

Présence de métaux dans l'eau de
surface du bassin versant de la rivière
Bécancour, secteur minier de
Thetford Mines



Décembre 2015

Équipe de travail

Rédaction : Marie Vézina Cormier

Révision : Simon Lemieux

Échantillonnage : Jonathan Daigle

Analyse des échantillons : Claude Fortin

Photos: Jonathan Daigle

Cartographie : Jonathan Daigle

Le GROBEC est un organisme à but non lucratif ayant pour mandat de mettre en place la gestion intégrée de l'eau sur le territoire des bassins versants de la zone Bécancour.



Ce document est réalisé par :

**Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour
(GROBEC)**

1800 avenue St-Laurent #1, Plessisville, Québec, G6L 2P8
Téléphone : 819-980-8038, Télécopieur : 819-980-8039
Adresse courriel : grobec@grobec.org
Site internet : www.grobec.org

Remerciement :

GROBEC tient à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la rédaction de ce document.

Monsieur Réjean Hébert, ing. Géo PhD, Directeur de la recherche, secteur minéral du Centre de technologie minérale et de plasturgie inc.

Madame Armelle Le Gouic, Responsable de la collection et de la programmation du Musée minéralogique et minier de Thetford Mines

Monsieur Claude Fortin, Professeur-chercheur de la Chaire de recherche du Canada en Biogéochimie des éléments traces et de l'Institut national de la recherche scientifique Centre-Eau, Terre et Environnement

Monsieur Nicolas Roy, géologue et professeur au CÉGEP de Thetford

Monsieur Francis Donati-Daoust, géologue et professeur au CÉGEP de Thetford

Monsieur Serge Hébert, coordonnateur des réseaux de suivi de la qualité des cours d'eau au MDDELCC

Ce projet a été réalisé avec l'appui financier de :
This project was undertaken with the financial support of:



Environnement
Canada

Environment
Canada

**Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques**

Québec



Table des matières

Remerciement	4
Table des figures.....	6
Table des cartes	7
Table des tableaux	8
Table des graphiques	9
Résumé.....	10
1.0 Introduction	10
1.1 Description du territoire	11
1.2 Sites d'échantillonnage.....	15
1.3 Historique minier.....	17
2.0 Problématique	18
3.0 Recherches antérieures.....	18
3.1 Paramètres physico-chimiques	18
3.1.1 pH	19
3.2 Métaux lourds	20
3.2.1 Définition	20
3.2.2 Teneur de fond	21
3.2.3 Source de pollution	22
3.2.4 Réaction avec l'eau	22
3.2.5 Haldes et résidus miniers.....	24
4.0 Matériel et Méthode.....	25
5.0 Résultat et Discussion	26
5.1 Paramètres physico-chimiques	26
5.1.1 pH	26
5.1.2 Température moyenne de l'eau de surface.....	27
5.1.3 Pourcentage et concentration d'oxygène dissous	28
5.2 Présence de métaux lourds.....	31
5.2.1 Critères utilisés.....	31
5.2.2 Critères de dureté.....	31
5.3 Résultats des analyses	32
6.0 Analyse et discussion	39
7.0 Conclusion et recommandation.....	42
Annexe	45
Référence	45

Table des figures

Figure 1 : Tableau périodique des éléments	21
Figure 2 : Échelle du pH.....	26

Table des cartes

Carte 1 : Géologie de la région de Chaudière-Appalaches.....	12
Carte 2 : Localisation des 5 groupes de stations obtenue par classification.....	14
Carte 3 : Carte des sous-bassins versants des ruisseaux Poirier, Nadeau et autres.....	16
Carte 4 : Portrait de la qualité de l'eau.....	41

Table des tableaux

Tableau 1 : Emplacement des stations d'échantillonnage.....	15
Tableau 2 : Critère de la qualité de l'eau de surface pour les métaux, station 1	33
Tableau 3 : Critère de la qualité de l'eau de surface pour les métaux, station 2	34
Tableau 4 : Critère de la qualité de l'eau de surface pour les métaux, station 3	35
Tableau 5 : Critère de la qualité de l'eau de surface pour les métaux, station 4	36
Tableau 6 : Critère de la qualité de l'eau de surface pour les métaux, station 5	37
Tableau 7: Règlement sur la qualité de l'eau potable-Substances inorganiques.....	44

Table des graphiques

Graphique 1 : Analyse du pH.....	27
Graphique 2 : Analyse de la température de l'eau de surface.....	28
Graphique 3 : Analyse du pourcentage d'oxygène dissous.....	29
Graphique 4 : Analyse de la concentration d'oxygène dissous.....	30

Résumé

Malgré l'importance et les impacts des activités minières à Thetford Mines en amont de la rivière Bécancour, très peu d'informations sont disponibles sur la présence et la teneur des métaux, dont les métaux lourds dans le réseau hydrique.

La présente étude a permis de caractériser la présence de 32 éléments du tableau périodique, dont certains métaux lourds dans l'eau de cinq stations d'échantillonnage du secteur Thetford, soit deux sur la rivière Bécancour (amont-aval) et trois sur les tributaires que sont le ruisseau Poirier (amont-aval) et le ruisseau sans nom près de la mine Vimy.

Ce rapport démontre les résultats obtenus après un seul échantillonnage effectué le 13 décembre 2012, à chacune des stations citées plus haut. Par conséquent, il ne représente pas un portrait global de la situation mais plutôt une image de la situation au moment précis des échantillonnages.

Les résultats révèlent que le pH des cinq stations est alcalin variant de 7,35 à 9,56. Pour chacune des stations d'échantillonnage, une dureté a été calculée. Elle est respectivement de 90, 80, 320, 256 et 50. Suite à l'analyse des résultats obtenus, aucune station ne possède de dépassement des critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux lourds. La teneur en nickel présente à la station 5 (amont du ruisseau Poirier) est de 0,0253 mg/L et 24,7 ug/L alors que le critère CVAC (Protection de la vie aquatique, effet chronique) est de 0,029 mg/L et 29,020 ug/L.

Suite à la rédaction de ce rapport, il est impossible de dire avec exactitude quel est le rôle des haldes minières quant à la présence de métaux dans la rivière Bécancour et dans certains de ces tributaires. Les teneurs de fond sont pratiquement identiques à celles présentes dans les haldes de résidus miniers. Un échantillonnage plus élaboré et d'une plus grande superficie spatiale et temporelle serait envisageable afin de mieux déterminer leur influence sur les cours d'eau de la région de Thetford Mines. De plus, une meilleure connaissance sur le drainage neutre contaminé et le drainage minier alcalin serait fortement recommandée.

1.0 Introduction

La région de Thetford Mines, située en amont du bassin versant de la rivière Bécancour, a fait l'objet d'un développement minier d'une grande ampleur au cours du 20^e siècle, basé en grande partie sur l'amiante, dit chrysotile. Le paysage a été complètement modifié et laisse paraître un peu partout sur le territoire des amoncellements de dépôt minéral appelés haldes. Encore aujourd'hui, les haldes sont pour la plupart, instables et dénuées de végétation, et les impacts sur l'eau sont notables. Des questions sur la qualité de l'eau du secteur et la teneur en métaux subsistent et très peu d'informations sont disponibles afin d'apporter un éclairage.

Cette situation a donc mené GROBEC à intégrer dans le Plan directeur de l'eau du bassin versant de la rivière Bécancour une action d'acquisition de connaissance nommée : Analyser la qualité de l'eau et la teneur des polluants à proximité des haldes (BEC A7.2.4).

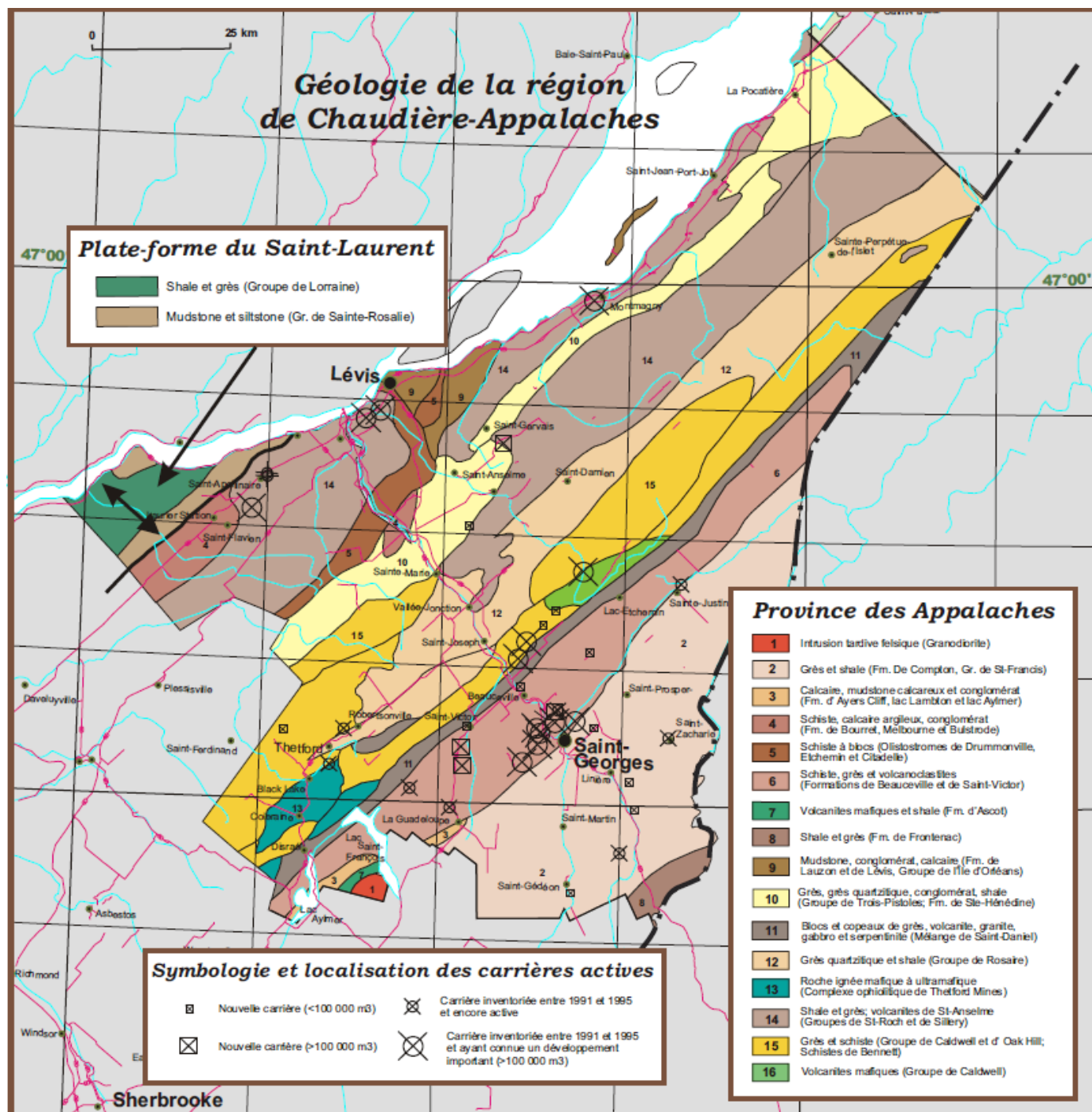
La présence des métaux traces dans les rivières du Québec a été évaluée par le MDDELCC. Entre 2008 et 2011, les concentrations de 21 métaux (Al, Ag, As, B, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, U, V, Zn) ont été mesurées et quantifiées à l'embouchure de 41 rivières tributaires du fleuve Saint-Laurent (MDDELCC, 2014) (Carte 2). L'embouchure de la rivière Bécancour fait partie des rivières ciblées par cette investigation. Cependant, le secteur de Thetford Mines se trouve en amont du bassin versant.

Des échanges avec certains intervenants de l'INRS-ETE ont permis de développer un projet pouvant apporter certaines réponses à ce manque d'information locale. En collaboration avec Monsieur Claude Fortin, professeur spécialisé dans les métaux lourds rejetés par les mines et les haldes, GROBEC a mené une caractérisation de la présence de métaux lourds dans la rivière Bécancour (amont et aval), le ruisseau Poirier (amont et aval) et le Ruisseau sans nom près de la Mine Vimy dans le secteur de Thetford Mines.

L'un des employés du GROBEC a effectué l'échantillonnage en décembre 2012 tandis que l'INRS-ETE s'est concentré sur l'analyse des données en janvier 2013.

1.1 Description du territoire

La région de Thetford Mines fait partie de la province géologique des Appalaches. Cette dernière est constituée de roches intrusives mafiques à ultramafiques, de roches volcaniques mafiques et d'amphibolites. Aussi, d'un point de vue plus détaillé, Thetford Mines et ses alentours sont composés du Groupe de Rosaire (grès quartzitique et shale), du Groupe de Caldwell 2 et 5 (grès et schiste), de Complexes ophiolitiques de Thetford-Mines (roche ignée mafique à ultramafique) et de Schistes de Bennett 2s (grès et schiste) (MRN, 2015) (Carte 1).

