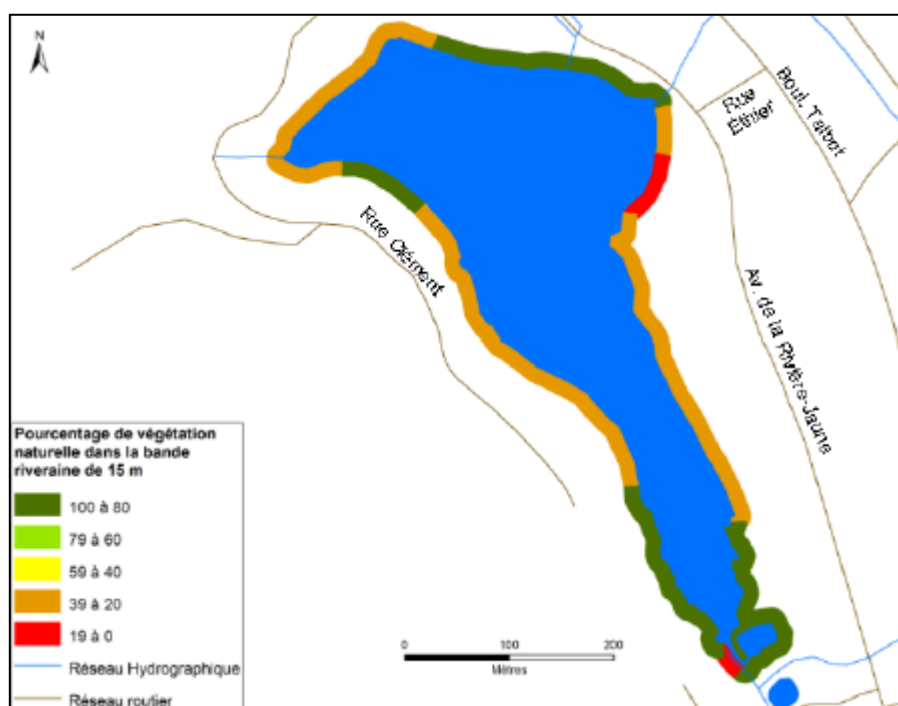


Figure 13 : Caractérisation de la bande riveraine en périphérie du lac Clément (15 m).
Source : APEL, 2009a

Le lac Clément se caractérise aussi comme un lac de tête, à la limite inférieure du stade mésotrophe (APEL, 2009a et APEL, 2010a) (annexe 3). Identiquement à plusieurs lacs de tête dans la région, le bassin versant du lac Clément se caractérise par une superficie limitée par rapport à la superficie du lac (tableau 5 et tableau 8) (APEL, 2010a).

Tableau 8 : Caractéristiques physiques du lac Clément

Caractéristiques du lac Clément	
Superficie	0,085 km ²
Profondeur maximale	6,14 m
Volume	195 644 m ³
Temps de renouvellement	60 jours

Source : APEL, 2010

Le lac Clément se caractérise par un volume, une superficie et une profondeur, réduits. Le temps de renouvellement des eaux du lac a été estimé à 60 jours (tableau 8 et figure 14) (APEL, 2010a).

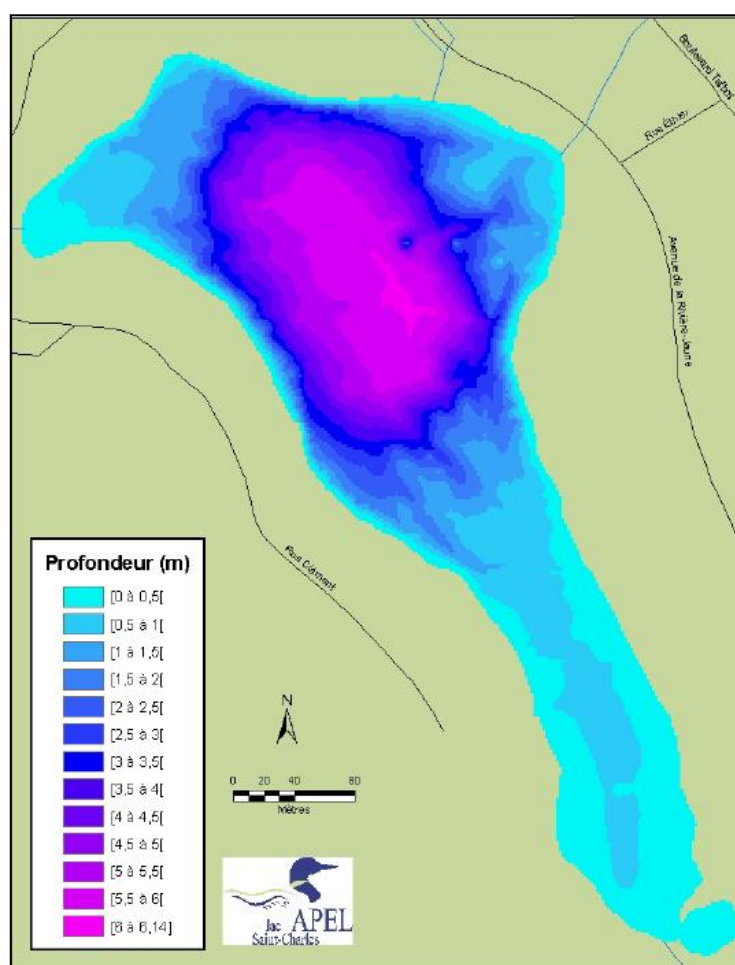


Figure 14 : Carte bathymétrique du lac Clément, réalisée en septembre 2008 en collaboration avec le MRNF

Source : APEL, 2009a

2.1.4.2.2 Conductivité et chlorures dans le lac Clément

Dans le cas du lac Clément, les premières valeurs de conductivité et de concentrations en chlorures ont été prises au début des années 1980. En 1981, le lac Clément a été l'objet d'un échantillonnage par le ministère de l'Environnement (BQMA). En 1988, d'autres échantillons d'eau ont été prélevés dans le cadre de l'étude d'impact concernant le prolongement de l'autoroute 73 (BAPE, 1988). Entre 2007 et 2011, des échantillons d'eau ont été prélevés à la station CL05 par l'APEL (figure 16 et tableau 10), ainsi qu'à la station RDV05 (uniquement en 2011) (tableau 11).

2.1.4.2.2.1 Situation en 1981

Les premières données sur la qualité de l'eau du lac Clément ont été prises en 1981 par le ministère de l'Environnement (1981 *In* MDDEP, 2010). Les données recueillies (notamment en ce qui concerne la conductivité) restent toutefois très sommaires (tableau 9).

Tableau 9 : Données de 1981 de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) (ministère de l'Environnement), pour la température (°C), l'oxygène dissous (mg/L), le pH, la conductivité (µS/cm) et les concentrations en ions chlorure (mg/L) pour le lac Clément – à proximité de la station CL05 actuelle.

Station ¹	Date	Heure	Prof. (m)	Temp. (°C)	OD (mg/L)	pH	COND (µS/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	Zmax (m)
CL05	1981-05-20	11:00	0,0	ND	ND	7,7	500,0	130,0	5,5
	1981-05-20	11:01	1,0	11,0	10,6	ND	ND	ND	-
	1981-05-20	11:02	4,5	8,0	7,1	ND	ND	ND	-
	1981-09-02	11:30	0,0	ND	ND	7,6	455,0	114,0	6,2
	1981-09-02	11:31	1,0	21,8	9,0	ND	ND	ND	-
	1981-09-02	11:32	2,0	21,5	9,0	ND	ND	ND	-
	1981-09-02	11:33	3,0	21,3	9,0	ND	ND	ND	-
	1981-09-02	11:34	4,0	19,5	9,6	ND	ND	ND	-
	1981-09-02	11:35	5,0	18,7	7,0	ND	ND	ND	-
1981-09-02	11:36	5,5	18,2	3,0	ND	ND	ND	-	

Notes : « 1 » : station 05090008 (BQMA, 1981). Coordonnées : -71,3533740 (long.) ; 46,9425730 (lat.) (*Ibid.*) ; « Prof. » : profondeur d'échantillonnage ; « Zmax » : profondeur maximale échantillonnée ; « Temp. » : température ; « OD » : oxygène dissous ; « COND » : conductivité ; « Cl⁻ » : ions chlorure

Source : BQMA, 1981 *In* MDDEP, 2010

Les données recueillies sont particulièrement intéressantes pour une comparaison des valeurs de conductivité et de chlorures avec les conditions environnementales actuelles. Les données recueillies indiquent une conductivité maximale en surface de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 20 mai 1981 et une de 455 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 2 septembre 1981. Ces dernières données correspondent respectivement à des concentrations en ions chlorure de 130,0 mg/L et de 114,0 mg/L (tableau 9). Les concentrations retrouvées dans le lac Clément étaient alors inférieures au seuil de toxicité chronique de 230 mg/L proposé par le MDDEP (et actuellement en révision) (MDDEP, 2002a et APEL, 2010a). Cependant, les concentrations en ions chlorure retrouvées en 1981 se rapprochaient alors des concentrations retrouvées dans des lacs de milieux fortement urbanisés, tel que le lac Saint-Augustin (APEL, 2009a).

2.1.4.2.2.2 Situation en 1988

Le projet de prolongement de l'autoroute 73 vers le nord de la Ville de Québec, « au sein de la ville de Charlesbourg et dans les cantons unis de Stoneham-et-Tewkesbury » a été l'objet de l'élaboration d'une étude d'impact par le MTQ. L'audience publique eut lieu en octobre 1988 (BAPE, 1988).

Le lac Clément connaît alors des concentrations moyennes en chlorures de 122 mg/L et des concentrations maximales en chlorure de l'ordre de 160 mg/L (BAPE, 1988). Les valeurs relevées ont été qualifiées de « excédant très largement les concentrations moyennes mesurées dans les plans d'eau environnants (10 à 20 mg/L) » (*Ibid.*). Le lac Clément était alors contaminé par les sels de voirie provenant de la route 175 (boulevard Talbot) (*Ibid.*).

2.1.4.2.2.3 Situation entre 2007 et 2011

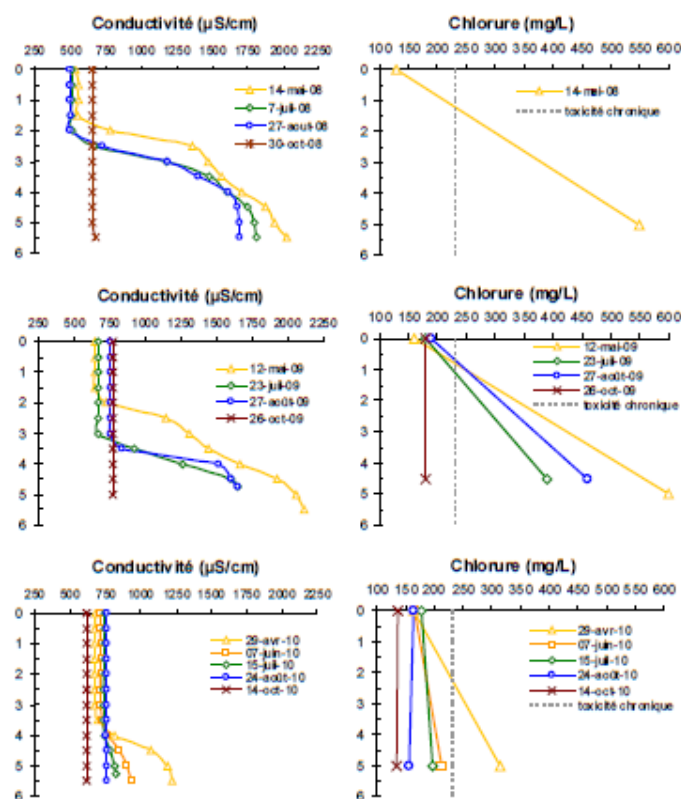
L'analyse des résultats présentée ci-dessous a été faite à l'aide des valeurs obtenues pour la station CL05. Cette dernière ayant été l'objet d'une analyse annuelle depuis 2007, une comparaison des résultats annuels a été possible. De plus, les conclusions tirées pour la station CL05 sont applicables aux stations CL01 et CL02 (section 2.1.4.2.3). L'ensemble des données de conductivité dépasse le seuil de conductivité moyenne établi à 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tableau 10).

- **2007 (CL05)** : La conductivité des eaux du lac Clément a été l'objet d'un protocole de suivi annuel, mis en place en 2007 dans le cadre de *l'Étude limnologique du haut-bassin de la rivière Saint-Charles* élaborée par l'APEL (APEL, 2010a). Une conductivité anormalement élevée a alors été détectée dans les eaux du lac Clément (jusqu'à 1323 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 5,0 m le 10 juillet 2007 (tableau 10) (APEL, 2007)) (figure 18 et figure 21).
- **2008 (CL05)** : En 2008 ont été déterminées la nature des ions dans le lac, ainsi que leurs sources. Les ions ont été identifiés comme des chlorures en provenance des tributaires du lac drainant le réseau routier traversant le bassin versant (l'autoroute 73, le boulevard Talbot et l'avenue de la Rivière Jaune – figure 2) (APEL, 2010a). Une forte conductivité a été mesurée au printemps 2008 dans le fond de la colonne d'eau du lac Clément (2024 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 5,5 m le 14 mai 2008 (tableau 10 et figure 18). Une concentration en ions chlorure de 550 mg/L à 5,0 m de profondeur a aussi été déterminée (tableau 10 et figure 15).
- **2009 (CL05)** : La période d'échantillonnage de 2009 révéla une conductivité et des concentrations en ions chlorure particulièrement élevées : respectivement 2117 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 5,5 m le 12 mai 2009 (tableau 10, figure 15 et figure 18) et 600 mg/L à 5,0 m de profondeur (figure 15) (APEL, 2009a). Pour la période d'échantillonnage 2007 – 2011, le mois de mai 2009 se caractérise par les plus fortes concentrations en chlorures enregistrées pour le lac Clément.
- **2010 (CL05)** : En revanche, les données de 2010 ont démontré une baisse légère de la conductivité et des concentrations en ions chlorure dans le lac (respectivement 1221 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 5,5 m le 29 avril 2010 (tableau 10 et figure 18) et environ 320 mg/L à 5,0 m (figure 18) (APEL, 2010a). Les faibles quantités de précipitations de neige durant l'hiver 2009-2010 (nécessitant moins d'épandage de sels de déglacage), ont été l'explication retenue au sein du rapport de l'APEL sur *l'Évaluation de la contamination par les sels de voirie* de 2010 (*Ibid.*).

Tableau 10 : Valeurs de conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et concentrations en chlorures (mg/L) minimales et maximales et retrouvées pour la période 2007 à 2011 – station CL05.

Date	Prof. (m)	Conductivité minimale ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl^- (mg/L)	Date	Prof. (m)	Conductivité maximale ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl^- (mg/L)
05/06/2007	0,0	701	-	10/10/2007	5,0	1323	-
27/08/2008	0,0	497	-	14/05/2008	5,5	2024	550
12/05/2009	0,0	646	160	12/05/2009	5,5	2117	600
14/10/2010	0,0 et 5,0	616	140 ¹	29/04/2010	5,0	1221	320
18/10/2011	0,22	513	69	16/05/2011	4,84	1493	352

Note : « 1 » : valeur obtenue à partir des graphiques produits par l'APEL (figure 15) ; « Cl^- » : chlorures ; « prof. » : profondeur
 Source : APEL, 2007, APEL, 2008, APEL, 2009b, APEL, 2010b et APEL, 2011b

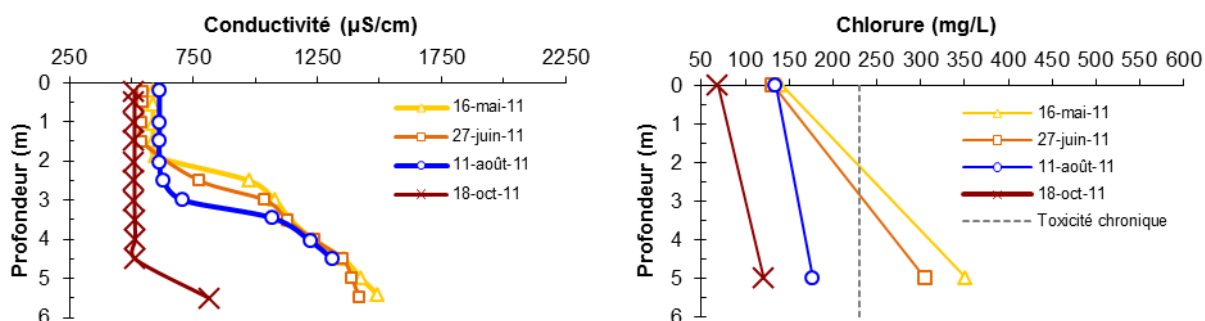


Note : cf. tableau 10 pour informations supplémentaires
Figure 15 : Mise en relation de la conductivité en fonction de la présence d'ions chlorure – station CL05 du lac Clément (2007-2010)

Source : APEL, 2010a

- **2011 (CL05)** : Seule la station CL05 a été l'objet d'un échantillonnage continu (mai à octobre 2011) permettant le suivi des ions chlorure dans le lac Clément (annexe 5). La

conductivité retrouvée reste élevée (jusqu'à 1493 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 4,8 m profondeur le 16 mai 2011 (tableau 10 et figure 18), correspondant à une concentration de chlorures de 352 mg/L (tableau 10 et figure 16). Les valeurs moyennes de conductivité et de chlorures restent toutefois inmanquablement inférieures aux valeurs moyennes obtenues pour les années 2008 et 2009 (tableau 10, figure 16, figure 18, figure 19 et figure 20) et se rapprochent des valeurs obtenues lors de la période d'échantillonnage de 2007.



Note : cf. tableau 10 pour informations supplémentaires

Figure 16 : Mise en relation de la conductivité en fonction de la présence d'ions chlorure – station CL05 du lac Clément (2011)

- **2011 (RDV05)** : Les valeurs de conductivité retrouvées à l'embouchure du lac Clément (figure 3) ne font que rappeler le fait que « le lac Clément est une source importante de chlorures » (APEL, 2011) (conductivité de 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 130 mg/L de chlorures – tableau 11). Ces dernières expliqueraient en parallèle la conductivité élevée retrouvée dans le ruisseau du Valet (l'effluent du lac Clément) (*Ibid.*).

Tableau 11 : Valeurs de conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et en chlorures (mg/L) en temps sec et en temps de pluie mesurées à la station RDV05 en 2011

Station	Temps sec		Temps de pluie	
	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Chlorures (mg/L)	Conductivité max. mesurée ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Chlorures (mg/L)
RDV05	580,50	130	527,00	115

Source : APEL, 2011a

Mentionnons que parallèlement au suivi de la conductivité dans le lac Clément, l'APEL élaborera aussi des études comparatives entre le lac Clément et divers autres environnements lacustres avoisinants. Plus spécifiquement, des comparaisons furent faites

entre les données obtenues pour le lac Clément et les concentrations en chlorures dans divers plans d'eau « peu ou pas perturbés du Bouclier Canadien » ou dans « des lacs en milieux fortement urbanisés sur le territoire de la Ville de Québec » (APEL, 2010a) (figure 17).

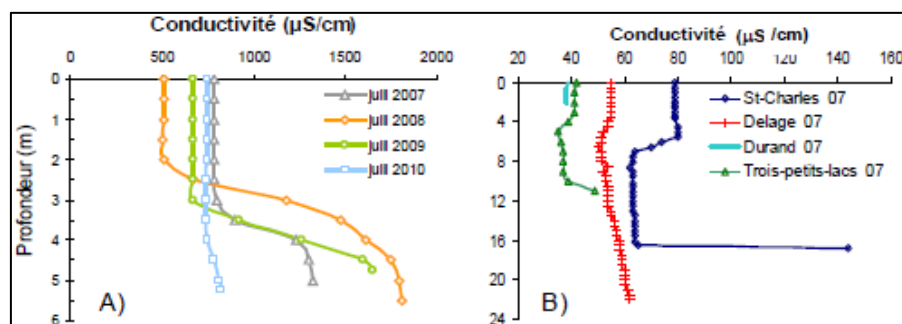


Figure 17: Comparaison des conductivités ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurées au lac Clément (juillet 2007 à 2010) avec les conductivités ($\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurées aux lacs Saint-Charles, Delage, Durand et Trois-petits-lacs (en 2007).

Source : APEL, 2010a

Ces études montrent que le lac Clément connaît une conductivité beaucoup plus élevée que les autres lacs étudiés (notamment le lac Saint-Charles, Delage, Durand, Trois-petits-lacs), alors que se situant tous au sein d'un contexte géologique semblable (APEL, 2010a) (figure 17). Les concentrations en chlorures retrouvées au lac Clément se comparent « aux concentrations retrouvées dans les lacs de milieux fortement urbanisés » (tableau 7) (APEL, 2010a) et restent « 10 à 60 fois plus élevées que les concentrations attendues pour la région » (tableau 6) (*Ibid.*).

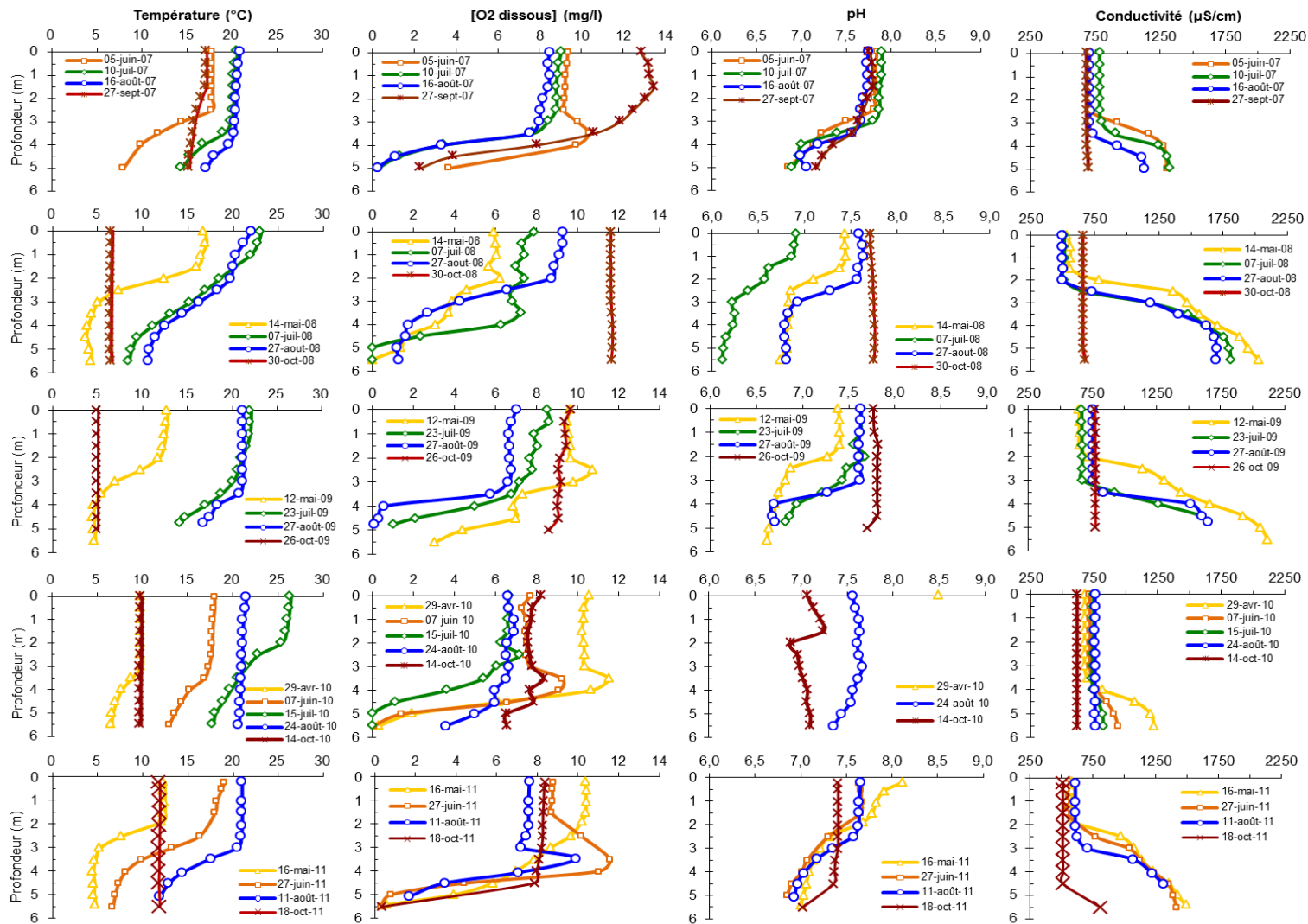


Figure 18 : Caractéristiques physico-chimiques (température, oxygène dissous, pH et conductivité) de la colonne d'eau (0 -5,5 m) à la station CL05 pour les années 2007 à 2011

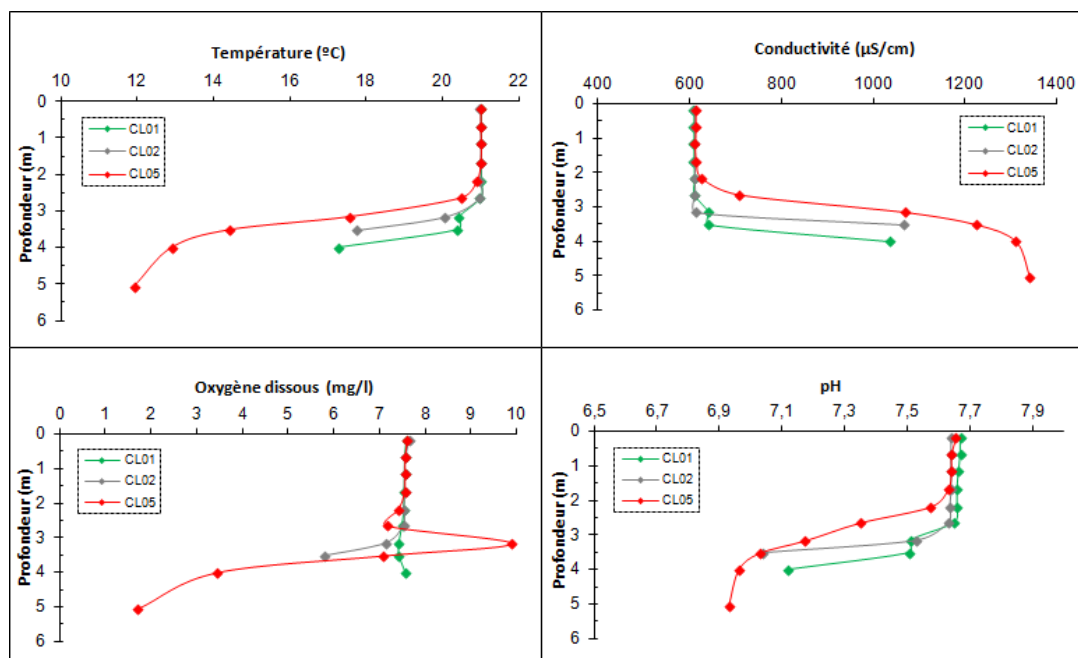


Figure 19 : Caractéristiques physico-chimiques (température, oxygène dissous, pH et conductivité) de la colonne d'eau (0 -5,5 m) aux stations CL01, CL02 et CL05 – 11 août 2011

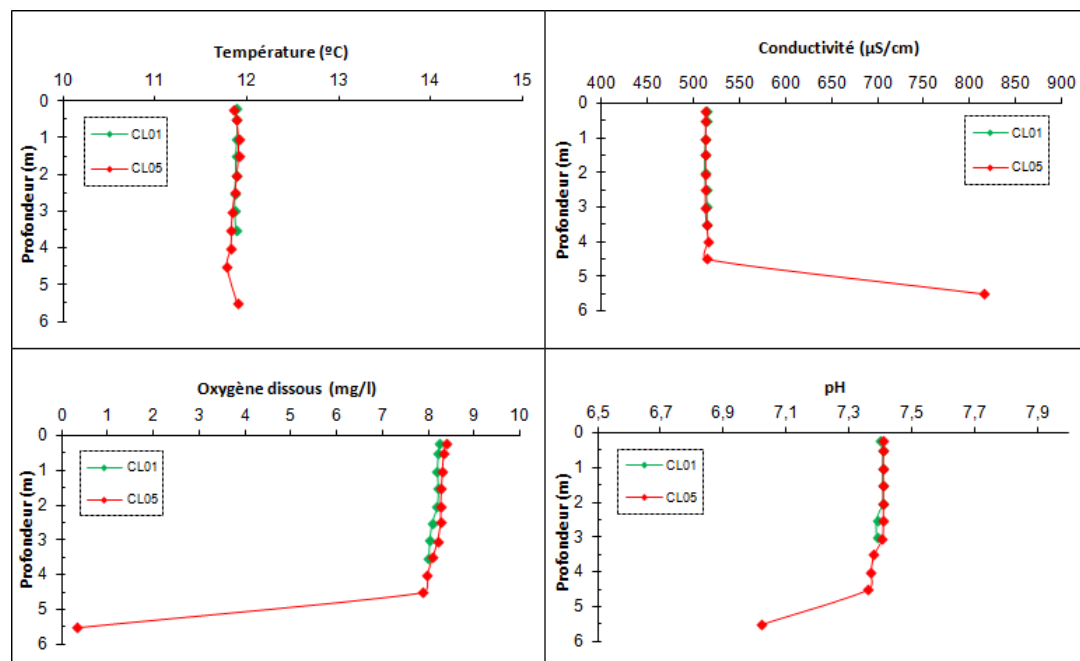


Figure 20 : Caractéristiques physico-chimiques (température, oxygène dissous, pH et conductivité) de la colonne d'eau (0 -5,5 m) aux stations CL01, CL02 et CL05 – 18 octobre 2011

2.1.4.2.3 Conclusion sur le portrait de la qualité d'eau du lac Clément

Le lac Clément se situe à la limite inférieure du stade mésotrophe. Nous y remarquons une conductivité et une concentration en chlorures plus importantes dans la masse d'eau profonde (4,5 à 5,5 m) lors de la période de stratification thermique (figure 1, figure 18 et figure 20) (APEL, 2010a). Les concentrations en ions chlorure alors trouvées dépassent de manière importante le seuil de toxicité chronique de 230 mg/L établi par le MDDEP et se rapprochent des valeurs de concentrations caractéristiques de lacs en milieux fortement urbanisés (*Ibid.*). Un effet toxique sur l'écosystème aquatique est donc potentiellement possible.

