

Qualité de l'eau des fosses de mines d'amiante



Janvier 2024



Équipe de travail

Échantillonnage :

Chloé Lacasse, B.Sc.A. Environnement et Tech. Bioécologie (GROBEC)
Sandrine Desaulniers, M.Sc. Géographie et B.A. Géographie (GROBEC)
Francis Donati-Daoust, Ing. Géologie (Observatoire National de l'Amiante)
Jean-Philippe Lalumière, Tech. Bioécologie (COPERNIC)
Marine Gaumer, Communications (COBARIC)

Rédaction :

Chloé Lacasse, B.Sc.A. Environnement et Tech. Bioécologie (GROBEC)

Cartographie :

Yiriba dit Yacouba Samake, M.Sc. Géographie, B. Sc. Géomatique (GROBEC)

Révision :

Sandrine Desaulniers, M.Sc. Géographie et B.A. Géographie (GROBEC)
Emmanuel Laplante, M. Env. et B. Sc. Biologie (GROBEC)

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)
609 rue Principale, bureau 200, Saint-Ferdinand, Québec, G0N 1N0
Téléphone : 819-980-8038, Télécopieur : 819-980-8039
Adresse courriel : grobec@grobec.org
Site internet : www.grobec.org

GROBEC, 2024. Qualité de l'eau des fosses de mines d'amiante. 52 p. + Annexes.

Table des matières

1. INTRODUCTION	9
2. OBJECTIFS ET LIMITES	10
2.1. OBJECTIFS	10
2.2. LIMITES.....	11
3. DESCRIPTION DU TERRITOIRE À L'ÉTUDE	12
3.1.1. <i>Mine Nationale</i>	13
3.1.2. <i>Mine British Canadian</i>	13
3.1.3. <i>Mine Normandie</i>	14
3.1.4. <i>Mine King Beaver</i>	14
4.2.5 <i>Mine Jeffrey</i>	15
4.2.6 <i>Mine Boston</i>	15
4.2.7 <i>Mine Lac d'Amiante</i>	15
4. MÉTHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE	17
4.1. PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES	17
4.1.1. <i>Calendrier d'échantillonnage</i>	17
4.1.2. <i>pH, turbidité, conductivité et température</i>	17
4.1.3. <i>Chlorophylle a, carbone organique dissous et phosphore total</i>	18
4.1.4. <i>Métaux majeurs, dissous et extractibles</i>	18
4.1.5. <i>Amiante</i>	18
4.1.6. <i>ADN environnemental</i>	19
4.1.7. <i>Cartographie</i>	19
5. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	20
5.1. AMIANTE.....	20
5.2. PH, CONDUCTIVITÉ, OXYGÈNE DISSOUS ET TURBIDITÉ.....	21
5.2.1. <i>pH</i>	21
5.2.2. <i>Conductivité</i>	22
5.2.3. <i>Oxygène dissous</i>	24
5.2.4. <i>Turbidité</i>	25
5.3. MÉTAUX DISSOUS, EXTRACTIBLES ET MAJEURS	26
5.4. ADN ENVIRONNEMENTAL.....	28
5.4.1. <i>ADN environnemental : poissons</i>	28
5.4.2. <i>ADN environnemental : invertébrés aquatiques</i>	29
5.5. RÉSUMÉ PAR FOSSE	31
5.5.1. <i>Mine Nationale</i>	31
5.5.2. <i>Mine British Canadian</i>	33
5.5.3. <i>Mine Normandie</i>	36
5.5.4. <i>Mine King Beaver</i>	39
5.5.5. <i>Mine Jeffrey</i>	41
5.5.6. <i>Mine Boston</i>	43

5.5.7. Mine Lac d'Amiante.....	45
6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	48
7. BIBLIOGRAPHIE.....	50

Liste des figures

FIGURE 1: CARTE DU SECTEUR MINIER DE THETFORD MINES DANS LA ZONE BÉCANCOUR.	12
FIGURE 2: NOMBRE TOTAL DE FIBRES D’AMIANTE DE PLUS DE 0,5 µM EN MILLIONS DE FIBRES PAR LITRE (MFL) D’EAU AUX MINES NATIONALE, BRITISH CANADIAN (BC), NORMANDIE, BEAVER, JEFFREY, BOSTON ET LAC D’AMIANTE, À L’AUTOMNE 2023.	20
FIGURE 3: VALEUR DU PH DES MINES NATIONALE, BRITISH CANADIAN (BC), NORMANDIE, BEAVER, JEFFREY, BOSTON ET LAC D’AMIANTE À L’AUTOMNE 2023.	22
FIGURE 4: CONDUCTIVITÉ (µS/CM) DES MINES NATIONALE, BRITISH CANADIAN (BC), NORMANDIE, BEAVER, JEFFREY, BOSTON ET LAC D’AMIANTE À L’AUTOMNE 2023.	23
FIGURE 5: OXYGÈNE DISSOUS (%) DES MINES NATIONALE, BRITISH CANADIAN (BC), NORMANDIE, BEAVER, JEFFREY, BOSTON ET LAC D’AMIANTE À L’AUTOMNE 2023.	24
FIGURE 6: TURBIDITÉ (UTN) DES MINES BRITISH CANADIAN (BC), NORMANDIE ET LAC D’AMIANTE À L’AUTOMNE 2023.	25
FIGURE 7: COMPOSITION DE LA COMMUNAUTÉ D’INVERTÉBRÉS AQUATIQUES DANS LA FOSSE DE LA MINE NORMANDIE, À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAIN, LE 22 AOÛT 2023 (NATURE METRICS, 2023B).	30

Liste des tableaux

VALEURS DES CONCENTRATIONS EN MÉTAUX DISSOUS ($\mu\text{G/L}$) POUR LES TROIS STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE DES FOSSES DU SECTEUR MINIER DE THETFORD MINES EN 2023, SOIT BRITISH CANADIAN (N=2), LAC D'AMIANTE (N=2) ET NORMANDIE (N=1). LES VALEURS LES PLUS ÉLEVÉES SONT INDIQUÉES EN GRIS FONCÉ. 26

VALEURS DES CONCENTRATIONS EN MÉTAUX EXTRACTIBLES ($\mu\text{G/L}$) POUR LES TROIS STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE DES FOSSES DU SECTEUR MINIER DE THETFORD MINES EN 2023, SOIT BRITISH CANADIAN (N=2), LAC D'AMIANTE (N=1) ET NORMANDIE (N=1). LES VALEURS LES PLUS ÉLEVÉES SONT INDIQUÉES EN GRIS FONCÉ. 26

VALEURS DES CONCENTRATIONS EN MÉTAUX MAJEURS (MG/L) POUR LES TROIS STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE DES FOSSES DU SECTEUR MINIER DE THETFORD MINES EN 2023, SOIT BRITISH CANADIAN (N=2), LAC D'AMIANTE (N=2) ET NORMANDIE (N=1). LES VALEURS LES PLUS ÉLEVÉES SONT INDIQUÉES EN GRIS FONCÉ. 28

VALEURS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES À LA MINE NATIONALE, À THETFORD MINES, LE 31 OCTOBRE 2023. LES VALEURS LES PLUS ÉLEVÉES SONT INDIQUÉES EN GRIS FONCÉ. 32

QUANTITÉ DE FIBRES D'AMIANTE DE $0,5 \mu\text{M}$ ET PLUS EN MILLIONS DE FIBRES PAR LITRE (MFL) D'EAU À LA MINE NATIONALE À THETFORD MINES, LE 31 OCTOBRE 2023 32

MOYENNE DES VALEURS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES À LA MINE BRITISH CANADIAN, À THETFORD MINES, LES 22 AOÛT, 28 SEPTEMBRE ET 10 OCTOBRE 2023. LES VALEURS LES PLUS ÉLEVÉES SONT INDIQUÉES EN GRIS FONCÉ. 34

QUANTITÉ DE FIBRES D'AMIANTE DE $0,5 \mu\text{M}$ ET PLUS EN MILLIONS DE FIBRES PAR LITRE (MFL) D'EAU À LA MINE NATIONALE À THETFORD MINES, LE 31 OCTOBRE 2023 34

VALEURS DES PARAMÈTRES DE CHLOROPHYLLE ACTIVE, PHOSPHORE TOTAL ET CARBONE ORGANIQUE DISSOUS À LA MINE BRITISH CANADIAN (BC) À THETFORD MINES LE 22 AOÛT ET LE 10 OCTOBRE 2023. 34

VALEURS DES MÉTAUX MAJEURS À LA MINE BRITISH CANADIAN, À THETFORD MINES, LE 22 AOÛT ET LE 10 OCTOBRE 2023. 34

VALEURS DES CONCENTRATIONS EN MÉTAUX DISSOUS ET MÉTAUX EXTRACTIBLES (UG/L) À LA MINE BRITISH CANADIAN À THETFORD MINES LE 22 AOÛT ET LE 10 OCTOBRE 2023. 35

36

VALEURS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES À LA MINE NORMANDIE, À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE, LE 22 AOÛT 2023. 37

QUANTITÉ DE FIBRES D'AMIANTE DE $0,5 \mu\text{M}$ ET PLUS EN MILLIONS DE FIBRES PAR LITRE (MFL) D'EAU À LA MINE NORMANDIE, À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE, LE 22 AOÛT 2023 37

VALEURS DES PARAMÈTRES DE CHLOROPHYLLE ACTIVE, PHOSPHORE TOTAL ET CARBONE ORGANIQUE DISSOUS À LA MINE NORMANDIE, À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE, LE 22 AOÛT 2023 37

VALEURS DES MÉTAUX MAJEURS À LA MINE NORMANDIE À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE, LE 22 AOÛT 2023 37

CONCENTRATIONS EN MÉTAUX DISSOUS ET EXTRACTIBLES (UG/L) À LA MINE NORMANDIE À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE, LE 22 AOÛT 2023. 38

VALEURS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES À LA MINE KING BEAVER, À THETFORD MINES, LE 31 OCTOBRE 2023. 40

QUANTITÉ DE FIBRES D'AMIANTE DE 0,5 µM ET PLUS EN MILLIONS DE FIBRES PAR LITRE (MFL) D'EAU À LA MINE KING BEAVER À THETFORD MINES, LE 31 OCTOBRE 2023 40

VALEURS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES À LA MINE JEFFREY, À VAL-DES-SOURCES, LE 30 OCTOBRE 2023. 42

QUANTITÉ DE FIBRES D'AMIANTE DE 0,5 µM ET PLUS EN MILLIONS DE FIBRES PAR LITRE (MFL) D'EAU À LA MINE JEFFREY À VAL-DES-SOURCES, LE 30 OCTOBRE 2023 42

VALEURS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES À LA MINE BOSTON, À SACRÉ-CŒUR-DE-JÉSUS, LE 1^{ER} NOVEMBRE 2023. 44