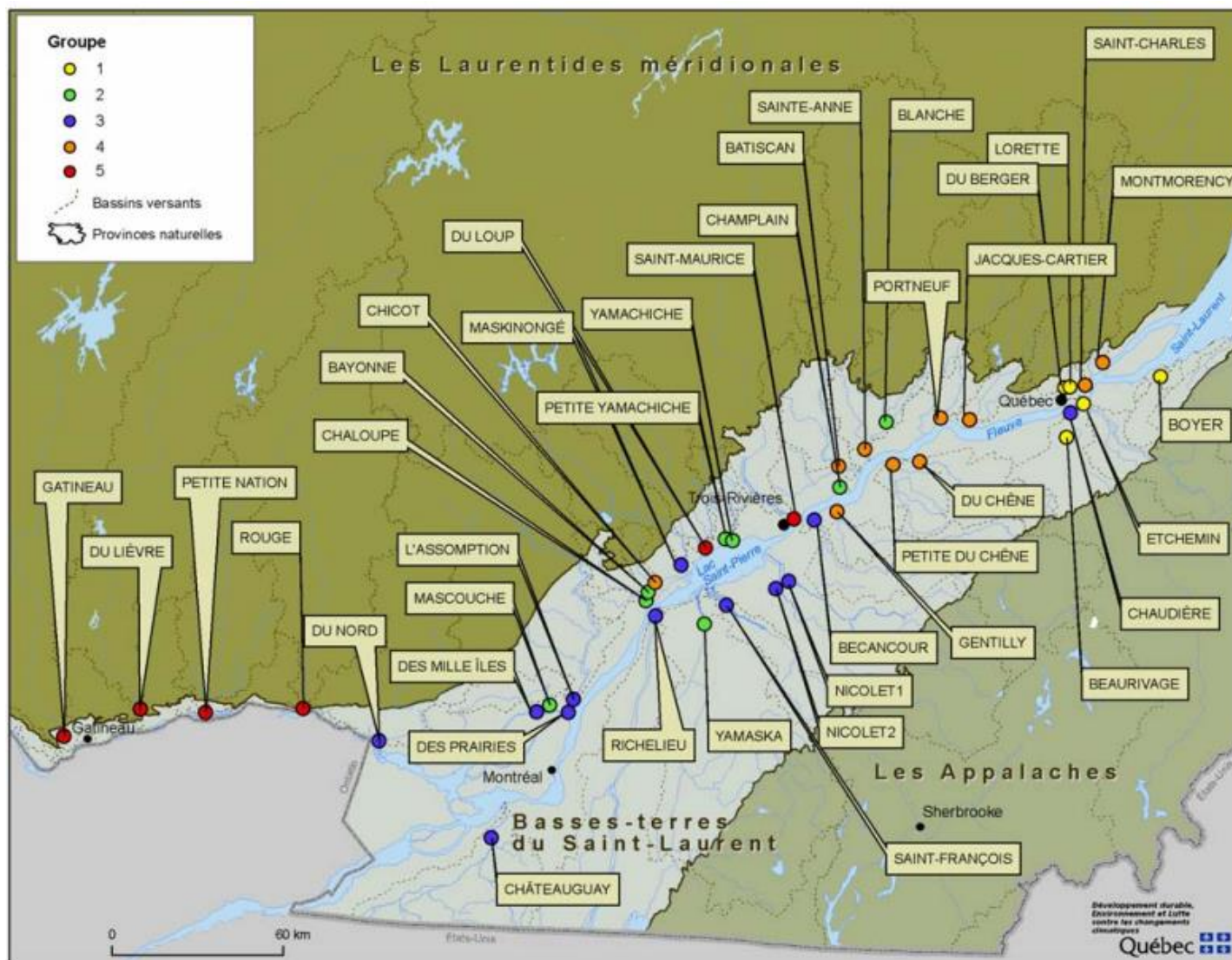


(Carte 1 : Géologie de la région de Chaudière-Appalaches, MERN, 2015)

Toujours du point de vue géologique, le bassin versant de la rivière Bécancour correspond à deux ensembles de roches faisant partie des Appalaches (Bourque, 2004). Ces ensembles sont composés de roches sédimentaires (grès, calcaire, mudrock et schiste) et de roches volcaniques (basalte). On retrouve aussi des métaux comme le magnésium et le nickel et des minéraux comme le cuivre (Masi & Bourget, 2007). On retrouve également, aux environs de Thetford Mines, du chrome, de la platine et du chrysotile et près de Saint-Pierre-Broughton, du talc et de la stéatite (MRN 1994). Les ophiolites, présentes en grande proportion dans la région de Thetford, sont des fragments de manteau terrestre et de croûte sous-marine qui se sont retrouvés à la surface. Les roches provenant des ophiolites sont constituées d'une très forte préparation de minéraux ferromagnésiens (riche en fer et en magnésium) et par le fait même en chrome et en nickel (Beaumier, 2005 et Laferrière, 2014).

Enfin, les minéraux d'amiante sont des silicates hydratés de magnésium (Bérubé, 1991). Ils contiennent du nickel et du chrome en éléments traces et des concentrations moindres, de cuivre et de manganèse (Communication personnelle, Réjean Hébert, 2015). L'amiante est un terme employé pour désigner les six minéraux présents dans les groupes de serpentines et d'amphiboles. Dans la région de Thetford Mines, l'amiante dit chrysotile, du groupe des serpentines, est très présent. On la retrouve dans les roches ultramafiques. De plus, l'amiante est considéré comme un minéral industriel comme le talc et le manganèse (MERN, 2013).

Selon une étude menée par le MDDELCC, la rivière Bécancour fait partie du groupe 3 (Carte 2). À la différence du groupe 4, ce groupe possède les concentrations moyennes de cadmium et de zinc extractibles plus faibles et les valeurs médianes de conductivité, de pH et de matières en suspension plus élevées. Les ratios métal dissous/métal extractibles sont semblables dans les deux groupes. L'arsenic, le cadmium, le cuivre et le nickel sont plus présents sous forme dissoute tandis que le chrome, le plomb et le zinc sont sous forme particulaire. Il est aussi important de mentionner qu'une forte corrélation existe entre la composition géologique des bassins versants du Québec et la composition chimique de l'eau (MDDELCC, 2014).



Carte 2 : Localisation des 5 groupes de stations obtenus par classification, MDDELCC, 2014

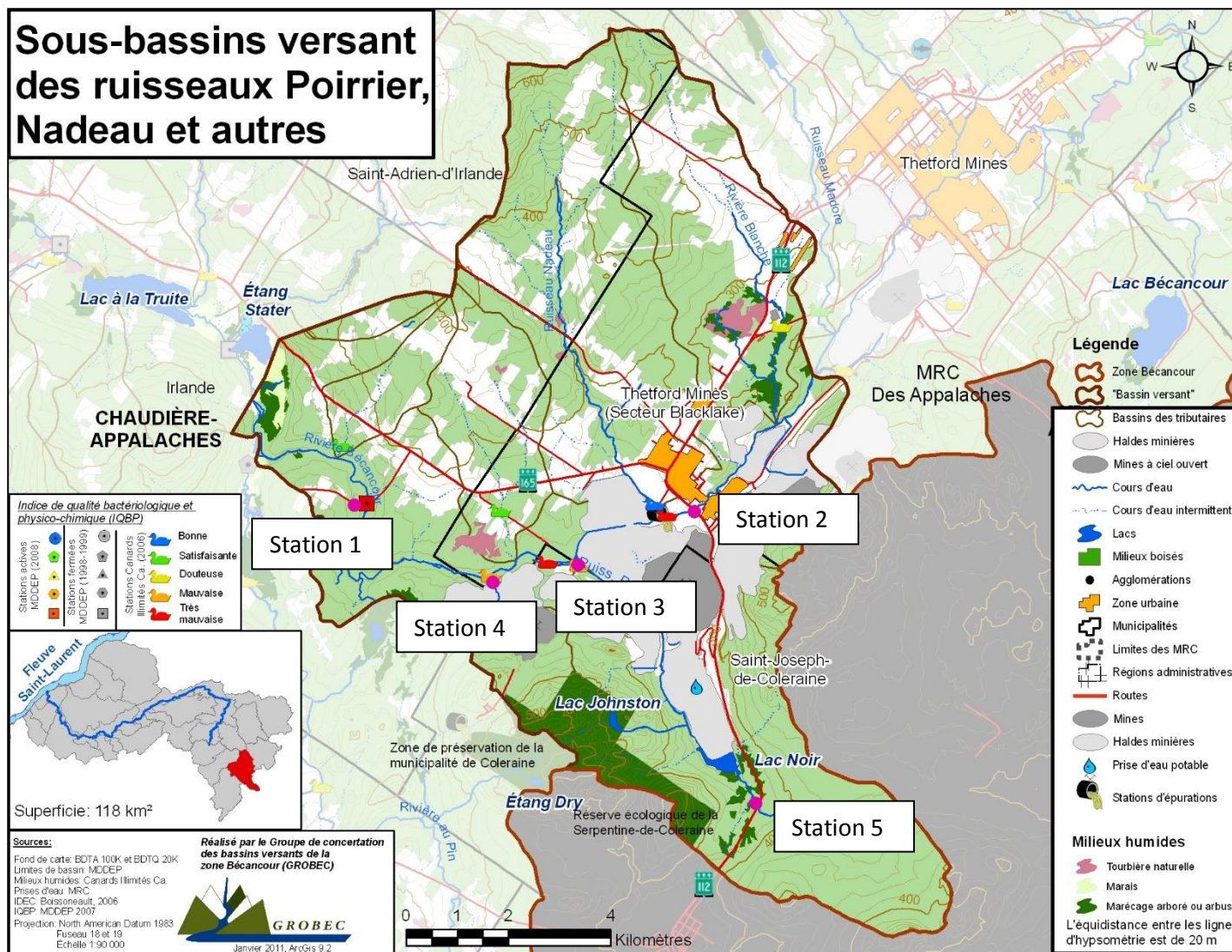
1.2 Sites d'échantillonnage

Le présent projet touche Thetford Mines, Black Lake et la municipalité de Saint-Joseph-de-Coleraine. Cinq sites d'échantillonnage ont été ciblés. La rivière Bécancour a été échantillonnée en amont (Station 2) et en aval (Station 1). Le ruisseau Poirier a, lui aussi, été échantillonné en amont (Station 5) et en aval (Station 3) alors que le ruisseau sans nom près de la Mine Vimy a été échantillonné à un seul endroit (Station 4) (Carte 3 et Tableau 1). Les points mauves sur la carte indiquent la localisation exacte des sites d'échantillonnage. Les ruisseaux Poirier et sans nom prennent leur exutoire à la rivière Bécancour. La zone d'étude est marquée par l'activité minière. Plusieurs haldes de résidus y sont effectivement présentes. Ces amoncellements de stérile proviennent de l'exploitation sur plusieurs années de l'amiante dite chrysotile.

Le tableau ci-dessous démontre les coordonnées GPS approximatives des cinq stations d'échantillonnage utilisées lors du projet.

Tableau 1 : Emplacement des stations d'échantillonnage

Emplacement des stations d'échantillonnage	Latitude	Longitude
Station 1 - Rivière Bécancour aval	46,045702	-71,447131
Station 2- Rivière Bécancour amont	46,04261	-71,36398
Station 3 - Ruisseau Poirier aval	46,034464	-71,395099
Station 4 - Ruisseau sans nom près de la Mine Vimy	46,031935	-71,417221
Station 5 - Ruisseau Poirier amont	45,988837	-71,352216



Carte 3 : Carte des sous-bassins versants des ruisseaux Poirier, Nadeau et autres (Chauvette, 2009)

1.3 Historique minier

La région de Thetford Mines a subi d'innombrables bouleversements au cours des dernières décennies suite à l'exploitation de l'amiante. Cette courte liste présente certains événements marquants depuis la découverte du chrysotile dans cette région des Appalaches (Ville de Thetford Mines, 2015).

- 1876 : Découverte de l'amiante par Joseph Fecteau
- 1878 : Début des opérations de la mine Bell
- 1879 : Début des opérations de la mine Murphy
- 1880 : Adoption de la 1^e loi sur les mines au Québec : l'Acte général des mines du Québec
- 1881 : Début des opérations de la mine Jeffrey
- 1890 : Début des opérations de la British Canadian
- 1915 : Grève générale des mineurs
- 1922 : Inondation à Thetford Mines, causée par des pluies torrentielles, la rivière Bécancour sort de son lit, entraînant des dommages considérables
- 1946 : Début des opérations de la mine Flinckote
- 1949 : Grève de l'amiante
- 1956 : Début des excavations (dragage) du lac Noir
- 1958 : Le lac Noir est complètement asséché.
 - L'Exploitation de la mine Lake Asbestos débute
- 1971 : Fermeture de la mine Flinckote
- 1975 : Grève de l'amiante
- 1978 : Création de la Société nationale de l'amiante du Québec
- 1985 : Création de la compagnie Lab Chrysotile Inc
- 1986 : Fin des opérations de la mine King-Beaver
- 1987 : Fermeture de la mine British Canadian
- 2005 : Interdiction de l'amiante dans toute l'Union européenne
- 2008 : Fermeture de la mine Bell
- 2012 : Fermeture de la mine Lac d'amiante
- 2013 : Fermeture de la mine Jeffrey

2.0 Problématique

On associe souvent la présence des métaux dans les eaux de surface à l'altération de la roche mère et à l'érosion des dépôts de surface. Il est aussi important de prendre en compte la composition géologique qui varie d'une région à l'autre. De plus, il ne faut pas oublier les sources d'origine anthropique. Parmi celles-ci, on peut nommer les parcs à résidus miniers, les rejets industriels et municipaux et les sites d'enfouissement. Les activités agricoles peuvent aussi être pointées du doigt. En effet, en zone agricole, la couverture naturelle des sols est généralement faible et cela favorise l'érosion et l'apport de métaux vers les cours d'eau. Certains métaux, comme le cuivre et le zinc, sont essentiels aux organismes à faibles concentrations, mais ils peuvent devenir toxiques lorsqu'ils sont présents à de fortes concentrations (Mason, 2013 et MDDELCC, 2014). La teneur des métaux est donc un aspect primordial à connaître.