Les plus fortes valeurs de chlorures et de conductivité dans l'hypolimnion ont aussi été détectées à chaque printemps (mois de mai ou juin) pour les années 2007 à 2011 (figure 18). Toutefois, les concentrations en chlorures et la conductivité diminuent graduellement au cours des mois allant de juillet à octobre (figure 18).

Ainsi, une stratification haline semble se mettre en place parallèlement à la stratification thermique. Celle-ci semble s'établir à chaque printemps, « [s'atténuant] légèrement pendant l'été et [disparaissant] avec le brassage automnal » (*Ibid.*).

La conductivité dans le lac connut une évolution en plusieurs phases. Premièrement, il y eut une augmentation constante des valeurs moyennes de conductivité entre les années 2007, 2008 et 2009 (tableau 10). Par la suite, une diminution de la conductivité dans le lac Clément put être observée lors de l'année 2010 (figure 21). Finalement, nous pouvons observer une augmentation des valeurs de conductivité en 2011, atteignant les premières valeurs obtenues en 2007 (figure 21).

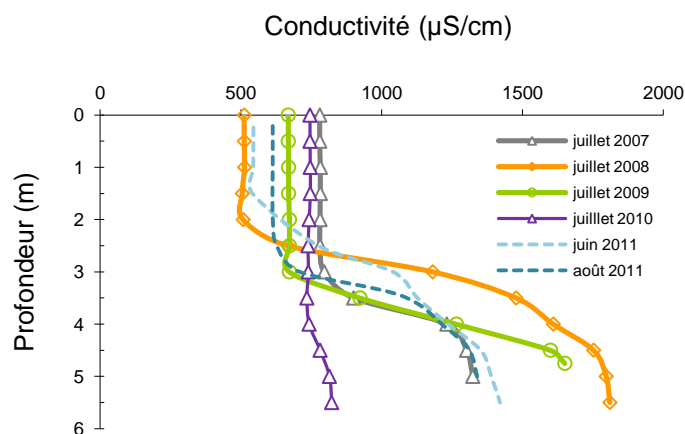


Figure 21 : Évolution de la conductivité dans le lac Clément (station CL05) entre juillet 2007 et août 2011

Pendant les périodes de stratification, la couche d'eau profonde se caractérise par une concentration ionique plus élevée, notamment en raison de l'accumulation des chlorures. La création d'une masse d'eau plus dense au fond du lac accentue aussi la stratification, favorisant par la suite la création d'une zone anoxique. L'hypothèse d'un relargage du phosphore contenu dans les sédiments peut être émise (Horne et Goldman, 1994 et APEL, 2010a), les sédiments dans des conditions anoxiques relargant le phosphore 1000 fois plus rapidement que les sédiments en conditions oxygénées (Horne et Goldman, 1994). Un suivi des concentrations en phosphore serait donc pertinent lors des prochaines périodes d'échantillonnage.

Dans le cas du lac Clément, la problématique de contamination des milieux aquatiques avoisinants doit aussi être soulevée (ruisseau du Valet). Ainsi, dans une perspective de gestion à long terme de la qualité de l'eau au sein du bassin versant de la prise d'eau potable de la Ville de Québec, la mise en place de mesures de réhabilitation de milieux lacustres contaminés semble pertinente et nécessaire.

2.1.5 Portrait des eaux souterraines

2.1.5.1 Caractéristiques physiques de la nappe phréatique

Les caractéristiques physiques de la nappe phréatique dans le bassin versant du lac Clément restent très peu documentées au sein de la littérature. De manière générale, la nappe phréatique se caractérise par une faible productivité et se situe dans un milieu géologique composé de granite et de gneiss fissurés (Gerardin et Lachance, 1997). Celle-ci assurerait une grande proportion des débits des tributaires 1 et 3, particulièrement en période estivale (APEL, 2010a) (sections 2.1.4.1.2.1 et 2.1.4.1.2.2). La profondeur de la nappe, ainsi que le temps de renouvellement de cette dernière, restent quant à eux, inconnus.

2.1.5.2 Contamination de la nappe phréatique par les ions chlorure

Les caractéristiques des ions chlorure font que ces derniers s'infiltrent facilement dans le sol et s'accumulent dans les nappes phréatiques sous-jacentes (annexe 1). En effet, les « composés [ioniques] contenant du chlore sont hautement solubles dans l'eau, se dissocient facilement et ont tendance à demeurer sous forme ionique » (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2011). L'ion chlorure est très mobile et les « concentrations en ions chlorure dans l'eau ne fluctuent pas en fonction des réactions chimiques » (*Ibid.*). Ce dernier ne se biodégrade pas, ne se bioaccumule pas, ne se volatilise pas, ne se précipite pas facilement et n'est pas adsorbé à la surface des particules. Les ions chlorure ne sont pas non plus facilement adsorbés sur les surfaces minérales. Les concentrations en ions chlorure restent donc élevées dans les eaux interstitielles des sédiments, ainsi que dans les eaux de surface (*Ibid.*).

En 1988, les données de la Direction des eaux souterraines du ministère de l'Environnement ont révélé « un potentiel élevé de vulnérabilité à la pollution dans le secteur du lac Saint-Charles et de la vallée de la rivière des Hurons » (BAPE, 1988).

En parallèle, des puits situés à 840 m au nord du tributaire 1 avaient été contaminés suite à la construction de l'autoroute 73 (en 1993) (section 2.1.2) (*Comm. pers.* Bédard,

2011). L'hypothèse de la contamination de la nappe phréatique par les sels de voirie doit donc être soulignée (APEL, 2010a et *comm. pers.* Bédard, 2011).

Un suivi des concentrations en ions chlorure dans la nappe phréatique à proximité du bassin versant du lac Clément a été assuré par le Service de géotechnique et de géologie du MTQ et ce, depuis l'année 2000 (*Comm. pers.* Lafrance, 2011). Plus précisément, des échantillons ont été prélevés annuellement le long du boulevard Talbot, à la limite de l'arrondissement de Charlesbourg et de la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury ; et sur le boulevard Talbot, au niveau du chemin Tremblay (MTQ, 2011a). Les données recueillies indiquent une contamination de la nappe par les sels de voirie, les concentrations en chlorures dépassant (à l'exception d'une année) le seuil de toxicité chronique pour la protection de la vie aquatique de 230 mg/L établi par le MDDEP (critère pour les eaux de surface) (MTQ, 2011b et MTQ, 2002a) ; ainsi que le critère pour les eaux souterraines destinées à la consommation humaine de 250 mg/L établi par Santé Canada (MDDEP, 2002c). Aucun impact ne se fera toutefois sentir sur la santé humaine (annexe 1).

Les concentrations en ions chlorure fluctuent sur une base annuelle. Dans le cas présent, les données ont été prises lors de la période de la fonte printanière, correspondant à la période présentant potentiellement les concentrations les plus importantes en ions chlorure. Par ailleurs, de fortes concentrations en ions chlorure ont été déterminées en dehors des limites du bassin versant du lac Clément, rattachant donc en partie la contamination de la nappe phréatique à l'épandage d'agents déglaçants au sein de l'arrondissement de Charlesbourg.

En revanche, la remontée des eaux contaminées de la nappe phréatique au sein du lac Clément n'a pas pu être démontrée avec certitude. En effet, aucune augmentation brusque de conductivité n'a pu être observée en profondeur pour les stations CL01 et CL02 (figure 10 et figure 20) (cf. tableau 4 pour une description des stations). Les profils de conductivité obtenus sont uniquement représentatifs d'une accumulation d'ions chlorure en profondeur (phénomène de stratification haline). L'hypothèse d'une remontée des eaux oxygénées de la nappe phréatique a toutefois été émise en raison d'une augmentation brusque de la concentration en oxygène dissous à 3,5 m de profondeur à la station CL05 le 11 août 2011 (figure 19). En revanche, le même phénomène n'a pu être observé lors de la

deuxième période d'échantillonnage du 18 octobre 2011 (figure 20), accentuant donc l'hypothèse de la présence locale de courants internes au lac (annexe 2).

Les eaux de la nappe phréatique alimenteraient toutefois les tributaires 1 et 3 lors de la période estivale (sections 2.1.4.1.2.1 et 2.1.4.1.2.2). Ainsi, des méthodes d'atténuation face à la contamination de la nappe phréatique devront être mises en place parallèlement à des méthodes d'atténuation pour le lac et les tributaires, afin d'observer une diminution notable des concentrations en chlorures pour le lac Clément et les affluents 1 et 3 (sections 3.1 et 3.2).

2.2 L'entretien hivernal à l'aide des sels de voirie

Suite à l'élaboration du portrait physico-chimique du bassin versant du lac Clément, la présente section se consacre d'abord à une description de l'entretien hivernal opérée dans la même région (section 2.2.1) ; puis à une synthèse des principales mesures d'atténuation face à une contamination de l'environnement par les sels de voirie mises en place actuellement au Québec (section 2.2.2).

2.2.1 Évaluation des quantités de sels de voirie ou d'agents déglaçants épandues dans le bassin versant

2.2.1.1 Axes routiers gérés par la Ville de Québec

2.2.1.1.1 Secteur sous autorité de la Ville de Québec

Au sein du bassin versant du lac Clément, la rue Éthier, le boulevard Talbot, l'avenue de la Rivière Jaune (ou l'avenue Notre Dame,) et le chemin de la Sagamité (figure 2) sont gérés par la Division des travaux publics de l'arrondissement de Charlesbourg (Ville de Québec) pour toute activité de déneigement (*Comm. pers.* Grondin, 2011). Plus précisément, un entrepreneur privé gère l'épandage de matériaux de déglçage pour le secteur et ce, depuis plusieurs contrats. En hiver 2011, l'entreprise entamera sa troisième et ultime année de contrat pour la Ville. Pour l'hiver 2012, un nouveau contrat devra être déterminé pour le secteur (*Ibid.*).

2.2.1.1.2 Normes en place

En ce qui concerne les quantités de sels épandues, aucune norme spécifique ne semble gérer ces dernières. Ainsi, seul l'épandage d'abrasifs est opéré lors des périodes de précipitations ; alors que l'épandage de sels aurait lieu suite aux précipitations (*Ibid.*). De manière générale, les températures extérieures inférieures à -20°C requièrent l'utilisation d'abrasifs. Les sels de déglçage sont quant à eux utilisés lorsque la température externe se rapproche de -10°C (*Ibid.*).

L'épandage de matériaux de déglçage se fait toutefois à l'aide du « *Guide approximatif d'application des matériaux de déglçage* » élaboré par l'entreprise *Form-Éval* en octobre 1999 (InfraStructures Branché, 1999). Les quantités de matériaux de déglçage (sels et abrasifs) sont présentées ci-dessous (tableau 12 et tableau 13). Les quantités proposées prennent en compte :

- la température au moment de l'épandage de matériaux de déglçage ($+5^{\circ}\text{C}$ à -30°C)
- la température 24 h avant l'épandage ($+5^{\circ}\text{C}$ à -30°C) (tableau 12)
- la circulation routière moyenne sur le tronçon routier visé (tableau 13)

Plus précisément, une corrélation entre la température au moment de l'épandage et la température 24 h avant est faite selon la méthode suivante :

Tableau 12 : Verso du « Guide approximatif d'application des matériaux de déglçage » (Chouinard et Dubé, 1999)

		Code du degré du moment							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Température 24 h avant	A	0	1	2	4	4	5	5	7
	B	0	1	2	4	4	5	5	7
	C	1	1	2	4	4	5	6	7
	D	1	1	3	4	5	5	6	7
	E	1	2	3	4	5	6	6	7
	F	1	2	3	4	5	6	6	7
	G	2	3	3	5	5	6	7	7
	H	2	3	4	5	5	6	7	7
Équivalences	Température du moment ($^{\circ}\text{C}$)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	
	+5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	
	Température 24 h avant ($^{\circ}\text{C}$)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	
+10	+5	0	-5	-10	-15	-20	-25		

Source : Chouinard et Dubé, 1999.

En fonction du code obtenu pour le tronçon de route en question (code 1 à 7), l'épandage de sels de voirie se fait en fonction de l'importance de la circulation routière moyenne pour ce même tronçon de route (tableau 13) (*Comm. pers. Grondin, 2011*). Malheureusement, aucune donnée sur la circulation routière sur les axes municipaux n'a été disponible. Toutefois, d'après des observations effectuées sur le terrain (juin 2011 à novembre 2011), nous pouvons supposer que le boulevard Talbot se situe au niveau 1 (plus de 3500 véhicules) alors que les autres axes routiers mentionnés précédemment appartiendraient au niveau 3 (moins de 500 véhicules) (tableau 13).

Tableau 13 : Recto du « Guide approximatif d'application des matériaux de déglacage » (Chouinard et Dubé, 1999).

CODE	NIVEAU 1	NIVEAU 2	NIVEAU 3
	Plus de 3500 véhicules	500 à 3500 véhicules	Moins de 500 véhicules
1	50 à 100 kg/km	50 à 100 kg/km	100 à 150 kg/km
	75 à 125 kg/km	75 à 125 kg/km	150 à 200 kg/km
2	100 à 150 kg/km	100 à 150 kg/km	125 à 175 kg/km
	125 à 175 kg/km	125 à 175 kg/km	200 à 250 kg/km
3 ^a	150 à 200 kg/km	150 à 200 kg/km	175 à 225 kg/km
	175 à 225 kg/km	175 à 225 kg/km	250 à 300 kg/km
4 ^a	200 à 250 kg/km	200 à 250 kg/km	250 à 300 kg/km
	225 à 275 kg/km	225 à 275 kg/km	
5 ^a	275 à 325 kg/km	275 à 325 kg/km	300 à 350 kg/km
	300 à 400 kg/km	300 à 400 kg/km	
6 ^a	325 à 400 kg/km	325 à 400 kg/km	350 à 400 kg/km
	400 à 500 kg/km	400 à 500 kg/km	
7	450 à 550 kg/km	450 à 550 kg/km	450 à 500 kg/km

Notes : *Bleu clair* : sel ; *Gris clair* : mélange ; *Brun* : abrasif ; *Noir* : application aux endroits dangereux (courbe, arrêt, etc.) ; *x^a* : additionné de CaCl₂ liquide ou en flocon pour amorcer la fonte ou pour stabiliser les matériaux de déglacage.

Source : Chouinard et Dubé, 1999.

2.2.1.1.3 Degrés de priorité de déneigement

Chaque tronçon de route et de chaussée se voit attribuer un degré de priorité au sein du contrat de déneigement pour le secteur en question (tableau 14). Les degrés de priorité sont déterminés par la Ville de Québec (*Comm. pers. Grondin, 2011*). Une description synthétisée des contrats de déneigement pour les axes routiers traversant le bassin versant du lac Clément est présentée ci-dessous (tableau 14, tableau 15 et tableau 16).

Tableau 14 : Niveau de service de déneigement offert pour les axes routiers au sein du bassin versant du lac Clément.

Niveau de service			
Type de surface	Priorité	Enlèvement	Priorité pour le délai de l'enlèvement de neige
C : Chaussée T : Trottoir S : Stationnement	1 = Niveau 1 2 = Niveau 2 3 = Niveau 3	S : Soufflage	1 = Priorité 1 2 = Priorité 2 3 = Priorité 3

Source : Ville de Québec (2009a)

Les niveaux de priorité pour le déneigement de la chaussée sont décrits de la manière suivante au sein du contrat de déneigement de la Ville de Québec (tableau 15) :

Tableau 15 : Description synthèse des niveaux de priorité d'entretien des axes routiers

Niveau de service	Description synthèse
1	<p>Passables en tout temps. Libres de glace et de neige sur toute la largeur. Utilisation de sel ; mélange de sel calcium ; abrasifs (tant que l'utilisation ne nuit pas à la sécurité des usagers).</p> <p>-----</p> <p>Enlèvement de la neige opéré de façon prioritaire.</p>
2	<p>Passables en tout temps. Libres de neige sur toute la largeur ; grilles de puisards dégagées ; surface uniforme et non glissante ; attention spéciale portée aux pentes, aux courbes et aux alentours des écoles. Utilisation de sel ou d'un mélange de sel calcium aux intersections et aux arrêts d'autobus (dépendamment de la température). Maintien de la chaussée avec des abrasifs pour la garder non glissante.</p> <p>-----</p> <p>Enlèvement de la neige opéré de façon prioritaire.</p>
3	<p>Libres de neige sur toute la largeur ; grilles des puisards dégagées. Surface uniforme et non glissante. Recouvertes d'abrasifs aux intersections ou sont au pavage. Recouvrement des endroits glacés par des abrasifs, ou du sel, ou d'un mélange des deux. Épandage d'abrasifs aux intersections, aux endroits en pente, dans les courbes prononcées, au niveau des approches des traverses à niveau, devant les écoles et sur les surfaces glacées. Épandage de sel lorsque la pente accuse une dénivellation > 8%.</p>

Source : Ville de Québec (2009a)

Tableau 16 : Gestion et caractéristiques des contrats de déneigement pour les axes routiers au sein du bassin versant du lac Clément.

Axes routiers	Délimitation	Chaussée			Trottoir		
		Long. (m)	Surf. (m ²)	Service ¹	Long. (m)	Surf. (m ²)	Service ¹
Éthier, Rue	De : Talbot, Blv. ; À : Rivière Jaune, Ave.	66,71	560,45	C1S2	NA	NA	NA
Rivière Jaune, Ave. – Trottoir à déneiger côté ouest	De : Valéda-Auclair, Rue ; À : Éthier, Rue.	2293,05	10234,77	C2S1	2298,76	3488,88	T3S1
Rivière Jaune, Ave. – Côté est	De : Valéda-Auclair, Rue ; à : Éthier, Rue.	2141,32	10229,75	C2S2	NA	NA	NA
Rivière Jaune, Ave.	De : Éthier, Rue ; à : Limite de la Ville de Québec	270,45	1820,43	C2S2	NA	NA	NA
Sagamité, Ch.	De : Jacques-Bédard, Rue ; à : Cul-De-Sac, Voie service	662,74	7067,87	C3S2	NA	NA	NA
Sagamité, Ch. – Chemin du Réservoir Du Lac	-	105,04	515,37	C3S2	NA	NA	NA
Talbot, Blv.	De : De l'Église, Rue ; à : 79 m passés la rue des Corètes	4084,45	440001,74	C1S1	NA	NA	NA

Note : *Service¹* : cf. tableau 15 ; « Long. » : Longueur ; « Surf. » : Surface

Source : Ville de Québec (2009b)

2.2.1.1.4 Quantités d'agents d'entretien hivernal utilisées

Selon les niveaux de priorités établis par la Ville de Québec pour le déneigement des axes routiers municipaux, le boulevard Talbot constituerait une source principale d'utilisation de matériaux de déglçage (tableau 14 et tableau 16). Ce dernier serait par la

suite suivi de l'avenue de la Rivière Jaune et par la rue Éthier. Le chemin de la Sagamité représente quant à lui une faible source d'agents de déglacage : ce dernier se caractérise comme un chemin de gravier, majoritairement utilisé comme zone de stationnement lors de la saison hivernale en raison de la présence d'un trajet de motoneige à proximité (*Comm. pers.* Grondin, 2011). Mentionnons que bien que le chemin de la Sagamité reste sous autorité administrative du MTQ, ce dernier est mentionné au sein du contrat de déneigement élaboré par la Ville de Québec (*Comm. pers.* Lamontagne, 2011 et *comm. pers.* Grondin, 2011).

Plus spécifiquement, et ce d'après la Division des travaux publics de l'arrondissement de Charlesbourg, les quantités moyennes de sels épanchés dans le bassin versant du lac Clément pour les axes routiers municipaux ont été estimées à 100 jusqu'à 400 kg/km. Ces dernières se rapprocheraient toutefois plus à des quantités entre 100 et 250 kg/km (*Ibid.*).

En revanche d'après les données de l'entreprise chargée de l'entretien, environ 100 kg de sels de voirie (majoritairement du chlorure de sodium (NaCl) seraient utilisés pour les 800 mètres du boulevard Talbot et ce, pour chaque opération de déneigement (*Comm. pers.* Leclerc, 2011). Quant à l'avenue de la Rivière Jaune, elle serait - sur 800 mètres - uniquement entretenue à l'aide d'abrasifs (sable – contenant 5% de sel pour une tonne de sable). Les quantités d'abrasifs utilisées restent toutefois inconnues (*Ibid.*) (figure 22). Les abrasifs acceptés par la Division des travaux publics de l'arrondissement de Charlesbourg sont le sable, le mélange sel et sable, ainsi que la pierre (pierre nette de 5 mm conforme à la norme BNQ-2560-114/2002) (Ville de Québec, 2009a).

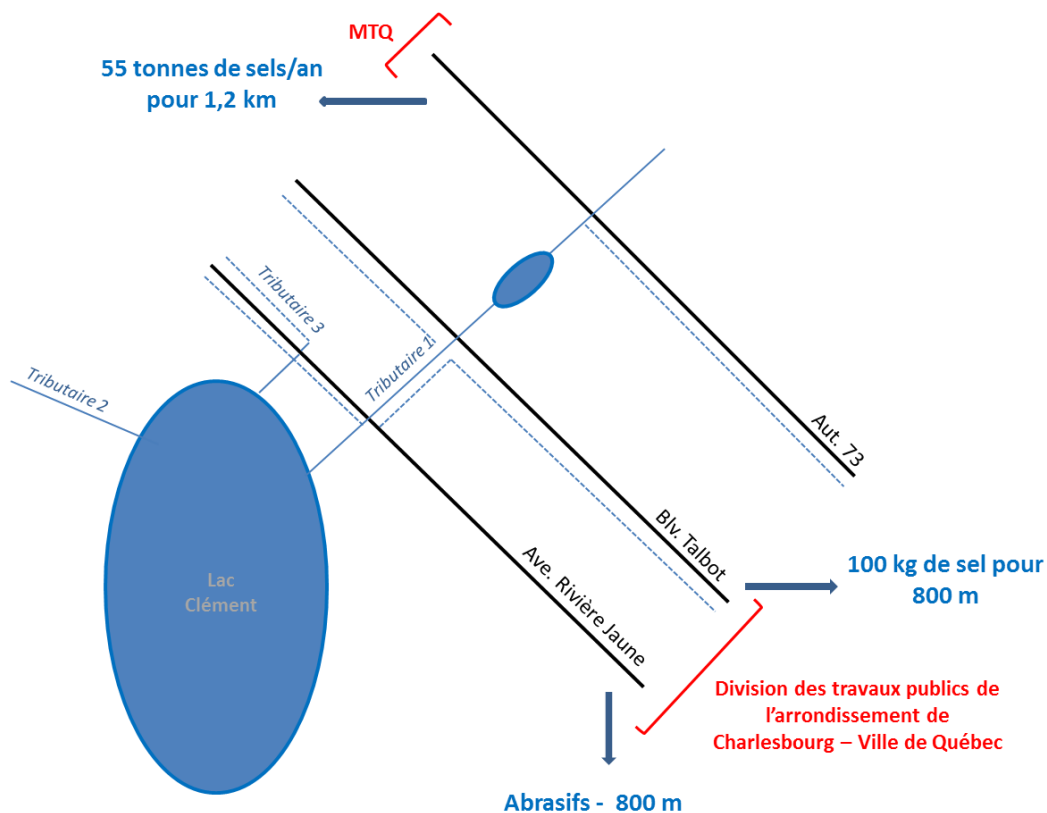


Figure 22 : Synthèse de l'épandage de sels de voirie au sein du bassin versant du lac Clément

2.2.1.2 Axes routiers gérés par le ministère des Transports du Québec

2.2.1.2.1 Secteur sous autorité du ministère des Transports du Québec

Seuls l'autoroute 73 et le chemin de la Sagamité restent sous autorité du ministère des Transports du Québec. Tel que mentionné précédemment, le chemin de la Sagamité fait uniquement l'objet de peu ou d'aucun épandage de sel.