QUANTITÉ DE FIBRES D'AMIANTE DE 0,5 µM ET PLUS EN MILLIONS DE FIBRES PAR LITRE (MFL) D'EAU À LA MINE BOSTON À SACRÉ-CŒUR-DE-JÉSUS, LE 1^{ER} NOVEMBRE 2023 44

VALEURS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES À LA MINE LAC D'AMIANTE, À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE, LE 10 OCTOBRE 2023. 46

QUANTITÉ DE FIBRES D'AMIANTE DE 0,5 µM ET PLUS EN MILLIONS DE FIBRES PAR LITRE (MFL) D'EAU À LA MINE LAC D'AMIANTE, À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE, LE 28 AOÛT 2023 46

VALEURS DES PARAMÈTRES DE CHLOROPHYLLE ACTIVE, PHOSPHORE TOTAL ET CARBONE ORGANIQUE DISSOUS À LA MINE LAC D'AMIANTE, À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE, EN 2023 46

VALEURS DES MÉTAUX MAJEURS À LA MINE LAC D'AMIANTE, À SAINT-JOSEPH-DE-COLERAINE, EN 2023 46

VALEURS DES CONCENTRATIONS EN MÉTAUX DISSOUS ET MÉTAUX EXTRACTIBLES (UG/L) À LA MINE LAC D'AMIANTE À THETFORD MINES LE 28 AOÛT ET LE 10 OCTOBRE 2023. 47

Liste des annexes

ANNEXE 1 : TABLEAU PRÉSENTANT LES ESPÈCES DÉTECTÉES PAR L'ÉTUDE D'ADN ENVIRONNEMENTAL DES INVERTÉBRÉS AQUATIQUES À LA MINE NORMANDIE, À SAINT-JOSEPH DE COLERAINÉ, LE 22 AOÛT 2023 (NATURE METRICS, 2023)XXV

ANNEXE 2 : LOCALISATION DE L'EXUTOIRE DE LA MINE NATIONALE XXVI

Remerciements

Le Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour (GROBEC) tient à remercier tous les partenaires du projet. Par leur appui, l'ensemble des partenaires ont permis la réalisation de cette étude.

Cette initiative est prévue dans le Plan d'action 2018-2023 de la Stratégie québécoise de l'eau, qui déploie des mesures concrètes pour protéger, utiliser et gérer l'eau et les milieux aquatiques de façon responsable, intégrée et durable.

La contribution financière du Gouvernement du Québec dans le cadre du Programme de soutien régional aux enjeux de l'eau ainsi que de la MRC des Appalaches dans le cadre du Fonds d'amélioration de la qualité de l'eau (FAQE) a été indispensable pour la réussite de ce projet. Le GROBEC remercie également l'Observatoire national de l'Amiante (ONA) pour la contribution financière et technique ayant permis de rendre ce projet possible.



Le GROBEC tient également à remercier les différentes compagnies minières ayant accepté de participer dans le projet en nous fournissant les autorisations nécessaires pour accéder aux sites miniers.

Merci à Société Asbestos Ltée. pour l'accès aux mines Normandie, King Beaver et Boston.

Merci à Granilake pour l'accès aux mines Lac d'Amiante et Nationale.

Merci à Mine Jeffrey Inc. pour l'accès à la mine Jeffrey.

1. Introduction

L'extraction de l'amiante a fortement influencé le paysage dans la Haute-Bécancour, mais aussi dans les bassins versants voisins, soit la rivière Chaudière et la rivière Nicolet. Quelques études ont été produites en lien avec la présence de haldes de résidus miniers amiantés (RMA) en bordure de la Bécancour dans les dernières années. Il s'agit principalement de l'Étude paléolimnologique des lacs de la rivière Bécancour produite par MM. Jacques et Pienitz de l'université Laval (2022) et le Suivi de la qualité de l'eau de la rivière Bécancour réalisé en 2021 par le GROBEC. En 2023, dans la foulée du Plan Amiante, le ministère de l'Environnement (MELCCFP) a entrepris un suivi des rivières Bécancour et Nicolet qui s'échelonnent jusqu'en 2025 afin de mesurer l'impact du ruissellement de ces haldes de RMA sur ces deux rivières.

Bien que les haldes minières aient retenu l'attention jusqu'à maintenant, le paysage et la qualité de l'eau sont également influencés par les fosses présentes sur chacun des sites miniers. Depuis la fermeture des mines à ciel ouvert, le processus d'envoiment de ces fosses est débuté. Ce processus naturel se fait par la nappe phréatique et par les précipitations. Certaines fosses sont maintenant complètement ennoyées et connectées au réseau hydrographique de surface. Éventuellement, la totalité des fosses de mines d'amiante sera connectée aux cours d'eau du territoire. Pourtant, pratiquement aucune information n'est disponible quant à la qualité de l'eau qui s'y retrouve.

Cette campagne d'échantillonnage vise donc à pallier ce manque et à obtenir une première image de la qualité de l'eau des fosses de mines dans les bassins versants des rivières Bécancour, Nicolet et Chaudière. La qualité de l'eau des fosses a été évaluée à l'aide de différents paramètres physico-chimiques dont les métaux lourds majeurs, extractibles et dissous ainsi que les fibres d'amiante. Ces résultats seront comparés, lorsque possible, aux critères de qualité de l'eau en vigueur pour les activités humaines, pour la vie aquatique et aux règlements établis par le MELCCFP sous la Directive 019 sur les activités minières.

Cette campagne de suivi de la qualité de l'eau est une des activités réalisées dans le cadre du projet « Mise en œuvre du plan de contrôle des sédiments amiantés du secteur minier de la Haute-Bécancour » mené par le GROBEC.

2. Objectifs et limites

2.1. Objectifs

L'objectif principal de ce suivi est de documenter la qualité de l'eau de ces fosses et le profil thermique de ces plans d'eau.

D'une part, ces données permettront d'identifier les impacts potentiels, qu'ils soient positifs ou négatifs, de ces fosses de mines sur la qualité de l'eau de surface dans les bassins versants des rivières Bécancour, Chaudière et Nicolet.

D'autre part, ces données permettront d'évaluer la transformation de ces plans d'eau vers des écosystèmes lacustres.

Pour se faire, sept fosses de mines seront étudiées. Dans la Haute-Bécancour, les fosses de mines visitées seront celles des mines British Canadian, Normandie, Lac d'Amiante, King Beaver et Nationale. Dans le bassin versant de la rivière Nicolet, la fosse étudiée est celle de la mine Jeffrey alors que dans le bassin versant de la rivière Chaudière ce sera celle de la mine Boston.

Les paramètres physico-chimiques ainsi que les fibres d'amiante seront étudiés dans l'ensemble des fosses, et ce, pour une première fois. Pour certaines fosses, l'étude sera approfondie avec l'ajout des concentrations en métaux lourds (majeurs, extractibles et dissous), de la chlorophylle a, du carbone organique dissous, du phosphore total et de l'ADN environnemental. La thermocline sera également étudiée dans certaines de ces fosses grâce à l'aide technique de l'Observatoire national de l'Amiante (ONA).

Un autre objectif de ce suivi est de partager les résultats et les conclusions de cette étude avec les compagnies minières, les décideurs et la population locale afin de les aider à développer les meilleures solutions pour la restauration de ces anciens sites miniers.

2.2. Limites

Habituellement, une campagne de suivi de la qualité de l'eau de surface en lac se déroule sur 2 ou 3 saisons estivales consécutives, avec trois visites par saison, afin de tenir compte des variations interannuelles (MELCC, 2017). Toutefois, en raison des contraintes imposées par le financement obtenu, le suivi était limité à une saison ainsi qu'à une ou deux visites par fosse.

En mars 2023, les fosses des mines British Canadian, Normandie et Lac d'Amiante étaient les seules visées par cette étude. Cela explique pourquoi l'étude de ces fosses est plus approfondie. Le Lac d'Amiante étant difficile d'accès, l'échantillonnage ne pouvait que se faire à l'aide d'un drone. Cette contrainte technique et financière a eu un impact sur la planification du projet et la sélection des paramètres étudiés. L'ajout des quatre autres fosses a été rendu possible grâce à la demande de l'Observatoire national de l'amiante au cours du mois d'octobre. Les paramètres étudiés dans ces fosses se limitent à la concentration en fibres d'amiante, les paramètres physico-chimiques et la détermination de la thermocline.

Compte tenu des coûts élevés associés à l'analyse de chaque échantillon d'amiante, seul un échantillon par fosse a été analysé. De plus, en l'absence de critère de qualité de l'eau en lien avec l'amiante au Québec, il a été déterminé d'analyser toutes les longueurs de fibres d'amiante détectables.

3. Description du territoire à l'étude

Les mines étudiées dans le cadre de ce projet sont principalement situées dans la Haute-Bécancour, plus précisément dans le secteur minier de Thetford Mines. Ce secteur correspond à la source de la rivière Bécancour (figure 1).

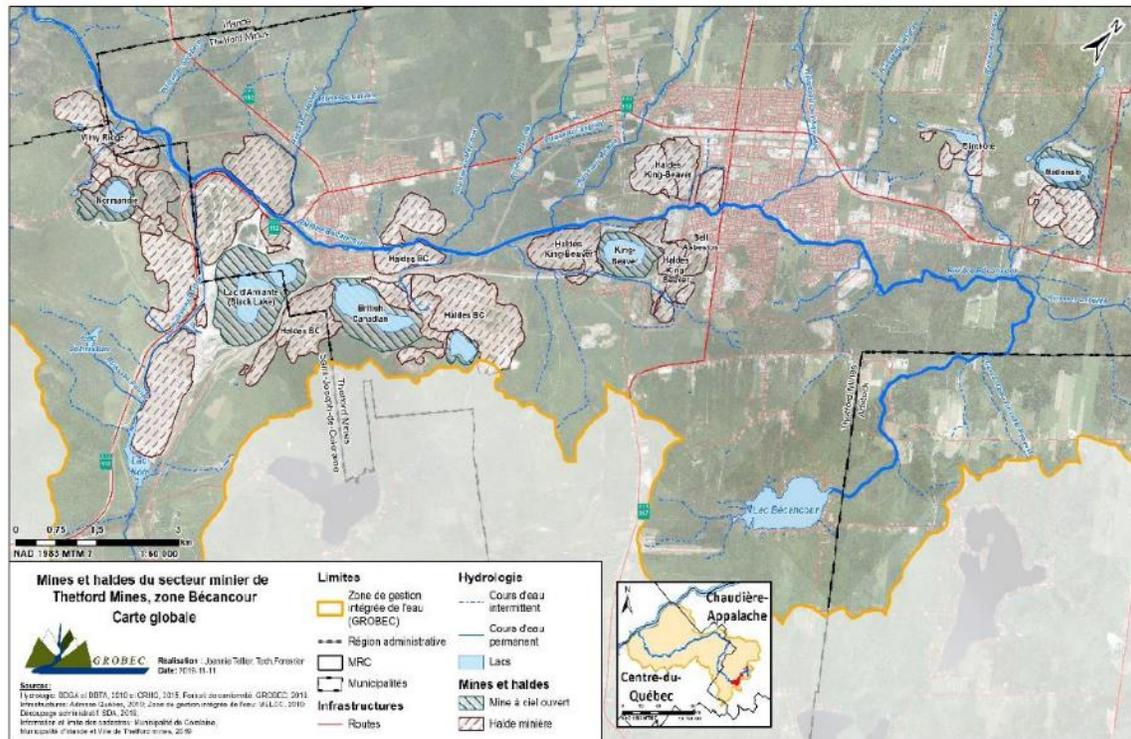


Figure 1: Carte du secteur minier de Thetford Mines dans la zone Bécancour.