À travers le temps, quelques investigations des cours d'eau situés sur le territoire de Thetford Mines ont permis de déceler la présence de métaux lourds. En effet, ces analyses physico-chimiques ont pu suggérer une concentration élevée en métaux lourds, dépassant parfois même les limites permises. Mais, bien que ces investigations aient été faites, peu d'informations ont été vérifiées scientifiquement afin de supporter ces hypothèses.

3.0 Recherches antérieures

Afin de corroborer les résultats de notre sujet, une investigation de rapports scientifiques a été faite. On peut constater que peu de recherches ont été entreprises sur ce sujet. Toutefois, les données recueillies nous seront utiles afin d'avoir une meilleure compréhension du milieu. De plus, ces informations peuvent être utilisées comme référence à titre comparatif.

3.1 Paramètres physico-chimiques

Plusieurs études sont unanimes sur le fait que la conductivité, le pH et les matières en suspension peuvent se retrouver avec des valeurs plus élevées compte tenu de la géologie présente sur notre lieu d'étude.

Globalement, on constate que les stations pour lesquelles les valeurs de MES (matière en suspension) et de turbidité sont les plus importantes sont soit situées en territoire minier, soit localisées dans une zone de pente faible où s'accumulent les apports provenant de l'amont, soit les deux à la fois (Masi et Bourget, 2007).

3.1.1 pH

Pour la région de Chaudière-Appalaches, la moyenne du pH est considérée comme légèrement alcaline (MDDELCC, 2015). De plus, la région de Black Lake (secteur de Thetford Mines) possède un pH élevé en réponse à la nature géologique du sol qui est constitué de roche basique. (Bérubé, 1991). L'ensemble du bassin versant de la rivière Bécancour possède un pH variant en 5.2 et 9.2 (Paré, 1981).

Les eaux de surface de la Haute-Bécancour ont été catégorisées comme alcalines. Les portions du territoire fortement marquées par les activités minières dépassent généralement un pH de 9 (MASI et BOURGET, 2007). Même en dehors des zones minières, l'eau de surface de la région reste particulièrement alcaline. Son pH se retrouve généralement plus grand ou égal à 8. Lors d'une ancienne étude, des stations d'échantillonnage situées au ruisseau Poirier et au ruisseau sans nom en aval de Thetford Mines ont démontré des pH médians supérieurs à 9 (MASI et BOURGET, 2007). Ces stations se situent dans les zones d'exploitation minière. De plus, les autres stations de cette étude situées sur la rivière Bécancour, en zone non minière, dépassent elles aussi les critères de qualité de l'eau avec des valeurs médianes supérieures à 8,5. Selon les auteurs, ces observations et résultats aident à valider l'hypothèse que les résidus miniers ont un pH alcalin et contribuent à augmenter le pH naturel des eaux de surface (MASI et BOURGET, 2007).

Une quantité importante d'eau d'exhaure, potentiellement contaminée par le contact avec les parois exposées du gisement, est produite lors de l'exploitation. Des recherches ont démontré que ces eaux d'exhaure sont généralement alcalines et que leur pH peut parfois dépasser la limite supérieure autorisée de 9,5. Aussi, les matières en suspension, composées entre autres de fibres d'amiante, peuvent constituer une source de contamination. Mais, selon une étude menée par le MDDELCC, les eaux de ruissellement ceinturant les aires d'accumulation de stériles ou les aires d'accumulation de résidus miniers ne causeraient vraisemblablement pas de problèmes environnementaux particuliers. Les usines de traitement de l'amiante n'utilisaient que des procédés purement physiques et ne produisaient donc pas d'effluents liquides (MDDELCC, 2014).

Aussi, l'amiante n'étant pas un métal mais plutôt un minéral industriel, le drainage acide (DMA) ne serait pas une conséquence potentielle néfaste sur l'écosystème. À ce sujet, le MDDEP (2006a) cite une campagne de caractérisation menée en 1994 et effectuée par l'Association des mines d'amiante du Québec. Cette campagne aurait démontré que les eaux d'exhaure sont, de manière générale, alcalines allant parfois même jusqu'à dépasser un pH de 9,5. Ce dernier étant le seuil supérieur du critère de protection de la vie aquatique pour une toxicité aiguë chez les organismes (MDDEP, 2006).

Bien que le DMA ne soit pas possible dans notre cas, d'autres types de drainage existent. En effet, les eaux de drainage minier sont divisées en trois catégories (Aubertin et al, 2002 paru dans Calugaru, 2014):

- 1) le DMA - drainage minier acide ($\text{pH} < 6$, concentration élevée de métaux et sulfates dissous),
- 2) le DNC – drainage neutre contaminé ($6 < \text{pH} < 9$, métaux solubles dans cet intervalle de pH),
- 3) le drainage minier alcalin ($\text{pH} > 9$).

La concentration totale des métaux dissous est déterminée par la minéralogie du site qui influence aussi le pH du drainage minier. Plus bas est le pH du drainage minier, plus grande est la concentration en métaux. Toutefois, les eaux de drainage minier de pH neutre peuvent contenir des concentrations significatives en métaux (Calugaru, 2014).

3.2 Métaux lourds

3.2.1 Définition

Tout d'abord, il est important de définir ce que sont les métaux lourds. Les éléments métalliques naturels, métaux ou métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm^3 sont généralement considérés comme des métaux lourds. 41 métaux présents dans le tableau périodique correspondent à cette définition générale en plus de 5 métalloïdes (Sénat, 2015) (Figure 1). Certains métaux toxiques (zinc) ou éléments toxiques (arsenic) sont aussi classifiés comme étant des métaux lourds même s'ils ne répondent pas aux critères de la définition. L'utilisation de l'appellation d'éléments en traces métalliques ou éléments traces est aussi acceptée.

Tableau périodique des éléments

Le tableau périodique des éléments est présenté avec les annotations suivantes :

- Nombre atomique $\rightarrow$ 16
- Electronegativité
- Electrons (rouges)
- Structure électronique $\rightarrow$ 16
- Symbolisme atomique
- Nom de l'élément
- Couleur de fond :
 - Bleu : Métal
 - Rouge : Non-métal
 - Blanc : Gaz noble
 - Vert : Non classifié
- Masses atomiques relatives
- État de la matière :
 - Solide à l'état naturel
 - Gazeux à l'état naturel
 - Liquide à l'état naturel
 - Artificiel (non naturel)

(Figure 1 : Tableau périodique des éléments, OpenClassrooms 2013)

Les principaux éléments métalliques que l'on peut retrouver dans les effluents neutres contaminés sont les suivants: Sb, As, Cd, Cr, Co, Mn, Hg, Mo, Ni, Se et Zn (Stantec, 2004). Au Québec, les plus problématiques sont l'As, le Ni et le Zn (Bussière et al, 2005 paru dans Calugaru, 2014).

3.2.2 Teneur de fond

La détermination d'une teneur de fond permet d'évaluer les concentrations naturelles en éléments traces en l'absence de toute contamination d'origine anthropique (ex: épandage des boues, activité industrielle). Il est important de souligner que le plomb et le cadmium dans les sols présentent deux particularités qui n'existent pas avec les autres métaux.

- 1) Leur présence n'est pas liée à la teneur du sol en fer.
- 2) Ils sont surtout abondants dans les horizons de surface (0 à 20 cm) en raison de leur affinité avec les matières organiques. Les contaminants habituels sont le plomb, le cadmium et le zinc (Sénat, 2015).

En règle générale, les métaux sont fixés dans les roches sous deux formes :

- 1) Les oxydes et silicates (peu altérables). Les oxydes sont libérées de la roche par érosion et transportées telles quelles dans les sols et sédiments. Les oxydes se transformeront en hydroxydes.
- 2) Les sulfures et carbonates (très altérables). Les métaux changeront de support. Une partie soluble sera évacuée avec l'eau, vers les sols, les sédiments ou la nappe phréatique tandis qu'une autre partie sera piégée dans les argiles et sédiments de ruisseau (Sénat, 2015). Les sulfures se transformeront en sulfates.

3.2.3 Source de pollution

On distingue trois sources de pollutions aux métaux lourds :

- 1) les dépôts de déchets
- 2) les installations de production
- 3) les installations de stockage

La dernière catégorie désigne les dépôts à même le sol qui sont lixiviés par la pluie entraînant des quantités de métaux dans la nappe et les cours d'eau.

Un sol composé de calcaire contribue à l'immobilisation de certains métaux. Par contre, l'arsenic réagit inversement. La maîtrise de l'acidité est un élément de contrôle de la mobilité des éléments traces métalliques. De plus, la présence d'argile ou d'oxydes de fer et de manganèse va jouer le rôle de piège pour les contaminants métalliques (Sénat, 2015).

3.2.4 Réaction avec l'eau

Lorsque les métaux lourds sont en contact avec l'eau, des réactions chimiques se produisent en lien avec l'acidité, l'alcalinité, la température et l'oxygénation. De plus, le degré de solubilité d'un métal est un facteur non négligeable. Si le métal est soluble, il va passer dans les nappes et/ou dans la plante tandis que s'il est insoluble, il va rester dans le sol. La solubilité dépend de plusieurs facteurs. Le facteur le plus important est l'acidité du sol. La règle générale veut qu'un sol acide facilite la mobilisation. La matière organique favorise également la mobilité des métaux (acide humique) (Communication personnelle, Réjean Hébert, 2015).

Plusieurs études antérieures se sont penchées sur la composition des eaux de surface et souterraines de la région de Chaudière-Appalaches.

Les données hydrogéologiques de cette région démontrent que certains secteurs possèdent des teneurs élevées en arsenic. Lors de l'analyse de puits d'eau, plusieurs d'entre eux avaient des concentrations en arsenic plus élevées que la norme québécoise (50 ppb) ou canadienne (25 ppb) (MDDELCC, 2015). Aussi, Bérubé (1991) mentionnait que des teneurs élevées en magnésium, en nickel, en chrome et en cuivre avaient aussi été détectées. Il attribue ce phénomène au lessivage du socle rocheux des mines (MASI et BOURGET, 2007). En effet, les métaux emprisonnés dans le socle rocheux, non assujettis à l'exploitation minière, auraient pu contribuer à contaminer le milieu par le lessivage des haldes. L'auteur signale également que la toxicité de ces éléments serait par contre contrebalancée par la dureté de l'eau de cette région (MASI et BOURGET, 2007). Enfin, Bérubé considère que les teneurs élevées en phosphore, en cuivre, en fer et en magnésium n'engendrent pas une toxicité pour l'environnement aquatique, mais favorisent plutôt l'eutrophisation du milieu (Bérubé, 1991).

D'un point de vue chimique, les eaux souterraines ont des teneurs en fer et une dureté élevées qui dépassent les normes (Paré, 1981). L'auteur Bérubé a aussi soumis l'hypothèse qu'une fois que la nappe phréatique est sursaturée en magnésium, elle relarguerait la quantité excédentaire de ce métal dans la rivière (Bérubé, 1991).

À travers les années, les études ont démontré que l'accumulation de résidus de fibres d'amiante lessivés dans les cours d'eau contribue à augmenter les concentrations de matières en suspension. L'amiante a, en effet, été identifié comme composantes dans les MES de l'eau potable de cette région (Bérubé, 1991). Mais, selon une étude du MDDEP, la pollution associée à l'exploitation des sites miniers d'amiante serait moindre que l'on l'imagine. Mais, les eaux d'exhaure, c'est-à-dire les eaux de ruissellement et d'infiltration baignant au fond de la mine à ciel ouvert puis pompées vers la surface pour maintenir la mine à sec, seraient susceptibles d'engendrer des effets néfastes sur les cours d'eau. Ces eaux seraient dirigées dans des bassins de sédimentation puis, ultimement, dans les cours d'eau (MDDEP, 2006). Ce pompage des eaux cause l'acidification du milieu environnant.

Enfin, il est désolant de voir qu'encore aujourd'hui, les métaux lourds présents dans les eaux sont encore peu étudiés et qu'ils ne sont pas dotés de la même surveillance qu'ont l'azote et le phosphore, par exemple.

3.2.5 Haldes et résidus miniers

Il est important de distinguer en premier lieu les différences entre les haldes de stériles et les haldes de résidus. Leur composition minéralogique et chimique est très différente ainsi que leur réaction face à l'eau. Les haldes de résidus miniers sont composées de résidus broyés très fins qui forment une certaine croûte en surface. On y retrouve peut d'infiltration d'eau, mais une quantité notable de ruissellement. Dans le cas des haldes à stérile, elles ont une granulométrie très variée, souvent très grossière à la base (blocs) et plus fine en surface (gravier/sable). Ces haldes permettent l'infiltration de l'eau jusqu'à la nappe phréatique et on y retrouve peu de ruissellement. (Communication personnelle, Francis Donati-Daoust, 2015).