2.2.1.2.2 Circulation routière

Le tronçon autoroutier situé au sein du bassin versant du lac Clément fait l'objet de statistiques annuelles par le MTQ. Plus précisément, les données sont recueillies sur la section de l'autoroute en amont de la frontière entre l'arrondissement de Charlesbourg et la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury. Pour l'année 2011, le débit journalier moyen

annuel (DJMA) a été de 12 700 véhicules. Le débit journalier moyen estival (DJME) a été de 14 600 véhicules ; et le débit journalier moyen hivernal (DJMH), de 12 000 véhicules (MTQ, 2011c).

2.2.1.2.3 Activités d'entretien hivernal

2.2.1.2.3.1 Normes en place

Le ministère des Transports détermine le niveau de service de l'ensemble du réseau routier selon deux critères spécifiques :

1. Le débit journalier moyen hivernal (DJMH) : « le volume de circulation moyen journalier durant les mois de décembre, janvier, février et mars » (MTQ, 2009).
2. La circulation fonctionnelle : « autoroute, route nationale, route régionale, route collective et route d'accès aux ressources » (*Ibid.*)

Dans le cas d'une autoroute, le niveau de service requis se caractérise au sein des normes du MTQ comme « chaussée dégagée » (MTQ, 2009). Cette dernière se définit telle qu'une « chaussée dont les voies de roulement sont exemptes de neige et de glace sur toute leur largeur. Les accotements sont déneigés et au besoin, déglacés » (*Ibid.*). Le niveau de service peut toutefois, « sur approbation du gestionnaire [...] être modifié lorsque les contraintes climatiques, géométriques, environnementales ou de circulation le justifient » (*Ibid.*).

L'entretien hivernal de l'autoroute 73 se fait par contrat (élaboré par le MTQ) et confié à un entrepreneur.

2.2.1.2.3.2 Normes environnementales du MTQ par rapport aux activités de déglacage

Le *Guide ministériel de gestion environnementale des sels de voirie 2008 – 2011* stipule que les entrepreneurs ayant des contrats de service de déneigement et de déglacage avec le MTQ, « sont assujettis aux clauses environnementales stipulées dans les devis d'appel d'offres, clauses qui font partie intégrante du contrat. Ces clauses stipulent, entre

autres choses, que le prestataire de service doit prendre toutes les précautions nécessaires afin que l'entreposage et la manutention du sel dans les aires de chargement ne contaminent d'aucune façon le sol, la végétation, les cours d'eau, les eaux de surface ou souterraines particulièrement lorsqu'elles sont susceptibles de constituer une source d'alimentation en eau potable » (MTQ, 2010a).

2.2.1.2.3.3 Conditions d'entretien hivernal

Le tronçon d'autoroute traversant le bassin versant du lac Clément ne comprend pas de secteur problématique ou de point critique pour les activités d'entretien hivernal. Les faibles dénivelés topographiques observés sur le tronçon de l'autoroute à l'étude constituent en réalité un faux plat (MTQ, 2010c et *comm. pers.* Falardeau, 2011).

2.2.1.2.3.4 Quantités d'agents d'entretien hivernal utilisées

En ce qui concerne les actions entreprises dans le secteur à l'étude de l'autoroute 73, aucune norme ne semble gérer les quantités de sel épandues (*Comm. pers.* Lamontagne, 2011 et *comm. pers.* Turcotte, 2011). La directive reste qu'une utilisation moindre de sel est visée mais ce, selon l'entrepreneur et son propre mode de gestion.

Plus précisément, la quantité de sel à utiliser est à évaluer en fonction du niveau de priorité pour le déglacage, tel que vu précédemment pour les axes routiers municipaux (tableau 14). L'autoroute 73 se situe à un niveau de priorité 1 (*Comm. pers.* Lamontagne, 2011). Actuellement et ce depuis une quinzaine d'années, le sel de déglacage est aux frais de l'entrepreneur. Cette situation, de par les coûts certains que peuvent engendrer l'obtention de sels de voirie, favorise une utilisation moindre de ces agents déglaçants (*Comm. pers.* Lamontagne, 2011). En revanche, il s'agit de mentionner que le MTQ n'exige aucunement une méthode d'épandage avec le moins de sel possible. Cette constatation s'insère dans une réalité économique exigeant une rémunération salariale plus élevée en proportion du nombre d'actions ou de normes à respecter (notamment environnementales) (*Ibid.*).

Aucune base de données spécifique n'est actuellement disponible afin de connaître avec certitude les quantités de sels de voirie épandues sur le tronçon autoroutier à l'étude

(*Comm. pers.* Turcotte, 2011). Il a ainsi été nécessaire de procéder à des corrélations afin d'obtenir des valeurs moyennes pour la région à l'étude (*Ibid.*). Sur 151,6 km de circuit autoroutier, une moyenne de 7000 tonnes de sels est épanchée par année. Ainsi, une moyenne de 55 tonnes de sels serait épanchée annuellement sur les 1200 mètres d'autoroute traversant le bassin versant du lac Clément (*Ibid.*) (figure 2), ce qui correspond aux quantités moyennes de 45 à 68 tonnes annuelles de sels de voirie par kilomètre calculées par le MTQ (*Comm. pers.* Turcotte, 2011 et *comm. pers.* Lamontagne, 2011).

Mentionnons également que chaque tonne d'abrasifs utilisée contient environ 5% de sels de voirie. Les données du MTQ de 2011 indiquaient une utilisation moyenne de 40 tonnes d'abrasifs par année et donc aussi de 2 tonnes de sels de voirie (*Ibid.*).

Finalement, les quantités de sels de voirie épanchées dépendent aussi énormément des conditions atmosphériques (températures et précipitations annuelles). Dans la situation du bassin versant du lac Clément, les quantités de sels de voirie ne sont pas calculées en fonction du caractère « sensible » de la zone aux sels de voirie, tel qu'établi par la Ville de Québec en 2010. Cette situation proviendrait d'un manque de communication entre les autorités responsables de la Ville de Québec et le MTQ (*Comm. pers.* Turcotte, 2011, *comm. pers.* Falardeau, 2011 et *comm. pers.* Lamontagne, 2011).

2.2.1.3 Conclusion sur l'épandage d'agents déglaçants dans le bassin versant

Le bassin versant du lac Clément avait été déclaré en 2010 comme « une zone sensible aux sels de voirie » (*Comm. pers.* Deschênes, 2010 *In* APEL, 2010a). Considérant les quantités de sels de voirie épanchées, les valeurs de conductivité et les concentrations en ions chlorure retrouvées dans le lac et dans les tributaires, une modification des épandages de sels de voirie pourrait être une solution à apporter face à cette problématique de contamination de l'environnement (section 3.1.1).

2.2.2 Mesures d'atténuation envisageables face à la contamination des eaux de surface et souterraines par les sels de voirie dans le bassin versant du lac Clément

2.2.2.1 Mise en situation

La contamination et la dégradation de l'environnement par les sels de voirie constituent une problématique annuelle pour le Québec. Pour faire face à celles-ci, de nouvelles réglementations, orientations et technologies/techniques favorisant l'environnement ont été définis par les institutions responsables de l'entretien hivernal et de la sécurité des usagers de la route.

En 2008-2009, 778 809 tonnes de chlorures de sodium (NaCl), 57 837 litres de liquides de pré-mouillage et 873 695 tonnes d'abrasifs ont été utilisés par le MTQ (MTQ, 2010a).

Le MTQ a notamment été à l'origine de l'élaboration et de la mise en place d'une diversité de mesures d'atténuations (*Plan ministériel de gestion environnementale des sels de voirie 2008 - 2011*), résumées ci-dessous (MTQ, 2010a et *comm. pers.* Bédard, 2011).

- **Gestion actuelle**

- **Approvisionnement** : *Guide de contrôle et d'assurance de la qualité du chlorure de sodium* (« méthodologie de contrôle et d'assurance de la qualité au quai de chargement et aux différents points de livraison sur le territoire », « méthodologie pour l'audit du plan qualité fournisseur » et « les mécanismes de communication et de réalisation des rapports » (*Ibid.*))
- **Entreposage** : Entreposage des sels de voirie sur des surfaces imperméables bétonnées ou asphaltées sous abris ; chargement du sel de déglçage sur des plateformes imperméables (*Ibid.*).
- **Déglçage** : « Concentration des interventions aux endroits stratégiques et au moment opportun » avec uniquement une quantité suffisante d'agents d'entretien hivernal (*Ibid.*).
- **Partenariats** : le Québec, ainsi que le MTQ font partie de nombreuses associations regroupant institutions et ministères aux échelles locale, nationale et internationale :

l'Association mondiale de la route (AIPCR), le Transportation Road Board (TRB), l'Association des transports du Canada (ATC) et l'Association des transports du Québec (AQTR) (*Ibid.*). En parallèle, le Québec reste très actif « dans un projet de coopération avec le Service d'études sur les transports, les routes et leur aménagement (SÉTRA) du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT) en France, en matière de viabilité hivernale » (MTQ, 2010a et SÉTRA, 2011).

- **Optimisation des véhicules** : lames mobiles pour un meilleur raclage, calibration annuelle (*Ibid.*).
 - **Élimination de la neige** : Règlement sur les lieux d'élimination de neige (L.R.Q., c. Q-2, r-15.1) (*Ibid.*).
 - **Formation en entretien hivernal du personnel du MTQ**
- **Développement de systèmes de transport intelligents (STI)**
 - **Centre intégré en monitoring (CIM)** : veille météorologique, mobilisation des ressources, élaboration de stratégies, veille des opérations et ajustements, gestion des communicateurs et appréciation de l'atteinte des objectifs (*Ibid.*).
 - **Télémetrie véhiculaire** : « suivi en temps réel des activités de grattage et des taux de pose des matériaux réellement appliqués à la route » (*Ibid.*).
 - **Optimisation des stratégies d'épandage** : aide dans le choix de matériel à épandre en fonction d'une situation donnée (*Ibid.*).
 - **Système de collecte des données routières (SCDR)** : *Portion fixe* : 36 stations fixes recueillant des données météorologiques. *Portion mobile* : stations météorologiques disposées sur des véhicules (*Ibid.*).
- **Nouvelles techniques d'épandage**
 - **Techniques d'antigivrage**
 - **Technique du sel pré-mouillé** : ajout de sel sous forme liquide aux abrasifs ou au sel de voirie pour abaisser le point de gélivité du mélange (Xianming, 2005) ; adhésion des grains de sels à la chaussée, réduction des pertes causées par l'effet de rebond et de dispersion, accélération de la vitesse de fonte (MTQ, 2010a).

L'efficacité de cette méthode reste toutefois restreinte (*Comm. pers.* Lamontagne, 2011).

- **L'Abra-Mag** : mélange permettant d'éviter que le sable gèle et gardant ce dernier malléable durant les grands froids (*Comm. pers.* Couture, 2011).
- **Suivi des opérations en viabilité hivernale**
 - **Registre des opérations en viabilité hivernale (ROH)** : « base d'informations opérationnelles pouvant être exploitée par l'ensemble des unités du Ministère ». « Application Web [permettant] un suivi journalier de la consommation des matériaux utilisés pour l'entretien hivernal » (MTQ, 2010a).
 - **Plan de surveillance des travaux d'entretien hivernal** (2004)
 - **Indicateurs de performances** : mise en place de démarches d'amélioration de la performance avec l'implantation de la norme ISO 9001 (menant notamment à un développement de technologies pour une meilleure gestion hivernale) (*Ibid*).

2.2.2.2 Les abrasifs : une alternative aux sels de voirie?

Les abrasifs sont souvent présentés comme une source alternative et plus écologique pour une gestion hivernale efficace des tronçons routiers. En effet, une utilisation accrue de ces derniers permettrait notamment une réduction des concentrations en chlorures dans l'environnement adjacent aux axes routiers. La mise en place de leur utilisation au niveau de l'autoroute 73 et du boulevard Talbot dans le bassin versant du lac Clément serait une solution à envisager (section 3.1.1).

Toutefois, de nombreux impacts environnementaux restent attachés à une utilisation accrue d'abrasifs. Ces derniers ont été résumés à l'annexe 2.

L'utilisation des sels de voirie a été souvent corrélée à un niveau de sécurité excellent pour les routes en hiver, d'où leur usage actuel important. En revanche, les abrasifs ont une efficacité limitée pour maintenir des conditions idéales de conduite, c'est-à-dire une adhésion suffisante des pneus sur la surface gelée pour assurer une distance de freinage et une stabilité des véhicules sécuritaires. De plus, les coûts d'épandages d'abrasifs

peuvent dépasser de six à sept fois les coûts engendrés par l'épandage de sels de voirie (Schlup et Ruess, 2001).

Il n'empêche que l'épandage d'abrasifs à la place de sels de voirie a souvent été favorisé au Québec et ce, afin de réduire les apports en chlorures dans l'environnement.

2.2.2.3 Projets de réduction des impacts des sels de voirie au Québec

Plusieurs projets de réduction des impacts des sels de voirie ont été mis en place au Québec. Ces derniers peuvent prendre la forme de la mise en place de quartiers blancs ou de routes blanches, l'utilisation privilégiée d'abrasifs, ou encore la mise en place de projets pilotes (lit filtrant et marais épuratoire). La présente section se veut une synthèse des principaux projets actuels et futurs mis en place au Québec afin de faire face aux impacts des sels de voirie sur l'environnement.

2.2.2.3.1 Lac Saint-Augustin (Ville de Saint-Augustin-de-Desmaures – région de la Capitale Nationale) : marais épuratoire (MECA) et lit filtrant (LFR)

Le lac Saint-Augustin connaît aujourd'hui une problématique de contamination par les éléments présents dans les produits de sels de déglçage, les abrasifs, les carburants, ainsi que les autres débris provenant des automobiles (Morteau, 2008). Le bassin versant du lac Saint-Augustin se retrouve entrecoupé par un réseau routier important : la partie nord du bassin par l'autoroute Félix-Leclerc (A40) et le boulevard Wilfrid-Hamel ; la partie sud par le réseau routier de la municipalité (*Ibid.*).

La conductivité électrique des eaux du lac Saint-Augustin a évolué de 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 1976 à 780 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2000 (Galvez-Cloutier; et al., 2006 *In* Morteau, 2008). En parallèle, « les concentrations de chlorures mesurées sont de l'ordre de 100 à 150 ppm en moyenne dans les eaux interstitielles des sédiments, ce qui est très élevé pour les sédiments d'un lac d'eau douce » (Morteau, 2008).

Par ailleurs, le lac Saint-Augustin connaît une problématique d'eutrophisation en raison des importants apports en phosphore dans le bassin versant, accumulés dans les sédiments et actuellement relargués (*Ibid.*).

Le projet de recherche initialisé en 2009 et financé par le MTQ, a pour objectif de limiter « les impacts environnementaux des sels de déglacage et des métaux lourds sur les écosystèmes aquatiques et terrestres », à l'aide de la mise en place 1) d'un bassin de rétention ou de décantation, 2) d'un lit filtrant récréatif (LFR) et 3) d'un marais épuratoire construit et adapté (MECA) (*Comm. pers. Galvez, 2011*). Le système pilote proposé permet donc actuellement d'étudier le potentiel du LFR et du MECA afin de déterminer quelle méthode serait la plus adaptée face à la problématique de contamination. Lors de la mise en place finale du projet, l'eau contaminée et canalisée sera traitée à l'aide du système combiné du LFR et du MECA. Plus spécifiquement, « le lit filtrant éliminerait une partie du chlorure et du sodium et enlèverait complètement le phosphore, et le MECA continuerait l'épuration du chlorure et du sodium restants, renvoyant une eau avec une charge réduite en sel » (Morteau, 2008). Les premiers résultats du projet pilote seront uniquement disponibles en 2012 (*Comm. pers. Gauthier, 2011 et comm. pers. Backer, 2011*).

2.2.2.3.1.1 Bassin de décantation et de rétention

La première étape de traitement des eaux a pour but une « homogénéisation de l'eau » en permettant une décantation des particules grossières ainsi que la préservation des autres composantes avec une « régularisation du débit d'eau dans le MECA et le LFR » (*Comm. pers. Gauthier, 2011, comm. pers. Backer, 2011 et Galvez, 2011*).

2.2.2.3.1.2 Lit filtrant réactif (LFR)

Le lit filtrant, souterrain et de 6 mm d'épaisseur, se compose d'un mélange de calcaire-dolomite et comprend notamment de la calcite (Galvez, 2011, *comm. pers. Backer, 2011 et comm. pers. Gauthier, 2011*). La calcite présente non seulement une capacité d'adsorption intéressante pour les trois contaminants du lac Saint-Augustin (P, Na et Cl), mais aussi elle ne présente pas de contraintes financières importantes en raison de son faible coût (Morteau, 2008 et *comm. pers. Gauthier, 2011*). Celle-ci présente de plus

l'avantage d'un entretien moindre, nécessitant uniquement un remplacement chaque trente ans dans le cas du lit filtrant (*Comm. Pers.* Bédard, 2011).

Dans le cadre des études faites à l'Université Laval pour le lit filtrant, l'argile avait aussi été sélectionnée comme matériau potentiel. Dans le cas du sodium, l'argile offre une meilleure affinité que la calcite (Morteau, 2008). Cependant, celle-ci a finalement été désignée comme un matériau intéressant « pour une éventuelle étanchéité de fosses et pour la rétention de cations présents dans les sels » (*Ibid.*) en raison de son caractère imperméable. Dans une situation d'utilisation de matériaux argileux dans le marais filtrant, un mélange avec des matériaux granuleux serait notamment nécessaire, ainsi qu'un entretien accru de l'installation (*Comm. pers.* Gauthier, 2011).

2.2.2.3.1.3 Marais épuratoire construit et adapté (MECA)

Le MECA « fonctionne par des processus naturels microbiologiques, biologiques, physiques et chimiques » afin de traiter « les effluents peu chargés provenant du ruissellement routier », ainsi que les eaux de pluie (Galvez, 2011). Ce deuxième système de traitement consiste en un bassin peu profond divisé en trois parcelles où sont cultivées des plantes aquatiques halophytes. Le fond du bassin est imperméabilisé par une couche d'argile et une géomembrane (géocomposite bentonitique) « avec certaines structures simples conçues pour le contrôle du débit, du flux, de la rétention et du niveau d'eau » (*Ibid.*).

Les plantes retrouvées dans le MECA sont des « plantes halophytes provenant de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent et qui effectuent le travail d'épuration des sels de déglacage et des autres contaminants du ruissellement routier » (Galvez, 2011). Les espèces retenues pour le projet MECA se retrouvent dans des marais salés au sein d'estuaires, lieux caractérisés par des variations quotidiennes de niveau d'eau et de sel. Les espèces retenues sont résistantes à de fortes salinités et permettent d'accumuler le sel dans leur biomasse à l'aide de mécanismes physiologiques. En parallèle, elles permettent « de réduire la charge en nutriments et en métaux lourds grâce à ces mêmes mécanismes de bioaccumulation » (*Ibid.*).

Les plantes retrouvées dans le marais épurateur sont :

1. *Atriplex patula*, *Salicornia europaea* et *Spergularia canadensis* : trois plantes halophytes indigènes au sud de l'estuaire du Saint-Laurent et offrant un « très bon potentiel pour l'accumulation de sel dans leur biomasse » (Galvez, 2011) ; particulièrement l'espèce *Salicornia* (Morteau, 2008).
2. *Typha angustifolia* : espèce indigène au site du marais et qui offre une forte capacité en épuration des eaux (*Ibid.*).
3. *Cenante javanica*, *Cornus stolonifera*, *Myrica gale*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Elodea canadensis*, *Eleocharis palustris*, *Nymphae aponogeton* et *Sagittaria latifolia* : espèces pertinentes pour le projet et rajoutées par le constructeur (*Ibid.*).

Enfin, un plan d'entretien préliminaire annuel a été prévu pour le MECA (*Comm. pers.* Galvez, 2011).

Toutefois, la portion de sel assimilée par les plantes halophytes reste minime (1 à 2 %) (*Comm. pers.*, Bédard, 2011). Mentionnons de plus les problématiques de compétition intra-spécifiques au sein des espèces halophytes retenues, l'invasion potentielle du MECA par la quenouille (*Typha latifolia*), ainsi que la question financière de l'entretien et de l'achat annuel des espèces voulues. De plus, la question de la décomposition des plantes et du relargage du sel accumulé doit être posée (*Ibid.*).

2.2.2.3.2 Lac à la Truite (région de Montréal) : projet d'épandage d'abrasifs sur l'autoroute 15

En 1980, le MTQ étudia les effets des sels de voirie épandus sur un tronçon de 7 km (30 km de voies) de l'autoroute 15 passant à proximité du lac à la Truite (tableau 17). Le lac se situe en moyenne à 250 m de l'autoroute (*Comm. pers.* Bédard, 2011 et Santé Canada, 2007).

Tableau 17 : Caractéristiques physiques du bassin de drainage et du lac à la Truite

Caractéristiques du bassin de drainage	
Superficie	726 ha
Caractéristiques physiques du lac	
Profondeur moyenne	21,5 m
Volume	486 000 m ³
Superficie	48,6 ha

Source : Santé Canada, 2007

« En 1972, la concentration moyenne de chlorure dans le lac était de 12 mg/L. Elle a augmenté durant les années 1970 pour atteindre un maximum de 150 mg/L en 1979, ce qui correspond à l'ajout de 67 068 kg de chlorure dans le lac » (Santé Canada, 2007).

Afin de remédier à la problématique, seul un épandage d'abrasifs a été mis en place pour le même tronçon d'autoroute. Une diminution de la concentration de chlorure dans le lac a alors pu être observée lors des années 1980. La concentration moyenne de chlorures avait baissé à 45 mg/L en 1990 et est restée stable depuis (*Ibid.*).

2.2.2.3.3 Lac Mégantic (Estrie) : projet de route blanche – entretien hivernal de la route 263

La Direction de l'Estrie du MTQ a entrepris en 2008-2009 la mise en place d'un projet pilote visant à la protection du lac Mégantic (caractérisé comme vulnérable) en réduisant la quantité de sels de voirie utilisée sur la route 263 aux abords du lac (MTQ, 2010a). Le ministère des Transports avait alors classifié la route 263 comme « collectrice » (> 5000 véhicules par jour) (*Comm. pers. Couture, 2008*). La route était entretenue avec un niveau 2 (tableau 14) (« route dégagée sur 3 m et 5 m dans les courbes, les pentes et les points critiques ») (*Ibid.*). L'objectif était alors de diminuer l'entretien hivernal à un niveau 3, « en utilisant de l'abrasif pour sécuriser la route au lieu d'utiliser des fondants (sel) » (*Ibid.*).

Les bénéfices attendus étaient « la réduction de l'impact du sel de voirie sur les cours d'eau [et la nappe phréatique], la réduction de la dégradation des infrastructures routières ainsi que l'uniformisation des niveaux de service pour cette portion du territoire » (MTQ, 2010a et MTQ, 2010d).

2.2.2.3.2.1 Localisation

Le tronçon de la route blanche située en bordure du lac Mégantic (figure 23) se situe sur « la route 263 à partir de l'intersection avec la route 161 dans la municipalité de Nantes jusqu'à l'intersection avec la route 161 dans la municipalité de Woburn » (MTQ, 2010*d*). Cette dernière traverse quatre municipalités (Nantes, Marston, Piopolis et Woburn). Elle est toutefois entretenue par trois municipalités : Marston, Piopolis et Woburn (*Comm. pers. Couture, 2011 et MTQ, 2010d*). Les 25,4 km de la route se répartissent comme suit : 10,4 km dans la municipalité de Marston, 13,3 km dans la municipalité de Piopolis et 1,7 km dans la municipalité de Woburn (MTQ, 2010*d*).



Figure 23 : Localisation de la route blanche au lac Mégantic

2.2.2.3.2.2 Observations

Suite à la mise en place du projet en 2008-2009, une réduction de 65% de la consommation des sels de voirie par rapport aux deux années précédentes a été calculée.

Aucune augmentation des services de grattage des municipalités et des sorties de route n'a été constatée au cours de la saison 2008-2009. De plus, la qualité du déneigement et de la sécurité routière atteinte n'occasionna aucune plainte de la part des municipalités concernées, qui reconduisirent le projet pour la saison 2009-2010 (MTQ, 2010a et MTQ, 2010d).

Le projet est actuellement géré par le devis 101 élaboré en mai 2010. Le contrat est valide jusqu'au 1^{er} juin 2011 (MTQ, 2010b). En ce qui concerne l'entretien hivernal du secteur, ce dernier se déroule selon les normes suivantes de la section 3.0 « Exigences générales de déglacage » (*Ibid.*):

- **Chaussées** : traitement au moyen d'abrasifs. Au-dessus de 3 cm de neige durcie ou de glace, un déglacage mécanique sur toute la largeur de la chaussée est nécessaire. Dans une situation où la température ambiante pour une période de 48 heures est égale ou supérieure à 3°C, « le prestataire de services doit procéder au déglacage de la chaussée au moyen de fondants ou de façon mécanique » (MTQ, 2010b).
- **Chaussées en pente et points critiques** : « une surveillance accrue est accordée aux secteurs qui présentent des difficultés d'entretien plus élevées que celles observées normalement dans les autres secteurs et qui conduisent à une augmentation de la fréquence des opérations » (MTQ, 2010b). Ainsi, « lorsque le traitement à l'abrasif ne suffit plus à rendre les sections de chaussée en pente et les points critiques sécuritaires, le prestataire de service doit procéder à l'épandage de mélange fondants/abrasifs ou de fondants » (*Ibid.*). L'article 3.3 du devis mandate donc « une utilisation du sel de déglacage au besoin seulement » (*Comm. pers. Couture, 2011*).

Le projet ainsi géré sera continué pour un autre hiver (*Comm. pers. Couture, 2011*). Aucune étude n'a encore été élaborée quant aux modifications environnementales envisagées (utilisation d'abrasifs au lieu de sels de voirie). Un mandat sera élaboré par le MTQ en 2011 afin d'entreprendre des études sur le sujet (*Ibid.*).

2.2.2.3.2.3 Études actuelles

Mentionnons toutefois que des alternatives de gestion hivernale sont actuellement en cours d'expérimentation dans le secteur. Ainsi, un nouveau type d'abrasif est utilisé dans le secteur de Marston. Ce dernier se compose de « 17 litres de chlorure de magnésium par tonne de sable (« Abra-Mag »), au lieu du chlorure de sodium qui était autrefois utilisé avec un mélange de 5% de chlorure de sodium pour 95% de sable » (*Comm. pers.* Couture, 2011). Ces mélanges (« Abra-Mag ») permettent d'éviter que le sable gèle et gardent ce dernier malléable durant les grands froids (*Comm. pers.* Couture, 2011 et SEBCI, 2011). L'objectif est ici de déterminer « si l'utilisation de chlorure de magnésium peut faire diminuer les quantités de sable », ce produit devant « mieux faire adhérer le sable à la glace en comparaison au mélange conventionnel composé de 5% de sodium » (*Comm. pers.* Couture, 2011).

2.2.2.3.4 Lac Magog (Sherbrooke) : projet de valorisation des abrasifs autour du Lac Magog

Les objectifs du projet pilote mis en place en 2008 par la Ville de Sherbrooke (figure 24) se voulaient être une tentative de réduction des gaz à effet de serre (GES), de récupération et de valorisation des abrasifs.

Ainsi, « l'entretien hivernal des chemins et rues bordant le lac Magog et une partie de la rivière Magog a été fait uniquement avec des abrasifs (pierre et sable) » (Ville de Sherbrooke, 2010).