De 1880 à 2012, le paysage et le réseau hydrographique ont été transformés de manière significative par les activités d'exploitation de l'amiante. Les résidus miniers amiantés fins et les stériles miniers sont entassés en haldes pouvant atteindre plus de 100 mètres de hauteur (Moore et Zimmermann, 1977; Villeneuve, 2013).

Plusieurs fosses de mines ont été creusées au fil du temps. Les fosses de Nationale et de British Canadian sont aujourd'hui ennoyées et se déversent dans la rivière Bécancour. Les fosses de King Beaver, Normandie et de Lac d'Amiante sont en cours d'ennoisement. La qualité de l'eau de ces fosses et leurs émissaires demeure inconnue.

En dehors de la Haute-Bécancour, l'exploitation de l'amiante a également laissé des traces. L'une des mines d'exploitation de l'amiante les plus importantes au monde, la mine Jeffrey, est située dans le bassin versant de la rivière Nicolet, à Val-des-Sources, anciennement Asbestos. Cette dernière est toujours en cours d'envoie. Du côté de la rivière Chaudière, il y a la mine Boston. Cette petite mine artisanale fermée depuis 100 ans est maintenant un milieu d'intérêt pour la population locale et les touristes.

3.1.1. Mine Nationale

La mine Nationale, aussi appelée la « Nationale » se situe dans le bassin versant de la rivière Bécancour, à Thetford Mines. Plus précisément, elle est située sur le chemin National Asbestos, aux coordonnées géographiques suivantes : 46° 8' 1.56", -71° 15' 8.99". Le gisement d'amiante a été découvert en 1947, mais la mine a été en activité de 1958 à 1986. Cette dernière a fermé ses portes en raison de la récession économique et de la mauvaise presse de l'amiante dans les années 1980 (Gouvernement du Québec, 2013e).

La fosse de la mine Nationale est de 600 mètres de long par 100 mètres de large et environ 90 mètres de profond. Cette dernière est complètement ennoyée et est maintenant connectée au réseau hydrographique naturel via son exutoire qui rejoint le bassin versant du ruisseau Lessard, lui-même un tributaire de la rivière Bécancour. L'envoie s'est fait de manière naturelle par les apports en précipitations et la nappe phréatique. Son aire de drainage est de 4 km² (4 010 760 m²). Il est à noter qu'une halde de résidus miniers amiantés fins non végétalisée et instable géotechniquement est présente dans cette aire de drainage.

3.1.2. Mine British Canadian

La mine British Canadian (BC) est située dans le bassin versant de la rivière Bécancour, à Thetford Mines dans le secteur Black Lake. Elle est située sur la rue du Lac-Noir, aux coordonnées géographiques suivantes : 46° 2' 27.9", -71° 20' 49.67". Cette mine a été en activité pendant plus de vingt ans avant de fermer ses portes en novembre 1997 (Gouvernement du Québec, 2013c).

Bien que deux puits soient présents sur le site de cette mine, seulement la fosse BC fera l'objet de cette étude. Celle-ci fut sélectionnée en raison de sa facilité d'accès, mais surtout en raison de son lien hydrologique clair avec la rivière Bécancour. Cette dernière est de 2 000 mètres de long par 800 mètres de large et environ 200 mètres de profond.

Son aire de drainage est d'environ 3 km² (2 979 537 m²). Les haldes présentes à proximité sont principalement des haldes de stériles miniers en voie d'être végétalisées. Depuis 2014, la fosse BC est complètement ennoyée et connectée avec la rivière Bécancour. Son exutoire rejoint cette dernière en aval du pont de la route 112.

3.1.3. Mine Normandie

La mine Normandie est située principalement dans la municipalité de Saint-Joseph-de-Coleraine, sur le chemin de Vimy. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : 46° 1' 33.84", -71° 24' 55.54". Elle fait également partie du bassin versant de la rivière Bécancour. Son grand site minier touche également aux municipalités de Thetford Mines et Irlande. Elle a été exploitée de 1905 à 1955 sous le nom Bennet-Martin, puis de 1955 à 1985 sous le nom de mine Normandie (Gouvernement du Québec, 2013f)

L'excavation de ce site minier est d'une longueur de 300 mètres par 500 mètres de large avec une profondeur d'environ 150 mètres. À ce jour, cette dernière est complètement ennoyée (Gouvernement du Québec, 2013f). Aucun exutoire de surface ne s'est formé ou n'a été aménagé. L'eau de la fosse filtre à travers le matériel meuble grossier sur son pourtour et resurgit à 2 endroits avant de s'écouler en surface vers la rivière Bécancour. Son aire de drainage est d'environ 2 km² (1 805 317 m²).

3.1.4. Mine King Beaver

La mine King Beaver est située dans le bassin versant de la rivière Bécancour à Thetford Mines. Située sur le chemin de la Mine, il est possible de la retrouver aux coordonnées suivantes : 46° 4' 20.15", -71° 18' 56.3". Initialement, la mine Beaver et la mine King étaient deux entités différentes. C'est en 1956 que les deux mines ont fusionné pour créer la mine King-Beaver. Cette dernière a mis fin à ses activités en 1995 en raison du coût important de l'exploitation de ce gisement (Gouvernement du Québec, 2013a).

L'excavation de ce site est immense et mesure environ 900 mètres de long sur 450 mètres de large (Gouvernement du Québec, 2013a). Son aire de drainage est de 6,55 km² (6 546 556 m²). C'est en 2008 que cette fosse a commencé à se remplir d'eau, par les apports de la nappe phréatique et la pluie, à la suite de l'arrêt du pompage. Actuellement, la fosse de la mine King Beaver n'est pas encore totalement ennoyée. Il est estimé qu'en 2014, l'eau avait atteint la moitié du puits (Gouvernement du Québec, 2013a). Lorsqu'elle sera complètement ennoyée, il est estimé que sa profondeur sera de 180 mètres (Arrakis, 2011). Elle est donc encore isolée hydrologiquement, en surface tout du moins.

4.2.5 [Mine Jeffrey](#)

La mine Jeffrey est la plus grande mine à ciel ouvert d'amiante au monde avec une profondeur de 350 mètres et une superficie de 6 km². Elle est située dans la municipalité de Val-des-Sources, anciennement Asbestos, en Estrie. L'exploitation minière de l'amiante à la mine Jeffrey s'est produite de 1881 à 2012, soit pendant plus de 100 ans (Dubois et Baker, 2009).

À l'heure actuelle, la fosse de la mine Jeffrey est encore en cours d'ennoiement. Son aire de drainage correspond à 7 km² (6 982 993 m²).

4.2.6 [Mine Boston](#)

Fermée depuis 100 ans, la mine Boston est maintenant un milieu hydrique d'intérêt pour les activités récréatives comme la pêche. Elle est située à East-Broughton, dans le bassin versant de la rivière Chaudière. La fosse est maintenant accessible par le sentier des Mineurs ou aux coordonnées suivantes : 46° 14' 52.95", -71° 3' 33.2". En activité pendant 15 ans, le mode d'exploitation était différent des autres mines, soit une exploitation dite artisanale. En effet, les mineurs devaient forer la roche avec des barres de fer et des massues en plus de séparer l'amiante de la roche (Gouvernement du Québec, 2013b).

En 1950, la fosse de la mine Boston était complètement ennoyée. À partir de ce moment, le site était utilisé par les résidents de la municipalité comme une plage publique. Depuis 1993, l'Association de Chasse et Pêche du lac Boston ensemence des milliers de truites chaque année (Gouvernement du Québec, 2013b). Son exutoire rejoint la rivière Nadeau, laquelle se jette dans la rivière du Cinq qui rejoint le Bras-Saint-Victor, un tributaire de la rivière Chaudière. Son aire de drainage a une superficie de moins de 1 km² (838 747 m²).

4.2.7 [Mine Lac d'Amiante](#)

Située dans les municipalités de Saint-Joseph-de-Coleraine et de Thetford Mines, la mine Lac d'Amiante a été la dernière mine d'amiante en activité dans la région de Thetford Mines; les activités minières y ont cessé en 2012. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : 46° 1' 48.82", -71° 22' 4.39". L'exploitation de cette mine a nécessité de grands travaux dans les années 1955 à 1959 afin d'assécher le lac Noir, anciennement un lac fluvial de la rivière Bécancour, et détourner la rivière sur 2,4 km pour éviter que celle-ci se déverse dans le puits d'exploitation (Gouvernement du Québec, 2013d).

La mine Lac d'Amiante est impressionnante en raison d'une énorme fosse comptant en réalité deux puits d'exploitation. Depuis 2012, les puits se remplissent d'eau par les

apports en précipitations et la nappe phréatique. L'aire de drainage de surface est d'environ 8 km² (8 296 362 m²). En 2023, la limite entre les deux puits d'exploitation n'est presque plus visible en raison de l'envolement qui se poursuit et qui les relie. Lorsque la fosse sera complètement envoyée, la profondeur de cette dernière atteindra, à son maximum, une profondeur impressionnante de 423 mètres (Gouvernement du Québec, 2013d).

4. Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse

Dans le but d'assurer le succès de cette campagne d'échantillonnage, il a été nécessaire de planifier certains éléments avant de débiter les suivis. En fonction des contraintes financières et techniques, l'équipe a déterminé les paramètres à étudier ainsi que le nombre d'échantillons étudiés pour chacune des fosses de mines. Finalement, pour assurer la faisabilité technique du projet, l'équipe a également élaborée des ententes avec des laboratoires et des partenaires du milieu.

4.1. Paramètres physico-chimiques

4.1.1. Calendrier d'échantillonnage

L'échantillonnage des fosses s'est fait les 22 août, 28 août, 28 septembre, 10 octobre, 30 octobre, 31 octobre, 1er novembre 2023.

Le 22 août, les mines Normandie et British Canadian ont été visitées. La première tentative d'échantillonnage d'eau par drone de la fosse Lac d'Amiante a eu lieu le 28 août. Des problèmes techniques ont fait en sorte que l'échantillonnage à cette date n'a pas pu être complété. L'équipe a visité une seconde fois la mine British Canadian le 28 septembre. Le 10 octobre, ce sont les mines Lac d'Amiante et British Canadian qui sont visitées une seconde fois. L'échantillonnage par drone du lac d'Amiante est une réussite lors de cette deuxième visite. La mine Jeffrey a été échantillonnée le 30 octobre. Le jour suivant, c'était le tour des mines Nationale et King Beaver. Le 1^{er} novembre a été la dernière journée de cette campagne avec l'échantillonnage du lac Boston.