La composition minéralogique joue un rôle important sur le comportement environnemental des haldes. En effet, les minéraux présents dans les roches stériles sont plus susceptibles de réagir avec l'eau et l'air environnant. Les résidus miniers renferment généralement 40% de MgO (oxyde de magnésium), 40% de SiO₂ (dioxyde de silicium) et une quantité appréciable de sodium, de potassium et de calcium (Bérubé, 1991). La description de la composition chimique moyenne des résidus d'amiante de tout-venant non calciné de la région de Thetford a été décortiquée par l'un de nos collaborateurs. La majorité des mines du secteur possède du MgO, du SiO₂, du H₂O (eau), de l'Al₂O₃ (oxyde d'aluminium), du CaO (oxyde de calcium), du Ni (nickel), du Cr (chrome) et du Fe (fer). On retrouve également, en plus petite proportion du Fe₃O₄ (oxyde de fer), du Na (sodium), du K (potassium), du Co (monoxyde de carbone), du Mn (manganèse) et du Fe₂O₃ (oxyde de fer) (Communication personnelle, 2015).

Dans la région d'étude, le nickel pénètre dans le milieu aquatique principalement par l'altération des minéraux et des roches et suite à des activités humaines. Le nickel est le plus souvent associé au fer et au cuivre. Ces derniers sont abondants dans la région de Thetford Mines. Comme les résidus miniers sont laissés à découvert, ils sont périodiquement détrempés par les précipitations, de sorte qu'il apparaît normal de détecter des pics de concentrations de nickel dans les eaux adjacentes aux sites d'extraction (Bérubé, 1991). Toutefois, il est important de mentionner que ces dires ne sont que des hypothèses formulées par l'auteur, car elles ne sont appuyées par aucune donnée.

La qualité de l'eau de percolation circulant dans la halde peut être affectée. Aussi, certaines eaux de drainage (pH neutre) peuvent être affectées par des minéraux contenant des éléments solubles qui peuvent être entraînés dans le lixiviat. Cela crée un drainage neutre contaminé (DNC). Dans un DNC, on retrouve des éléments tel que

l'arsenic, le cadmium, le molybdène, et le nickel (Nicholson et al. 2003 ; Stantec, 2004; Bussière et al. présent dans Wels et al. 2003).

Enfin, les résidus d'extraction (refus de broyage) contiennent souvent des métaux lourds (cadmium, arsenic, plomb, zinc, etc.) qui peuvent se disperser dans les cours d'eau, le sol et l'air (sous forme de poussières) et atteindre des concentrations nocives pour les humains et la faune (Sandlos et Keeling, 2015). Les amoncellements de résidus miniers en bordure des rives peuvent aussi être responsables des concentrations anormalement élevées de magnésium d'origine anthropique.

4.0 Matériel et méthode

L'échantillonnage sur le terrain a été effectué par le GROBEC en date du 13 décembre 2012. Des précipitations sous forme de pluie ont été notées dans les jours précédents à l'échantillonnage. L'analyse des données a, quant à elle, été faite par l'INRS-ETE le 15 janvier 2013. La collecte de données s'est déroulée à pied, via les accès en bordure des routes et des ponts. Un appareil photo et un GPS ont aussi été utilisés pour la première étape.

Afin de récolter les métaux présents dans l'eau, une seringue de 20 ml munie d'un filtre de 0.45 μm , spécialement conçu à cet effet, a été employée. L'eau recueillie a ensuite été disposée dans des bouteilles prévues à cet effet. De plus, les données de température, de pH, de pourcentage d'oxygène dissous et de concentration d'oxygène dissous ont été prises grâce à l'utilisation d'une sonde YSI 63 et d'un oxymètre de la sonde YSI 550A.



Une fois les échantillons récoltés, ces derniers ont été envoyés à l'un des laboratoires de services communs du Centre Eau Terre Environnement de l'INRS. Le tout a été analysé grâce au spectrophotomètre d'absorption atomique (Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES) alors que les éléments traces tels que le cuivre, le cadmium et le plomb ont été analysés par le ICP-MME (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry), et ce, sous la supervision de Monsieur Claude Fortin. Cet instrument analytique sert à déterminer la concentration de certains métaux présents dans un échantillon. Les métaux présents ont été analysés sous la forme dissoute. Afin d'interpréter les résultats obtenus, le tableau périodique fut aussi un outil essentiel.

5.0 Résultat et Discussion

5.1 Paramètres physico-chimiques

Lors de l'échantillonnage effectué le 13 décembre 2012, différents paramètres ont été analysés en plus des métaux lourds. En effet, on retrouve le pH, la température moyenne, le pourcentage d'oxygène dissous et la concentration d'oxygène dissous. Pour chacun de ces paramètres, un graphique a été créé afin de démontrer les résultats, visuellement.

5.1.1 pH

Le pH ou potentiel hydrogène mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. La basicité est aussi nommée l'alcalinité. Ainsi, un pH 7 est dit neutre alors qu'un pH plus petit que 7 est acide et qu'un pH plus grand que 7 est basique (Wikipédia, 2009 et Figure 2). Selon le MDDELCC, le pH de l'eau doit se situer en 6,5 et 9 afin d'assurer la protection de la vie aquatique (CRE-Laurentides, 2009).

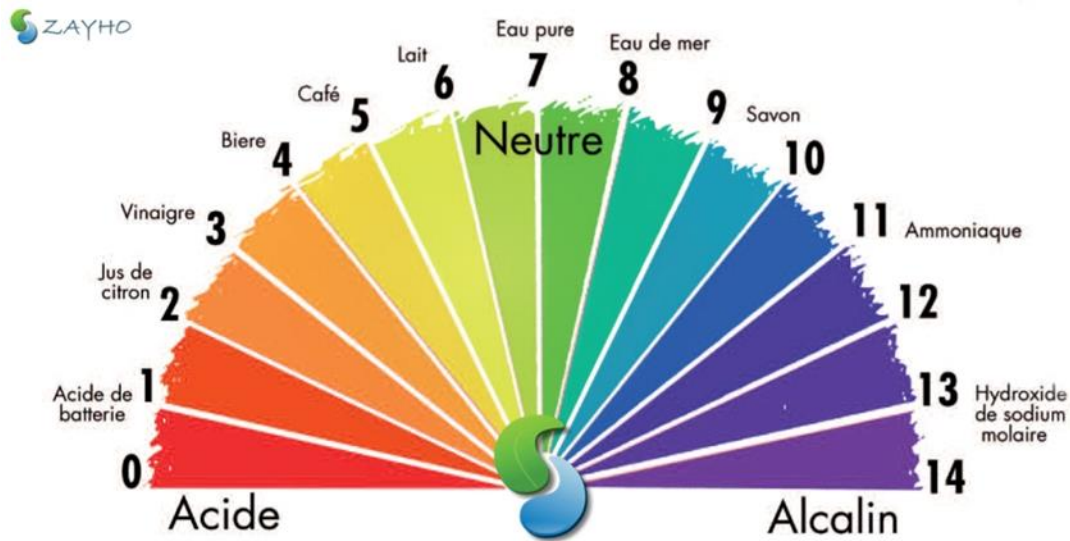
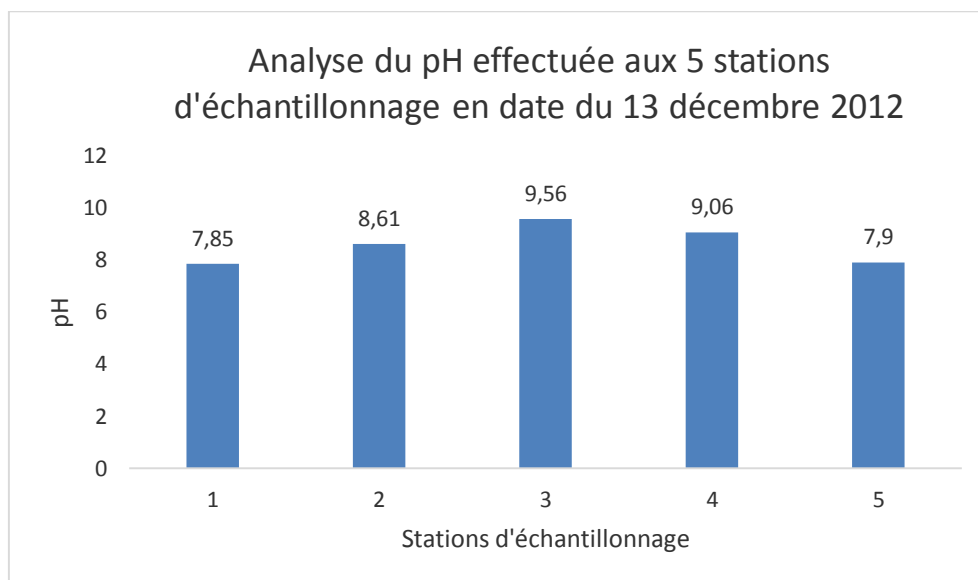


Figure 2 : Échelle du pH



Graphique 1 : Analyse du pH

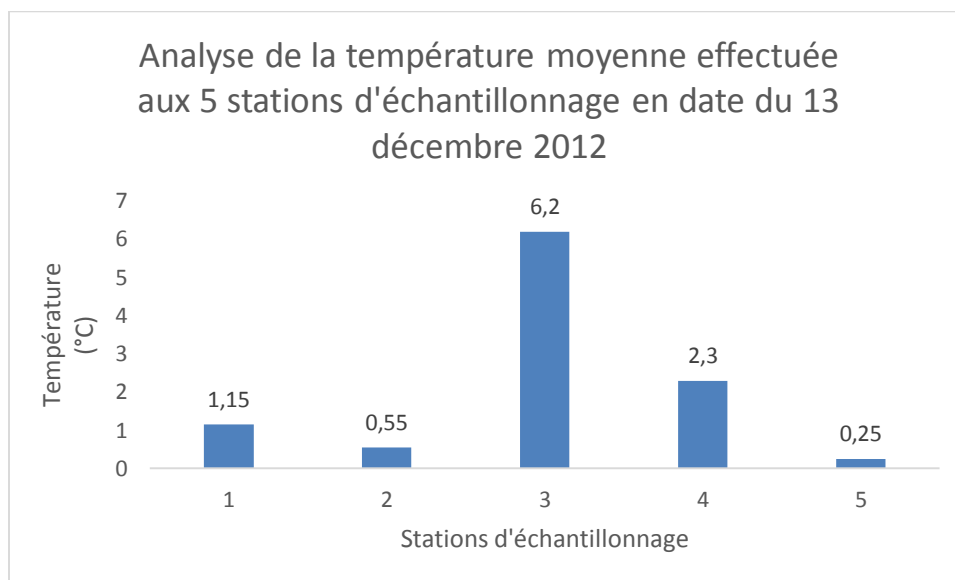
Toutes les stations échantillonnées lors de l'étude dépassent un pH alcalin (Graphique 1). En effet, le pH des stations se situe entre 7,85 et 9,56. Le ruisseau sans nom près de la Mine Vimy et l'aval du ruisseau Poirier ont un pH allant au-delà de 9. Rappelons toutefois que l'eau de surface présente dans cette région est naturellement alcaline.

Selon les données recueillies, deux des stations visitées ont un pH dépassant les intervalles de pH de 6,5 à 9 décrété par le MDDELCC afin d'assurer la protection de la vie aquatique.

Les résultats concernant le pH analysé lors de l'étude menée par MASI et BOURGET en 2007 démontre des données très similaires que celle prise en 2012.

5.1.2 Température moyenne de l'eau de surface

Comme l'échantillonnage a été effectué à la mi-décembre, il est donc acceptable et normal d'avoir des données près du point de congélation. De plus, la glace recouvrait, partiellement, les cours d'eau échantillonnés.



Graphique 2 : Analyse de la température de l'eau de surface

Les données obtenues varient entre 0,25°C et 6,2°C (Graphique 2). La station d'échantillonnage de la Station 3, soit l'aval du ruisseau Poirier possède la valeur la plus élevée, soit 6,2° Celsius. Comme le lac Noir est en amont de cette station, il est normal que la valeur de la température soit plus élevée qu'aux autres stations. L'eau provenant d'un lac prend plus de temps à se refroidir.