Le projet autour du lac Magog se base sur la participation de tous les acteurs concernés, notamment les usagers de la route, ainsi que les élus. Une campagne d'information et de consultation publique préalable a donc été réalisée auprès des partis concernés. Une signalisation adéquate a été mise en place et une étape finale de sondage à la fin de la période hivernale a été réalisée auprès des mêmes partis (MTQ, 2010a). Des résultats positifs et concluants ont été alors obtenus. La quantité d'agents d'entretien hivernal des routes épandue a été évaluée à 13 000 tonnes, ce qui reste très inférieur à la moyenne annuelle de 22 000 tonnes (*Ibid.*).

Parallèlement, 80% des personnes rencontrées ont été favorables à une extension du projet pour l'ensemble du réseau à proximité des cours d'eau. L'année suivante, le projet a été mis en place le long de la rivière Magog (*Ibid.*).

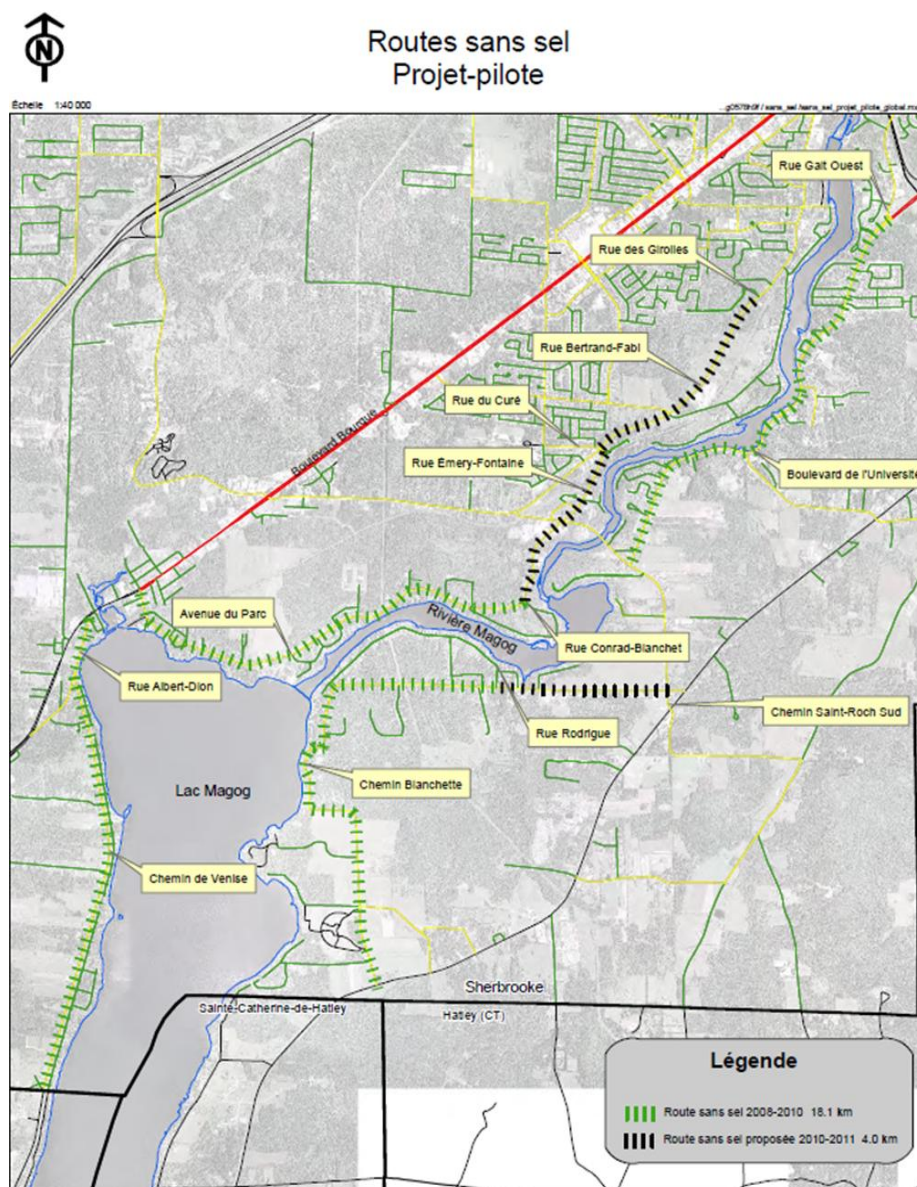


Figure 24 : Projet de valorisation des abrasifs autour du Lac Magog

Source : Mercier, R. P (2011) Documentation transférée.

2.2.2.3.5 Lac Memphrémagog (Estrie) : futur projet d'utilisation d'abrasifs autour du lac Memphrémagog

Durant l'hiver 2011-2012, la Direction de l'Estrie du ministère des Transports du Québec adoptera un mode d'entretien hivernal pour la route 247 qui privilégiera l'usage d'abrasifs et réduira l'épandage de sels de voirie (Ville de Magog, 2011). Ce projet de nouvelle gestion hivernale s'insérant dans une perspective de développement durable et de la *Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie*, se fera à l'aide de la collaboration des municipalités de Magog, d'Ogden, de Stanstead et du canton de Stanstead (*Ibid.*).

2.2.2.3.6 Ville de Saguenay : quartiers blancs

En 2007, la *Commission des travaux publics* de la Ville de Saguenay réinstaura le concept de quartier blanc. Ce dernier se définit comme un quartier ou un arrondissement caractérisé par un épandage moins important de sels de voirie et d'abrasifs (MTQ, 2010a et Ville de Saguenay, 2011).

Deux arrondissements ont été favorables à l'idée (tableau 18), majoritairement en raison « de leur géographie plane, de leur ensemble homogène, de leur localisation en dehors du centre ville ou d'une place d'affaires et de l'adhésion des citoyens et du conseiller municipal du secteur » (MTQ, 2010a).

Tableau 18 : Arrondissements favorables au projet de quartier blanc en 2007, Ville du Saguenay

Arrondissements	Périmètre de délimitation des quartiers blancs
Chicoutimi	Jacques-Cartier, Talbot, de l'Université (quartiers Murdock et Notre-Dame-du-Saguenay)
Jonquière	Du Saguenay, de la Centrale, du Roi Georges, des Étudiants (quartier des Fleurs)

Source : Ville du Saguenay, 2007.

Naturellement, une signalisation adéquate (« déneigement écologique ») a été mise à l'entrée de chaque quartier blanc (MTQ, 2010a).

Des résultats satisfaisants ont pu être déduits de l'expérience : l'épandage d'abrasifs est passée de 450 à 250 kg/km et la longueur d'épandage a pu être raccourcie de 30 à 15 m avant l'arrêt (*Ibid.*). Les bénéfices suivants ont aussi été recensés par le MTQ : « l'économie dans l'achat et le transport des abrasifs, dans l'achat du sel, moins de ramassage des abrasifs dans les rues au printemps, moins de transport vers les sites d'élimination, moins de sable dans les puisards et les réseaux d'égouts. Pour les citoyens, il en résulte moins de matériaux à ramasser sur les terrains au printemps donc un terrain moins affecté et un environnement plus agréable en période hivernale » (*Ibid.*).

Les résultats obtenus en 2008 étant particulièrement positifs, la Ville de Saguenay décida d'étendre le projet à neuf autres secteurs de son territoire en 2009, à six de plus en 2010, puis à huit de plus en 2011. Actuellement, 23 secteurs portent donc le titre de « quartier blanc » (tableau 19).

Tableau 19 : Quartiers blancs de la Ville du Saguenay

Arrondissement de Jonquière	Arrondissement de Chicoutimi	Arrondissement de La Baie
Quartier Dubose et petit Dubose	Quartier Murdock et Notre-Dame-du-Saguenay (projet pilote 2007-2008)	Quartier Pont-De-Montvert
Quartier Langelier	Secteur Domaine du Roy	
Quartier petit Mathias	Quartier Vanier	
Quartier du Manoir du Saguenay	Quartier des Oiseaux	
Quartier Saint-Philippe	Plateau des Saguenéens	
Quartier des Anglais, secteur Kénogami	Quartier des Écrivains	
Quartier Flamand	Place des Copains	
Quartier Fay et Plateau Eschêne	Quartier Saint-Pierre	
Quartier des Orchidées (composé des quartiers des Fleurs et des Campanules)		
Quartier des Peintres		
Quartier Legardeur		
Quartier Brisson (quartier des Arabes)		
Quartier des Oiseaux		

Source : Ville du Saguenay, 2011

2.2.2.3.7 Bassin versant de la rivière Saint-Charles (lac Saint-Charles - Québec) : utilisation d'abrasifs

La Ville de Québec a mis en place un plan de protection du lac Saint-Charles : uniquement l'utilisation d'abrasifs sur les tronçons routiers en bordure du lac est autorisée (à partir de la rue Delage et des tronçons routiers situés au nord de ce secteur) (*Comm. pers.* Deschênes, 2011). L'augmentation de la superficie couverte par ce contrat est actuellement en cours de discussion. Des séances d'information et de discussion avec les Divisions de travaux publics de Charlesbourg et de la Haute Saint-Charles sont préalablement nécessaires.

2.2.2.3.8 Saguenay : futur projet de route blanche

Le projet de route blanche au Saguenay (regroupant 5 municipalités) est actuellement en processus de négociation (*Comm. pers.* Lévesque, 2011). L'objectif est de passer d'un service d'entretien hivernal de niveau 2 à un niveau 3, à l'aide de l'utilisation de sels de voirie, d'abrasifs ainsi que des opérations d'entretien hivernal mécaniques pour maintenir le niveau de sécurité adéquat pour les usagers de la route (*Ibid.*).

Seule la municipalité de Saint-Thomas-Didyme s'est opposée à la mise en place du projet. La date butoir pour la réponse définitive des conseils de ville des quatre autres municipalités a été fixée par le ministère des Transports pour le début du mois de décembre 2011 (*Ibid.*). La préparation des plans et du devis auront alors lieu.

Dans une perspective d'acceptation sociale du projet, plusieurs démarches d'information ont été entreprises par le MTQ auprès des MRC. De plus, le service de police local a été informé du projet et permettrait de maintenir un niveau de sécurité adéquat (*Ibid.*).

2.2.2.3 Les sels de voirie et le lac Clément : quelles solutions envisager?

Des études visant à une réduction des sels de voirie dans le bassin versant du lac Clément ont déjà fait l'objet d'analyses de terrain par le MTQ. Plus précisément, l'objectif

visé consistait à canaliser les eaux de ruissellement du tronçon de l'autoroute 73 traversant le bassin versant du lac Clément afin d'éviter la répartition dans l'environnement des eaux de ruissellement contaminées (*Comm. pers.* Falardeau, 2011).

Malheureusement, la problématique de diminution d'apport en eau du tributaire principal du lac aurait alors fait surface. De plus, les travaux d'arpentage nécessaires afin d'envoyer l'ensemble de l'eau de ruissellement contaminée de l'autoroute 73 en dehors des limites du bassin versant du lac Clément présentaient d'importantes contraintes financières (*Ibid.*) (section 2.1.3.2).

Une multitude de projets face à une réduction de l'utilisation des sels de voirie est actuellement en place au Québec. En ce qui concerne le lac Clément, une combinaison de plusieurs méthodes peut être envisagée afin d'obtenir un effet de complémentarité entre les méthodes et viser à une réduction des impacts des sels de voirie dans un délai convenable. Ces dernières seront discutées en détails dans le chapitre suivant.

Chapitre 3 : Discussion

La présente section traite de manière détaillée de la mise en place des méthodes de réhabilitation potentielles afin de répondre à la problématique de contamination du lac Clément.

Dans le cas étudié, une combinaison de plusieurs méthodes semble nécessaire afin d'assurer une diminution des impacts des sels sur les environnements tant terrestre qu'aquatique :

1. Mesures d'atténuation principales :
 - a. Une nouvelle gestion de l'entretien hivernal avec une réduction des épandages des sels de voirie dans le bassin versant du lac Clément (boulevard Talbot et autoroute 73), ainsi que des quantités d'abrasifs utilisées (avenue de la Rivière Jaune)
 - b. La mise en place d'un lit filtrant sur le tributaire principal
2. Mesures d'atténuation secondaires
 - a. Une déviation du ruisseau Dugas à l'embouchure du lac Clément
 - b. Une déviation des eaux du lac Fortier au nord du lac Clément

Rappelons aussi que la nappe phréatique se caractérise par des concentrations en chlorures supérieures au seuil de toxicité chronique établi par le MDDEP (section 2.1.5.2). Les valeurs de concentrations en chlorures trouvées pour la nappe phréatique le long du boulevard Talbot au niveau de la rue des Fraisiers ont été prises en dehors des limites du bassin versant du lac Clément. La contamination de la nappe phréatique ne dépend donc pas uniquement de l'épandage de sels à proximité du lac Clément, mais souligne une problématique de contamination anthropique sur une plus grande échelle. La mise en place de mesures d'atténuation uniquement au sein du bassin versant du lac Clément ne permettra pas une diminution des concentrations en chlorures actuellement retrouvées dans la nappe phréatique. Cette problématique demande une gestion hivernale combinée entre l'arrondissement de Charlesbourg et de la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury.

3.1 Mesures d'atténuation principales

3.1.1 Une nouvelle gestion de l'entretien hivernal

En plus des fortes valeurs de conductivité retrouvées dans le tributaire principal, les impacts des sels de voirie se font aussi sentir au niveau du tributaire 3 (figure 8, figure 10 et figure 11). Les valeurs de conductivité retrouvées au niveau du tributaire 1 ont été rattachées à l'épandage de sels sur le boulevard Talbot et sur la rue de la Rivière Jaune (sections 2.1.4.1.2.1 et 2.1.4.1.2.2).

Tel que déjà mis en place au Québec (lac Magog, lac à la Truite, lac Saint-Charles (sections 2.2.2.3.2, 2.2.2.3.4 et 2.2.2.3.7)), une réduction des quantités de sels épandus sur les tronçons routiers dans le bassin versant du lac Clément pourrait être intéressante.

3.1.1.1 Boulevard Talbot et avenue de la Rivière Jaune

Une moyenne de 100 kg de sels de voirie épandus par opération de déneigement avait été estimée pour les 800 mètres du boulevard Talbot situés dans le bassin versant du lac Clément (figure 22). En revanche, l'avenue de la Rivière Jaune (sur une distance de 800 mètres) serait entretenue uniquement avec des abrasifs contenant une faible quantité de sels de voirie. Les quantités moyennes épandues restent toutefois inconnues (figure 22).

Face à la problématique de contamination présente, une diminution des quantités de sels épandues pourrait être envisagée. En effet, le boulevard Talbot se caractérise par un débit routier journalier de 3500 véhicules et est entretenu à un niveau de priorité 1 (tableau 14) (Ville de Québec, 2009*b*). Il serait envisageable de diminuer le niveau d'entretien actuel à un niveau d'entretien de 2, voire à un niveau d'entretien de 3 ; mais surtout d'assurer l'entretien hivernal à l'aide d'abrasifs (figure 25). La réussite du projet pour la route 263 aux abords du lac Mégantic pour plus de 5000 véhicules par jour avec un niveau d'entretien de 3 (section 2.2.2.3.3) peut servir d'exemple pour une modification de l'entretien hivernal dans le bassin versant en question. Dans le cas du boulevard Talbot, le faible dénivelé observé le long du tracé de l'axe routier, ainsi que l'absence de point critique (pente, courbe serrée, etc.) permettraient de maintenir un niveau de sécurité optimal,

tel que proclamé par les normes sur le *Réseau routier* du MTQ. En revanche, une signalisation adéquate devra être mise en place pour les tronçons de la route entretenus principalement par des abrasifs. Une coordination accrue entre le MTQ et les entrepreneurs privés sera donc particulièrement nécessaire afin de garantir la sécurité des usagers de la route.

L'avenue de la Rivière Jaune est quant à elle, entretenue à un niveau de priorité 2 (tableau 14) (Ville de Québec, 2009b). Un entretien à un niveau de priorité 3 pourrait être envisagé, la circulation routière y étant très réduite (*Comm. pers.* Grondin, 2011) (figure 25). Dans la situation d'un entretien hivernal à un niveau de priorité de 3, l'élaboration et la mise en place d'une signalisation conséquente devront être faites.

Dans le cas d'une utilisation accrue d'abrasifs sur le boulevard Talbot et l'avenue de la Rivière Jaune, l'élaboration de méthodes de captage des abrasifs ne devra pas être négligée, en raison des nombreux impacts de ces derniers sur l'environnement (annexe 2). La mise en place d'une série de petits bassins de décantation le long des fossés de drainage actuellement existants pourrait être envisagée. Les dimensions de ces bassins, notamment leur profondeur, devront toutefois être déterminées de manière à toujours assurer un écoulement des eaux lors de la saison sèche. Un dragage annuel des fossés de drainage et des bassins de décantations le long du boulevard Talbot et de l'avenue de la Rivière Jaune, suite à la saison de fonte printanière, seront à planifier.

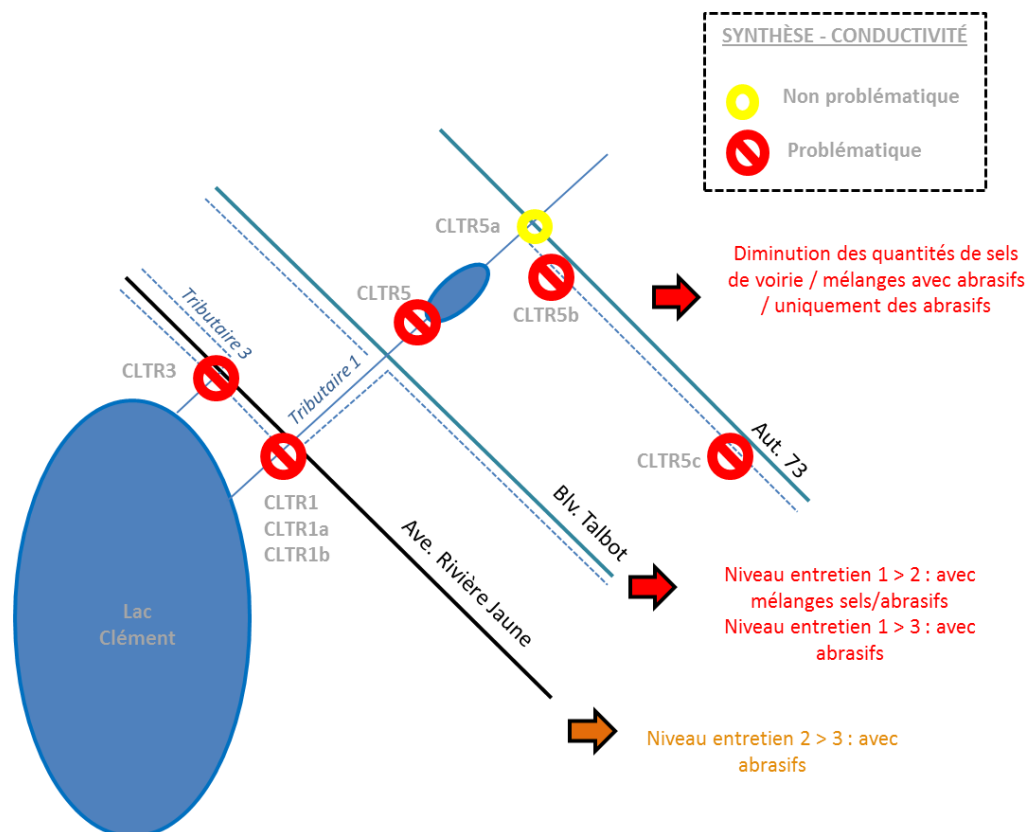


Figure 25 : Synthèse d'un plan de gestion alternatif des sels de voirie au sein du bassin versant du lac Clément

3.1.1.2 Autoroute 73

Une moyenne annuelle de 55 tonnes de sels serait épandue pour le tronçon autoroutier de 1,2 km traversant le bassin versant en question. L'entretien hivernal le long de l'autoroute 73 constitue la première source en chlorures causant la dégradation du lac Clément et de ses tributaires (figure 22).

Ainsi, une réduction des quantités de sels de voirie épandues pour favoriser une utilisation accrue d'abrasifs peut être encouragée pour ce secteur (passage d'un niveau de priorité 1 à 2). Par ailleurs, un passage à un niveau d'entretien 1 à 3 avec une utilisation d'abrasifs pourrait être aussi envisagé (figure 25). La mise en place d'un tel plan de gestion hivernal au début des années 1980 pour 7 km du tronçon de l'autoroute 73 au bord du lac à

la Truite (région de Montréal) démontre la possibilité d'une utilisation moindre de sels de voirie pour l'entretien hivernal d'un axe autoroutier majeur (section 2.2.2.3.2). Dans le cas de l'autoroute 73, le faible dénivelé et l'absence de point critique (courbe serrée, pente, etc.) permettent une planification et une mise en place adéquate d'une nouvelle gestion hivernale ne compromettant pas la sécurité des usagers.

Tel que mentionné pour une nouvelle gestion hivernale pour le boulevard Talbot et l'avenue de la Rivière Jaune, une signalisation adéquate et garantissant la sécurité des usagers de la route devra être mise en place. Parallèlement, une utilisation accrue d'abrasifs demande une prise en compte des impacts environnementaux potentiels de ces derniers sur le milieu avoisinant (annexe 2). Un bassin de décantation situé en amont du tributaire 1 (entre les stations CLTR5 et CLTR5a – figure 2) assure actuellement une diminution de la charge en particules (notamment des abrasifs) contenues dans les eaux de ruissellement. Dans une situation d'une utilisation accrue d'abrasifs, un suivi de la charge en particules des eaux de ruissellement devra être opérée, afin d'assurer le bon fonctionnement d'un lit filtrant réactif de calcite qui sera situé en aval (méthode d'atténuation parallèle décrite à la section 3.1.2). L'étape de dragage annuel suite à la période de fonte des neiges du bassin de décantation devra être maintenue.

3.1.1.3 Étape de consultation

La problématique de critique de la part du public usager de la route constitue souvent un frein à toute méthode alternative de gestion hivernale. Dans la situation de proposition d'une méthode de gestion visant à une utilisation réduite de sels de voirie, une étape de sensibilisation du public, face à la problématique de contamination environnementale et des méthodes alternatives actuellement mises en place, constitue une étape clé à la mise en place de tout projet.

De plus, une étape de consultation et de communication entre les diverses entités responsables de la gestion routière (MTQ, Ville de Québec et l'arrondissement de Charlesbourg) sera nécessaire afin d'assurer un niveau de sécurité et de gestion optimal (sécurité des usagers de la route, signalisation optimale, gestion efficace des fossés de drainage et des bassins de rétention pour la récupération des abrasifs).

3.1.2 La mise en place d'un lit filtrant sur le tributaire 1

Les activités d'entretien hivernal à l'aide de sels de voirie se font de manière importante au sein du tronçon d'autoroute traversant le bassin versant. Les quantités de sels épandues ont été estimées à 55 tonnes pour le secteur, d'où la forte conductivité retrouvée notamment aux stations CLTR1 et CLTR5 sur le tributaire principal du lac lors de la fonte printanière (figure 10 et figure 11) (section 2.1.4.1.2.1 et 2.1.4.1.2.2).

Une mise en place d'un lit filtrant de calcite pourrait être envisagée afin de réduire les apports en sels de voirie amenés au lac à travers les eaux contaminées du tributaire principal. Ce dernier sera aussi accompagné d'un bassin de rétention, ainsi que d'un trop-plein (figure 26).

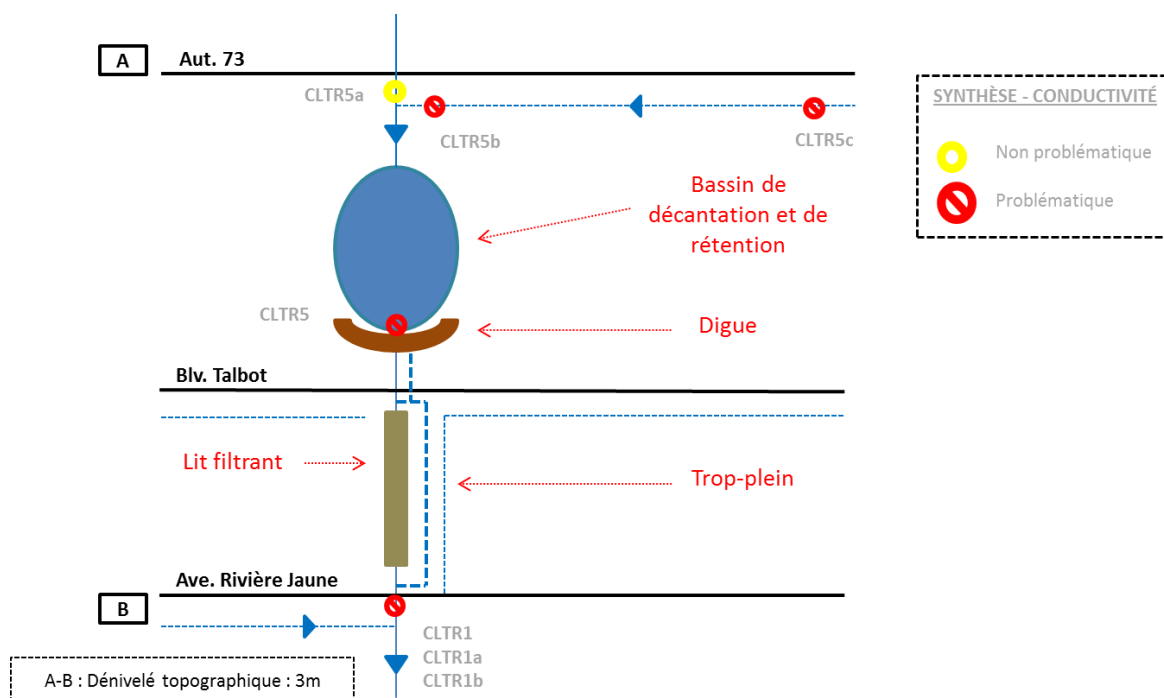


Figure 26 : Mise en place d'un lit de calcite sur le tributaire principal du lac Clément

3.1.2.1 Bassin de rétention

La création d'un bassin de rétention en amont du lit filtrant sera nécessaire afin de réguler le débit d'eau et d'assurer un niveau de réduction adéquat des concentrations en chlorures contenues dans les eaux de ruissellement en provenance de l'autoroute. Le bassin de décantation du MTQ (situé entre les stations CLTR5 et CLTR5a – figure 2) pourrait être utilisé à cette fin. La mise en place d'une digue, assurant un marnage d'un mètre ou d'un mètre et demi permettra de transformer ce bassin de décantation en bassin de rétention des eaux de ruissellement de l'autoroute 73 (*Comm. pers.* Bédard, 2011).

Cette section du projet se situant sur une zone « tampon » en bordure de l'autoroute et appartenant au MTQ (Ville de Québec, 2011a), des démarches de permis devront être planifiées avec cette même institution (*Comm. pers.* Bédard, 2011 et *comm. pers.* Halley, 2011).

En ce qui concerne l'entretien du bassin, un dragage annuel (suite à la saison de la fonte printanière) devra être opéré. Cette mesure sera d'autant plus importante dans la situation d'une utilisation accrue d'abrasifs sur l'autoroute (*Comm. pers.* Bédard, 2011).