4.1.2. pH, turbidité, conductivité et température

Le pH, la turbidité, la conductivité et la température ont été mesurés à l'aide d'une sonde multiparamètres YSI. La calibration des appareils a été effectuée avant chaque sortie sur le terrain. Les échantillonnages ont été effectués directement dans les plans d'eau selon le protocole suggéré par Hébert et Légaré (2000).

Le 28 septembre ainsi que du 30 octobre au 1^{er} novembre, la sonde de turbidité est problématique. Les données ne sont pas valables puisque ces dernières sont négatives, ce qui n'est pas possible. Cela explique l'absence de certaines données dans les résultats de cette étude.

4.1.3. Chlorophylle a, carbone organique dissous et phosphore total

La chlorophylle a active, le carbone organique dissous et le phosphore total ont été échantillonnés par notre équipe et analysés par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Un total de 5 échantillons a été analysé pour ces paramètres, soit un pour la fosse de la mine Normandie et deux pour les fosses de British Canadian et Lac d'Amiante.

4.1.4. Métaux majeurs, dissous et extractibles

Les métaux majeurs analysés sont la dureté (CaCO₃), le calcium, le potassium, le magnésium et le sodium. Les métaux dissous et extractibles analysés sont l'argent, l'aluminium, l'arsenic, le bore, le baryum, le béryllium, le cadmium, le cobalt, le chrome, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène, le nickel, le plomb, l'antimoine, le sélénium, le strontium, le thallium, le titane, l'uranium, le vanadium et le zinc. Un total de 5 échantillons a été analysé pour les métaux, soit un pour la fosse de la mine Normandie et deux pour les fosses de British Canadian et Lac d'Amiante. L'échantillonnage a été effectué en suivant les procédures du protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux en traces (MDDELCC, 2014). Cependant, les étapes subséquentes au prélèvement de l'échantillon pour les métaux traces (minéralisation et filtration) ont été effectuées par le CEAEQ, lequel a également analysé les échantillons. Un problème lors de la réception des échantillons de la fosse Lac d'Amiante du 28 août 2023 fait en sorte que les métaux extractibles n'ont pu être analysés à deux reprises comme prévu initialement, seul un échantillon a été analysé.

4.1.5. Amiante

Un total de 8 échantillons a été analysé pour les fibres d'amiante, soit 1 échantillon par fosse en plus d'un échantillon supplémentaire provenant de l'exutoire de la mine Nationale. Les fibres d'amiante ont été analysées par le laboratoire ALS à Cincinnati aux États-Unis d'Amérique selon les méthodes EPA 100.1 et EPA 100.2 avec une limite de détection de <0.2MFL (Million de Fibres par Litre). Les types de fibres d'amiante potentiellement détectables étaient les suivantes : Chrysotile, Amosite, Crocidolite, Actinolite, Tremolite et Anthophyllite. Les fibres d'amiante ont été comptabilisées par ALS selon 2 catégories de longueur, soit : (1) des fibres: plus grandes ou égales 0,5 µm, mais inférieures à 10 µm et (2) plus grandes ou égales à 10 µm. En l'absence de critère québécois ou canadien par rapport à la présence d'amiante dans l'eau, le GROBEC a

préférée obtenir les résultats les plus détaillés possibles afin de pouvoir analyser rétrospectivement ces résultats en fonction d'un éventuel critère de qualité de l'eau.

4.1.6. [ADN environnemental](#)

Une nouvelle technique de surveillance de la biodiversité dans les milieux naturels est l'étude de l'ADN environnementale (ADNe). Cette approche non invasive se base sur la récolte d'échantillon du milieu, dans ce cas-ci de l'eau, qui permet d'identifier les différents êtres vivants qui résident ou qui ont utilisés ce milieu naturel.

L'échantillonnage a été fait en suivant les procédures recommandées dans le protocole transmis par Nature Metrics. En résumé, une personne était responsable de prendre l'échantillon d'eau avec des gants. Une deuxième personne, toujours équipée d'une paire de gants, utilisait une seringue afin de filtrer la plus grande quantité d'eau possible. Le filtre a par la suite été séparé de la seringue et scellé afin de l'envoyer par la poste au laboratoire de Nature Metrics situé à Waterloo en Ontario.

L'analyse du filtre en laboratoire permet d'amplifier les fragments d'ADN afin de les séquencer et de les comparer à des bases de références d'espèces. Ce travail d'analyse est fait par le laboratoire Nature Metrics.

4.1.7. [Cartographie](#)

Les cartes des aires de drainage des fosses de mine ont été produites à partir des lits d'écoulement potentiels produits par le ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec à partir des données LiDAR. Selon nos observations terrain, ces lits d'écoulement potentiels sont souvent erronés sur les anciens sites miniers du secteur de Thetford Mines. Lorsque nous détenions des observations terrain, nous avons corrigés ces lits d'écoulements. C'est le cas pour l'aire de drainage de la fosse Normandie. Les fosses Lac D'Amiante, British Canadian et King Beaver seront à valider sur le terrain à l'été 2024.

5. Résultats et discussion

Dans cette section sont présentés les résultats sur la quantité de fibres d'amiante, les paramètres physico-chimiques et la concentration en métaux dans l'eau des fosses de mines. L'ADN environnemental retrouvée dans ces plans d'eau est également décrite. Finalement, la thermocline de chacune des fosses est décrite et illustrée.

5.1. Amiante

Parmi tous les échantillons analysés, seules des fibres de chrysotile et de tremolite ont été détectées. Les résultats présentés ici ne s'attarderont donc qu'à ces 2 types de fibres d'amiante. Le nombre de fibres d'amiante en millions de fibres par litre (MFL) d'eau de plus de 0,5 µm est présenté à la figure 2. La mine Jeffrey présente le plus grand nombre de fibres d'amiante par litre avec un total de 42,68 MFL.

Le minimum observé est de 2,37 MFL à la mine Nationale. Les mines Boston et Normandie ont un total de 8,17 et 11,17 MFL respectivement.

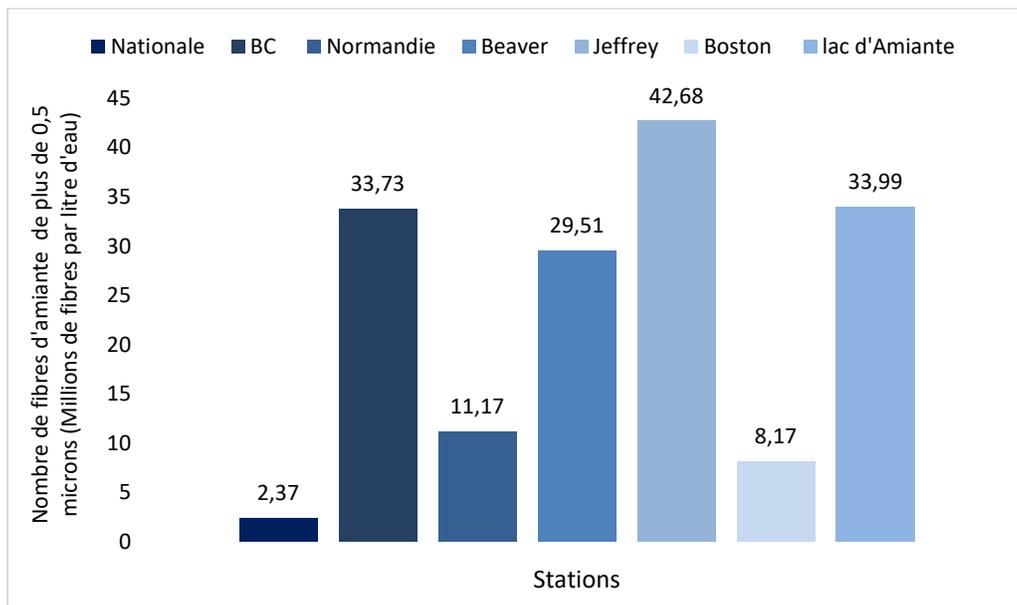


Figure 2: Nombre total de fibres d'amiante de plus de 0,5 µm en millions de fibres par litre (MFL) d'eau aux mines Nationale, British Canadian (BC), Normandie, Beaver, Jeffrey, Boston et Lac d'Amiante, à l'automne 2023.

Considérant que les eaux de ces fosses rejoignent ou rejoindront le réseau hydrographique naturel, il est important de prendre en compte les impacts potentiels de ces concentrations sur l'écosystème aquatique. Des concentrations de fibres d'amiante allant de 0,01 MFL à 100 MFL peuvent avoir des effets néfastes sur la reproduction et la croissance de certaines espèces de bivalves, de poissons et même de certaines plantes aquatiques d'eau douce (USEPA, 2020). Les données de l'ensemble des fosses étudiées ont des concentrations supérieures à 0,01 MFL.

5.2. pH, conductivité, oxygène dissous et turbidité

Les données physico-chimiques des stations sont comparées ci-bas.

5.2.1. pH

Les valeurs du pH des mines Nationale, BC, Normandie, Beaver, Jeffrey, Boston et Lac d'Amiante sont illustrées à la figure 3 ci-bas. Le pH le plus près de la neutralité est à la mine Boston et le plus alcalin à la mine BC, soit respectivement de 7,85 et de 9,10. Les plans d'eau naturels ont un pH autour de 7, plus souvent variant entre 6 et 8 (MELCC, 2023). Cet intervalle est dépassé avec des eaux plus basiques dans l'ensemble des fosses, à l'exception de la mine Boston.

Les RMA sont riches en magnésium, ce qui explique les valeurs de pH alcalins (Moore et Zimmermann, 1977). En effet, le lessivage des RMA donne place à un drainage minier basique (FNZ-Innov, 2021). Une grande quantité de magnésium présente en milieu aqueux provoque l'alcalinisation du pH de ce dernier à cause de ses propriétés chimiques (Moore et Zimmermann, 1977).

Selon le ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques, l'eau de surface utilisée de façon récréative ou à des fins de consommation ne doit pas dépasser un seuil de pH 9,0 (MELCC, 2022c). En ce qui concerne la protection de la vie aquatique, le seuil maximal recommandé est de 9,5 (MELCC, 2022c). Ce même seuil est une exigence de la directive 019 sur l'industrie minière. Aux mines BC et Lac d'Amiante, le seuil d'utilisation récréative de l'eau a été dépassé. Lors des journées étudiées à l'automne 2023, aucune fosse de mines ne dépasse le seuil de protection de la vie aquatique.