5.1.3 Pourcentage et concentration d'oxygène dissous

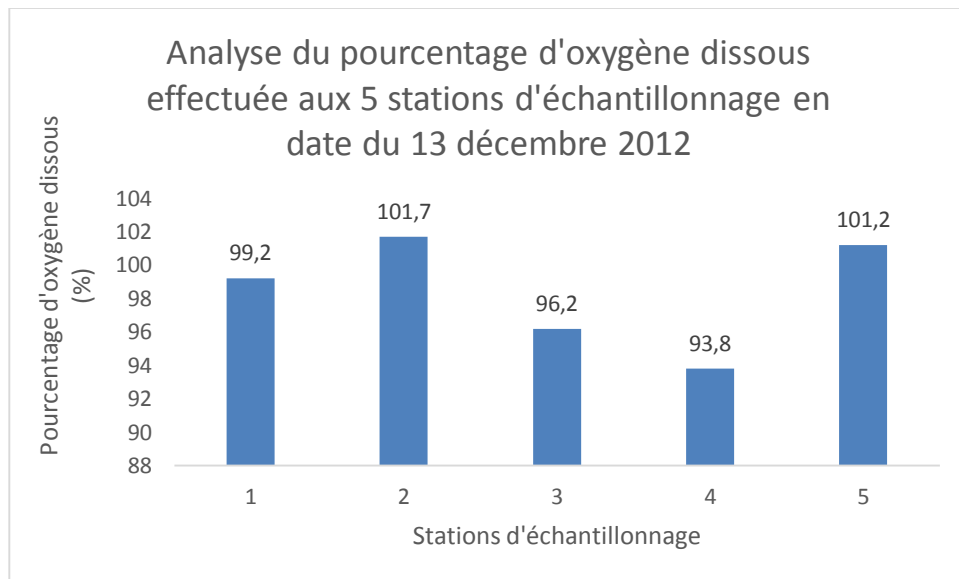
L'oxygène dissous est la quantité d'oxygène présent en solution dans l'eau à une température donnée. Indispensable dans les lacs, elle sert à la respiration des espèces aquatiques. En effet, chaque organisme a besoin d'une concentration minimale afin de survivre. Ainsi, l'oxygène dissous est un bon indicateur de la santé du lac. Selon le MDDELCC, les concentrations en oxygène dissous doivent être supérieures à 5 mg/l pour une température d'eau se situant entre 20 et 25°C afin d'assurer la protection de la vie aquatique (CRE-Laurentides, 2009).

Le pourcentage de saturation exprime la quantité d'oxygène présente dans l'eau par rapport à la quantité totale d'oxygène que l'eau peut contenir à une température donnée (Groupe d'éducation et d'écosurveillance de l'eau-G3E, 2013). En pourcentage de saturation cela signifie que:

- Moins de 60 % - signifie que le taux d'oxygène est faible

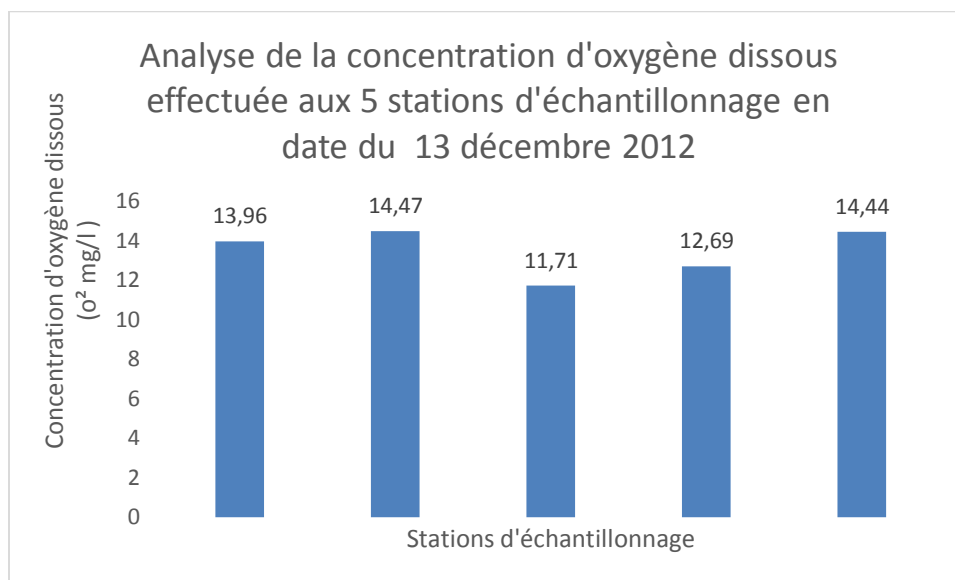
- 60 à 79 % - signifie que le taux d'oxygène est acceptable pour la plupart des organismes d'eau courante ;
- 80 à 125 % - signifie que le taux d'oxygène est excellent pour la plupart des organismes d'eau courante ;
- 125 % ou plus - signifie que le taux d'oxygène est trop élevé ; il peut être dangereux pour les poissons.

Il est à noter que l'eau froide peut parfois contenir une concentration plus élevée en oxygène dissous que l'eau chaude (CRE Laurentides, 2009).



Graphique 3 : Analyse du pourcentage d'oxygène dissous

Les données concernant le pourcentage d'oxygène dissous des cinq stations varient entre 93,8% et 101,7% (Graphique 3). La station 2 possède le plus haut taux avec 101,7% d'oxygène dissous tandis que la station 4 enregistre le plus bas taux avec 93,8% d'oxygène dissous. Ces pourcentages représentent, donc un taux d'oxygène excellent pour la plupart des organismes d'eau courante.



Graphique 4 : Analyse de la concentration d'oxygène dissous

Il existe quatre catégories pour décortiquer la concentration d'oxygène dissous (Groupe d'éducation et d'écosurveillance de l'eau-G3E, 2013) :

- 0 à 2 mg/l - signifie que le taux d'oxygène est insuffisant pour la survie de la plupart des organismes,
- 2 à 4 mg/l - signifie que le taux d'oxygène permet seulement à certaines espèces de poissons et d'insectes de survivre,
- 4 à 7 mg/l - signifie que le taux d'oxygène est acceptable pour les espèces de poissons d'eau chaude, mais faible pour les espèces de poissons d'eau froide,
- 7 à 11 mg/l - signifie que le taux d'oxygène est idéal pour la plupart des poissons d'eau froide.

Dans leur ensemble, les cinq stations ont une concentration d'oxygène dissous variant entre 11,71 mg/L et 14,47 mg/L (Graphique 4). La station 2 possède le plus haut taux avec 14,47 d'oxygène dissous par mg/L tandis que la station 3 enregistre le plus bas taux avec 11,74 d'oxygène dissous par mg/L. Selon les catégories citées plus haut, la moyenne d'oxygène dissous obtenue serait plus élevée que le taux d'oxygène idéal pour la plupart des poissons d'eau froide.

5.2 Présence de métaux lourds

5.2.1 Critères utilisés

Les critères de qualité pour la protection de la vie aquatique servent à protéger cette dernière à partir de critères de qualité chimiques associés à chaque substance (MDDELCC, 2015). En d'autres mots, chaque métal analysé est comparé au critère de qualité qui lui est propre.

Le critère de vie aquatique chronique (CVAC) est la concentration la plus élevée d'une substance qui ne produira aucun effet néfaste sur les organismes aquatiques (et leur progéniture) lorsqu'ils y sont exposés quotidiennement pendant toute leur vie (MDDELCC, 2015). Le critère CPC (critère de prévention de la contamination) est le critère servant à déterminer la protection de l'eau et des organismes aquatiques de toute contamination pouvant nuire à la consommation humaine actuelle et future (MDDELCC, 2015). Ce critère sert à analyser s'il y a un risque potentiel d'effets délétères pour l'humain, lié à une exposition par la consommation d'eau ou d'organismes aquatiques.

Puisque la forme et la toxicité des métaux varient en fonction des caractéristiques du milieu, les critères de qualité peuvent être influencés par certains facteurs environnementaux. D'ailleurs, plusieurs des critères actuels intègrent la dureté de l'eau dans leur formulation; plus la dureté est faible, plus le métal est potentiellement toxique pour la faune et la flore (MDDELCC, 2015).

Enfin, le Règlement sur la qualité de l'eau potable définit la concentration maximale, exprimée en mg/L, acceptée pour les substances inorganiques telles que l'antimoine, le cadmium et le plomb (Annexe 1).

5.2.2 Critères de dureté

La dureté d'une eau traduit sa teneur globale en ions calcium (Ca^{+}) et magnésium (Mg^{++}). Elle est exprimée en degrés hydrotimétriques (Gomella, 2015).

Afin de déterminer le critère de dureté pour chacune des stations, la formule suivante a été utilisée : $2.497 * \text{valeur du calcium (mg/L) de la station} + 4.118 * \text{valeur du magnésium (mg/L) de la station}$. Ainsi, la dureté serait de 90 mg/L pour la station 1, de 80 mg/L pour

la station 2, de 320 mg/L pour la station 3, de 256 mg/L pour la station 4 et de 50 mg/L pour la station 5.

5.3 Résultats des analyses

Les tableaux présents dans cette section représentent les différents types de métaux lourds analysés selon les critères de qualité d'eau de surface pour les métaux et de leur dureté.

En premier lieu, les blancs de terrain qui ont servi de témoins tout au long de ce projet ont tous été jugés utilisables lors de l'analyse des échantillons.

Il est aussi important de mentionner que le critère de CVAC pour l'aluminium ne peut être utilisé pour ce présent projet puisque ce critère de qualité a été défini pour des eaux de faible dureté (<10mg/L) et de pH aux environs de 6.5.

Certains métaux ont des résultats exprimés en mg/L et en ug/L.

Tableau 2 : Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux, Station 1

Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux en eau douce						
Dureté: 90						
Critère:	*CPC (EO)	**CPC (O)	***CVAC	****VAFe	*****CVAA	Résultat Station 1
Antimoine	0,006 mg/L	0,64 mg/L	0,24 mg/L	2,3 mg/L	1,1 mg/L	<0,005 mg/L
	6 ug/L	640 ug/L	240 ug/L	2300 ug/L	1100 ug/L	0,133 ug/L
Arsenic	0,0003 et 0,01 mg/L	0,021 mg/L	0,15 mg/L	0,68 mg/L	0,34 mg/L	<0,0019 mg/L
	0,3 et 10 ug/L	21 ug/L	150 ug/L	680 ug/L	340 ug/L	0,79 ug/L
Baryum	1 mg/L	160 mg/L	0,391 mg/L	2,23 mg/L	1,12 mg/L	0,005 mg/L
Bore	0,2 mg/L	160 mg/L	5 mg/L	55 mg/L	28 mg/L	0,025 ug/L
Cadmium	0,005 mg/L	0,13 mg/L	0,00025 mg/L	0,0038 mg/L	0,0019 mg/L	<0,00012 mg/L
	5 ug/L	130 ug/L	0,25030 ug/L	3,8330 ug/L	1,9165 ug/L	0,005 ug/L
Chrome VI	0,05 mg/L	9,4 mg/L	0,011 mg/L	0,032 mg/L	0,016 mg/L	0,0007 mg/L
	50 ug/L	9400 ug/L	11 ug/L	32 ug/L	16 ug/L	0,92 ug/L
Colbalt	**	**	0,1 mg/L	0,74 mg/L	0,37 mg/L	0,0005 mg/L
	**	**	100 ug/L	740 ug/L	370 ug/L	0,28 ug/L
Cuivre	1,0 à 1,3 mg/L	38 mg/L	0,0085 mg/L	0,0254 mg/L	0,0127 mg/L	0,0023 mg/L
	1000 et 1300 ug/L	38000 ug/L	8,5257 ug/L	25,3523 ug/L	12,6761 ug/L	2,47 ug/L
Fer	0,3 mg/L	**	1,3 mg/L	6,9 mg/L	3,4 mg/L	0,126 mg/L
Manganèse	0,05 mg/L	59 mg/L	1,76 mg/L	7,6 mg/L	3,8 mg/L	0,03 mg/L
Molybdène	0,04 mg/L	10 mg/L	3,2 mg/L	58 mg/L	29 mg/L	0,0009 mg/L
	40 ug/L	10000 ug/L	3200 ug/L	858,33 ug/L	429,16 ug/L	0,67 ug/L
Nickel	0,07 mg/L	4,6 mg/L	0,048 mg/L	0,86 mg/L	0,43 mg/L	0,0075 mg/L
	70 ug/L	4600 ug/L	47,715 ug/L	858,33 ug/L	429,16 ug/L	8,5 ug/L
Plomb	0,01 mg/L	0,19 mg/L	0,00278 mg/L	0,143 mg/L	0,071 mg/L	<0,0014 mg/L
	10 ug/L	190 ug/L	2,78224 ug/L	142,794 ug/L	71,397 ug/L	0,127 ug/L
Sélénium	0,01 mg/L	4,2 mg/L	0,005 mg/L	0,12 mg/L	0,062 mg/L	<0,003 mg/L
	10 ug/L	4200 ug/L	5 ug/L	120 ug/L	62 ug/L	0,27 ug/L
Strontium	4 mg/L	**	21 mg/L	81 mg/L	40 mg/L	0,0587 mg/L
Thallium	0,00024 mg/L	0,00047 mg/L	0,0072 mg/L	0,094 mg/L	0,047 mg/L	<0,0021 mg/L
Vanadium	0,22 mg/L	2,2 mg/L	0,012 mg/L	0,22 mg/L	0,11 mg/L	0,0014 mg/L
Zinc	5,0 à 7.4 mg/L	26 mg/L	0,11 mg/L	0,219 mg/L	0,11 mg/L	0,0014 mg/L
	500 à 7400 ug/L	26000 ug/L	109,584 ug/L	219,167 ug/L	109,584 ug/L	2,07 ug/L

*Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques)