3.1.2.2 Trop-plein

Le projet devra comprendre un trop-plein parallèle au lit filtrant, afin d'assurer un écoulement des eaux vers le lac en situation de débordements (figure 2) (*Comm. pers.* Bédard, 2011). Dans le secteur localisé entre le boulevard Talbot et l'avenue de la Rivière Jaune, une autorisation préalable du MDDEP devra être demandée (Halley, 2011), le territoire en question étant un terrain privé non aménagé et non exploité (Ville de Québec, 2010).

3.1.2.3 Lit filtrant de calcite

Le lit filtrant au lac Clément, identiquement au lit filtrant au lac Saint-Augustin, utilisera un lit de calcite afin de capter les ions chlorure (section 2.2.2.3.1). L'utilisation d'un lit filtrant réactif sur de la calcite présente de nombreux avantages. En effet, celle-ci se

caractérise par une capacité d'adsorption intéressante pour les ions chlorure (Morteau, 2008) ; tout en ne présentant pas de contraintes financières importantes en raison de sa forte disponibilité au Québec et de son faible coût (*Ibid.*). De plus, la calcite demande un niveau d'entretien moindre, nécessitant uniquement un remplacement tous les 25 ou 30 ans. Seul un suivi du projet tous les 10 ans devra alors être mis en place, une fois les dimensions finales du lit filtrant déterminées (*Comm. pers.* Bédard, 2011).

Le lit filtrant de calcite (qui sera localisé en aval du bassin de rétention), sera situé sur le tributaire principal du lac, entre le boulevard Talbot et l'avenue de la Rivière Jaune (jusqu'à environ 2 à 3 mètres en amont de la station CLTR1b) (figure 26). Un dénivelé topographique d'environ 3 mètres (Ville de Québec, 2011b) entre le bassin de rétention et l'avenue de la Rivière Jaune assurera un écoulement des eaux du tributaire 1 suite à la mise en place du projet (*Comm. pers.* Bédard, 2011) (section 2.1.3.2).

Celui-ci diffèrera toutefois du lit de calcite au lac Saint-Augustin au niveau des dimensions choisies, ainsi qu'au niveau de la granulométrie du lit. Le lit de calcite au lac Saint-Augustin aurait une granulométrie trop petite, ainsi qu'un temps de passage trop long des eaux à travers le lit de calcite. Le projet mis en place présenterait ainsi des problèmes de colmatage. Le lit de calcite au lac Clément devra être caractérisé par une granulométrie plus grande et un temps de passage des eaux moins important. L'étude de la publication en 2012 des premiers résultats obtenus pour le projet pilote au lac Saint-Augustin permettra de valider, voire de rectifier les paramètres (dimensions et granulométrie) choisis pour le lit filtrant au lac Clément (*Comm. pers.* Bédard, 2011).

Des études d'arpentage et de caractérisation des sols devront être faites préalablement à la mise en place du lit de calcite. De plus, l'installation adéquate d'équipements afin de vérifier régulièrement le lit filtrant devra être prise en compte lors de l'élaboration du projet (*Comm. pers.* Bédard, 2011). Afin de réduire l'impact sur le paysage, l'aménagement d'une couche d'herbacés au-dessus du lit filtrant pourrait être une solution à adopter.

En ce qui concerne l'entretien régulier du lieu, un contrôle tous les deux ans des arbres devrait être opéré (débroussaillage). Parallèlement, un suivi des taux de captage des

ions chlorure par la calcite devra être opéré lors des premières années suite à la mise en place du projet. Cette étape permettra alors une validation de l'efficacité du lit filtrant réactif en fonction des dimensions choisies (*Comm. pers.* Bédard, 2011).

Finalement, le lit filtrant sera situé sur un terrain privé non aménagé et non exploité (Ville de Québec, 2011a). La mise en place du projet nécessiterait donc une autorisation préalable du MDDEP (*Comm. pers.* Halley, 2011).

3.2 Mesures d'atténuation secondaires

Les mesures d'atténuation secondaires proposées consistent en des projets de modification des parcours du ruisseau Dugas à l'embouchure du lac Clément, ainsi qu'en une déviation des eaux du lac Fortier vers le lac étudié. L'objectif serait de modifier le régime hydrique du lac Clément en diminuant le temps de renouvellement des eaux du lac, pour favoriser une dilution des ions chlorure ou une élimination plus rapide de ces derniers, tout en remédiant aux conditions de faible débit à l'embouchure du lac (description détaillée disponible à la section 2.1.2). De nombreuses contraintes existent face à la mise en place de ces mesures, qui seront décrites plus en détails dans les prochaines sections. Mentionnons de plus que les conditions environnementales visées suite à la mise en place de ces mesures restent très hypothétiques. Des études poussées préalables, notamment au niveau des impacts environnementaux engendrés, du taux de réussite pour une diminution du temps de renouvellement des eaux du lac Clément ou d'une dilution des ions chlorure, seraient nécessaires.

3.2.1 Une déviation du ruisseau Dugas à l'embouchure du lac Clément

Tel que mentionné à la section 2.1.2, le ruisseau Dugas a été légèrement dévié lors de la création de deux étangs à l'embouchure du lac Clément au cours des années 1950 (figure 4). Le régime d'écoulement des eaux à l'embouchure du lac Clément a alors aussi été modifié, créant un milieu humide dans ce même secteur.

Le ruisseau Dugas est moins touché par les sels de voirie que le lac Clément (tableau 11). Une déviation de ce ruisseau, en rapprochant de nouveau l'exutoire de ce

dernier vers le lac, permettrait de créer des conditions favorables pour une dilution des chlorures dans le lac, une diminution du temps de renouvellement (actuellement de 60 jours), ainsi que pour la mise en place de conditions oxygénées à l'embouchure du lac.

Mentionnons toutefois que les travaux subséquents auraient lieu sur des propriétés privées. Certaines formalités doivent être prises en compte. Une autorisation du MDDEP peut notamment être exigée (*Comm. pers. Halley, 2011*). De plus, tout projet de « détournement ou [de] dérivation d'un fleuve ou d'une rivière » est assujéti au processus d'évaluation environnementale (*Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement* (R.R.Q, 1981 c. Q-2, r.9)) de la *Loi sur la Qualité de l'Environnement* (L.R.Q, c. Q-2).

3.2.2 Une déviation des eaux du lac Fortier au nord du lac Clément

Des ruisseaux intermittents en provenance du lac Fortier sillonnent le nord du bassin versant du lac Clément (figure 2). Une déviation de ces cours d'eau vers le nord du lac Clément permettrait potentiellement une diminution du temps de renouvellement des eaux du lac, ainsi qu'un effet de dilution des chlorures dans l'environnement lacustre.

La topographie de la région présente toutefois quelques difficultés face à un projet de déviation des cours d'eau intermittents du lac Fortier (figure 5). Des travaux préalables d'arpentage seraient donc nécessaires, afin de notamment, estimer les coûts.

De plus, tel que dans la proposition de déviation du ruisseau Dugas, les travaux engendrés auraient lieu sur des terrains privés. En parallèle, une étude d'impact serait notamment exigée en vertu du *Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement* (R.R.Q, 1981 c. Q-2, r.9). Finalement, l'étape préliminaire de la détermination des impacts potentiels engendrés sur le lac Fortier devra être faite. Des problématiques découlant de la mise en place de ce projet peuvent prendre la forme d'une modification du régime hydrique du lac Fortier et du régime naturel de sédimentation, de la destruction d'un environnement local et des habitats fauniques et aquatiques, etc. (North Central Catchment Management Authority, 2011).

3.3 Conclusion sur les mesures d'atténuation pour le lac Clément

Afin de remédier à la problématique de contamination du lac Clément par les sels de voirie, une combinaison de plusieurs mesures d'atténuation pourrait être une solution à envisager.

Parmi les mesures mentionnées, celles d'une nouvelle gestion hivernale sur les tronçons routiers et d'une installation d'un lit filtrant réactif sur le tributaire principal et le plus pollué du lac, ont été les mesures mises de l'avant au sein de cet essai.

Dans une situation de la mise en place de ces projets, un suivi de la qualité d'eau du lac et des tributaires (température, taux d'oxygène dissous, pH, turbidité, conductivité et concentrations en ions chlorure) seront nécessaires. Mentionnons toutefois que dans la situation actuelle d'une contamination de la nappe phréatique par les sels de voirie, une diminution accrue et rapide des concentrations en ions chlorure dans les eaux du lac et des tributaires ne pourra être observée (section 2.1.5.2). Afin de mieux cerner la problématique de la contamination de la nappe phréatique et établir des mesures d'atténuation à mettre potentiellement en place, des études préalables de détermination des caractéristiques physiques de la nappe seront nécessaires (estimation du temps de renouvellement, profondeur, etc.). De plus, il s'agira de déterminer les sources de contamination, ainsi que l'étendue de la contamination de la nappe.

Conclusion

Le lac Clément, situé à la limite de l'arrondissement de Charlesbourg et de la municipalité de Stoneham-et-Tewkesbury a été l'objet de diverses études limnologiques ayant pour but une évaluation de la qualité de l'eau du lac et de ses tributaires. En 2007, une conductivité anormalement élevée des eaux du lac avait été détectée. En 2008, la même constatation avait été faite pour les tributaires principaux du lac (tributaires 1 et 3). Les fortes concentrations en chlorures dans les environnements aquatiques ont été attribuées à l'épandage de sels de voirie sur les tronçons routiers traversant le bassin versant. La dégradation des milieux aquatiques du lac Clément reste donc majoritairement de nature anthropique.

Les données de conductivité obtenues le 11 août et le 18 octobre 2011 aux stations d'échantillonnage réparties le long des tributaires 1 et 3, ont souligné l'importance des épandages de sels de voirie sur l'autoroute 73 et le boulevard Talbot ; expliquant ainsi les concentrations en chlorures retrouvées dans le fond de la colonne d'eau du lac Clément. En effet, environ de 55 tonnes de sels de voirie seraient épandues annuellement sur une distance de 1,2 km pour l'autoroute 73. Les 800 m du boulevard Talbot seraient quant à eux, gérés à l'aide de 100 kg de sel par opération. Les quantités d'abrasifs utilisées pour l'entretien hivernal de l'avenue de la Rivière Jaune restent toutefois inconnues.

Parallèlement, une contamination de la nappe phréatique a pu être déterminée. La contamination de cette dernière par les sels de voirie dépasse toutefois les limites du bassin versant du lac Clément et se rattache aussi à la gestion hivernale au sein de l'arrondissement de Charlesbourg. Parallèlement, les concentrations en chlorures retrouvées dépassaient en moyenne, pour le lac et les tributaires, le seuil de toxicité chronique de 230 mg/L mis en place par le MDDEP.

Dans une optique de proposition de méthodes d'atténuation face à la contamination du lac Clément par les sels de voirie, une combinaison de méthodes assurerait un début de mise en place d'une nouvelle gestion hivernale au sein du bassin versant étudié. Les mesures d'atténuation proposées au sein de cet essai prennent la forme de la mise en place d'un lit filtrant réactif sur calcite sur le tributaire principal et le plus pollué du lac,

combinée à une nouvelle gestion des épandages d'agents d'entretien hivernal. Bien que la mise en place officielle d'un quartier blanc ou de routes blanches au nord de l'arrondissement de Charlesbourg (comprenant le bassin versant du lac Clément), soit idéale, l'objectif futur visé devrait principalement prendre la forme d'une diminution des quantités de sels de voirie épandues, voire de remplacer les sels par des abrasifs. En effet, la topographie du bassin versant du lac Clément rend difficile tout projet de déviation de ruisseau ou de modification des tracés des fossés de drainage.

Toutefois, il reste qu'une étape clé de communication, de coordination et de collaboration entre les diverses entités responsables de la gestion hivernale au sein du bassin versant du lac Clément (MTQ, Ville de Québec, entrepreneurs privés) assurerait une première démarche vers une gestion combinée et efficace face à la problématique de dégradation anthropique du lac Clément, de ses tributaires et de la nappe phréatique par les sels de voirie. En parallèle, des séances de sensibilisation des riverains et usagers de la route sur les impacts des sels de voirie et des méthodes de réhabilitation seraient complémentaires aux efforts alors mis de l'avant par les entités responsables de l'entretien hivernal (section 3.1.1.3). Suite à la mise en œuvre de mesures d'atténuation, l'évolution des valeurs de conductivité et de concentrations en ions chlorure pourront être vérifiées facilement à la station CLTR1 (station localisée le plus en aval sur le tributaire principal du lac, qui récolte les eaux d'écoulements des fossés de drainage des trois axes routiers traversant le bassin-versant en question).

Afin d'assurer une gestion adéquate des mesures d'atténuation proposées, un suivi des projets actuellement mis en place au Québec (notamment le projet pilote au lac Saint-Augustin) devra être fait (section 3.1.2.3). Parallèlement, une étude des coûts de construction et d'entretien pour ce même projet serait à réaliser en collaboration avec l'Université Laval et le MTQ, afin d'estimer les coûts reliés à la mise en place du lit filtrant au lac Clément. Des études identiques seront aussi à prévoir pour autres les mesures d'atténuation potentielles (nouvelle gestion de l'épandage de sels de voirie, mise en place de fossés de décantation, etc.).

De plus, dans une optique de gestion de la contamination des ressources en eau, la question de la détermination des sources de contamination de la nappe phréatique et de leur

localisation reste à être étudiée. La réalisation de tests de perméabilité des sols, la détermination de la profondeur de la nappe phréatique, ainsi que l'estimation du temps de renouvellement des eaux de la nappe devront aussi être opérées (sections 2.1.3.1 et 2.1.5).

Face aux problématiques environnementales potentielles suite à l'utilisation d'abrasifs, une détermination de la turbidité des eaux des tributaires et du lac, ainsi qu'un entretien des bassins de décantation devront faire l'objet d'un suivi annuel (sections 3.1.1.1 et 3.1.1.2). Parallèlement, une détermination des concentrations quasi certaines en métaux lourds (Pb, Ni, Cd, Hg - rattachés à la présence d'axes routiers majeurs (annexe 1)), serait pertinente afin d'élaborer un portrait précis de la dégradation anthropique de l'environnement du bassin versant du lac Clément, pour ensuite permettre une gestion plus adaptée.

Finalement, un suivi du phosphore au sein du lac Clément serait intéressant, afin de vérifier l'hypothèse émise d'un relargage du phosphore contenu dans les sédiments suite à la mise en place de conditions anoxiques avec le phénomène de stratification haline (section 2.1.4.2.3). Ce dernier point serait mis en place dès la période d'échantillonnage 2012 par l'APEL.

Bibliographie

Articles scientifiques et documentation

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2009) (2009a) *Rapport final. Étude limnologique du haut-bassin de la rivière Saint-Charles*. Québec ; 230 p.

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2010) (2010a) *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.

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2011) (2011a) *Rapport d'enquête sur les sources de contamination du ruisseau du Valet*. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord, Québec ; 42 p.

Blomqvist, G. et Johansson, E-L. (1999) *Airborne spreading and deposition of de-icing salt – a case study*. The Science of the Total Environment (235): 161-168.

Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement (BAPE) (1988) *Rapport d'enquête et d'audience publique. Prolongement de l'autoroute 73 vers Stoneham*. Gouvernement du Québec ; 69 pages.

Charbonneau, P. (2006) *Sels de voirie : une utilisation nécessaire, mais lourde de conséquences*. Le naturaliste canadien (130): 75-81.

Chenevier, c. (1997) *Synthèse des données physico-chimiques sur les neiges usées au Québec et leurs impacts environnementaux*. Mémoire. Département des génies civils, géologie et des mines ; École Polytechnique de Montréal. Université de Montréal.

Chouinard, A. et Dubé, M. (1999) *Guide approximatif d'application des matériaux de déglacage*. Document transmis le 14/10/2011 ; Grondin, É. (2011) *Contremaître. Division des travaux publics, Arrondissement de Charlesbourg, Ville de Québec*.

Conseil canadien des ministres de l'environnement (2011) Fiche d'information. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – chlorures. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.

Couture, S. (2008) *Demande d'approbation de la route blanche. Entretien hivernal de la route 263*. Document transmis le 16/11/2011. Communication personnelle : Couture, S. (2011) *Chef des opérations. Centre de Service de Lac-Mégantic*. Ministère des Transports du Québec.

Environnement Canada (2004) *Code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie*. Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) [LCPE (1999)].

Galvez, R., Leroueil, S., Triffault-Bouchet, G., Martel, L. (2011) *Étude pilote pour le traitement du ruissellement routier par éco-procédés*. Document transmis le 14/09/2011. Communication personnelle : Galvez, R. (2011) *Professeure titulaire. Directrice du Département de génie civil et de génie des eaux*. Université Laval.

Galvez, R. (2011) *Marais épuratoire construit et adapté et lit filtrant récréatif*. Document transmis le 14/09/2011. Communication personnelle : Galvez, R. (2011) *Professeure titulaire. Directrice du Département de génie civil et de génie des eaux*. Université Laval.

Gerler, A. et al. (2006) A case study of the impact of Winter road sand/salt and street sweeping on road dust re-entrainment. *Atmospheric Environment* (40) : 5976 – 5985.

Horne, J. A et Goldman, C. R. (1994) *Limnology*. Second Edition. New York, McGraw-Hill, Inc.

Joutti et al. (2003) *Ecotoxicity of Alternative De-icers*. *Journal of Soils and Sediments* 3 (4): 269-272

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2010) *Guide relatif à l'aménagement et à l'exploitation d'un centre d'entreposage et de manutention des sels de voirie (CEMS)*, Québec, Le Ministère, Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés ; 10 p.

Ministère de l'Environnement et de la Faune (1997) *La qualité de l'eau des rivières du Québec : état et tendances*. Direction des écosystèmes aquatiques. Fichier PDF. Disponible en ligne. [En ligne] <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/archives/eau/docdeposes/lesdocumdeposes/surf13.pdf> Page consultée le 16 décembre 2011.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2009) *Normes. Zone de fournisseurs – Réseau routier. Tome VI – Entretien. Chapitre 6 – Viabilité hivernale*. Fichier PDF. Disponible en ligne. [En ligne] <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/transports/html/6c6.html> Page consultée le 14 novembre 2011.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2010) (2010a) *La gestion environnementale des sels de voirie au Québec. État de la situation partiel*. Québec, Le Ministère, Direction de l'environnement et de la recherche: 19.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2010) (2010b) *Devis spécial 101. Direction de l'Estrie. Module de l'exploitation. Déneigement, déglacage, fourniture de matériaux et sites d'entreposage. Municipalité de Marston et de Nantes*. Document transmis le 14/11/2011. Communication personnelle : Couture, S. (2011) *Chef des opérations. Centre de Service de Lac-Mégantic*. Ministère des Transports du Québec.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2010) (2010c) *Plan d'arpentage. Projet du lac Clément – Autoroute Laurentienne*. Document transmis le 28/10/2011. Communication personnelle : Falardeau, S. (2011) *Service de l'exploitation DCNAT*. Ministère des Transports du Québec.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2010) (2010d) *La route blanche*. Lac Mégantic. Présentation du Ministère des Transports du Québec. Fichier PDF. Disponible en ligne. [En ligne] <http://centretransform.com/documents/Activites/SHamel.pdf> Page consultée le 14 novembre 2011.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2011) (2011a) *Plan de localisation*. Dossier confidentiel. Document transmis le 16/12/2011. Direction Laboratoire des chaussées. Service de géotechnique et de géologie. Ministère des Transports du Québec.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2011) (2011b) *Résultats synthèse des analyses d'eau*. Dossier confidentiel. Document transmis le 16/12/2011. Direction Laboratoire des chaussées. Service de géotechnique et de géologie. Ministère des Transports du Québec.

Morteau, B. (2008) *Développement d'une chaîne de traitement pour l'atténuation des contaminants provenant des sels de voiries de l'autoroute Félix-Leclerc : lit filtrant et marais épurateur construit adapté*. Rapport I : Lit filtrant. Rapport II : Marais épurateur construit adapté. Rapport présenté à M. Yves Bédard, Ministère des Transports du Québec. Faculté des Sciences et de Génie, Université Laval.

O'Keefe, k, et Xiammin, S. (2005) *Anti-icing and Pre-wetting : Improved Methods for Winter Highway Maintenance in North America*. Prepared for TRB 2006 Annual Meeting. Document PDF. Disponible en ligne. [En ligne] http://www.workzonesafety.org/files/documents/database_documents/Research3074.pdf Page consultée le 18 décembre 2011.

Ramakrishna, D. M. et Viraraghavan, T. (2005) *Environmental impact of chemical deicers – a review*. Water, Air and Soil Pollution (166): 49-63.

Robidoux, P. Y et Delisle, C. E (2001) *Ecotoxicological Evaluation of Three Deicers (NaCl, NaFo, CMA) – Effect on Terrestrial Organisms*. Ecological and Environmental Safety (48): 128-139.

Schulp, U. et Ruess, B. (2001) *Abrasives and Salt : New Research on Their Impact on Security, Economy, and the Environment*. Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board (1741) : 47-53.

Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (SÉTRA) (2011) *L'impact des fondants routiers sur l'environnement*. État des connaissances et pistes d'action. Note d'information du Sétra – Série Économie Environnement Conception n°94. Publication du Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

Ville de Québec (2009) (2009a) *Déneigement de certaines rues de la ville de Québec*. Contrats débutant en 2009 (21 contrats). Appels d'offre VQ-41694. Document transmis le 14/10/2011; Grondin, É (2011) *Contremaître*. Division des travaux publics, Arrondissement de Charlesbourg, Ville de Québec.

Ville de Québec (2009) (2009b) *Gestion des contrats de déneigement*. Profil de la zone. Appel d'offres VQ-41694. Zone de déneigement 4C001. Document transmis le 14/10/2011;

Grondin, É (2011) *Contremaître. Division des travaux publics, Arrondissement de Charlesbourg, Ville de Québec.*

Ville de Saguenay (2007) *Nouveau plan de déneigement à Saguenay.* Fichier PDF.

Disponible en ligne. [En ligne]

http://www.ville.saguenay.qc.ca/media/publications/4514_depliantdeneigementhiver0708.pdf Page consultée le 16 novembre 2011.

Wetzel, R. G (2001) *Limnology. Lake and river ecosystems. Third Edition.* London, Academic Press.

Xianming, S. (2005) *The use of Road Salts for Highway Winter Maintenance : An Asset Management Perspective.* Prepared for the 2005 ITE District 6 Annual Meeting, Kalispell, Montana. Document PDF. Disponible en ligne. [En ligne] http://www.coe.montana.edu/me/faculty/Shi/Highway_Winter_Maintenance_Asset_Management.pdf Page consultée le 18 décembre 2011.

Documentation cartographique

Bolduc, A. M., Paradis, S. J., Parent, M., Michaud, Y. et Cloutier, M (2003) *Géologie des formations superficielles, Québec, Québec.* Commission géologique du Canada. Dossier public 3835, échelle 1/50 000 (version révisée).

Ressources Naturelles Canada (1988) *Carte de dépôts de surface. Région de Québec.* Fichier 211/14. Gouvernement du Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources. Direction générale des Forêts. Direction de l'Aménagement de la Forêt. Service de l'inventaire forestier. Publication du Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources.

Documentation légale

Environnement Canada et Santé Canada (2001) *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999). Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation. Sels de voirie.* Publications du Gouvernement du Canada.

Loi sur la Qualité de l'Environnement, L.R.Q, c. Q-2 et mod. (ci après « L.Q.E »).

Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement, R.R.Q, 1981 c. Q-2, r.9 et mod. (ci après « R.E.E.I.E »).

Bases de données

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2007) *Base de données, APEL.* Données de la période d'échantillonnage de 2007.

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2008) *Base de données, APEL*. Données de la période d'échantillonnage de 2008.

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2009) (2009b) *Base de données, APEL*. Données de la période d'échantillonnage de 2009.

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2010) (2010b) *Base de données, APEL*. Données de la période d'échantillonnage de 2010.

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2011) (2011b) *Base de données, APEL*. Données de la période d'échantillonnage de 2011.

Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2011) (2011c) Fichiers cartographiques (.shp). *Fosses septiques*. Données transférées le 18 octobre 2011.

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2010) *Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) Ministère de l'Environnement – Données de 1981, station du lac Clément (05090008)*. Données transmises le 28 septembre 2011.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2011) (2011c) *Données sur la circulation autoroutière – Agrandissement Notre-Dame-des-Laurentides/Lac-Beauport*. Document transmis le 28 octobre 2011 ; Turcotte, S. (2011) *Ministère des Transports du Québec, Québec*.

Ville de Québec (2011) (2011a) *Carte interactive* [En ligne]
<http://carte.ville.quebec.qc.ca/carteinteractive/> Page consultée le 23 octobre 2011.

Ville de Québec (2011) (2011b) Service de la géomatique. *Courbes de niveau et points cotés. Bassin versant du lac Clément*. [Format .mdb]. Données transmises le 23 septembre 2011.

Experts consultés

Backer, A. (2011) *Conseiller en environnement, Division de la qualité de l'eau. Service de l'environnement*. Ville de Québec. Communication personnelle. 19 août 2011.

Bédard, Y. (2011) *Biologiste (M. Sc.) Services inventaires et plans. Direction de la Capitale Nationale*. Ministère des Transports du Québec. Communication personnelle. 28 octobre 2011.

Behmel, S. (2011) *Chargée de projets*. Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL). Communication personnelle. 22 novembre 2011.

Couture, S. (2011) *Chef des opérations*. Centre de Service de Lac-Mégantic. Ministère des Transports du Québec. Communication personnelle. 14 novembre 2011.

Deschênes, J. (2011) *Conseiller en environnement*. Division de la qualité de l'eau. Service de l'environnement. Ville de Québec. Communication personnelle. 28 novembre 2011.

Falardeau, S. (2011) *Service de l'exploitation DCNAT*. Ministère des Transports du Québec. Communication personnelle. 28 octobre 2011.

Galvez, R. (2011) *Professeure titulaire*. Directrice du Département de génie civil et de génie des eaux. Université Laval. Communication personnelle. 14 septembre 2011.

Gauthier, A. (2011) *Professionnel de recherche*. Faculté des sciences et de génie. Université Laval. Communication personnelle. 19 août 2011.

Grondin, É. (2011) *Contremaître*. Division des travaux publics, Arrondissement de Charlesbourg. Ville de Québec. Communication personnelle. 14 octobre 2011.

Halley, P. (2011) *Professeure*. Faculté de droit. Université Laval. Communication personnelle. 29 novembre 2011.

Lafrance, M. (2011) *Biologiste*. Direction de la Capitale Nationale. Ministère des Transports du Québec. Communication personnelle. 11 novembre 2011.

Lamontagne, Y. (Ing.) (2011) *Service de l'exploitation*. Centre de service de Québec. Ministère des Transports du Québec. Communication personnelle. 28 octobre 2011.

Leclerc, J-M. (2011) *Technicien*. Source confidentielle. Communication personnelle. 7 novembre 2011.

Lévesque, J-G. (2011) *Centre de services de Roberval*. Ministère des Transports du Québec. Communication personnelle. 11 novembre 2011.

Mercier R. P. (2011) *Service de l'environnement*. Ville de Sherbrooke. Communication personnelle. 14 novembre 2011.