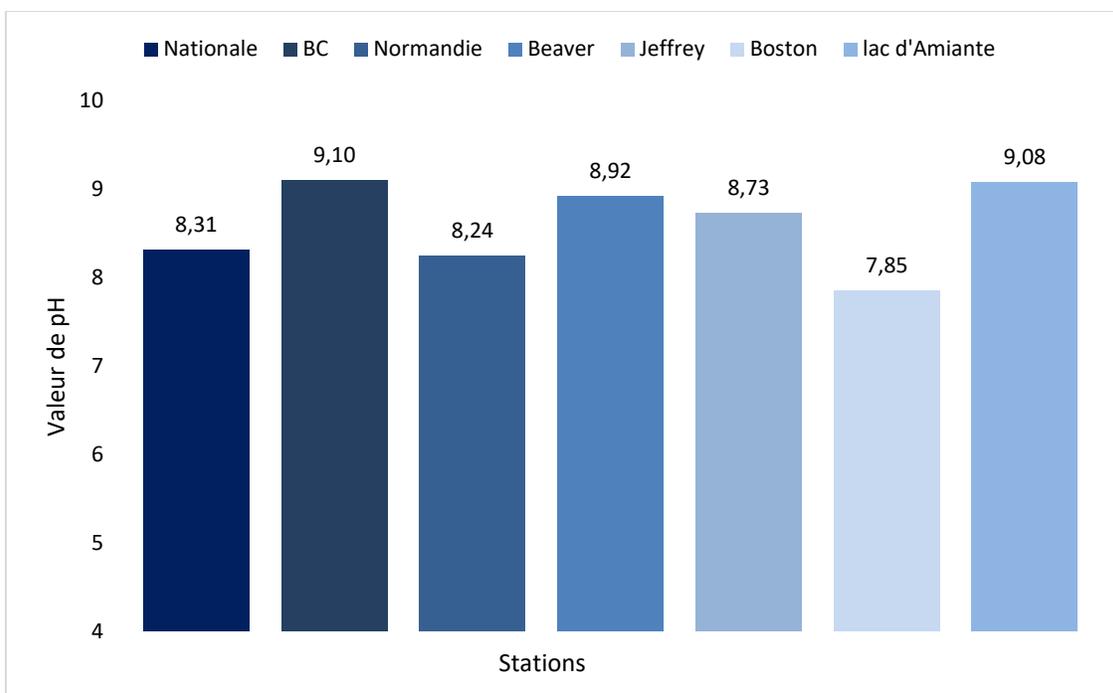


Figure 3: Valeur du pH des mines Nationale, British Canadian (BC), Normandie, Beaver, Jeffrey, Boston et Lac d'Amiante à l'automne 2023.

Le pH du lac Boston est celui le plus près de la neutralité et des valeurs habituelles en eau de surface au Québec. Cela peut s'expliquer par le fait que le site bordant le lac est maintenant complètement naturalisé. Rappelons également que la mine Boston est fermée depuis 100 ans ce qui peut expliquer cette naturalisation du site. Aucune halde de résidus miniers n'est présente dans l'aire de drainage de la fosse, ce qui limite l'apport en magnésium dans le lac. Les mines Lac d'Amiante et British Canadian sont fermées depuis un peu plus de 10 ans, leurs sites sont donc encore majoritairement à nu. Il y a donc davantage d'apports externes, par lessivage, de RMA dans ces fosses.

5.2.2. Conductivité

La conductivité des fosses de mines étudiées est illustrée à la figure 18 ci-bas. La conductivité est plus basse à la mine Boston qu'aux autres stations. La conductivité de la mine Jeffrey est de 1 227 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui correspond à la valeur la plus élevée. La naturalisation de la mine Boston peut encore une fois expliquer la conductivité plus basse, soit de 107,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette valeur est dans l'intervalle des valeurs de conductivité dit naturel, soit variant entre 0 et 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (DataStream, 2023).

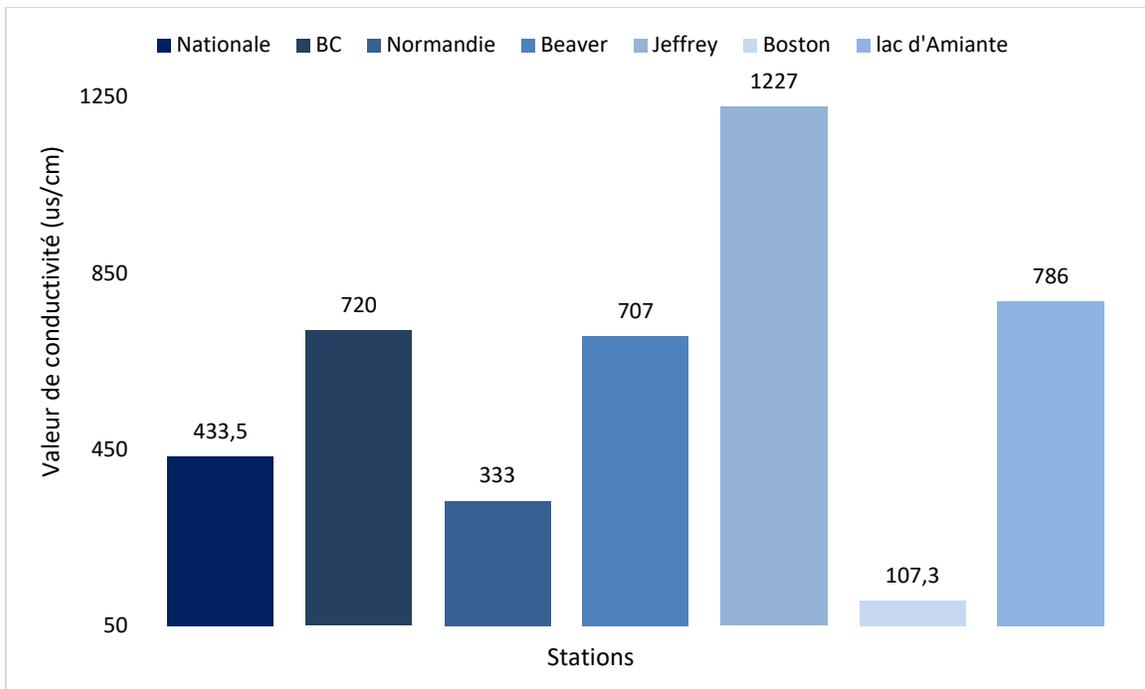


Figure 4: Conductivité (µS/cm) des mines Nationale, British Canadian (BC), Normandie, Beaver, Jeffrey, Boston et Lac d'Amiante à l'automne 2023.

Pour l'ensemble des autres fosses, les résultats dépassent cet intervalle de valeurs naturelles. La présence de RMA sur les autres sites miniers peut expliquer la conductivité plus élevée. En effet, la présence de métaux alcalins, comme le magnésium, influence à la hausse la conductivité (Jacques et Pienitz, 2021).

Il semble également y avoir un lien avec les fosses en cours d'ennoyement et une conductivité plus élevée. Le lessivage des parois à nu peut potentiellement expliquer ce lien. La mine BC est complètement ennoyée, mais présente un résultat plutôt similaire à ceux des mines Beaver et Lac d'Amiante. Cela pourrait peut-être s'expliquer par les parois effritables qui bordent la fosse BC, comme c'est le cas à la mine Beaver, Lac d'Amiante et Jeffrey.

5.2.3. Oxygène dissous

La figure 5 permet de constater que le taux d'oxygène dissous dans l'ensemble des fosses de mines est satisfaisant pour l'ensemble des espèces aquatiques. Le critère de qualité de l'eau de surface pour la protection de la vie aquatique (CVAC) considère la température de l'eau. C'est-à-dire qu'un milieu ayant une température d'environ 20°C ne devrait pas avoir une concentration en oxygène dissous de moins de 57% (MELCCFP, 2023). Pour l'ensemble des fosses, la concentration en oxygène dissous n'est jamais sous la concentration recommandée, et ce peu importe les températures des fosses au moment de l'échantillonnage.

La fosse de la mine Normandie et la fosse de la mine Lac d'Amiante présentent les taux d'oxygène dissous les plus élevés avec respectivement 106,7% et 106%.

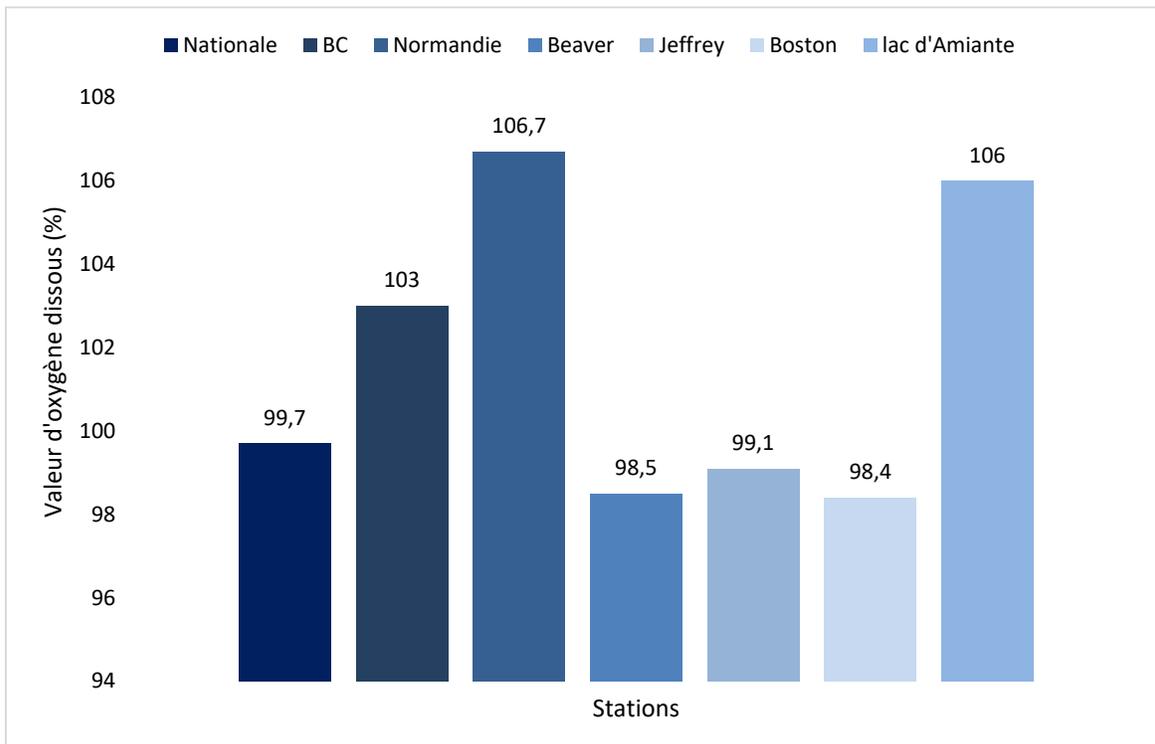


Figure 5: Oxygène dissous (%) des mines Nationale, British Canadian (BC), Normandie, Beaver, Jeffrey, Boston et Lac d'Amiante à l'automne 2023.