** Prévention de la contamination (organismes aquatiques seulement)

*** Protection de la vie aquatique (effet chronique)

**** Valeur aiguë finale à l'effluent

***** Protection de la vie aquatique (effet aigu)

Tableau 3 : Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux, Station 2

Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux en eau douce						
Dureté: 80						
Critère:	*CPC (EO)	**CPC (O)	***CVAC	****VAFé	*****CVAA	Résultat Station 2
Antimoine	0,006 mg/L	0,64 mg/L	0,24 mg/L	2,3 mg/L	1,1 mg/L	<0,005 mg/L
	6 ug/L	640 ug/L	240 ug/L	2300 ug/L	1100 ug/L	0,105 ug/L
Arsenic	0,0003 et 0,01 mg/L	0,021 mg/L	0,15 mg/L	0,68 mg/L	0,34 mg/L	<0,0019 mg/L
	0,3 et 10 ug/L	21 ug/L	150 ug/L	680 ug/L	340 ug/L	0,62 ug/L
Baryum	1 mg/L	160 mg/L	0,345 mg/L	1,97 mg/L	0,99 mg/L	0,003 mg/L
Bore	0,2 mg/L	160 mg/L	5 mg/L	55 mg/L	28 mg/L	0,024 mg/L
Cadmium	0,005 mg/L	0,13 mg/L	0,00023 mg/L	0,0034 mg/L	0,0017 mg/L	<0,00012 mg/L
	5 ug/L	130 ug/L	0,22938 ug/L	3,4005 ug/L	1,7002 ug/L	0,008 ug/L
Chrome VI	0,05 mg/L	9,4 mg/L	0,011 mg/L	0,032 mg/L	0,016 mg/L	0,0010 mg/L
	50 ug/L	9400 ug/L	11 ug/L	32 ug/L	16 ug/L	1,04 ug/L
Colbalt	**	**	0,1 mg/L	0,74 mg/L	0,37 mg/L	<0,00024 mg/L
	**	**	100 ug/L	740 ug/L	370 ug/L	0,22 ug/L
Cuivre	1,0 à 1,3 mg/L	38 mg/L	0,0077 mg/L	0,0227 mg/L	0,0113 mg/L	0,0024 mg/L
	1000 et 1300 ug/L	38000 ug/L	7,7094 ug/L	22,6893 ug/L	11,3446 ug/L	2,14 ug/L
Fer	0,3 mg/L	**	1,3 mg/L	6,9 mg/L	3,4 mg/L	0,156 mg/L
Manganèse	0,05 mg/L	59 mg/L	1,59 mg/L	6,8 mg/L	3,4 mg/L	0,03 mg/L
Molybdène	0,04 mg/L	10 mg/L	3,2 mg/L	58 mg/L	29 mg/L	0,0047 mg/L
	40 ug/L	10000 ug/L	3200 ug/L	58000 ug/L	29000 ug/L	0,41 ug/L
Nickel	0,07 mg/L	4,6 mg/L	0,043 mg/L	0,78 mg/L	0,39 mg/L	0,0065 mg/L
	70 ug/L	4600 ug/L	43,189 ug/L	776,92 ug/L	388,46 ug/L	7,1 ug/L
Plomb	0,01 mg/L	0,19 mg/L	0,00239 mg/L	0,123 mg/L	0,061 mg/L	<0,0014 mg/L
	10 ug/L	190 ug/L	2,39485 ug/L	122,912 ug/L	61,456 ug/L	0,15 ug/L
Sélénium	0,01 mg/L	4,2 mg/L	0,005 mg/L	0,12 mg/L	0,062 mg/L	<0,003 mg/L
	10 ug/L	4200 ug/L	5 ug/L	120 ug/L	62 ug/L	0,21 ug/L
Strontium	4 mg/L	**	21 mg/L	81 mg/L	40 mg/L	0,0528mg/L
Thallium	0,00024 mg/L	0,00047 mg/L	0,0072 mg/L	0,094 mg/L	0,047 mg/L	<0,0021 mg/L
Vanadium	0,22 mg/L	2,2 mg/L	0,012 mg/L	0,22 mg/L	0,11 mg/L	0,0017 mg/L
Zinc	5,0 à 7.4 mg/L	26 mg/L	0,099 mg/L	0,198 mg/L	0,099 mg/L	0,0024 mg/L
	500 à 7400 ug/L	26000 ug/L	99,176 ug/L	198,351 ug/L	99,176 ug/L	4,02 ug/L

*Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques)

** Prévention de la contamination (organismes aquatiques seulement)

*** Protection de la vie aquatique (effet chronique)

**** Valeur aiguë finale à l'effluent

***** Protection de la vie aquatique (effet aigu)

Tableau 4 : Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux, Station 3

Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux en eau douce						
Dureté: 320						
Critère:	*CPC (EO)	**CPC (O)	***CVAC	****VAFe	*****CVAA	Résultat Station 3
Antimoine	0,006 mg/L	0,64 mg/L	0,24 mg/L	2,3 mg/L	1,1 mg/L	<0,005 mg/L
	6 ug/L	640 ug/L	240 ug/L	2300 ug/L	1100 ug/L	0,52 ug/L
Arsenic	0,0003 et 0,01 mg/L	0,021 mg/L	0,15 mg/L	0,68 mg/L	0,34 mg/L	<0,0019 mg/L
	0,3 et 10 ug/L	21 ug/L	150 ug/L	680 ug/L	340 ug/L	0,85 ug/L
Baryum	1 mg/L	160 mg/L	1,507 mg/L	8,60 mg/L	4,30 mg/L	0,009 mg/L
Bore	0,2 mg/L	160 mg/L	5 mg/L	55 mg/L	28 mg/L	0,017 mg/L
Cadmium	0,005 mg/L	0,13 mg/L	0,00064 mg/L	0,0139 mg/L	0,0070 mg/L	<0,00012 mg/L
	5 ug/L	130 ug/L	0,64066 ug/L	13,9185 ug/L	6,9593 ug/L	<0,0024 ug/L
Chrome VI	0,05 mg/L	9,4 mg/L	0,011 mg/L	0,032 mg/L	0,016 mg/L	0,0008 mg/L
	50 ug/L	9400 ug/L	11 ug/L	32 ug/L	16 ug/L	1,06 ug/L
Colbalt	**	**	0,1 mg/L	0,74 mg/L	0,37 mg/L	<0,00024 mg/L
	**	**	100 ug/L	740 ug/L	370 ug/L	0,11 ug/L
Cuivre	1,0 à 1,3 mg/L	38 mg/L	0,0252 mg/L	0,0838 mg/L	0,0419 mg/L	0,0008 mg/L
	1000 et 1300 ug/L	38000 ug/L	25,2047 ug/L	83,7687 ug/L	41,8843 ug/L	0,68 ug/L
Fer	0,3 mg/L	**	1,3 mg/L	6,9 mg/L	3,4 mg/L	0,006 mg/L
Manganèse	0,05 mg/L	59 mg/L	5,36 mg/L	23,1 mg/L	11,6 mg/L	0,00 mg/L
Molybdène	0,04 mg/L	10 mg/L	3,2 mg/L	58 mg/L	29 mg/L	0,0022 mg/L
	40 ug/L	10000 ug/L	3200 ug/L	58000 ug/L	29000 ug/L	2,30 ug/L
Nickel	0,07 mg/L	4,6 mg/L	0,140 mg/L	2,51 mg/L	1,26 mg/L	0,0092 mg/L
	70 ug/L	4600 ug/L	139,547 ug/L	2510,27 ug/L	1255,14 ug/L	9,6 ug/L
Plomb	0,01 mg/L	0,19 mg/L	0,01399 mg/L	0,718 mg/L	0,359 mg/L	<0,0014 mg/L
	10 ug/L	190 ug/L	13,98622 ug/L	717,821 ug/L	358,910 ug/L	0,03 ug/L
Sélénium	0,01 mg/L	4,2 mg/L	0,005 mg/L	0,12 mg/L	0,062 mg/L	<0,003 mg/L
	10 ug/L	4200 ug/L	5 ug/L	120 ug/L	62 ug/L	0,37 ug/L
Strontium	4 mg/L	**	21 mg/L	81 mg/L	40 mg/L	0,0337 mg/L
Thallium	0,00024 mg/L	0,00047 mg/L	0,0072 mg/L	0,094 mg/L	0,047 mg/L	<0,0021 mg/L
Vanadium	0,22 mg/L	2,2 mg/L	0,012 mg/L	0,22 mg/L	0,11 mg/L	<0,0005 mg/L
Zinc	5,0 à 7.4 mg/L	26 mg/L	0,321 mg/L	0,642 mg/L	0,321 mg/L	0,0009 mg/L
	500 à 7400 ug/L	26000 ug/L	321,018 ug/L	642,037 ug/L	321,018 ug/L	1,43 ug/L

*Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques)

** Prévention de la contamination (organismes aquatiques seulement)

*** Protection de la vie aquatique (effet chronique)

**** Valeur aiguë finale à l'effluent

***** Protection de la vie aquatique (effet aigu)

Tableau 5 : Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux, Station 4

Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux en eau douce						
Dureté: 256						
Critère:	*CPC (EO)	**CPC (O)	***CVAC	****VAFé	*****CVAA	Résultat Station 4
Antimoine	0,006 mg/L	0,64 mg/L	0,24 mg/L	2,3 mg/L	1,1 mg/L	<0,005 mg/L
	6 ug/L	640 ug/L	240 ug/L	2300 ug/L	1100 ug/L	0,29 ug/L
Arsenic	0,0003 et 0,01 mg/L	0,021 mg/L	0,15 mg/L	0,68 mg/L	0,34 mg/L	0,0026 mg/L
	0,3 et 10 ug/L	21 ug/L	150 ug/L	680 ug/L	340 ug/L	2,87 ug/L
Baryum	1 mg/L	160 mg/L	1,189 mg/L	6,78 mg/L	3,39 mg/L	0,007 mg/L
Bore	0,2 mg/L	160 mg/L	5 mg/L	55 mg/L	28 mg/L	0,027 mg/L
Cadmium	0,005 mg/L	0,13 mg/L	0,00054 mg/L	0,0111 mg/L	0,0055 mg/L	<0,00012 mg/L
	5 ug/L	130 ug/L	0,54304 ug/L	11,0937 ug/L	5,5468 ug/L	0,003 ug/L
Chrome VI	0,05 mg/L	9,4 mg/L	0,011 mg/L	0,032 mg/L	0,016 mg/L	0,0011 mg/L
	50 ug/L	9400 ug/L	11 ug/L	32 ug/L	16 ug/L	1,38 ug/L
Colbalt	**	**	0,1 mg/L	0,74 mg/L	0,37 mg/L	0,0003 mg/L
	**	**	100 ug/L	740 ug/L	370 ug/L	0,18 ug/L
Cuivre	1,0 à 1,3 mg/L	38 mg/L	0,0208 mg/L	0,0679 mg/L	0,0339 mg/L	0,0011 mg/L
	1000 et 1300 ug/L	38000 ug/L	20,8292 ug/L	67,8849 ug/L	33,9424 ug/L	1,00 ug/L
Fer	0,3 mg/L	**	1,3 mg/L	6,9 mg/L	3,4 mg/L	0,062 mg/L
Manganèse	0,05 mg/L	59 mg/L	5,36 mg/L	23,1 mg/L	11,6 mg/L	0,02 mg/L
Molybdène	0,04 mg/L	10 mg/L	3,2 mg/L	58 mg/L	29 mg/L	0,0019 mg/L
	40 ug/L	10000 ug/L	3200 ug/L	58000 ug/L	29000 ug/L	1,83 ug/L
Nickel	0,07 mg/L	4,6 mg/L	0,116 mg/L	2,08 mg/L	1,04 mg/L	0,0130 mg/L
	70 ug/L	4600 ug/L	115,540 ug/L	2078,43 ug/L	1039,21 ug/L	13,5 ug/L
Plomb	0,01 mg/L	0,19 mg/L	0,01053 mg/L	0,540 mg/L	0,270 mg/L	<0,0014 mg/L
	10 ug/L	190 ug/L	10,52771 ug/L	540,318 ug/L	270,159 ug/L	0,11 ug/L
Sélénium	0,01 mg/L	4,2 mg/L	0,005 mg/L	0,12 mg/L	0,062 mg/L	<0,003 mg/L
	10 ug/L	4200 ug/L	5 ug/L	120 ug/L	62 ug/L	0,36 ug/L
Strontium	4 mg/L	**	21 mg/L	81 mg/L	40 mg/L	0,0260 mg/L
Thallium	0,00024 mg/L	0,00047 mg/L	0,0072 mg/L	0,094 mg/L	0,047 mg/L	<0,0021 mg/L
Vanadium	0,22 mg/L	2,2 mg/L	0,012 mg/L	0,22 mg/L	0,11 mg/L	<0,0005 mg/L
Zinc	5,0 à 7.4 mg/L	26 mg/L	0,266 mg/L	0,531 mg/L	0,266 mg/L	0,0014 mg/L
	500 à 7400 ug/L	26000 ug/L	265,716 ug/L	531,432 ug/L	265,716 ug/L	0,47 ug/L

*Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques)