Turcotte, S. (2011) *Les Centres de service de la Capitale-Nationale*. Direction de la Capitale Nationale. Ministère des Transports du Québec. Communication personnelle. 28 octobre 2011.

Sites internet

Environnement Canada (2006) *Stratégie de gestion du risque pour les sels de voirie*. [En ligne] <http://www.ec.gc.ca/nopp/roadsalt/reports/fr/rms.cfm> Page consultée le 18 novembre 2011.

Environnement Canada (2010) *Paramètres physiques*. [En ligne] <http://www.ec.gc.ca/eaudouce-freshwater/default.asp?lang=Fr&n=61A967F4-1> Page consultée le 16 décembre 2011.

Environnement Canada (2011) *Données climatiques en ligne. Données mensuelles pour la période 1998 à 2011*. Rapports de données mensuelles pour 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011. [En ligne]

http://www.climat.meteo.gc.ca/climateData/hourlydata_f.html?Prov=QC&StationID=26892&Year=2011&Month=11&Day=30&timeframe=1 Page consultée le 28 novembre 2011.

InfraStructures Branché (1999) *Guide d'application des matériaux de déglacage : un nouvel outil...* [En ligne] <http://www.infrastructures.com/0999/formeval.htm> Page consultée le 17 octobre 2011.

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs ([Ministère du Développement Durable](#)) (2002) (2002a) *Critères de la qualité de l'eau de surface au Québec – Chlorures*. [En ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/details.asp?code=S0118 Page consultée le 21 octobre 2011.

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2002) (2002b) *Le réseau de surveillance volontaire des lacs. Comment évaluer l'eutrophisation?* [En ligne] <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsv/methodes.htm> Page consultée le 1^{er} décembre 2011.

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2002) (2002c) *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. [En ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_grille_eaux.htm#haut Page consultée le 20 février 2012.

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (2003) *Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en œuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige*. [En ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/neiges_usees/gestion_partie1chap2.htm#source-contamination Page consultée le 12 décembre 2011.

Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2007) *Entretien des routes*. [En ligne] http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/grand_public/vehicules_promenade/securite_routiere/securite_conditions_hivernales/entretien_routes_hiver Page consultée le 1^{er} décembre 2011.

North Central Catchment Management Authority (2011) *Stream deviation guidelines*. [En ligne] http://www.nccma.vic.gov.au/What_We_Do/Rivers/Waterways_Wetlands_and_Floodplains/StrategiesPlansandReport/index.aspx?itemDetails=2899&DisplayHTML=true Page consultée le 18 décembre 2011.

Santé Canada (2007) *Liste des substances d'intérêt prioritaire – Rapport d'évaluation pour les sels de voirie* [En ligne] <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl2->

[lsp2/road_salt_sels_voirie/road_salt_sels_voirie_2_1-fra.php](#) page consultée le 25 novembre 2011.

Santé Canada (2008) *Santé dans l'environnement et du milieu de travail. Le chlorure*. [En ligne] <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/chloride-chlorure/index-fra.php> Page consultée le 16 novembre 2011.

Sebci Inc. (Sebci) (2011) *Abra-Mag*. [En ligne] http://www.prommel.com/fr/entreprise/sebci/nos_produits/abramag.asp Page consultée le 14 novembre 2011.

Ville de Magog (2011) *Environnement. Actualités environnementales. 7 novembre 2011 – Le ministère des transports intervient en faveur de la préservation du lac Memphrémagog*. [En ligne] http://www.ville.magog.qc.ca/b_1.asp?idMenu=161 Page consultée le 16 novembre 2011.

Ville de Saguenay (2011) *Services aux citoyens. Quartiers blancs*. [En ligne] http://www.ville.saguenay.qc.ca/citoyen/Travaux,+entretien+et+voirie/travaux_entretien/ru es.htm?lang=fr Page consultée le 16 novembre 2011.

Ville de Sherbrooke (2010) *Un entretien routier hivernal plus durable*. [En ligne] http://www.ville.sherbrooke.qc.ca/webconcepteur/web/Villedesherbrooke/fr/services/entretienvoirie/service.prt?svcid=VS_PAGE_GENERIQUE_CATEGORIES32&iddoc=127902&page=details.jsp Page consultée le 16 novembre 2011.

Annexes

Annexe 1 : Fiche synthèse – Les sels de voirie et l'environnement

La présente annexe a pour objectif de donner un aperçu synthétique des impacts potentiels des sels de voirie au sein d'un environnement se rapprochant du bassin versant du lac Clément.

Les effets toxiques du chlorure de calcium (CaCl_2) et du chlorure de sodium (NaCl) ont été reliés à la présence de l'anion chlorure¹. De manière générale, l'ion chlorure (Cl^-) n'est naturellement pas dominant dans les milieux aquatiques, notamment dans les écosystèmes lacustres². Ainsi, des sources de pollutions anthropiques (utilisation de sels de voirie, rejets d'eaux usées municipales, etc.) aux concentrations en chlorures non négligeables, peuvent avoir un impact énorme sur les écosystèmes lacustres.

Mentionnons toutefois que l'ion chlorure reste très présent naturellement dans l'écosystème. Ainsi, les concentrations moyennes en ions chlorure dans les précipitations en milieu terrestre (neige et pluie) atteignent des valeurs notables de 4,7 $\mu\text{g/L}$ (Wetzel, 2001).

1) PASSAGE DES FONDANTS DANS L'ENVIRONNEMENT

- Les agents déglaçants (sels de voirie) peuvent se dissoudre dans la neige fondante et se disperser dans l'environnement avoisinant par le phénomène de ruissellement en surface³ (figure 27).
- La circulation routière peut quant à elle, être la cause de la projection de sel ou de sel partiellement dissous au sein de l'environnement bordant l'axe routier. Le sel sera alors déposé sur la végétation, ou percolera dans le sol et sera alors disponible pour les

¹ Conseil canadien des ministres de l'environnement (2011) *Fiche d'information. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – chlorures*. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.

² Wetzel, R. G (2001) *Limnology. Lake and river ecosystems*. Third Edition. Oxford, Academic Press.

³ Ramakrishna, D. M. et Viraraghavan, T. (2005) *Environmental impact of chemical deicers – a review*. Water, Air and Soil Pollution (166): 49-63.

espèces végétales présentes. Ce dernier pourrait aussi atteindre la nappe phréatique sous-jacente (*Ibid.*).

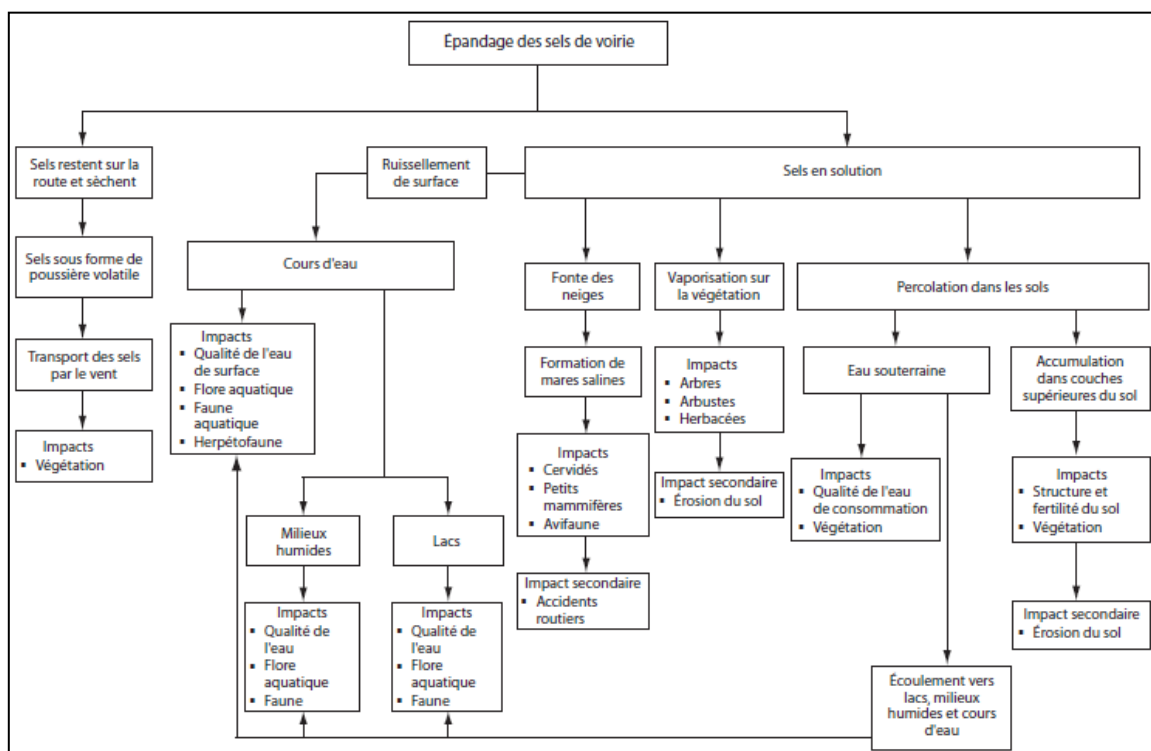


Figure 27 : Flux des sels de voirie dans l'environnement

Source : Charbonneau, P. (2006) *Sels de voirie : une utilisation nécessaire, mais lourde de conséquences*. *Le naturaliste canadien* (130): 75-81.

- La neige et la glace contenant du sel de déglacage, ramassées et entreposées dans un autre environnement, peuvent causer une contamination ailleurs que le lieu d'épandage initial (*Ibid.*).
- Les impacts du vent, en fonction des caractéristiques du territoire en question (topographie, couloirs aériens, degré d'exposition, densité du couvert végétal) ne doivent pas non-plus être négligés (figure 27). Suite à de nombreuses études, une

moyenne de 20 à 63% des sels de voirie transportés par le vent et déposés entre 2 et 40 mètres d'un axe routier a été déterminée⁴.

Cependant, le comportement de chacun des ions constitutifs détermine aussi les impacts futurs sur l'environnement⁵.

A) Le composé chimique « actif »

Définition : Composé chimique mélangé à la glace ou à l'eau, permettant d'abaisser le point de congélation du mélange (chlorure de sodium (NaCl), chlorure de calcium (CaCl₂), chlorure de magnésium (MgCl₂), l'urée, les fondants à base d'acétate ou formiate de sodium ou potassium) (*Ibid.*).

- Composés chimiques dont « les quantités sont régulées dans le milieu naturel par des processus d'échange, de réactions, complexation, etc. entre les différents compartiments de l'environnement (eau, sol, biomasse) » : ions non-conservatifs (*Ibid.*).
 - Ions sodium (Na⁺), sulfates (SO₄²⁻), calcium (Ca²⁺), magnésium (Mg²⁺) et potassium (K⁺)
 - « Une partie sera directement retenue par les particules du sol puis mobilisée par la végétation » (*Ibid.*).
 - Les cations (Na⁺ ou K⁺) « vont s'absorber sur les particules négatives du sol en désorbant d'autres cations comme l'ion Ca²⁺ », ralentissant ainsi leur vitesse de migration dans l'eau (*Ibid.*).
 - Ces derniers détiennent donc un « rôle dans la capacité d'échange cationique des sols », une « caractéristique essentielle de la structuration d'un sol » (*Ibid.*).

⁴ Blomqvist, G. et Johansson, E-L. (1999) *Airborne spreading and deposition of de-icing salt – a case study*. The Science of the Total Environment (235): 161-168.

⁵ Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (SÉTRA) (2011) *L'impact des fondants routiers sur l'environnement. État des connaissances et pistes d'action*. Note d'information du Sétra – Série Économie Environnement Conception n°94. Publication du Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

- Composés chimiques ne subissant peu ou pas d'échanges, ni de complexation et s'accumulant progressivement dans le milieu : ions conservatifs.
 - Ion chlorure
 - Ce dernier « suit sous une forme soluble le cycle de l'eau sans retard et sans perte. Sa concentration dans l'eau n'est influencée ni par les réactions chimiques, ni par les réactions biologiques. Il ne se volatilise pas, ne précipite pas facilement (les concentrations dans les eaux dépassent rarement la limite de solubilité), ne s'accumule pas non plus sur les particules du sol et s'accumulera donc dans les zones de ralentissement ou de stockage des eaux. Par conséquent, presque tous les ions chlorure qui pénètrent dans les sols ou les eaux souterraines atteindront les eaux de surface quelques années ou décennies plus tard » (*Ibid.*).

B) L'additif anti-mottant : le ferrocyanure de sodium, l'hexacyanoferrate de sodium, de potassium ou de calcium

Définition : Additif évitant la prise en masse du fondant en question (*Ibid.*).

- Très soluble dans l'eau.
- La mise en solution « se fait par dissociation du cation ou de l'anion ferrocyanure $[\text{Fe}(\text{CN}_6)]^{4-}$ stable et peu toxique. En solution aqueuse, ou lorsqu'ils sont exposés à la lumière, les ions complexes $[\text{Fe}(\text{CN}_6)]^{4-}$ se décomposent lentement, libérant de petites quantités d'acide cyanhydrique. Le caractère toxique des produits de photolyse du ferrocyanure est atténué par de nombreux processus d'élimination ou de complexation » (*Ibid.*).
- Au Canada, le ferrocyanure de sodium est l'agent anti-mottant le plus couramment utilisé. Ce produit a pour caractéristique de se décomposer en ions cyanure lorsque placé dans une solution aqueuse et exposé au soleil. « Bien qu'il ne soit présent qu'en petites quantités, il peut être toxique pour le milieu aquatique ». ⁶En effet, « l'anion ferrocyanure est peu toxique sous sa forme complexée, mais en solution il subit une photodécomposition qui entraîne la libération d'ions cyanure, dont l'hydrolyse subséquente forme du

⁶ Environnement Canada (2006) *Stratégie de gestion du risque pour les sels de voirie*. [En ligne] <http://www.ec.gc.ca/nopp/roadsalt/reports/fr/rms.cfm> Page consultée le 18 novembre 2011.

cyanure d'hydrogène » (*Ibid.*). Les impacts restent nombreux : sur les milieux terrestres et aquatiques, sur la survie des microorganismes, des végétaux, des invertébrés et des vertébrés (*Ibid.*).

C) Les insolubles et les éléments traces dans les fondants

- Quantité et nature varient en fonction de l'origine du fondant (*Ibid.*).
- Insolubles : notamment les carbonates, les sulfates, les silicates, sables ou argiles. Éléments traces : arsenic (As), plomb (Pb), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), nickel (Ni), mercure (Hg), zinc (Zn), fer (Fe), aluminium (Al), etc. (*Ibid.*).
- Malheureusement, ces derniers ont actuellement fait l'objet de peu d'études. En France, diverses normes gèrent toutefois les teneurs autorisées (*Ibid.*).

2) PROBLÉMATIQUE DE MOBILISATION DES MÉTAUX LOURDS

Les fondants routiers ont de plus la caractéristique d'augmenter la mobilité, ainsi que la bio-disponibilité des métaux lourds dans les sols adjacents aux routes et s'ajoutant « aux métaux lourds déjà présents (éléments traces) dans la composition du fondant » (SÉTRA, 2011).

Les métaux lourds (cadmium, chrome, cuivre, nickel, plomb et zinc) ont notamment pour origine l'usure des pneumatiques, des plaquettes de freins, de la carrosserie, ainsi que de la corrosion des matériaux constitutifs des équipements de la route (*Ibid.*). Dans une situation d'exposition de ces éléments à des concentrations élevées de sodium et à des apports hydriques de faible salinité (fonte des neiges et/ou des pluies), nous observons une augmentation considérable du risque de mobilisation et de dispersion des colloïdes (*Ibid.*).

Dans d'autres situations, « des complexes peuvent également se former entre les éléments métalliques et les ions chlorure comme c'est le cas par exemple avec le mercure. Libérés sous cette forme dans la solution du sol, les métaux lourds (dont le mercure) sont alors rendus bio-disponibles pour les organismes vivants et s'accumulent

dans la chaîne alimentaire. Toxiques ou polluants, même à de faibles concentrations (à partir de 1 mg/L le cadmium présente par exemple une toxicité aiguë pour la truite ; le mercure à partir de 2 mg/L et 0,02 mg/L respectivement pour les invertébrés et poissons) font peser une menace sur l'environnement » (*Ibid.*).

3) IMPACTS DES SELS DE VOIRIE SUR LES ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES

A) Une modification des propriétés physico-chimiques des milieux aquatiques

En ce qui concerne les tributaires (milieux riverains) d'un lac, les impacts des sels de voirie sont discernables majoritairement par une augmentation de la conductivité des eaux de ces milieux.

Les pics de conductivité dépendent toutefois de différents facteurs (Ramakrishna et Viraraghavan, 2005). Des concentrations en ions chlorure sont observées lors des périodes de dégel. Toutefois, la littérature scientifique sur le sujet traite de périodes de concentrations en ions chlorure plus importantes que les concentrations de base, notamment lors d'épisodes de tempêtes de neige (*Ibid.*).

Durant la période estivale, les sels accumulés dans les sols à proximité des axes routiers peuvent être transportés jusque dans les cours d'eau, créant ainsi des périodes de pics de salinité en été. Bien que les concentrations alors retrouvées ne soient pas aussi importantes que celles observées en hiver, celles-ci peuvent persister tout au long des saisons printanières et estivales, en fonction des caractéristiques des sols avoisinants (*Ibid.*).

Pour ce qui est des milieux lacustres, la modification principale des conditions physico-chimiques des lacs se caractérise généralement par une « augmentation progressive et généralisée des concentrations des éléments en présence à l'interface sédiment-eau » (SÉTRA, 2011).

De plus amples détails sont synthétisés au tableau 20.

B) Perturbation du brassage saisonnier et du renouvellement des eaux lacustres

Les eaux chargées en chlorure de sodium, se concentrant dans le fond des lacs en période de fonte des neiges, perturbent le cycle de brassage vertical saisonnier des eaux lacustres. En effet, l'eau salée (plus dense que l'eau douce) coule au fond de l'environnement lacustre pour y former une couche (Ramakrishna et Viraraghavan, 2005). « Au printemps, les différences de densités n'étant plus seulement dues à une stratification thermique, il n'y a plus de brassage saisonnier des eaux » (*Ibid.*).

Nous observons alors la mise en place de conditions anoxiques dans les couches profondes, tandis que les couches supérieures s'appauvrissent en nutriments. Les impacts restent toutefois particulièrement importants pour les environnements lacustres de taille et de profondeur réduites, présentant un faible volume d'eau et un faible taux de renouvellement des eaux (*Ibid.*).

C) Facteurs aggravants

- Faible taux de renouvellement (eaux stagnantes pour les milieux lacustres ou les tourbières)
- Faible débit (petits ruisseaux peu profonds et à faible vitesse d'écoulement)
- Faible capacité de dilution (vastes plans d'eau, nombre limité de sources d'alimentation)
- Faible minéralisation des eaux (« les eaux minéralisées ont un pouvoir tampon plus élevé que les eaux peu minéralisées » (*Ibid.*)) (*Ibid.*).

D) Impacts sur la flore aquatique

- Problématique de « disparition de communautés végétales spécifiques des milieux peu minéralisés, au profit d'autres espèces moins sensibles aux variations de la composition des eaux et aux fluctuations de concentrations de sels » (*Ibid.*).
- Impacts sur les communautés de phytoplancton, producteurs d'oxygène et à la base de la chaîne alimentaire (*Ibid.*).

- Des corrélations entre la présence de sodium et la présence de cyanobactéries (algues bleues) ont été démontrées (Ramakrishna et Viraraghavan, 2005).

E) Impacts sur la faune aquatique

- Impacts de l'action des ions Cl^- et Na^+ sur l'équilibre osmotique (impacts pour les poissons, les crustacés, les amphibiens) et sur la variation de la salinité de l'eau (impacts pour les invertébrés et les microorganismes) (Ramakrishna et Viraraghavan, 2005 et Wetzel, 2001).
- Perturbations (répercussions) au niveau de l'ensemble de la chaîne alimentaire (impacts pour les invertébrés, les microorganismes, les amphibiens, les crustacés, les poissons et les mammifères) (tableau 20).

4) IMPACTS DES SELS DE VOIRIE SUR LE SOL

Parmi les impacts de l'épandage de fondants, nous devons mentionner les effets nocifs potentiels sur les propriétés physico-chimiques des sols : impacts sur la perméabilité, la structure, l'humidité, le gonflement, le potentiel osmotique, la conductivité électrique et le pH (*Ibid.*).

- Possibilité d'altération de la structure chimique et physique, ainsi que perte potentielle de la stabilité du sol (floculation de l'argile).
- Modification de la composition chimique de la solution de sol (perte de cations basiques) et impacts sur la régularisation osmotique des végétaux par les cations présents dans les fondants routiers.
- « Perturbation des processus de décomposition en raison d'effets indirects sur la mobilisation des particules du sol et des communautés de décomposeurs de la matière organique » (*Ibid.*).

- Au Canada, « l'intégrité des sols, la pédofaune et la végétation [sont] protégés à des concentrations d'environ 60 mg de Na/L et 90 mg de Cl/L »⁷

Le degré de percolation dans le sol dépend toutefois de la perméabilité du sol, ainsi que de la période de l'année. Les sols peu perméables se caractérisent par un écoulement superficiel des eaux de ruissellement chargées de sels en solution. Cette situation est particulièrement caractéristique de la saison hivernale avec la présence de gel (Ramakrishna et Viraraghavan, 2005).

5) IMPACTS DES SELS DE VOIRIE SUR LES AQUIFÈRES

Les sels de déglçage peuvent percoler à travers le sol et atteindre l'aquifère sous-jacent. Les quantités d'ions retenues par la couche de sol dépendent de différents critères :

1. La nature du sol
2. La présence de fractures
3. La perméabilité des couches de sol traversées
4. La capacité d'échange d'ions des différentes couches de sols
5. L'épaisseur du couvert de végétation
6. Le type d'ion en question
7. Le niveau d'humidité du sol
8. La profondeur de l'aquifère (Ramakrishna et Viraraghavan, 2005).

L'impact principal des sels de voirie sur les aquifères se traduit par une contamination des ressources en eau, en raison d'une altération des caractéristiques organoleptiques de ces dernières (goût salé ajouté à l'eau destinée à une consommation domestique) (*Ibid.*). Au Canada, l'objectif esthétique pour la concentration de chlorure dans l'eau a été fixé à 250 mg/L. Au-dessus de cette valeur, un changement de goût de

⁷ Environnement Canada (2004) *Code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie*. Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) [LCPE (1999)].

l'eau potable peut être observé⁸. Aucun impact sur la santé humaine ne sera toutefois ressenti.

Selon les conditions géologiques, mentionnons finalement que la « remontée du chlorure à la surface peut prendre de 5 à plus de 200 ans » (Environnement Canada, 2006).

6) IMPACTS DES AGENTS DÉGLAÇANTS ORGANIQUES ALTERNATIFS

Des agents déglaçants, tels que le formate de potassium (KFo), le formiate de sodium (NaFo), l'acétate de potassium (KAc) et l'acétate de calcium magnésium (CMA) constituent des alternatives organiques de déglaçage face aux sels de voirie (NaCl, CaCl₂ et MgCl₂)⁹. Ces derniers n'ont pas les propriétés corrosives du NaCl (*Ibid.*). Le formiate de sodium (NaFo) et l'acétate de calcium magnésium (CMA) constituent les agents alternatifs de déglaçage les plus intéressants, en raison de leur disponibilité sur le marché, leurs caractéristiques et leur potentiel de toxicité¹⁰.

Des études de toxicité ont notamment conclu que le calcium de magnésium était moins toxique que le formiate de sodium (CMA<NaFo). Toutefois, les actions combinées des agents CMA et NaFo seraient égaux aux impacts du chlorure de sodium (NaCl), en raison d'une utilisation plus importante des deux premiers afin d'obtenir les mêmes résultats possibles avec le chlorure de sodium (NaCl) (*Ibid.*). Des études de toxicité comparatives plus récentes ont toutefois démontré que les agents organiques déglaçants ont des impacts notables sur l'environnement. Ces derniers seraient aussi plus toxiques que les sels de voirie (Joutti et al., 2003).

⁸ Santé Canada (2008) *Santé dans l'environnement et du milieu de travail. Le chlorure*. [En ligne] <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/chloride-chlorure/index-fra.php> Page consultée le 16 novembre 2011.

⁹ Joutti et al. (2003) *Ecotoxicity of Alternative De-icers*. Journal of Soils and Sediments 3 (4): 269-272.

¹⁰ Robidoux, P. Y et Delisle, C. E (2001) *Ecotoxicological Evaluation of Three Deicers (NaCl, NaFo, CMA) – Effect on Terrestrial Organisms*. Ecological and Environmental Safety (48): 128-139.

7) CRITÈRES DE SURVEILLANCE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX- SYNTHÈSE

Les critères pour l'évaluation des impacts des sels de voirie et des ferrocyanures sur les écosystèmes aquatiques, tels que définis par Environnement Canada, sont synthétisés dans le tableau suivant.

Tableau 20 : L'évaluation des impacts des sels de voirie sur les eaux de surface et sur les aquifères, ainsi que les impacts des ferrocyanures sur les mêmes milieux.

<p>Eaux de surface</p>	<p>Court terme : <i>Si une surveillance continue ou presque est effectuée, utiliser les objectifs de l'EPA des É. U. pour les concentrations à court terme : la concentration moyenne de chlorure sur 1 heure ne doit pas excéder 860 mg/L plus d'une fois tous les 3 ans en moyenne.</i></p> <p><i>En cas de surveillance occasionnelle : 140 mg Cl/L, sur la base de la CL₅₀ sur 96 h pour le <i>Ceriodaphnia dubia</i> avec un coefficient de sécurité de 10.</i></p> <p>Long terme : <i>Si une surveillance continue ou presque est effectuée, utiliser les objectifs de l'EPA des É. U. pour les concentrations à long terme : la concentration moyenne de chlorure sur 4 jours, quand elle est associée au sodium, ne doit pas excéder 230 mg/L plus d'une fois tous les 3 ans en moyenne.</i></p> <p><i>En cas de surveillance occasionnelle : A) 35 mg Cl/L, sur la base d'une CMEO sur 33 jours de 352 mg Cl/L pour la reproduction chez le <i>Pimephales promelas</i> avec un coefficient de sécurité de 10. B) Des modifications importantes des assemblages de diatomées et de chrysophytes ont été associées à des variations relativement faibles de la salinité (d'environ 12 à 235 mg Cl/L et d'environ 20 à 387 mg NaCl/L). C) <i>Dans un objectif de veiller à ce que le mélange saisonnier qui se produit dans les masses d'eau de surface ne soit pas perturbé : Des conditions méromictiques sont apparues dans les lacs où les concentrations de sel dans le monimolimnion étaient de 58,4 mg Na/L et 103,7 mg Cl/L. On a aussi observé une anoxie des eaux profondes dans un lac du nord des É. U. après que les concentrations de chlorure aient passé de 19 mg Cl/L à 260 mg Cl/L.</i></i></p>
<p>Ferrocyanures</p>	<p>En ce qui concerne la concentration critique de toxicité (µg/L) pour les microorganismes aquatiques, la bactérie <i>Pseudomonas putida</i> est la plus sensible, subissant une inhibition significative de sa croissance après exposition à une concentration de HCN de 1µg/L durant 16h. Cette donnée n'est affectée d'aucun coefficient de sécurité.</p> <p>En ce qui concerne les vertébrés aquatiques, l'objectif fondé sur</p>

	<p>l'évaluation pour l'eau pourrait être de 1 µg/L CN/, sur la base de l'inhibition de la ponte chez les poissons à 5 et 5,2 µg CN/L, avec un coefficient de sécurité de 5.</p> <p>La concentration chronique finale pour le CN établie par l'EPA des É. U. est de 5,221 µg/L. Cela équivaut à une concentration de HCN de 5,422 µg/L.</p>
Eaux souterraines	Les valeurs à court et à long terme présentées pour les organismes des eaux de surface devraient assurer la protection des organismes des eaux souterraines.
<p>Notes : « CN » : cyanure libre ; « HCN » : cyanure d'hydrogène ; « CME0 » : concentration minimale avec effet observé ; « CL₅₀ » : concentration létale moyenne</p>	

Source : Environnement Canada (2006) *Stratégie de gestion du risque pour les sels de voirie*. [En ligne] <http://www.ec.gc.ca/nopp/roadsalt/reports/fr/rms.cfm> Page consultée le 18 novembre 2011.