5.2.4. Turbidité

La turbidité figurait parmi les paramètres physico-chimiques analysés. La turbidité des fosses des mines BC, Normandie et Lac d'Amiante est très faible. En effet, une turbidité inférieure à 2,3 UTN est considérée comme étant faible (AGIRO, 2022). Les résultats présentés ci-dessous indiquent que l'on retrouve peu de matières en suspension et d'organismes microscopiques puisque ce sont ces derniers qui influencent la turbidité d'un plan d'eau (Hébert et Légaré, 2000).

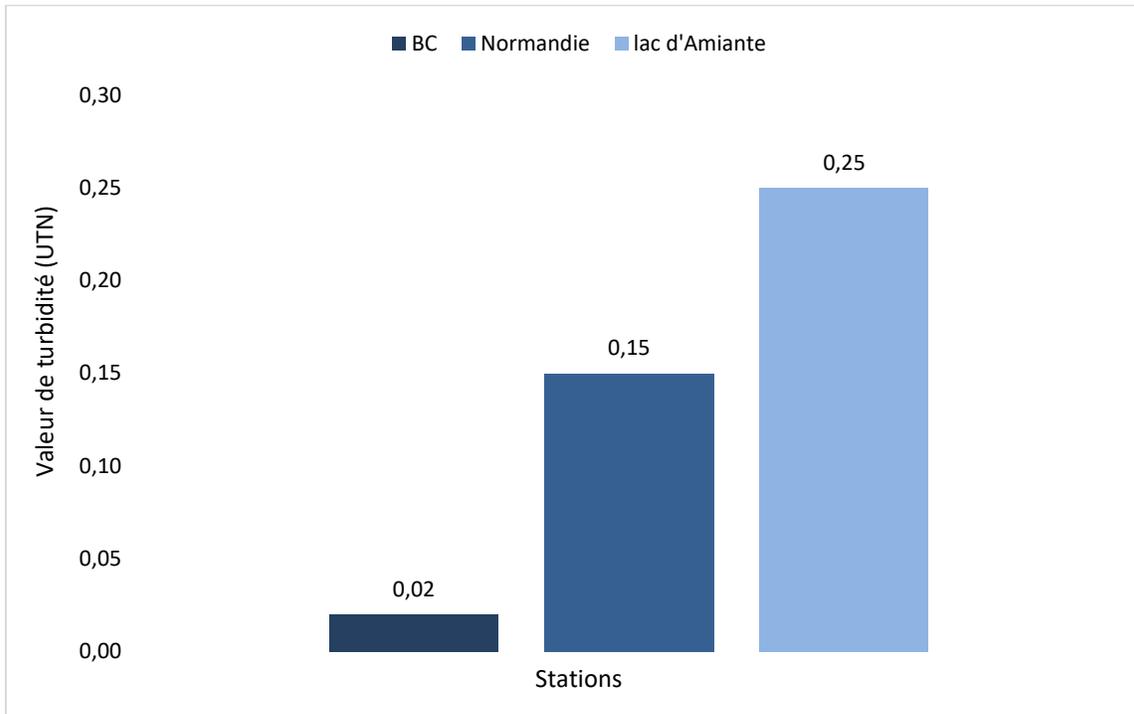


Figure 6: Turbidité (UTN) des mines British Canadian (BC), Normandie et Lac d'Amiante à l'automne 2023.

5.3. Métaux dissous, extractibles et majeurs

Valeurs des concentrations en métaux dissous ($\mu\text{g/l}$) pour les trois stations d'échantillonnage des fosses du secteur minier de Thetford Mines en 2023, soit British Canadian (n=2), lac d'Amiante (n=2) et Normandie (n=1). Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé.

Métal	Fosse British Canadian		Fosse lac d'Amiante		Fosse Normandie
	22 août	10 oct.	28 août	10 oct.	22 août
Argent	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Aluminium	2,2	1,8	4,3	3,2	4,8
Arsenic	0,64	0,70	3,0	3,0	7,2
Bore	27	27	54	52	23
Baryum	3,8	3,7	11	11	15
Béryllium	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cadmium	<0,005	<0,005	0,006	0,007	<0,005
Cobalt	0,032	0,037	0,05	0,05	0,026
Chrome	0,18	0,20	0,29	0,31	0,84
Cuivre	0,12	0,12	0,41	0,65	0,56
Fer	1,2	5,5	2,6	5,1	4,7
Manganèse	0,079	0,098	2,9	1,9	0,21
Molybdène	0,59	0,67	6,3	6,3	1,3
Nickel	0,72	0,77	1,9	2,1	9,3
Plomb	0,023	0,027	0,016	0,010	0,006
Antimoine	0,27	0,28	0,68	0,69	0,31
Sélénium	<0,2	<0,2	0,4	0,3	<0,2
Strontium	6,8	6,8	45	45	43
Thallium	0,023	0,022	0,037	0,039	0,02
Titane	0,02	0,04	0,02	0,04	0,06
Uranium	0,21	0,22	0,46	0,47	0,43
Vanadium	0,11	0,12	0,18	0,18	0,26
Zinc	<0,2	<0,2	1,1	0,8	<0,2

Aucun dépassement du critère de vie aquatique chronique (CVAC) n'a été observé lors des analyses de métaux dissous (MDDEP,2009). La majorité des métaux présente des valeurs plus faibles au niveau de la station British Canadian. Les concentrations les plus élevées d'aluminium, arsenic, baryum, chrome, nickel, titane et vanadium se retrouvent à la mine Normandie. La mine Lac d'Amiante enregistre les concentrations les plus élevées en bore, cadmium, cuivre, cobalt, manganèse, molybdène, antimoine, sélénium, strontium, thallium, uranium et zinc.

Valeurs des concentrations en métaux extractibles ($\mu\text{g/l}$) pour les trois stations d'échantillonnage des fosses du secteur minier de Thetford Mines en 2023, soit British

Canadian (n=2), lac d'Amiante (n=1) et Normandie (n=1). Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé.

Métal	Fosse British Canadian		Fosse lac d'Amiante	Fosse Normandie
	22 août	10 oct.	10 oct.	22 août
Argent	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Aluminium	9,1	2,7	6,2	7,5
Arsenic	0,64	0,68	2,9	7,2
Bore	26	27	54	24
Baryum	3,8	3,8	11	16
Béryllium	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cadmium	<0,005	<0,005	0,010	<0,005
Cobalt	0,048	0,036	0,055	0,034
Chrome	0,22	0,22	0,34	1,0
Cuivre	0,21	0,11	0,73	0,62
Fer	8,6	2,6	9,3	9,9
Manganèse	0,38	0,16	3,0	0,49
Molybdène	0,60	0,65	6,5	1,3
Nickel	0,92	0,87	2,3	9,6
Plomb	0,035	0,028	0,017	0,011
Antimoine	0,29	0,28	0,69	0,32
Sélénium	<0,2	<0,2	0,3	<0,2
Strontium	7,3	6,6	44	45
Thallium	0,10	0,03	0,07	0,13
Titane	0,024	0,023	0,041	0,021
Uranium	0,23	0,22	0,47	0,46
Vanadium	0,5	<0,2	1,0	0,3
Zinc	0,12	0,12	0,2	0,28

Comme pour les métaux dissous, la mine British Canadian présente les valeurs de concentration de métaux extractibles les plus faibles pour la majorité des métaux analysés. Seuls l'aluminium, le plomb et le vanadium sont plus élevés à cette station. C'est à la fosse de la mine Lac d'Amiante que la majorité des métaux extractibles sont les plus élevés, soit le bore, le cadmium, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le molybdène, l'antimoine, le sélénium, le titane et l'uranium. Ces métaux correspondent à ceux présents en plus grandes concentrations dans cette même fosse sous forme dissoute, à l'exception du strontium et du thallium extractibles qui sont présents en concentration plus élevée dans la fosse Normandie.

Valeurs des concentrations en métaux majeurs (mg/l) pour les trois stations d'échantillonnage des fosses du secteur minier de Thetford Mines en 2023, soit British Canadian (n=2), lac d'Amiante (n=2) et Normandie (n=1). Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé.

Métal	Fosse British Canadian		Fosse lac d'Amiante		Fosse Normandie
	22 août	10 oct.	28 août	10 oct.	22 août
Sodium	2,6	2,7	18	19	4,7
Calcium	2	12	31	25	8,5
Potassium	16	16	25	24	4,3
Magnésium	110	100	90	85	34
Dureté (CaCO ₃)	450	450	450	410	160

Le sodium, le calcium et le potassium présentent des valeurs plus élevées au niveau de la fosse Lac d'Amiante. La fosse Normandie présente les valeurs de concentration en métaux majeurs les plus faibles. Les valeurs de magnésium les plus élevées sont au niveau de la fosse BC. La fosse du Lac d'Amiante présente des valeurs similaires pour le magnésium.

5.4. ADN environnemental

L'étude de l'ADN environnemental pour les poissons comme pour les invertébrés aquatiques comptait quatre échantillons, soit un échantillon par fosse pour les mines British Canadian, Normandie et Lac d'Amiante ainsi qu'un échantillon de blanc de terrain.

Pour les deux volets, le blanc de terrain ne démontre aucune contamination.

5.4.1. ADN environnemental : poissons

L'étude de l'ADN environnemental pour le volet poisson révèle l'absence de fragments d'ADN de poissons dans les mines British Canadian et Normandie. Le contrôle de qualité de l'étude mentionne qu'aucun fragment d'ADN n'a été amplifié pour la mine BC alors que certains ont été amplifiés pour la mine Normandie. Malgré l'amplification des fragments d'ADN, l'étude mentionne que les fragments amplifiés ne correspondent pas à l'ADN de poissons (NatureMetrics, 2023a).

Contrairement aux attentes, la fosse Lac d'Amiante présente des fragments d'ADN qui correspondent à une espèce de poisson, soit le mené à tête de boule (*Pimephales promelas*). Le rapport de la compagnie Nature Metrics (2023a) mentionne que l'ADN

correspond à cette espèce, mais est légèrement différent. Cela peut s'expliquer en partie par le manque d'échantillons génétiques dans la base de données pour cette espèce. Il est possible de croire que l'identification à la famille des cyprinidés est exacte, mais que l'espèce en soit peut varier.

Ce résultat semble toutefois surprenant considérant que le Lac d'Amiante n'est pas connecté au réseau hydrographique. De plus, l'habitat de cette espèce ne semble pas correspondre aux caractéristiques du Lac d'Amiante. Ce dernier habite habituellement dans les étangs et les ruisseaux boueux (AquaPortail, 2023). Il se nourrit d'insectes aquatiques et de plantes aquatiques, par contre, l'étude d'ADN environnemental d'invertébrés aquatiques révèle l'absence de ces derniers dans le lac, ou du moins au centre du lac.