** Prévention de la contamination (organismes aquatiques seulement)

*** Protection de la vie aquatique (effet chronique)

**** Valeur aiguë finale à l'effluent

***** Protection de la vie aquatique (effet aigu)

Tableau 6 : Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux, Station 5

Critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux en eau douce						
Dureté: 50						
Critère:	*CPC (EO)	**CPC (O)	***CVAC	****VAFé	*****CVAA	Résultat Station 5
Antimoine	0,006 mg/L	0,64 mg/L	0,24 mg/L	2,3 mg/L	1,1 mg/L	<0,005 mg/L
	6 ug/L	640 ug/L	240 ug/L	2300 ug/L	1100 ug/L	0,89 ug/L
Arsenic	0,0003 et 0,01 mg/L	0,021 mg/L	0,15 mg/L	0,68 mg/L	0,34 mg/L	<0,0019 mg/L
	0,3 et 10 ug/L	21 ug/L	150 ug/L	680 ug/L	340 ug/L	0.58 ug/L
Baryum	1 mg/L	160 mg/L	0,210 mg/L	1,20 mg/L	0,60 mg/L	0,002 mg/L
Bore	0,2 mg/L	160 mg/L	5 mg/L	55 mg/L	28 mg/L	0,0063 mg/L
Cadmium	0,005 mg/L	0,13 mg/L	0,00016 mg/L	0,0021 mg/L	0,0011 mg/L	<0,00012 mg/L
	5 ug/L	130 ug/L	0,16193 ug/L	2,1088 ug/L	1,0544 ug/L	0.015 ug/L
Chrome VI	0,05 mg/L	9,4 mg/L	0,011 mg/L	0,032 mg/L	0,016 mg/L	0,0040 mg/L
	50 ug/L	9400 ug/L	11 ug/L	32 ug/L	16 ug/L	4.16 ug/L
Colbalt	**	**	0,1 mg/L	0,74 mg/L	0,37 mg/L	<0,00024 mg/L
	**	**	100 ug/L	740 ug/L	370 ug/L	0.35 ug/L
Cuivre	1,0 à 1,3 mg/L	38 mg/L	0,0052 mg/L	0,0146 mg/L	0,0073 mg/L	0,0015 mg/L
	1000 et 1300 ug/L	38000 ug/L	5,1594 ug/L	14,5713 ug/L	7,2857 ug/L	1,28 ug/L
Fer	0,3 mg/L	**	1,3 mg/L	6,9 mg/L	3,4 mg/L	0,404 mg/L
Manganèse	0,05 mg/L	59 mg/L	1,05 mg/L	4,5 mg/L	2,3 mg/L	0,02 mg/L
Molybdène	0,04 mg/L	10 mg/L	3,2 mg/L	58 mg/L	29 mg/L	<0,0008 mg/L
	40 ug/L	10000 ug/L	3200 ug/L	58000 ug/L	29000 ug/L	0.20 ug/L
Nickel	0,07 mg/L	4,6 mg/L	0,029 mg/L	0,52 mg/L	0,26 mg/L	0,0253 mg/L
	70 ug/L	4600 ug/L	29,020 ug/L	522,03 ug/L	261,01 ug/L	24.7 ug/L
Plomb	0,01 mg/L	0,19 mg/L	0,00132 mg/L	0,068 mg/L	0,034 mg/L	<0,0014 mg/L
	10 ug/L	190 ug/L	1,31654 ug/L	67,569 ug/L	33,785 ug/L	0.36 ug/L
Sélénium	0,01 mg/L	4,2 mg/L	0,005 mg/L	0,12 mg/L	0,062 mg/L	<0,003 mg/L
	10 ug/L	4200 ug/L	5 ug/L	120 ug/L	62 ug/L	0,14 ug/L
Strontium	4 mg/L	**	21 mg/L	81 mg/L	40 mg/L	0,0149 mg/L
Thallium	0,00024 mg/L	0,00047 mg/L	0,0072 mg/L	0,094 mg/L	0,047 mg/L	<0,0021 mg/L
Vanadium	0,22 mg/L	2,2 mg/L	0,012 mg/L	0,22 mg/L	0,11 mg/L	<0,0005 mg/L
Zinc	5,0 à 7.4 mg/L	26 mg/L	0,067mg/L	0,133 mg/L	0,067 mg/L	0,0022 mg/L
	500 à 7400 ug/L	26000 ug/L	66,597 ug/L	133,194 ug/L	66,597 ug/L	2.76 ug/L

*Prévention de la contamination (eau et organismes aquatiques)

** Prévention de la contamination (organismes aquatiques seulement)

*** Protection de la vie aquatique (effet chronique)

**** Valeur aiguë finale à l'effluent

***** Protection de la vie aquatique (effet aigu)

Suite aux résultats obtenus, aucune valeur ne dépasse les critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux en eau douce, pour l'ensemble des stations d'échantillonnage. Toutefois, certaines données s'approchent de la limite de certains critères.

L'antimoine, le cadmium, le plomb, le sélénium et le thallium se retrouvent sous la limite de détection pour l'ensemble des stations. Le cobalt est aussi sous la limite de détection pour les stations 2, 3 et 5. Le vanadium est aussi situé sous la limite de détection pour les stations 3, 4 et 5. Enfin, la station 5 possède également le molybdène sous les limites de détection.

La teneur du manganèse est de 0,03 mg/L pour les stations 1 et 2 et de 0,02 mg/L pour les stations 4 et 5 alors que le critère CPC (EO) est de 0,05 mg/L.

La teneur en arsenic des stations 1 à 5 est respectivement de 0,79 ug/L, 0,62 ug/L, 0,85 ug/L, 2,87 ug/L et 0,58 ug/L alors que le critère CPC (EO) est compris entre 0,3 et 10 ug/L.

À la station 5, on retrouve également une teneur en fer de 0,404 mg/L alors que le critère CPC (EO) est de 0,3 mg/L. La teneur en nickel est de 0,0253 mg/L et 24,7 ug/L alors que le critère CVAC est de 0,029 mg/L et 29,020 ug/L.

L'amont du ruisseau Poirier (station 5) est le seul endroit où une teneur se rapproche du critère CVAC pour la protection de la vie aquatique (effet chronique).

On trouve généralement le fer dans les eaux de surface sous forme de sels contenant du Fe(III) lorsque le pH est supérieur à 7. La plupart de ces sels sont insolubles et sont précipités ou absorbés sur différentes surfaces. La présence du fer dans des sources naturelles d'approvisionnement en eau est attribuable à la décomposition de la roche et des minéraux, aux eaux acides de drainage des mines, aux eaux de lessivage de décharges contrôlées, aux effluents d'égouts ainsi qu'aux rejets des secteurs industriels qui traitent le fer (Santé Canada, 2009).

Le nickel est un métal lourd plutôt mobile. Il s'introduit dans le milieu aquatique par l'intermédiaire d'effluents et de lixiviats ainsi que par dépôt à partir de l'atmosphère après avoir été rejeté par des sources anthropiques. Dans les eaux naturelles, il est transporté sous forme de particules et sous forme dissoute. Le pH, le potentiel d'oxydoréduction, la force ionique, le type et la concentration des ligands organiques et inorganiques (en particulier les acides humiques et fulviques) et la présence de surfaces solides pour l'absorption (en particulier les oxydes de fer et de manganèse hydratés) sont autant de paramètres qui peuvent influencer sur le transport, le devenir et la biodisponibilité du nickel en eau douce et en eau de mer (Santé Canada, 2007).

De façon générale, le manganèse est présent dans les eaux de surface naturelles, soit en solution, soit en suspension, à des concentrations inférieures à 0,05 mg/L. Il est présent dans plus d'une centaine de composés de sels et de minéraux communs que l'on retrouve dans les roches, les sols et au fond des lacs et des océans. Le plus souvent, on trouve le manganèse sous forme de dioxyde, de carbonate ou de silicate de manganèse (Gouvernement du Canada, 2015).

L'arsenic se retrouve naturellement dans les sédiments volcaniques, les minéraux sulfurés et les oxydes métalliques (Santé Canada, 2006). L'arsenic s'infiltré naturellement dans les cours d'eau et dans l'eau souterraine lorsque des dépôts minéraux ou des roches qui en contiennent se dissolvent (Santé Canada, 2013). Il est également présent dans l'eau par l'érosion et le vieillissement climatique du sol, des minéraux et des minerais, d'effluents industriels et de dépôts atmosphériques (Hindmarsh et McCurdy, 1986; Hutton et Symon, 1986 paru dans Santé Canada, 2006).

Suite à la comparaison avec le Règlement sur la qualité de l'eau potable qui définit la concentration maximale, exprimée en mg/L, acceptée pour les substances inorganiques, aucun de nos échantillons ne dépasse ces paramètres (Annexe 1). Les substances inorganiques qui ont été comparées sont l'antimoine, l'arsenic, le baryum, le bore, le cadmium, le chrome, le cuivre, le plomb et le sélénium.

6.0 Analyse et discussion

Selon l'interprétation de notre collaborateur Monsieur Fortin, plusieurs données peuvent ressortir de cette étude. Tout d'abord, la station 3 (aval du ruisseau Poirier) et la station 4 (ruisseau sans nom) ont une composition physico-chimique très similaire. Les données recueillies sur le cadmium sont plutôt faibles. Il est à noter que les critères de qualité pour ce métal sont très sévères.

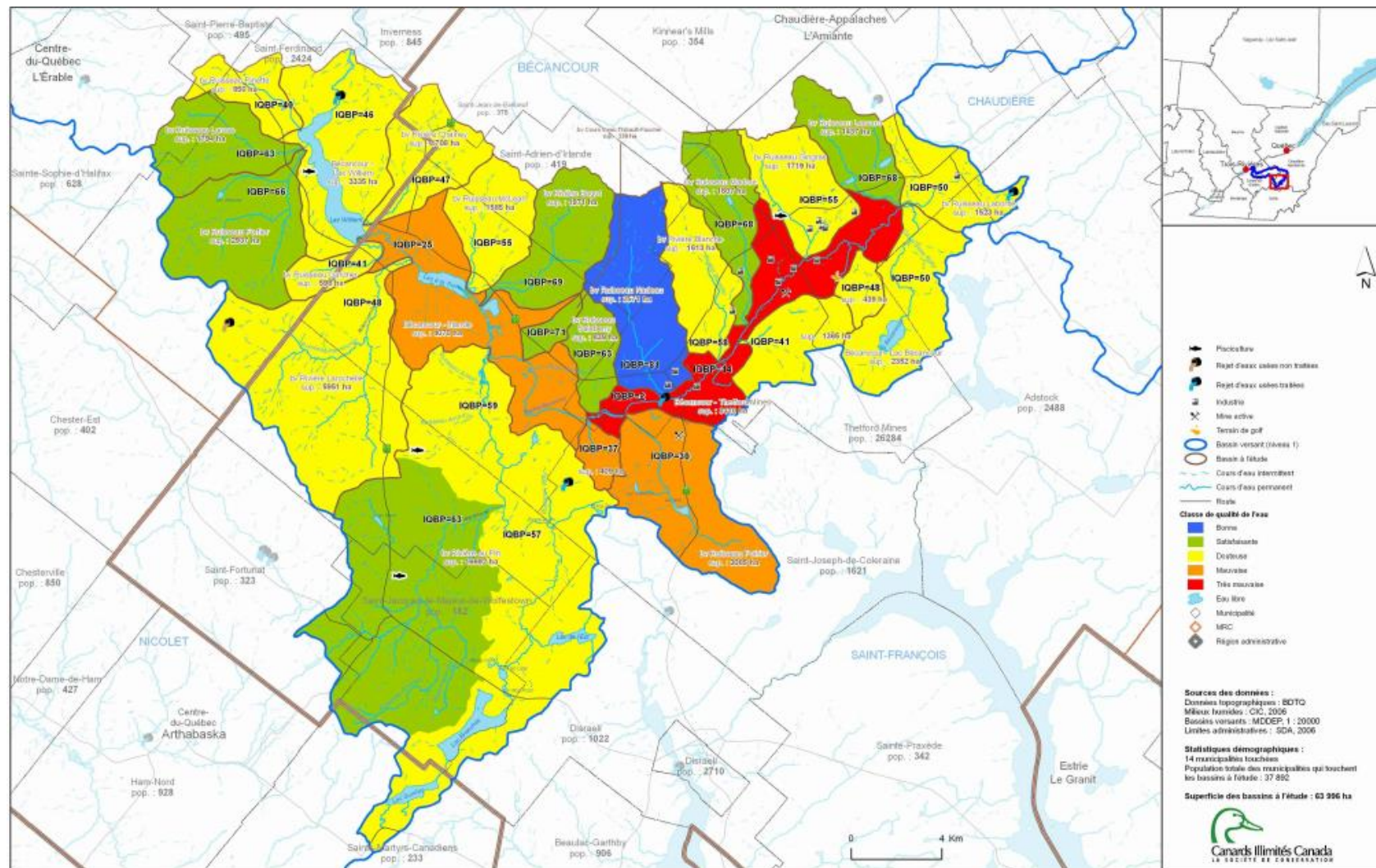
L'interprétation des résultats de Monsieur Fortin démontre certaines similitudes avec les conclusions apportées par notre analyse. Aux stations 3 et 4, l'arsenic présente des concentrations plus élevées qu'aux autres stations sans toutefois dépasser les critères de qualité de l'eau de surface pour les métaux. La situation est identique pour le molybdène des stations 2 et 3.