Annexe 2 : Fiche synthèse – Les abrasifs et l’environnement

De nombreux impacts découlent d’une utilisation d’abrasifs (mélange de granulats et de 5% de sels) pour un entretien hivernal des tronçons routiers. Les connaissances sur les impacts environnementaux pouvant en découler restent toutefois encore sujets à discussion et sont encore à développer¹¹. La présente fiche se veut ainsi une description synthèse des problématiques principales reliées à une utilisation d’abrasifs.

- 1) Diffusion jusqu’à 50% du sel contenu dans les mélanges sables-sels, entreposés en tas non recouverts, dans l’environnement¹²
- 2) Présence de polluants dans certains types d’abrasifs (scories ou granulés) (*Ibid.*).
- 3) Génération de matières en suspension¹³ et de fines poussières « pouvant pénétrer dans les voies respiratoires et provoquer une pneumoconiose » (*Ibid.*). L’utilisation d’agents liquides de déglçage (NaCl) et de sels pré-mouillés serait alors favorable face à cette problématique¹⁴. Les techniques de pré-mouillage permettraient aussi d’augmenter l’efficacité des sels de voirie et des abrasifs, et assurer une réduction de l’épandage de ces derniers¹⁵. Les performances des techniques de pré-mouillages restent toutefois encore à être vérifiées¹⁶ (section 2.2.2.1).

¹¹ Service d’études sur les transports, les routes et leurs aménagements (SÉTRA) (2011) *L’impact des fondants routiers sur l’environnement. État des connaissances et pistes d’action*. Note d’information du Sétra – Série Économie Environnement Conception n°94. Publication du Ministère de l’Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

¹² Ministère du Développement Durable, de l’Environnement et des Parcs (MDDEP) (2010) *Guide relatif à l’aménagement et à l’exploitation d’un centre d’entreposage et de manutention des sels de voirie* (CEMS), Québec, Le Ministère, Direction des matières résiduelles et des lieux contaminés ; 10 p.

¹³ Chenevier, c. (1997) *Synthèse des données physico-chimiques sur les neiges usées au Québec et leurs impacts environnementaux*. Mémoire. Département des génies civils, géologie et des mines ; École Polytechnique de Montréal. Université de Montréal

¹⁴ Gerler, A. et al. (2006) *A case study of the impact of Winter road sand/salt and street sweeping on road dust re-entrainment*. Atmospheric Environment (40) : 5976 – 5985.

¹⁵ O’Keefe, k, et Xiammin, S. (2005) *Anti-icing and Pre-wetting : Improved Methods for Winter Highway Maintenance in North America*. Prepared for TRB 2006 Annual Meeting. Document PDF. Disponible en ligne. [En ligne] http://www.workzonesafety.org/files/documents/database_documents/Research3074.pdf Page consultée le 18 décembre 2011.

¹⁶ Lamontagne, Y. (Ing.) (2011) *Service de l’exploitation. Centre de service de Québec*. Ministère des Transports du Québec. Communication personnelle. 28 octobre 2011.

- 4) D'importantes quantités d'abrasifs restent prises dans les neiges usées. Le taux de capture des abrasifs dans la neige se situe aux alentours de 80%¹⁷.
- 5) Le problème de recyclage, du coût de la récupération et du nettoyage des abrasifs épandus (SÉTRA, 2011).
- 6) Impacts environnementaux au niveau du recyclage des abrasifs : besoins en énergie et en eau, émissions atmosphériques et génération de déchets¹⁸.
- 7) Selon certains auteurs, les impacts environnementaux des abrasifs seraient plus importants que les impacts des sels de voirie ; d'autant plus que des quantités plus importantes d'abrasifs (x7) sont nécessaires pour traiter un même tronçon de route que si traité par des sels de déglçage¹⁹.
- 8) Des impacts sur la végétation, les écosystèmes aquatiques et terrestres peuvent être observés (O'Keefe et Xianming, 2005), notamment en raison des quantités de sels mélangées avec les abrasifs et une modification de l'équilibre écologique dans l'environnement adjacent aux axes routiers (Schulp et Ruess, 2001). Les abrasifs peuvent se retrouver sous forme de débris ou de matières en suspension au sein de l'environnement. Les débris peuvent recouvrir le benthos, causer des dommages aux frayères, ainsi qu'être la cause de nuisances à la suite de l'ingestion par les organismes (MDDEP, 2003). Les matières en suspension augmentent quant à elles la turbidité, diminuant ainsi la photosynthèse, augmentant la température de l'eau et maintenant la stratification des couches d'eau (*Ibid.*).
- 9) Pour un traitement efficace des eaux des neiges usées, une zone de décantation doit être mise en place afin de réduire les quantités de matières en suspension et en déchets (*Ibid.*).

¹⁷ Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (2003) *Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en œuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige*. [En ligne] http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/neiges_usees/gestion_partie1chap2.htm#source-contamination Page consultée le 12 décembre 2011.

¹⁸ Schulp, U. et Ruess, B. (2001) *Abrasive and Salt : New Research on Their Impact on Security, Economy, and the Environment*. Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board (1741) : 47-53.

¹⁹ Xianming, S. (2005) *The use of Road Salts for Highway Winter Maintenance : An Asset Management Perspective*. Prepared for the 2005 ITE District 6 Annual Meeting, Kalispell, Montana. Document PDF. Disponible en ligne. [En ligne] http://www.coe.montana.edu/me/faculty/Shi/Highway_Winter_Maintenance_Asset_Management.pdf Page consultée le 18 décembre 2011.

Annexe 3 : Fiche synthèse – Évolution des paramètres physico-chimiques (température, oxygène dissous, pH, transparence de la colonne d'eau) entre 2007 et 2011 ; station CL05

Afin de compléter les sections 2.1.4.1 et 2.1.4.2, l'annexe 3 se veut une description synthèse de l'évolution des paramètres physiques que sont la température (°C), l'oxygène dissous (mg/L), le pH, la transparence de la colonne d'eau (m) entre 2007 et 2011.

L'ensemble des données mesurées au lac Clément entre 2007 et 2011 pour la station CL05 (figure 3) est présenté à la (figure 18) (profils de température, oxygène dissous, pH et conductivité). Les figure 19 et figure 20 présentent quant à elles les données mesurées pour les stations CL01, CL02 et CL05 (profils de température, oxygène dissous, pH et conductivité) pour les deux périodes d'échantillonnage (le 11 août et le 18 octobre 2011). L'ensemble des données brutes sont quant à elles présentées à l'annexe 5.

- **Profils de températures** : La mise en place d'une stratification thermique a été observée au cours des printemps 2007 à 2010, ainsi qu'au cours des étés 2008 à 2010. De plus, un mélange automnal de la colonne d'eau est observable à l'aide des températures mesurées pour les mois d'octobre de 2008 à 2010²⁰. Toutefois, une température anormalement élevée de l'épilimnion (> 25°C) doit être notée pour le mois de juillet 2010 (figure 18) (*Ibid*). Par la suite, aucune stratification de la colonne d'eau n'est observable pour le mois d'août 2010. La température moyenne de toute la colonne d'eau était alors de 21°C. Plusieurs hypothèses ont été mises de l'avant par l'APEL afin d'expliquer ces phénomènes : *a*) « un réchauffement du lac par réverbération par des murs de soutènement décoratifs et le manque de végétation en rive » ; *b*) « des températures extérieures élevées » (figure 28) ; *c*) « un hiver doux ayant permis un réchauffement plus tôt dans la saison » (figure 28) (*Ibid*).

²⁰ Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2010) (2010a) *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.

- **2011** : Nous observons la mise en place d'une stratification thermique lors de la saison printanière (mai 2011) et ce, pour les stations CL01, CL02 et CL05 (figure 18 et figure 19). Par la suite, identiquement aux années 2007-2010, les données recueillies au mois d'octobre indiquent la mise en place d'un mélange automnal de la colonne d'eau (figure 18 et figure 19).
- **Profils d'oxygène dissous et de pH** : Une bonne oxygénation de l'épilimnion (> 6 mg/L d'oxygène dissous) est observable pour la période 2007 – 2010. Une diminution de la concentration en oxygène dissous dans l'hypolimnion est aussi observable pour la même période. En moyenne, la masse d'eau située sous 4 m de profondeur « était peu oxygénée [< 4 mg/L d'oxygène dissous] et parfois anoxique » (APEL, 2010a). Les profils de pH pour les années 2007-2010 (diminution du pH en fonction de la profondeur) s'expliquent par la diminution en oxygène dissous en fonction de la profondeur.
- **2011** : Nous observons en 2011 (stations CL01, CL02 et CL05), identiquement aux années 2007-2010, des valeurs d'oxygène dissous supérieures à 6 mg/L dans l'épilimnion ; ainsi qu'une diminution de la concentration en oxygène dissous dans l'hypolimnion. Parallèlement, la masse d'eau située en dessous de 4 m de profondeur reste peu oxygénée (< 4 mg/L d'oxygène dissous). Toutefois, nous observons un pic d'oxygénation de la couche d'eau située à 3,5 m de profondeur le 18 octobre 2011 (figure 19). La présence d'une couche d'eau oxygénée, en raison d'un courant d'eau interne ou d'une remontée des eaux oxygénées de la nappe phréatique au niveau de la station CL05 pourrait être une hypothèse expliquant ce phénomène. Toutefois, aucune augmentation brusque des valeurs en oxygène dissous n'est observable pour la période d'échantillonnage du 18 octobre 2011 à la station CL05. Les valeurs en oxygène dissous observables à 3,5 m le 11 août 2011 se rattacheraient donc uniquement à la présence de courants d'eau internes au lac. Finalement, nous observons une variation du pH (diminution avec la profondeur) en fonction des valeurs d'oxygène dissous

- **Profils de transparence de la colonne d'eau** : Une transparence de la colonne d'eau allant jusqu'à 5,25 m a été mesurée en 2010 (APEL, 2010a). Cette situation indique que le niveau de toxicité pour la productivité biologique est probablement déjà atteint (tableau 21).

Tableau 21 : Classes des niveaux trophiques des lacs avec les valeurs correspondantes de transparence de la colonne d'eau (m)

Classes trophiques		
Classe principale	Classe secondaire (transition)	Transparence (m)
Ultra-oligotrophe		> 12
Oligotrophe		12 - 5
	<i>Oligo-mésotrophe</i>	6 - 4
<i>Mésotrophe</i>		5 - 2,5
	<i>Méso-eutrophe</i>	3 - 2
Eutrophe		2,5 - 1
Hyper-eutrophe		< 1

Lac Clément :
stade mésotrophe inférieur

Source : Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2002) (2002b) *Le réseau de surveillance volontaire des lacs. Comment évaluer l'eutrophisation?* [En ligne] <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsvl/methodes.htm> Page consultée le 1^{er} décembre 2011.

- **2011** : Une transparence maximale de 4,05 m a été atteinte à la station CL05 le 11 août 2011 (tableau 22). Celle-ci avait toutefois diminué au mois d'octobre (2,35 m) (tableau 22), pour atteindre la plus faible valeur de transparence de la colonne d'eau enregistrée à la station CL05 depuis 2007 pour le mois d'octobre (annexe 5). Ce phénomène pourrait notamment être expliqué par des précipitations particulièrement importantes durant le mois d'août ; puis non négligeables durant les mois de septembre et d'octobre 2011 (figure 28).

Tableau 22 : Transparence de la colonne d'eau aux stations CL01, CL02 et CL05 pour les mois d'août et octobre 2011.

Stations	Transparence de la colonne d'eau (m)		Profondeur de la colonne d'eau (m)
	11 août 2011	18 octobre 2011	Profondimètre
CL01	3,75	2,15	3,8
CL02	3,75	NA	4,0
CL05	4,05	2,35	6,7

Source : Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2011) (2011b) *Base de données, APEL*. Données de la période d'échantillonnage de 2011.

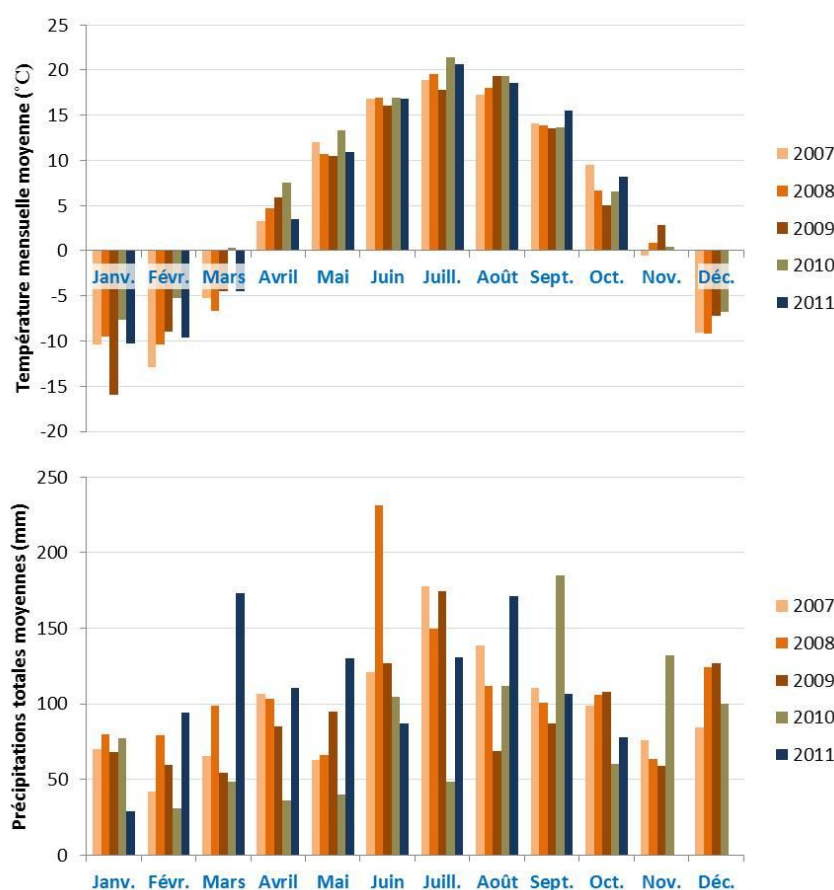


Figure 28 : Températures annuelles moyennes (°C) et précipitations totales mensuelles (mm d'eau) – mesures effectuées à l'aéroport Jean-Lesage, Québec

Source : Environnement Canada (2011) *Données climatiques en ligne. Données mensuelles pour la période 1998 à 2011*. Rapports de données mensuelles pour 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011. [En ligne]

http://www.climat.meteo.gc.ca/climateData/hourlydata_f.html?Prov=QC&StationID=26892&Year=2011&Month=11&Day=30&timeframe=1 Page consultée le 28 novembre 2011.

Annexe 4 : Évolution de la conductivité (2011)

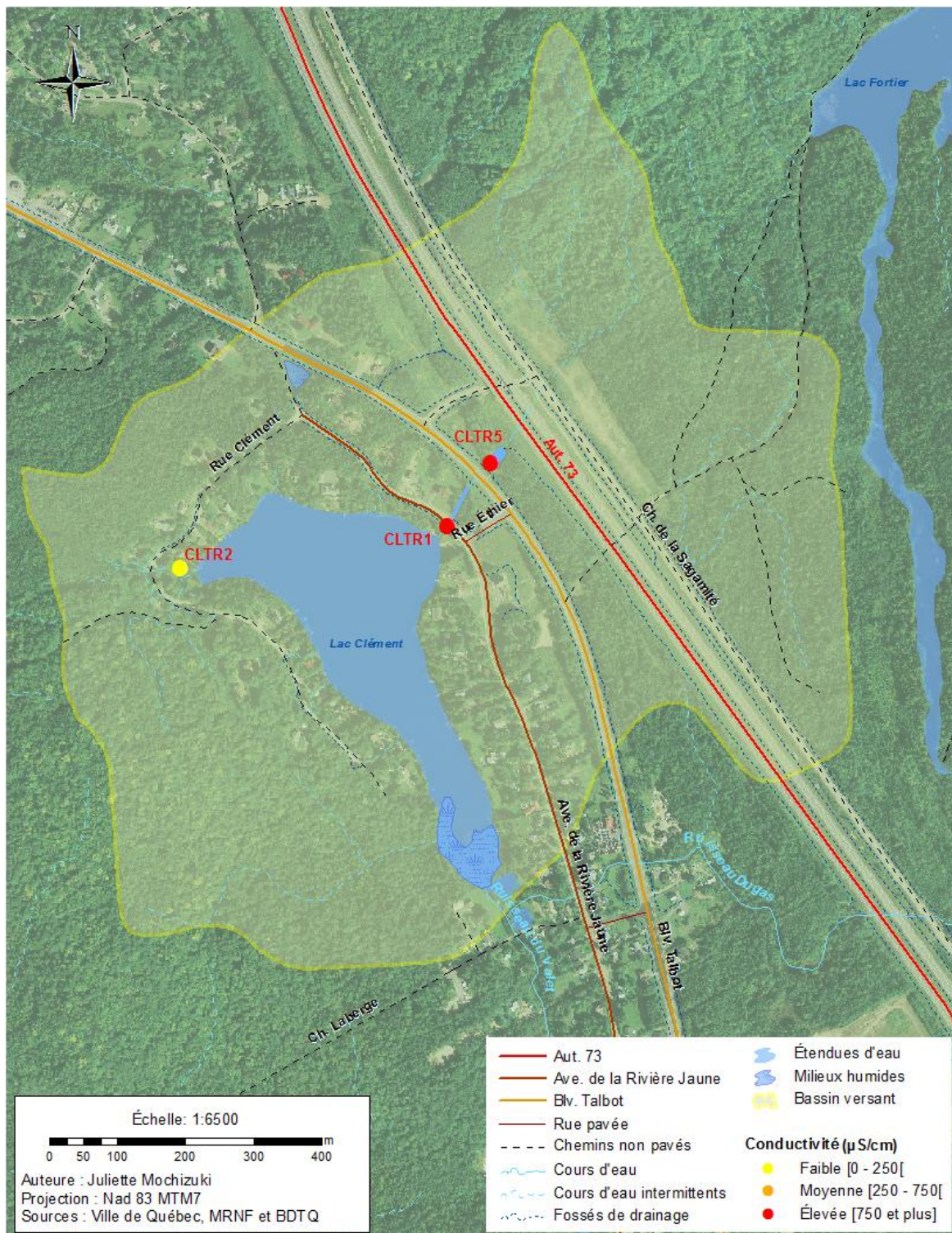


Figure 29 : Conductivité ($\mu\text{S/cm}$) aux stations CLTR1, CLTR2 et CLTR5, le 17 mars 2011

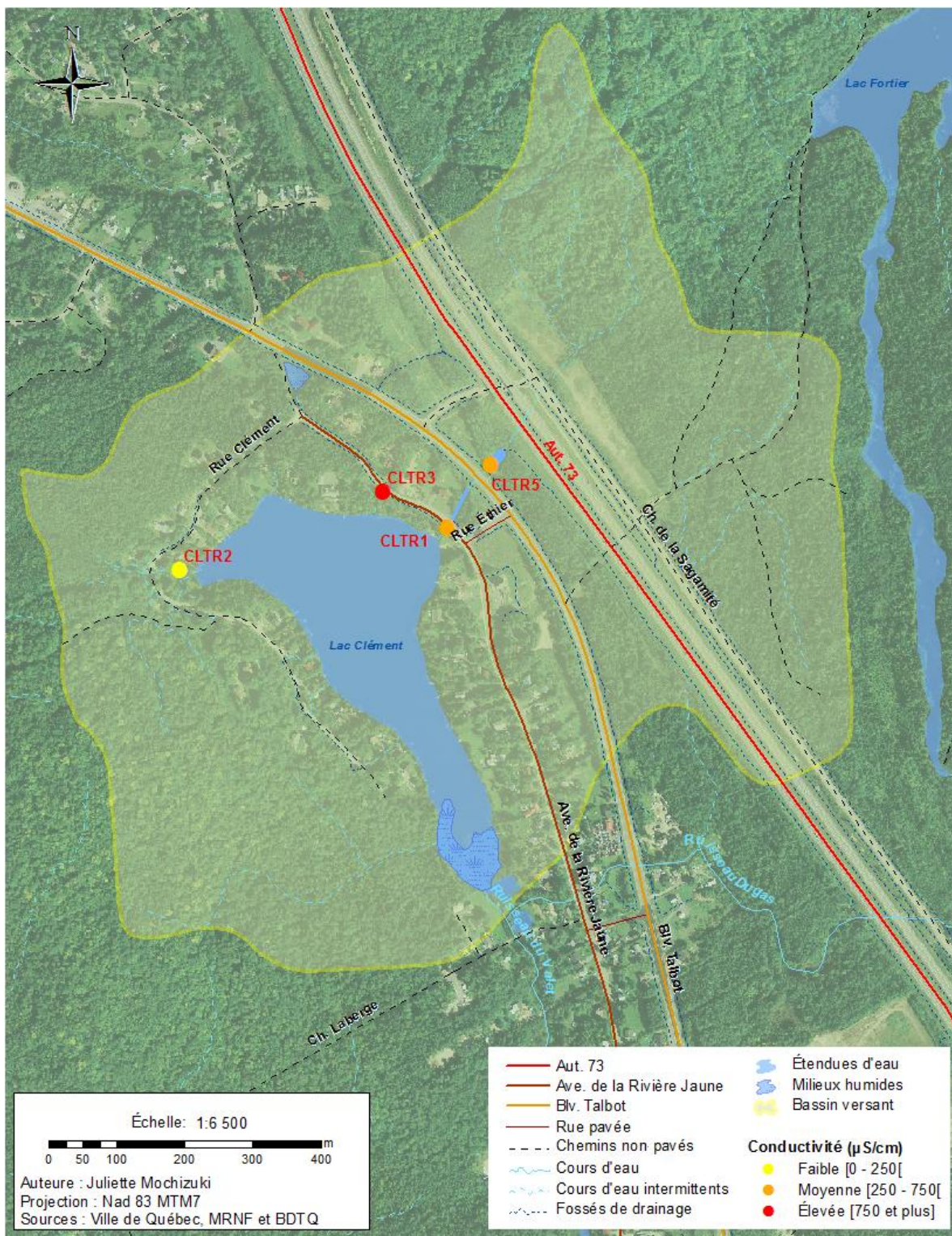


Figure 30 : Conductivité (µS/cm) aux stations CLTR1, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, le 16 mai 2011

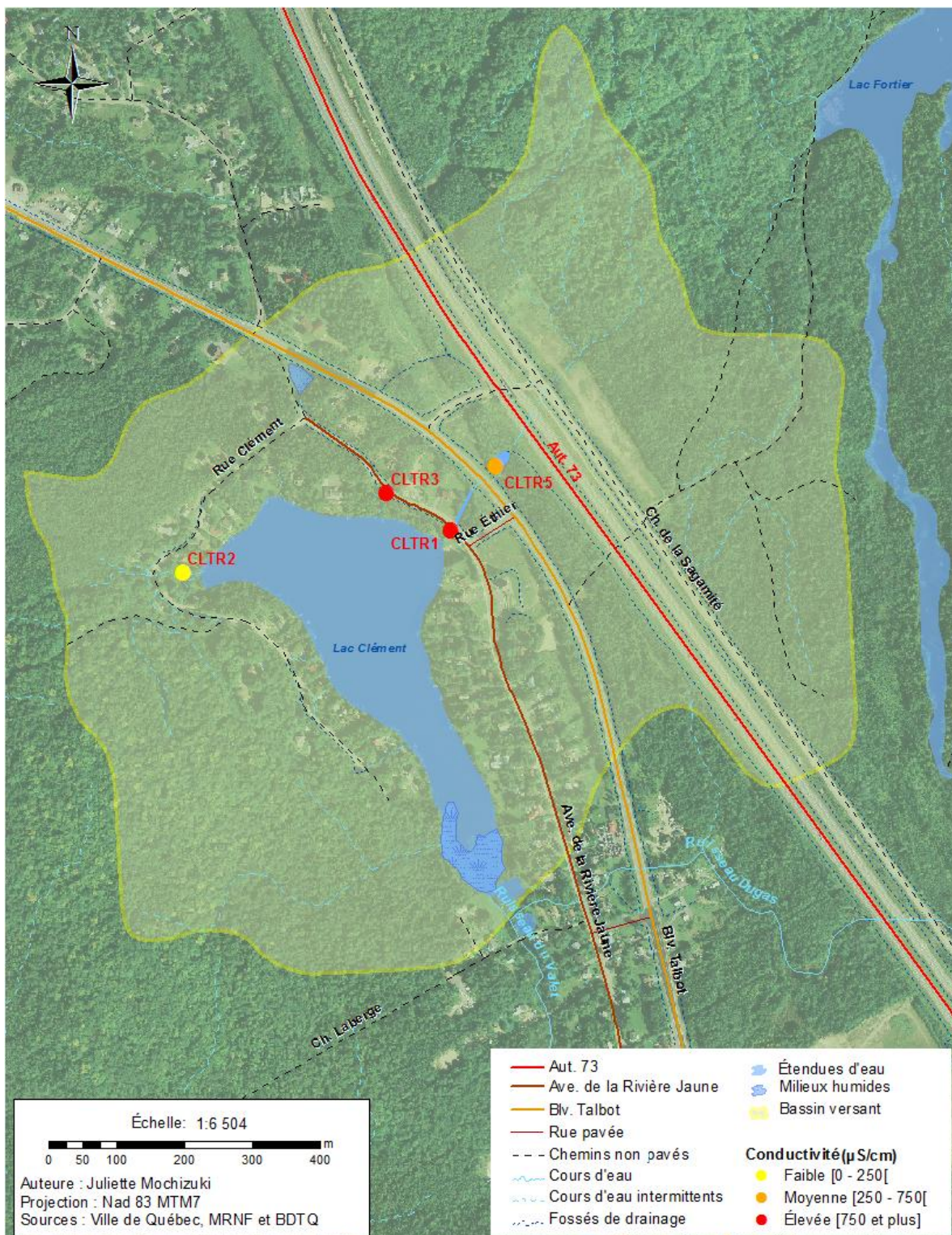


Figure 31 : Conductivité (µS/cm) aux stations CLTR1, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, le 27 juin 2011