Cette espèce est aussi utilisée comme poissons-appâts ou encore en aquariophilie. Il est possible de se questionner quant à l'origine de sa présence dans le Lac d'Amiante.

5.4.2. ADN environnemental : invertébrés aquatiques

L'étude de l'ADN environnemental révèle la présence d'invertébrés aquatiques dans une seule des fosses, soit celle de la mine Normandie. L'analyse des fragments d'ADN a permis d'identifier un total de 16 espèces différentes, bien que l'identification de ces dernières ne soit pas nécessairement jusqu'à l'espèce (figure 7).

La figure 7 représente la composition de la communauté en dressant une liste des espèces présentes dans l'échantillon analysé. La présence d'une bulle signifie que l'espèce était présente alors que la grosseur de la bulle représente la proportion de fragments d'ADN de cette espèce dans l'échantillon. Une plus grosse bulle indique un signal d'ADN environnemental plus fort, ce qui peut être lié à l'abondance de l'espèce dans l'environnement (Nature Metrics, 2023b).

La famille ayant le plus de représentants avec 7 espèces différentes est la famille des chironomidae (Annexe 1). Les chironomidae sont des larves de diptères et sont très communes. Elles font partie des macroinvertébrés benthiques c'est-à-dire des invertébrés visibles à l'œil nu vivants dans les fonds des plans d'eau, souvent dans les sédiments (Shahidi-Hakak F. et al., 2022). Les experts estiment que cette famille regroupe plus de 5 000 espèces dans le monde (Shahidi-Hakak F. et al., 2022).

Le genre *ceriodaphnia* semble être le plus abondant, mais il faut prendre cette interprétation à la légère puisque le résultat est impacté par plusieurs facteurs, dont l'amplification des fragments d'ADN.

La présence d'invertébrés aquatiques et d'une diversité d'espèces dans la fosse de la mine Normandie n'apparaît pas comme une surprise. En effet, parmi les fosses étudiées pour l'ADNe, cette fosse semble être la plus naturelle, soit celle qui ressemble le plus à un lac. Ce milieu est ennoyé depuis plusieurs années considérant la fermeture de la mine en 1985. Cela peut donc expliquer cet aspect plus naturel de l'eau et du milieu. Plusieurs caractéristiques font en sorte que ce milieu est plus adapté à la vie aquatique, notamment la présence de végétation sur une partie des rives et la matière organique présente dans le fond du lac.

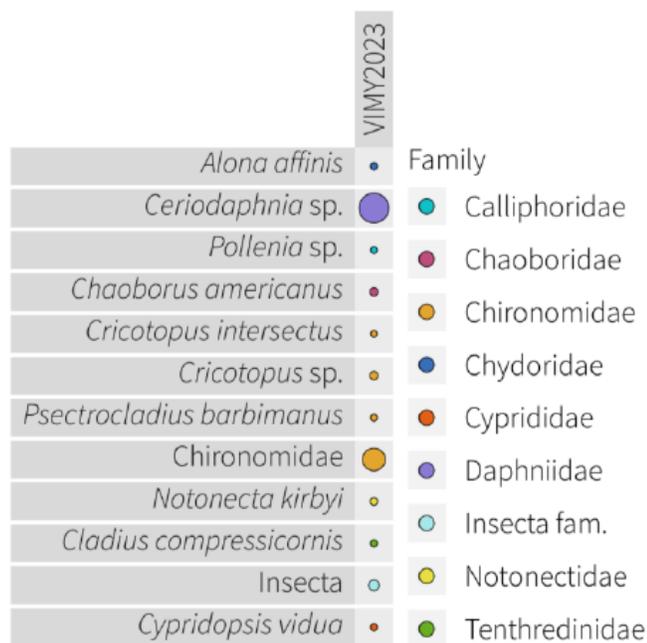
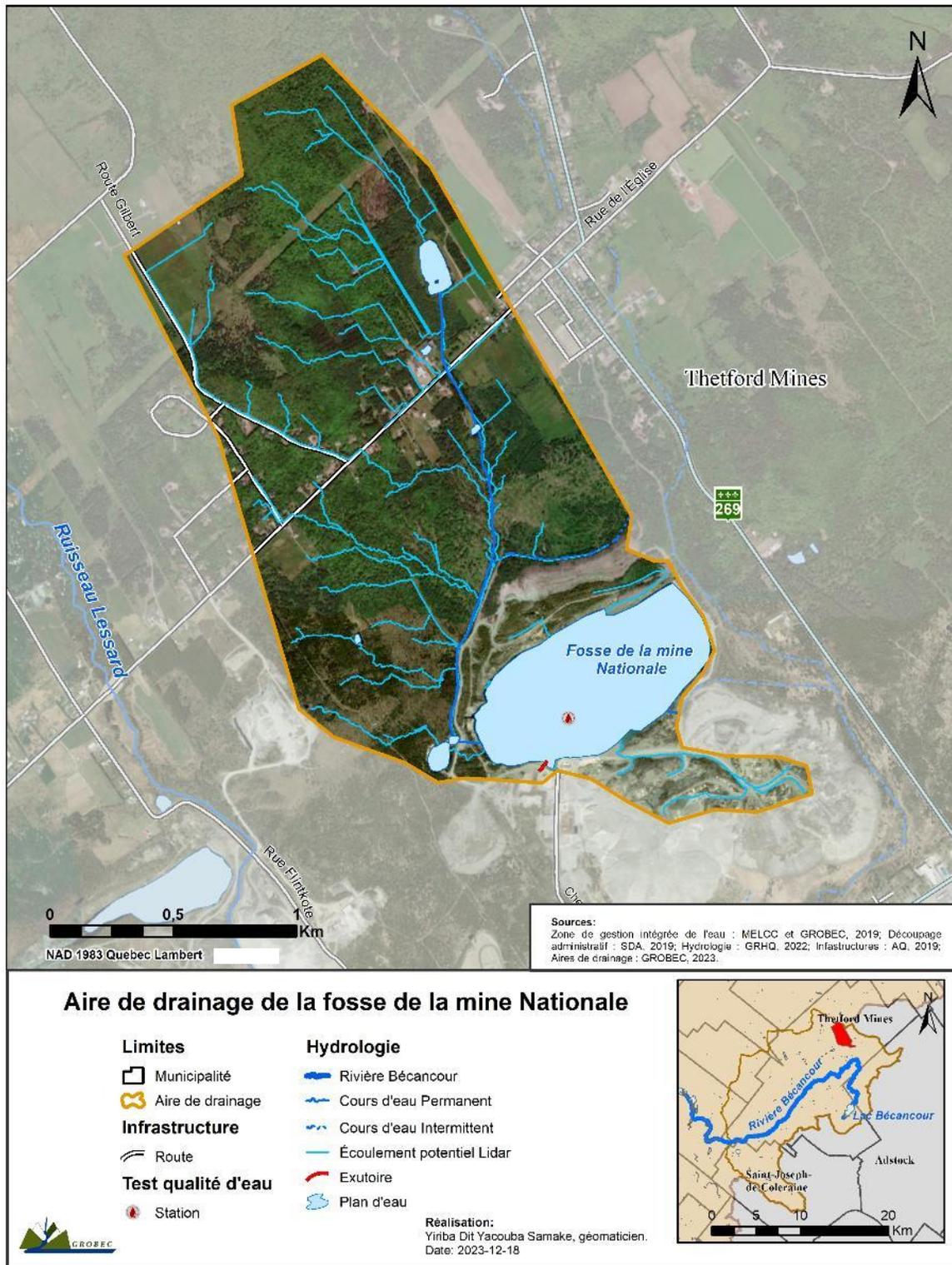


Figure 7: Composition de la communauté d'invertébrés aquatiques dans la fosse de la mine Normandie, à Saint-Joseph-de-Coleraine, le 22 août 2023 (Nature Metrics, 2023b).

5.5. Résumé par fosse

5.5.1. Mine Nationale



Bassin versant : Rivière Bécancour

L'exutoire de surface rejoint le ruisseau Lessard puis la rivière Bécancour

Ennoisement complet

Aire de drainage de la fosse Nationale : 4 km² (4 010 760 m²)

Date de fermeture de la mine : 1986

Valeurs des paramètres physico-chimiques à la mine Nationale, à Thetford Mines, le 31 octobre 2023. Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé.

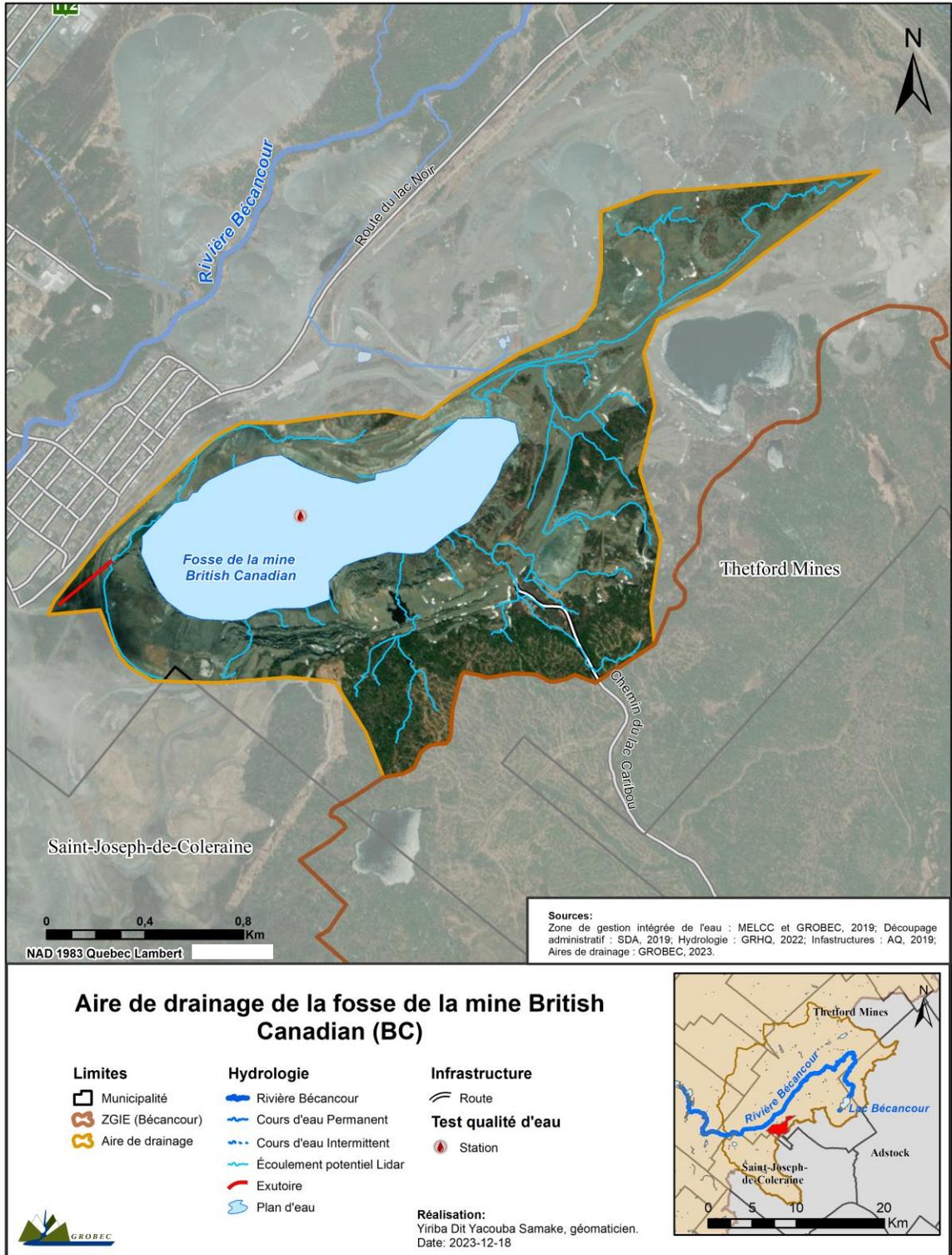
Échantillon	Température °C	Turbidité UTN	pH	Conductivité us/cm	Oxygène dissous %	mg/l.
Nationale	11,9	N/A	8,31	433,5	99,7	10,32
Nationale exutoire	11,7	N/A	8,24	577	101,1	10,51