Grâce à la littérature scientifique portant sur notre sujet, il est important de garder en tête qu'à cause de sa géologie et sa pédologie, il est normal de retrouver un taux plus élevé de magnésium, de nickel et de cuivre dans le bassin versant de la rivière Bécancour. L'arsenic, le cadmium, le cuivre et le nickel sont présents sous forme dissoute tandis que

le chrome se retrouve sous forme particulière. De plus, la rivière Bécancour est reconnue pour avoir du plomb et du zinc sous forme particulière (MDDELCC, 2014). Toutefois, ces informations représentent la réalité de l'embouchure de la rivière Bécancour, soit à près de 200 km de notre zone d'étude. Il se peut que cela ne reflète pas la réalité de l'amont de la rivière Bécancour.

Les recherches effectuées n'ont pu démontrer aucune corrélation directe entre la présence de métaux et les haldes minières situées en bordure des cours d'eau. Cependant, certaines de ces haldes se situent en bordure de la rivière Bécancour et l'écoulement des eaux de pluie et de la neige pourrait entraîner des matières particulières dans le cours d'eau (MDDELCC, 2015). Par ailleurs, mentionnons que certains auteurs soupçonnent que dans le domaine industriel, la mine à ciel ouvert située à Black Lake contribuerait de façon non négligeable à la contamination de la Haute-Bécancour. Selon ces derniers, le sous bassin versant du ruisseau Poirier amène d'importantes charges en phosphore, en nitrites-nitrates et en matières en suspension, et cette mine semble être la seule source potentielle de pollution dans cette unité cartographique. Aussi, l'autre mine qui était active sur le territoire lors de leur enquête, la mine Bell située sur les rives du cours principal de la rivière Bécancour à Thetford Mines, a peut-être également un rôle à jouer dans la contamination de la Haute-Bécancour (Masi et Bourget, 2007). Mais, ces hypothèses ne sont que des suppositions soulevées par les auteurs et aucune donnée n'a permis de confirmer le tout avec certitude.

De plus, il est intéressant de constater que la qualité de l'eau selon IQBP est considérée comme très mauvaise dans le secteur où les stations d'échantillonnage ont été effectuées (Masi et Bourget, 2007 et Carte 4). Ces zones sont fortement marquées par l'industrie minière.



Carte 4 : Portrait de la qualité de l'eau

7.0 Conclusion et recommandation

Dans son ensemble, l'étude a permis d'analyser la présence de métaux et de minéraux présents dans le bassin versant de la rivière Haute-Bécancour. Grâce à nos collaborateurs, nous avons pu avoir une meilleure connaissance du territoire d'un point de vue géologique et temporel.

Dans ce même ordre d'idée, les résultats obtenus font ressortir l'influence de la géologie et de la pédologie sur les concentrations des métaux dans le bassin versant de la rivière Bécancour. La présence de métaux à l'embouchure des cours d'eau étudiés lors d'études antérieures résulterait donc principalement de la vulnérabilité des bassins versants aux processus d'altération de la roche mère et d'érosion des sols (MDDELCC, 2014). La relation entre la composition géologique du bassin versant et la composition chimique de l'eau est donc primordiale afin de mieux comprendre la présence de métaux lourds.

Suite à la rédaction de ce rapport, il est impossible de dire quel est le rôle des haldes minières quant à la présence de métaux dans la rivière Bécancour et dans certains de ces tributaires. Selon certains collaborateurs, une certaine contamination peut être attribuée à la proximité des haldes, du cours d'eau. Par contre, comme certaines teneurs de fond sont reliées à la géologie, il serait judicieux de démontrer, par des analyses au pied des haldes près des cours d'eau, que ces dernières ont un impact superposé aux teneurs de fond.

De plus, pour avoir une meilleure idée de l'impact qu'ont les haldes minières, des échantillonnages en amont et en aval de la zone minière contribueraient à avoir une meilleure idée d'ensemble. Aussi, des échantillons récoltés dans une zone non minière de la région de Thetford (amont et aval) donneraient un bon aperçu de la teneur de fond déjà existante. Il serait préférable de faire plusieurs échantillonnages au lieu d'un seul afin d'obtenir un portrait plus global. Un échantillonnage au printemps, en période de crue, et à l'été, en période d'étiage, serait fortement recommandé. Une eau plus chaude, et par le fait même moins mobile peut solubiliser davantage les métaux présents en eau de surface. Aussi, lors d'une période chaude, sans pluie, il serait intéressant de voir si l'eau provient de résurgence en eau souterraine. Dans le cas d'un débit d'étiage avec une eau stagnante ou de faible écoulement, les métaux pourraient être présents en de plus fortes concentrations. Contrairement au dernier point soulevé, en échantillonnant lors de journées pluvieuses, le ruissellement provenant des haldes pourrait être mis de l'avant.

Enfin, l'échantillonnage devrait se faire selon la méthodologie mensuelle, soit de mai à octobre.

Si des analyses plus poussées devaient avoir lieu, il pourrait être intéressant de prélever des échantillons de sédiments, de sol et d'eau souterraine. Aussi, la dissolution du cadmium en suspension ou absorbé par les sédiments peut se produire lorsque le pH de l'eau diminue. On a indiqué l'importance de connaître les concentrations de cadmium dans les matières en suspension et dans les sédiments pour l'évaluation du degré de contamination d'un plan d'eau. Il se peut que la teneur de l'eau en cadmium dissous soit trop faible pour qu'on puisse le détecter, même si ces solides en contiennent, et surtout si l'eau est neutre ou alcaline (Santé Canada, 2008).

Afin de faciliter les comparaisons entre ce rapport et celui de Masi et Bourget, tous les mêmes paramètres physico-chimiques auraient dû être analysés. La turbidité et les matières en suspensions sont des éléments importants à connaître, l'apport de sédiment provenant des zones minières versus les zones forestières. Aussi, comme la station 3 (aval du ruisseau Poirier) et la station 4 (ruisseau sans nom) ont une composition physico-chimique très similaire, il pourrait être intéressant de voir si ces deux cours d'eau sont influencés de la même façon.

D'un point de vue plus technique, il serait bien de connaître davantage l'interaction des métaux et de leur environnement. La solubilité et la mobilité de ces derniers pourraient en dire davantage sur leurs impacts dans les cours d'eau.

Enfin, une expertise sur les phénomènes du drainage neutre contaminé (DNC) et du drainage minier alcalin serait une bonne voie de recherche ultérieure. Ces phénomènes sont généralement bien présents lors d'activités minières comme celles se situant dans la région de Thetford Mines. Elles pourraient, aussi, mettre en corrélation la présence de certains métaux tels que l'arsenic, le cadmium, le molybdène et le nickel.

Annexe

Tableau 7: Règlement sur la qualité de l'eau potable-Substances inorganiques

Substances inorganiques	Concentration maximale (mg/l)
Antimoine	0,006
Arsenic (As)	0,010
Baryum (Ba)	1,0
Bore (B)	5,0
Bromates	0,010
Cadmium (Cd)	0,005
Chloramines	3,0
Chlorates	0,8
Chlorites	0,8
Chrome (Cr)	0,050
Cuivre (Cu)	1,0
Cyanures (CN)	0,20
Fluorures (F)	1,50
Nitrates + nitrites (exprimés en N)	10,0
Mercure (Hg)	0,001
Plomb (Pb)	0,010
Sélénium (Se)	0,010
Turbidité	5 UTN
Uranium (U)	0,020

(MDDELCC, 2015)

Référence

Bérubé, P (1991) *Qualité des eaux du bassin de la rivière Bécancour, 1979 à 1989*, Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau, Envirodoq No. 91 0401, QEN/QE/73/E, 199 pages, 14 annexes.

Calugaru, J.L. (2014) *Mémoire Modification des matériaux naturels et des résidus industriels et application à la rétention des métaux du drainage minier*. Université de Montréal, École Polytechnique de Montréal et Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
<http://depositum.uqat.ca/624/1/Calugaru,%20Iuliana%20Laura.pdf>

Chauvette, L. (2009). *Diagnostic du bassin versant de la rivière Bécancour*. Groupe de concertation du bassin de la rivière Bécancour (GROBEC).
http://www.grobec.org/pdf/projets/grobec_diagnostic_bassin_versant_riv_becancour_2009.pdf

CRE Laurentides (2009) *L'oxygène dissous*
http://www.troussedeslacs.org/pdf/fiche_oxygene.pdf

CRE-Laurentides (2009) *Le pH*
http://www.troussedeslacs.org/pdf/fiche_ph.pdf

CSST (2014) *Répertoire toxicologique, Thallium*
http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=8490

Fortin, C. (2012) *Projet d'analyse des métaux lourds des cours d'eau du secteur Thetford Mines*. Chaire de recherche du Canada en Biogéochimie des éléments traces. INRS. Données non publiées.

GOMELLA, Cyrille (2015) Dureté de l'eau. Encyclopædia Universalis.
<http://www.universalis.fr/encyclopedie/durete-de-l-eau>

Gouvernement du Canada (2015) *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Document technique- Le manganèse*
<http://canadiensensante.gc.ca/publications/healthy-living-vie-saine/water-manganese-eau/index-fra.php>

Groupe d'éducation et d'écosurveillance de l'eau - G3E (2013) *Les capsules du G3E- Oxygène dissous*
http://www.g3e-ewag.ca/programmes/capsules/cours-eau/physicochimie/oxygene_dissous.html

Laferrière, Louis (2014) *Cadre de gestion pour les sols ayant une teneur de fond naturelle en nickel plus élevée que le critère A de la politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés dans la région de Magog-Orford*. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement. Université de Sherbrooke, Québec.
https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2014/Laferriere_L__2014-10-14_.pdf

MASI, M.-E. et D. BOURGET. 2007. *Diagnostic sur les ressources et les usages de la Haute-Bécancour*, Rapport technique. Canards Illimités Canada, Québec, 68p.
http://www.ville.thetfordmines.qc.ca/fichiersupload/pages/Diagnostic_HB_rapport.pdf

MDDELCC (2014) *Les métaux dans les rivières du sud-ouest du Québec (2008-2011)*
www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/metaux-rivieres.pdf

MDDELCC (2014) *Le secteur minier au Québec Enjeux environnementaux et cadre normatif pour les rejets liquides*
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/milieu_ind/bilans/mines2011/enjeux.pdf

MDDELCC (2015) *Portrait régional de l'eau, Chaudière-Appalaches (Région administrative 12)*
[http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/regions/region12/12-chaudiere\(suite\).htm](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/regions/region12/12-chaudiere(suite).htm)

- MDDELCC (2015) Critères de qualité de l'eau de surface au Québec. *Fondements des critères de qualité pour chaque usage de l'eau*.
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/fondements.htm
- MDDELCC (2015) *Règlement sur la qualité de l'eau potable, Le Règlement en bref. Tableau 5- Paramètres concernant les substances inorganiques*
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure/annexe.htm#annexes>
- MDDEP (2010) *Direction des politiques de l'eau Service des eaux industrielles Québec, août 2010 Bilan annuel de conformité environnementale pour l'année 2008 Les effluents liquides du secteur minier*
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/milieu_ind/bilans/mines08/mines08.pdf
- MERN (2013) *Gros plan sur Chaudière-Appalaches, Minéraux industriels*
<https://www.mern.gouv.qc.ca/chaudiere-appalaches/mines/mines-potentiel-mineraux.jsp>
- MRN (2015) *Cartes interactives du Système d'information géominière du Québec*
http://sigeom.mrn.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108_afchCarteIntr?l=F
- OpenClassrooms (2013) *La chimie à partir de zéro*
<https://openclassrooms.com/courses/la-chimie-a-partir-de-zero/classons-les-elements-2>
- Paré, D (1981) *Étude hydrogéologique du bassin versant de la rivière Bécancour*. Services eaux souterraines, Programme de connaissances intégrées. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement, Direction générales des inventaires et de la recherche
http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/Gaz_de_schiste/documents/DB14/B%C3%A9cancour/DB14_EH_1Rapport.pdf
- SANDLOS, J et KEELING, A (2015) *Exploitation minière*. Encyclopédie canadienne
<http://www.encyclopediecanadienne.ca/fr/article/exploitation-mini%C3%A8re/>
- Santé Canada (2006). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – L'arsenic*. Bureau de la qualité de l'eau et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario).
<http://canadiensensante.gc.ca/publications/healthy-living-vie-saine/water-arsenic-eau/alt/water-arsenic-eau-fra.pdf>

- Santé Canada (2007) *Santé de l'environnement et du milieu de travail. Le nickel et ses composés* http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/compounds_nickel_composes/index-fra.php#a221
- Santé Canada (2009) *Santé de l'environnement et du milieu de travail. Le Fer* <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/iron-fer/index-fra.php>
- Santé Canada (2013) *L'arsenic dans l'eau potable* <http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/envIRON/arsenic-fra.php>
- Sénat (2015) *Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. 2^e partie : Les conséquences des métaux lourds sur l'environnement* <http://www.senat.fr/rap/l00-261/l00-26150.html>
- Ville de Thetford Mines (2015) *L'histoire au quotidien* <http://www.ville.thetfordmines.qc.ca/info.php?noPage=242>
- Wels et al. (2003) *Évaluation du comportement hydrogéologique et géochimique des haldes a stériles*. École polytechnique de Montréal <http://www.polymtl.ca/enviro-geremi/pdf/articles/Steriles-Aubertinet al-2sept05-Final.pdf>