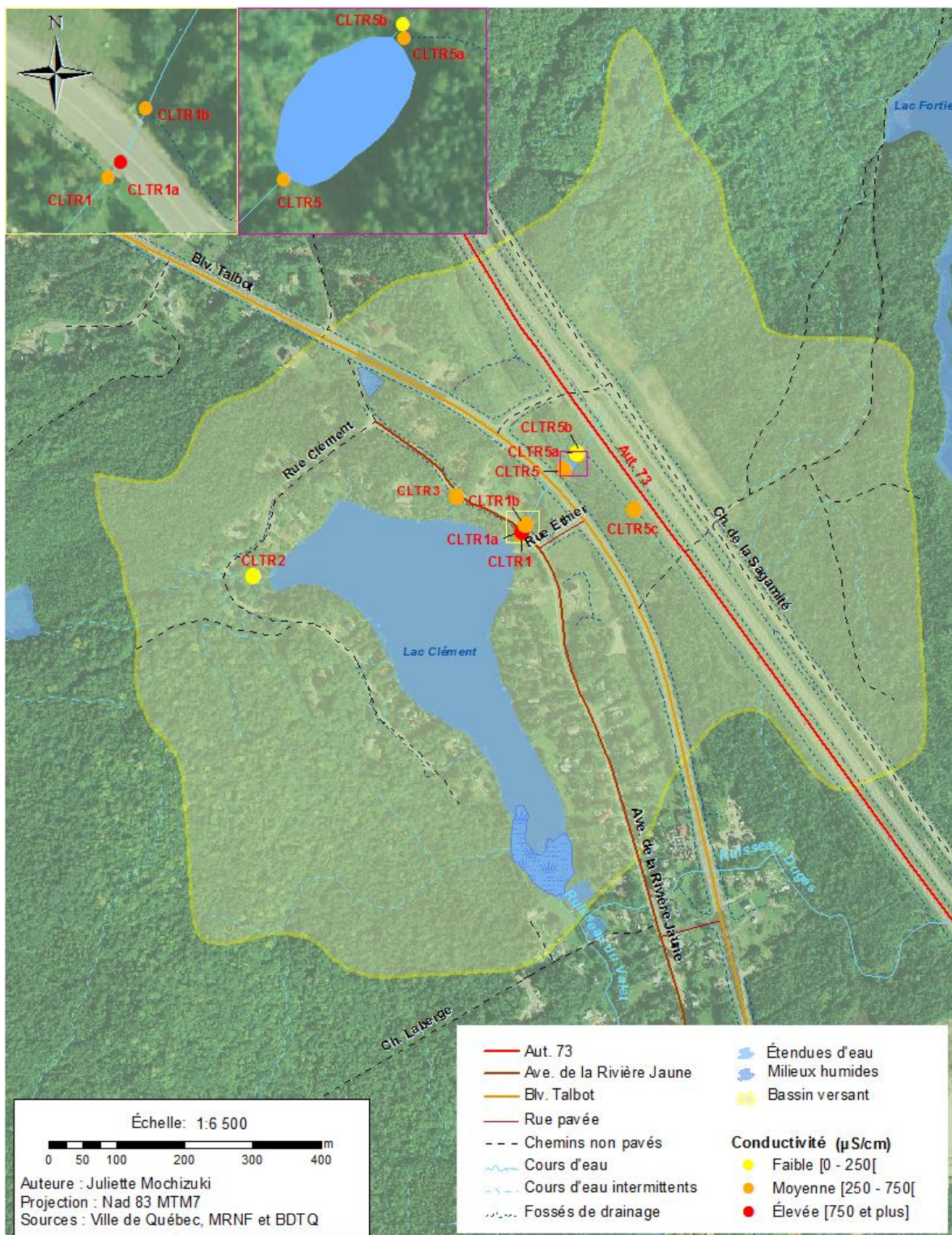


Figure 32 : Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) aux stations CLTR1, CLTR1a, CLTR1b, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c, le 11 août 2011

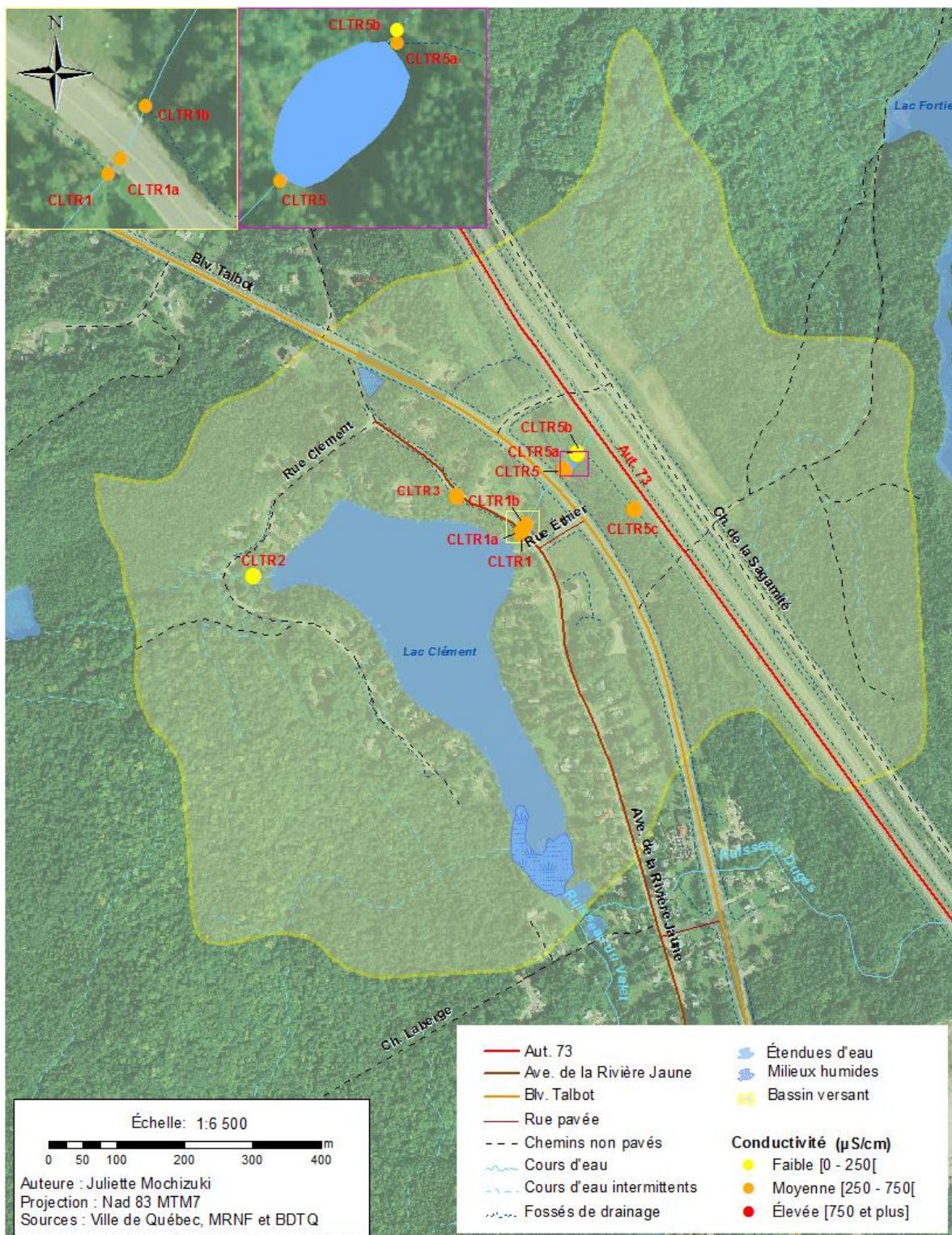


Figure 33 : Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) aux stations CLTR1, CLTR1a, CLTR1b, CLTR2, CLTR3 et CLTR5, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c, le 18 octobre 2011.

Annexe 5 : Ensemble des données physico-chimiques (lac et tributaires)

Tableau 23 : Ensemble des données physico-chimiques pour la station CL05 – 2007 à 2011

Date	Z (m)	Zmax (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	[OD] (mgO ₂ /L)	pH	Conductivité (µS/cm-1)	Cl (mg/L)
5-juin-07	0,0	5,1	4,5	17,86	9,34	7,84	705	
	0,5			17,86	9,3	7,83	705	
	1,0			17,85	9,23	7,82	705	
	1,5			17,82	9,22	7,82	704	
	2,0			17,81	9,2	7,81	704	
	2,5			17,72	9,15	7,8	707	
	3,0			14,4	9,83	7,49	917	
	3,5			11,81	10,36	7,22	1156	
	4,0			9,88	9,72	7,13	1275	
	4,5			nd	nd	nd	nd	
5,0	7,96	3,65	6,85	1302				
10-juil-07	0,0	5,7	4,6	20,60	9,02	7,9	780	
	0,5			20,40	8,9	7,9	780	
	1,0			20,22	8,84	7,9	782	
	1,5			20,19	8,78	7,9	782	
	2,0			20,20	8,83	7,9	781	
	2,5			20,10	8,78	7,9	781	
	3,0			19,90	8,38	7,8	796	
	3,5			19,09	7,64	7,4	900	
	4,0			16,89	3,38	7,0	1231	
	4,5			15,43	1,29	7,0	1301	
5,0	14,42	0,27	6,9	1323				
16-août-07	0,0		5,1	20,87	8,49	7,75	701	
	0,5			20,72	8,38	7,73	701	
	1,0			20,6	8,48	7,74	699	
	1,5			20,54	8,41	7,74	699	
	2,0			20,46	8,14	7,69	707	
	2,5			20,43	8,04	7,66	707	
	3,0			20,35	7,98	7,66	704	
	3,5			20,24	7,51	7,56	725	
	4,0			19,61	3,33	7,18	914	
	4,5			18,00	1,11	6,99	1104	
5,0	17,16	0,25	7,05	1127				
27-sept-07	0,0	5,8	4,0	17,19	12,84	7,76	680	
	0,5			17,21	13,18	7,79	680	

	1,0			17,21	13,24	7,79	680	
	1,5			17,16	13,45	7,8	680	
	2,0			16,65	13,01	7,74	680	
	2,5			16,22	12,45	7,69	680	
	3,0			15,92	11,83	7,64	681	
	3,5			15,74	10,57	7,57	682	
	4,0			15,55	7,86	7,36	683	
	4,5			15,37	3,85	7,24	691	
	5,0			15,3	2,28	7,17	693	
14-mai-08	0,0	5,8	3,1	16,82	5,92	7,43	533	130
	0,5			17,08	6	7,43	558	
	1,0			16,58	6,06	7,44	558	
	1,5			16,07	5,66	7,38	554	
	2,0			12,46	6,22	7,09	783	
	2,5			7,51	4,59	6,85	1361	
	3,0			5,18	3,89	6,83	1470	
	3,5			4,47	3,69	6,84	1566	
	4,0			4,01	3,07	6,82	1709	
	4,5			3,79	1,61	6,80	1879	
	5,0			4,23	1,35	6,81	1943	550
	5,5			4,37	0,00	6,74	2024	
7-juil-08	0,0	5,8	2,3	23,14	7,88	6,91	512	
	0,5			22,79	7,3	6,89	512	
	1,0			22,02	7,41	6,86	513	
	1,5			20,27	6,97	6,61	505	
	2,0			18,58	7,41	6,57	508	
	2,5			17,02	6,74	6,39	667	
	3,0			15,34	6,82	6,22	1181	
	3,5			13,21	7,22	6,24	1477	
	4,0			11,21	6,26	6,23	1609	
	4,5			9,53	2,33	6,15	1752	
	5,0			8,81	0	6,12	1797	
	5,5			8,52	0	6,11	1810	
27-aout-08	0,0		4,3	22,03	9,28	7,59	497	
	0,5			21,23	9,27	7,62	498	
	1,0			20,36	9,11	7,63	494	
	1,5			19,99	8,86	7,58	502	
	2,0			19,71	8,73	7,57	497	
	2,5			18,25	6,55	7,27	727	
	3,0			16,31	4,24	6,92	1183	
	3,5			14,46	2,69	6,82	1402	
	4,0			12,46	1,73	6,78	1617	
	4,5			11,4	1,61	6,78	1680	

	5,0			10,74	1,2	6,8	1697	
	5,5			10,65	1,29	6,8	1692	
30-oct-08	0,0	2,75		6,66	11,64	7,71	656	
	0,5			6,66	11,63	7,71	656	
	1,0			6,62	11,61	7,72	656	
	1,5			6,6	11,64	7,73	657	
	2,0			6,57	11,63	7,74	657	
	2,5			6,56	11,64	7,74	657	
	3,0			6,56	11,65	7,75	657	
	3,5			6,53	11,68	7,75	657	
	4,0			6,53	11,72	7,76	657	
	4,5			6,52	11,72	7,76	657	
	5,0			6,51	11,71	7,76	657	
	5,5			6,63	11,66	7,75	676	
12-mai-09	0,0	5,8	3,4	12,85	9,61	7,38	646	160
	0,5			12,74	9,50	7,40	648	
	1,0			12,57	9,58	7,40	649	
	1,5			12,38	9,69	7,40	649	
	2,0			11,87	9,67	7,27	722	
	2,5			9,92	10,72	6,87	1141	
	3,0			7,06	9,81	6,81	1308	
	3,5			5,50	7,34	6,74	1442	
	4,0			4,67	6,84	6,70	1667	
	4,5			4,52	6,97	6,69	1925	
	5,0			4,64	4,38	6,63	2057	600
	5,5			4,73	3,04	6,61	2117	
23-juil-09	0,0	5	3,35	22,12	8,50	7,64	668	180
	0,5			22,10	8,62	7,63	668	
	1,0			21,99	7,87	7,63	669	
	1,5			21,66	8,04	7,55	669	
	2,0			21,12	7,68	7,68	672	
	2,5			20,76	7,81	7,48	672	
	3,0			20,13	7,17	7,43	672	
	3,5			18,90	6,76	7,21	923	
	4,0			17,08	4,97	6,94	1265	390
	4,5			14,90	2,10	6,86	1599	
	4,75			14,25	1,03	6,81	1650	
27-août-09	0,0	5	4,375	21,19	7,02	7,63	753	190
	0,5			21,22	6,78	7,63	753	
	1,0			21,23	6,63	7,62	753	
	1,5			21,22	6,67	7,61	753	
	2,0			21,22	6,70	7,61	753	
	2,5			21,21	6,76	7,61	753	

	3,0			21,18	6,62	7,62	752	
	3,5			20,78	5,75	7,27	837	
	4,0			18,34	0,57	6,69	1517	
	4,5			17,54	0,30	6,67	1601	460
	4,75			16,83	0,08	6,70	1651	
26-oct-09	0,0	5	3,85	5,04	9,69	7,77	770	180
	0,5			5,03	9,38	7,77	771	
	1,0			5,03	9,40	7,78	771	
	1,5			5,03	9,44	7,82	773	
	2,0			5,02	9,16	7,81	775	
	2,5			5,01	9,08	7,81	775	
	3,0			5,02	9,18	7,81	775	
	3,5			5,02	9,08	7,81	775	
	4,0			5,02	9,01	7,81	775	
	4,5			5,03	9,07	7,81	775	180
	5,00			5,03	8,60	7,70	775	
29-avr-10	0,0	5,8	4,5	9,99	10,55	8,49	678	
	0,5			9,99	10,32	14,00	674	
	1,0			9,99	10,29	14,00	674	
	1,5			10,00	10,22	14,00	674	
	2,0			9,99	10,30	14,00	674	
	2,5			9,99	10,35	14,00	674	
	3,0			9,99	10,36	14,00	674	
	3,5			8,91	11,54	14,00	698	
	4,0			7,80	10,64	14,00	815	
	4,5			7,21	6,11	14,00	1072	
	5,0			6,80	1,92	14,00	1193	
	5,5			6,66	0,30	14,00	1221	
07-juin-10	0,0	6,4	4,675	18,02	7,71	14,00	714	
	0,5			18,01	7,30	14,00	715	
	1,0			17,88	7,53	14,00	717	
	1,5			17,79	7,45	14,00	718	
	2,0			17,73	7,53	14,00	718	
	2,5			17,66	7,51	14,00	716	
	3,0			17,38	7,77	14,00	716	
	3,5			16,94	9,26	14,00	730	
	4,0			15,31	9,08	14,00	767	
	4,5			14,39	6,56	14,00	846	
	5,0			13,62	1,41	14,00	907	
	5,5			13,02	0,07	14,00	937	
15-juil-10	0,0	5,5	4,125	26,46	6,65	14,00	745	
	0,5			26,35	6,63	14,00	745	
	1,0			26,16	6,58	14,00	746	

	1,5			25,96	6,60	14,00	746	
	2,0			25,44	6,26	14,00	742	
	2,5			22,92	7,16	14,00	738	
	3,0			21,63	6,03	14,00	739	
	3,5			20,68	5,41	14,00	734	
	4,0			19,84	3,62	14,00	742	
	4,5			19,02	1,10	14,00	781	
	5,0			18,13	0,00	14,00	814	
	5,5			17,86	0,00	14,00	822	
24-août-10	0,0	5,9	5,25	21,49	6,61	7,56	757	
	0,5			21,46	6,64	7,59	757	
	1,0			21,19	6,88	7,63	757	
	1,5			21,15	6,90	7,64	756	
	2,0			21,10	6,54	7,61	756	
	2,5			21,07	6,53	7,63	757	
	3,0			21,04	6,66	7,67	757	
	3,5			20,98	6,50	7,62	757	
	4,0			20,93	5,96	7,56	755	
	4,5			20,86	5,94	7,54	757	
	5,0			20,82	5,00	7,44	756	
	5,5			20,68	3,57	7,35	758	
14-oct-10	0,0		3,675	9,97	8,22	7,07	616	
	0,5			9,96	7,79	7,13	616	
	1,0			9,96	7,74	7,21	616	
	1,5			9,96	7,59	7,24	616	
	2,0			9,95	7,58	6,89	616	
	2,5			9,93	7,68	6,96	616	
	3,0			9,91	7,78	6,98	616	
	3,5			9,88	8,36	7,02	616	
	4,0			9,86	7,66	7,07	616	
	4,5			9,86	7,84	7,06	616	
	5,0			9,86	6,53	7,10	616	
	5,5			9,86	6,54	7,10	616	
16-mai-11	0,20			12,43	10,38	8,12	587,33	142
	0,56			12,44	10,39	7,91	587	
	1,05			12,46	10,39	7,83	587,75	
	1,50			12,45	10,39	7,78	588	
	1,89			12,23	10,18	7,68	599,25	
	2,50			7,78	9,63	7,31	975,50	
	3,00			5,35	8,64	7,21	1079,25	
	3,51			4,80	7,82	7,14	1142,50	
	4,00			4,55	6,93	7,09	1233,33	
	4,50			4,68	5,83	7,06	1355,67	

	4,99			4,63	3,89	7,03	1425,67	
	5,41			4,84	0,59	7,00	1493,33	352
27-juin-11	0,24			19,03	8,78	7,64	545	132
	0,50			18,78	8,74	7,66	545	
	1,03			18,22	8,75	7,66	544	
	1,51			18,01	8,67	7,65	543	
	2,50			16,32	10,15	7,30	774	
	3,00			13,30	nd	nd	1040	
	3,51			9,90	11,59	7,07	1128,6	
	4,01			8,16	11,00	7,01	1237,8	
	4,51			7,36	4,38	6,90	1352,75	
	5,00			6,96	0,77	6,85	1389	
	5,50			6,73	0,30	6,88	1420,25	305
11-août-11	0,207	6,5	4,05	20,999	7,609	7,655	613	135
	1,035			21,000	7,573	7,640	613	
	1,482			21,006	7,568	7,640	612	
	2,051			21,000	7,558	7,630	613,75	
	2,500			20,900	7,430	7,575	627	
	2,996			20,483	7,168	7,350	706,75	
	3,457			17,580	9,900	7,175	1069,5	
	4,056			14,420	7,070	7,030	1224	
	4,503			12,906	3,438	6,962	1310,6	
	5,068			11,930	1,698	6,930	1341,25	177
18-oct-11	0,22	6,7	2,35	11,86	8,38	7,41	513	69
	0,49			11,89	8,34	7,41	513	
	1,03			11,91	8,31	7,41	513	
	1,50			11,91	8,29	7,41	513	
	2,04			11,89	8,27	7,41	513	
	2,50			11,87	8,27	7,41	513	
	3,04			11,84	8,20	7,41	512,67	
	3,51			11,83	8,09	7,38	514	
	4,01			11,82	7,97	7,37	516	
	4,50			11,78	7,87	7,36	515	
	5,51			11,90	0,35	7,02	815	121

Tableau 24 : Ensemble des données physico-chimiques pour les stations CL01 et CL02 - 2011

Station	Date	Z (m)	Zmax (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	[OD] (mgO ₂ /L)	pH	Conductivité (µS/cm-1)
CL01	11-août-11	0,213	3,8	3,75	20,993	7,598	7,670	609
		0,499			21,0	7,56	7,670	609
		0,994			20,995	7,56	7,665	609
		1,515			21,0	7,548	7,660	609
		2,009			20,995	7,54	7,660	610
		2,442			20,98	7,5	7,650	610
		2,995			20,43	7,43	7,510	641
		3,005			20,375	7,43	7,505	642,5
		3,511			17,253	7,575	7,120	1037,75
	18-oct-11	0,21	3,7	2,15	11,89	8,25	7,40	514
		0,50			11,89	8,21	7,41	514
		1,02			11,89	8,19	7,41	513,67
		1,50			11,88	8,21	7,41	513
		2,03			11,88	8,19	7,41	513
		2,51			11,87	8,08	7,39	514
		3,00			11,87	8,03	7,39	515
		3,51			11,88	8,01	7,38	515
		CL02			11-août-11	0,164	4	3,75
0,511	20,99		7,58	7,640		611		
0,993	20,99		7,56	7,640		611		
1,460	20,99		7,56	7,640		611		
2,031	20,98		7,55	7,636		611		
2,500	20,958		7,53	7,630		611,75		
3,022	20,035		7,138	7,530		615		
3,494	17,74		5,807	7,040		1065,667		

Tableau 25 : Ensemble des données physico-chimiques pour les stations CLTR1, CLTr2, CLTR3, CLTR5, CLTR5a, CLTR5b et CLTR5c – 2008 à 2011

Station	Date	Temp (°C)	[OD] (mgO ₂ /L)	pH	Conductivité (µS/cm-1)	Cl (mg/L)
CLTR1	28-mars-08	1,10	nd	8,50	3660	93
	04-avr-08	nd	nd	nd	3078	nd
	11-avr-08	nd	nd	nd	1383	nd
	16-avr-08	nd	nd	nd	980	270
	01-mai-08	7,73	10,73	6,89	1196	nd
	14-mai-08	15,44	7,55	7,03	872	220
	21-mai-08	12,12	12,99	7,54	874	nd
	07-juil-08	16,07	9,35	6,73	608	nd
	23-mars-09	1,52	18,67	6,88	3095	1000
	06-avr-09	3,07	13,76	6,66	1013	240
	23-avr-09	2,99	12,89	7,23	400	110
	12-mai-09	9,71	12,70	7,22	1061	270
	15-mars-10	3,03	13,50	7,88	744	200
	30-mars-10	3,45	13,41	7,54	1082	302
	13-avr-10	3,57	12,38	9,08	901	215
	29-avr-10	4,69	11,20	nd	1075	289
	07-juin-10	12,28	9,94	nd	1027	252
	15-juil-10	18,08	7,55	nd	1448	359
	24-août-10	15,44	nd	7,65	1407	296
	14-oct-10	7,86	10,33	7,13	674	130
	17-mars-11	1,13	12,78	7,83	1411	730
	16-mai-11	5,89	11,68	7,59	697	164
	27-juin-11	15,82	8,98	7,6925	869	200
11-août-11	14,383	9,470	7,683	508,667	92	
18-oct-11	10,92	10,32	7,39	306,67	48	
CLTR1A	11-août-11	16,592	7,948	7,310	826,8	148
	18-oct-11	10,36	9,10	7,11	625,33	nd
CLTR1B	11-août-11	15,142	9,454	7,628	508	nd
	18-oct-11	10,21	10,42	7,41	316	nd
CLTR2	1-mai-08	7,74	98,3	6,41	86	nd
	14-mai-08	nd	nd	nd	nd	<1
	7-juil-08	7,69	100,4	6,52	48	nd
	23-mars-09	nd	nd	nd	nd	nd
	6-avr-09	2,49	197,8	6,91	76	5,70
	23-avr-09	4,74	101,3	7,34	61	2,90
	12-mai-09	6,67	117,4	7,39	75	3,60
	15-mars-10	5,01	95,7	7,85	125	15
	30-mars-10	4,01	94,9	8,89	91	6

	13-avr-10	7,92	94,7	7,96	69	3
	29-avr-10	6,32	91,9	nd	83	5
	07-juin-10	14,63	nd	nd	nd	11
	15-juil-10	18,41	nd	nd	nd	nd
	24-août-10	nd	nd	nd	nd	nd
	14-oct-10	8,49	10,98	6,88	100	4
	17-mars-11	4,64	10,91	7,32	96	nd
	16-mai-11	5,65	11,85	7,56	40,33	3
	27-juin-11	10,98	10,26	7,87	88,50	3
	11-août-11	13,027	9,468	7,657	154,167	4
	18-oct-11	9,14	10,08	7,08	109	< 2
CLTR3	7-juil-08	21,88	7,97	7,01	758	nd
	23-mars-09	nd	nd	nd	nd	nd
	6-avr-09	1,73	22,73	7,10	754	150
	23-avr-09	4,01	11,10	7,36	875	120
	12-mai-09	14,78	10,20	7,74	921	190
	15-mars-10	5,01	12,58	7,85	781	180
	30-mars-10	4,01	12,02	8,89	937	194
	13-avr-10	7,92	10,21	7,96	971	177
	29-avr-10	6,32	9,67	nd	1068	220
	07-juin-10	14,63	8,46	nd	950	178
	15-juil-10	18,41	6,96	nd	1205	228
	24-août-10	17,13	8,84	7,54	1220	225
	14-oct-10	8,67	8,91	7,9	967	171
	17-mars-11	6,73	11,01	7,60	nd	5
	16-mai-11	nd	nd	nd	851	162
	27-juin-11	21,84	7,38	7,60	957	177
11-août-11	16,147	8,521	7,364	739,571	114	
18-oct-11	9,84	9,68	7,29	641	85	
CLTR5	17-mars-11	1,33	12,58	7,64	2217	637
	16-mai-11	5,60	11,95	7,44	530	130
	27-juin-11	19,35	9,14	7,56	724	169
	11-août-11	15,023	9,317	7,568	459	81
	18-oct-11	10,20	10,63	7,24	641	38
CLTR5a	11-août-11	15,177	9,144	7,490	493	nd
	18-oct-11	10,33	10,08	7,29	289	nd
CLTR5b	11-août-11	14,334	10,63	7,24	191	nd
	18-oct-11	10,69	10,28	7,16	100	nd
CLTR5c	11-août-11	15,293	8,270	7,230	492	nd
	18-oct-11	10,42	9,26	7,10	270,25	nd

Source : Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord (APEL) (2011) *Base de données, APEL*. Données de la période d'échantillonnage de 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011.