Quantité de fibres d'amiante de 0,5 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau à la mine Nationale à Thetford Mines, le 31 octobre 2023

Échantillon	Fibre ≥ 5µm <10 µm (MLF)			Fibres ≥ 10 µm (MFL)			Total (MFL)
	Chrysotile	Tremolite	Total	Chrysotile	Tremolite	Total	
Nationale	2,37	<AS	2,37	<AS	<AS	<AS	2,37
Nationale exutoire	67,19	1,05	68,24	16,34	0,53	16,86	85,10



5.5.2. Mine British Canadian



Bassin versant : Rivière Bécancour

Ennoisement complet

L'exutoire de surface rejoint la rivière Bécancour

Aire de drainage estimée : 3 km² (nécessite une validation terrain)

Date de fermeture de la mine : 1997

Moyenne des valeurs des paramètres physico-chimiques à la mine British Canadian, à Thetford Mines, les 22 août, 28 septembre et 10 octobre 2023. Les valeurs les plus élevées sont indiquées en gris foncé.

Échantillon	Température °C	Turbidité UTN	pH	Conductivité us/cm	Oxygène dissous %
BC (n=3)	19,07	0,43	9,26	718,67	102,5
BC exutoire (n=2)	16,25	0,12	9,17	827,5	105,9

Quantité de fibres d'amiante de 0,5 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau à la mine Nationale à Thetford Mines, le 31 octobre 2023

Échantillon	Fibre ≥ 5µm <10 µm (MLF)			Fibres ≥ 10 µm (MFL)			Total (MFL)
	Chrysotile	Tremolite	Total	Chrysotile	Tremolite	Total	
BC	2,37	<AS	2,37	<AS	<AS	<AS	2,37

Valeurs des paramètres de chlorophylle active, phosphore total et carbone organique dissous à la mine British Canadian (BC) à Thetford Mines le 22 août et le 10 octobre 2023.

Échantillon	Chlorophylle a µg/l	Phosphore total mg/l	Carbone organique dissous mg/l C
BC, 22 août	0.25	0,0020	0,63
BC, 10 octobre	0.27	0,0021	0,66

Valeurs des métaux majeurs à la mine British Canadian, à Thetford Mines, le 22 août et le 10 octobre 2023.

Échantillon	Sodium	Calcium	Potassium	Magnésium	Dureté (CaCO ₃)
BC, 22 août	2,6	2	16	110	450
BC, 10 octobre	2,7	12	16	100	450

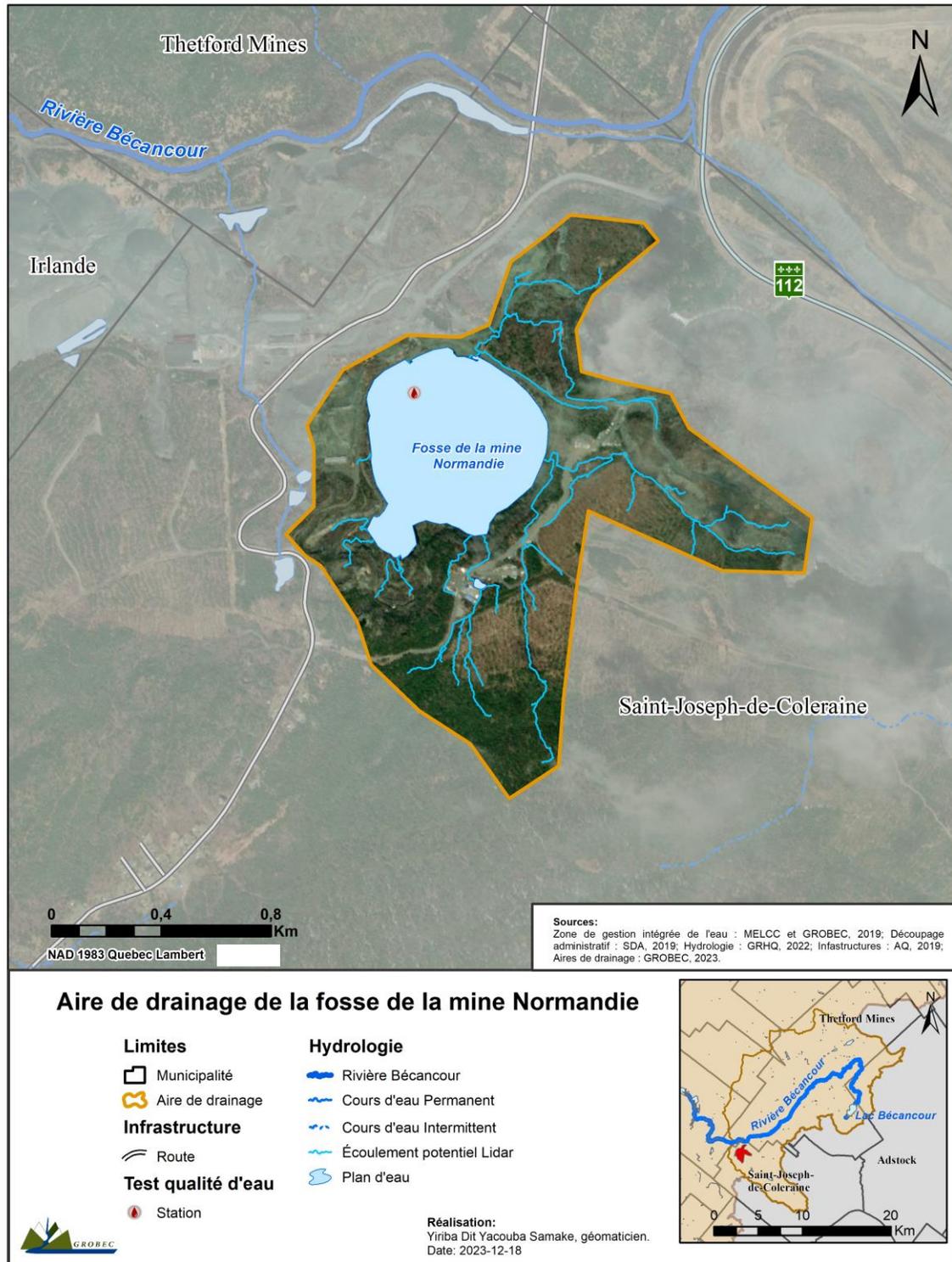
Valeurs des concentrations en métaux dissous et métaux extractibles (ug/l) à la mine British Canadian à Thetford Mines le 22 août et le 10 octobre 2023.

Métal	Métaux dissous		Métaux extractibles	
	22 août	10 oct.	22 août	10 oct.
Argent	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Aluminium	2,2	1,8	9,1	2,7
Arsenic	0,64	0,70	0,64	0,68
Bore	27	27	26	27
Baryum	3,8	3,7	3,8	3,8
Béryllium	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cadmium	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cobalt	0,032	0,037	0,048	0,036
Chrome	0,18	0,20	0,22	0,22
Cuivre	0,12	0,12	0,21	0,11
Fer	1,2	5,5	8,6	2,6
Manganèse	0,079	0,098	0,38	0,16
Molybdène	0,59	0,67	0,60	0,65
Nickel	0,72	0,77	0,92	0,87
Plomb	0,023	0,027	0,035	0,028
Antimoine	0,27	0,28	0,29	0,28
Sélénium	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Strontium	6,8	6,8	7,3	6,6
Thallium	0,023	0,022	0,10	0,03
Titane	0,02	0,04	0,024	0,023
Uranium	0,21	0,22	0,23	0,22
Vanadium	0,11	0,12	0,5	<0,2
Zinc	<0,2	<0,2	0,12	0,12

L'étude de l'ADN environnementale pour la fosse de la mine British Canadian ne révèle la présence d'aucune espèce, que ce soit au niveau des poissons que des invertébrés aquatiques. Lors de la sortie du 10 octobre, l'équipe a toutefois constaté la présence de la famille des simulidae dans la portion exutoire de la mine BC.



5.5.3. Mine Normandie



Bassin versant : Rivière Bécancour

Ennoisement complet

L'exutoire souterrain rejoint la rivière Bécancour

Aire de drainage : 2 km² (1 805 317 m²)

Date de fermeture de la mine : 1985

Valeurs des paramètres physico-chimiques à la mine Normandie, à Saint-Joseph-de-Coleraine, le 22 août 2023.

Échantillon	Température °C	Turbidité UTN	pH	Conductivité us/cm	Oxygène dissous %
Normandie	21	0,15	8,24	333	106,7

Quantité de fibres d'amiante de 0,5 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau à la mine Normandie, à Saint-Joseph-de-Coleraine, le 22 août 2023

Échantillon	Fibre ≥ 5µm <10 µm (MLF)			Fibres ≥ 10 µm (MFL)			Total (MFL)
	Chrysotile	Tremolite	Total	Chrysotile	Tremolite	Total	
Normandie	10,75	<AS	10,75	0,42	<AS	0,42	11,17

Valeurs des paramètres de chlorophylle active, phosphore total et carbone organique dissous à la mine Normandie, à Saint-Joseph-de-Coleraine, le 22 août 2023

Échantillon	Chlorophylle a µg/l	Phosphore total mg/l	Carbone organique dissous mg/l C
Normandie	3,13	0,025	4,20

Valeurs des métaux majeurs à la mine Normandie à Saint-Joseph-de-Coleraine, le 22 août 2023

Échantillon	Sodium	Calcium	Potassium	Magnésium	Dureté (CaCO ₃)
Normandie	4,7	8,5	4,3	34	160

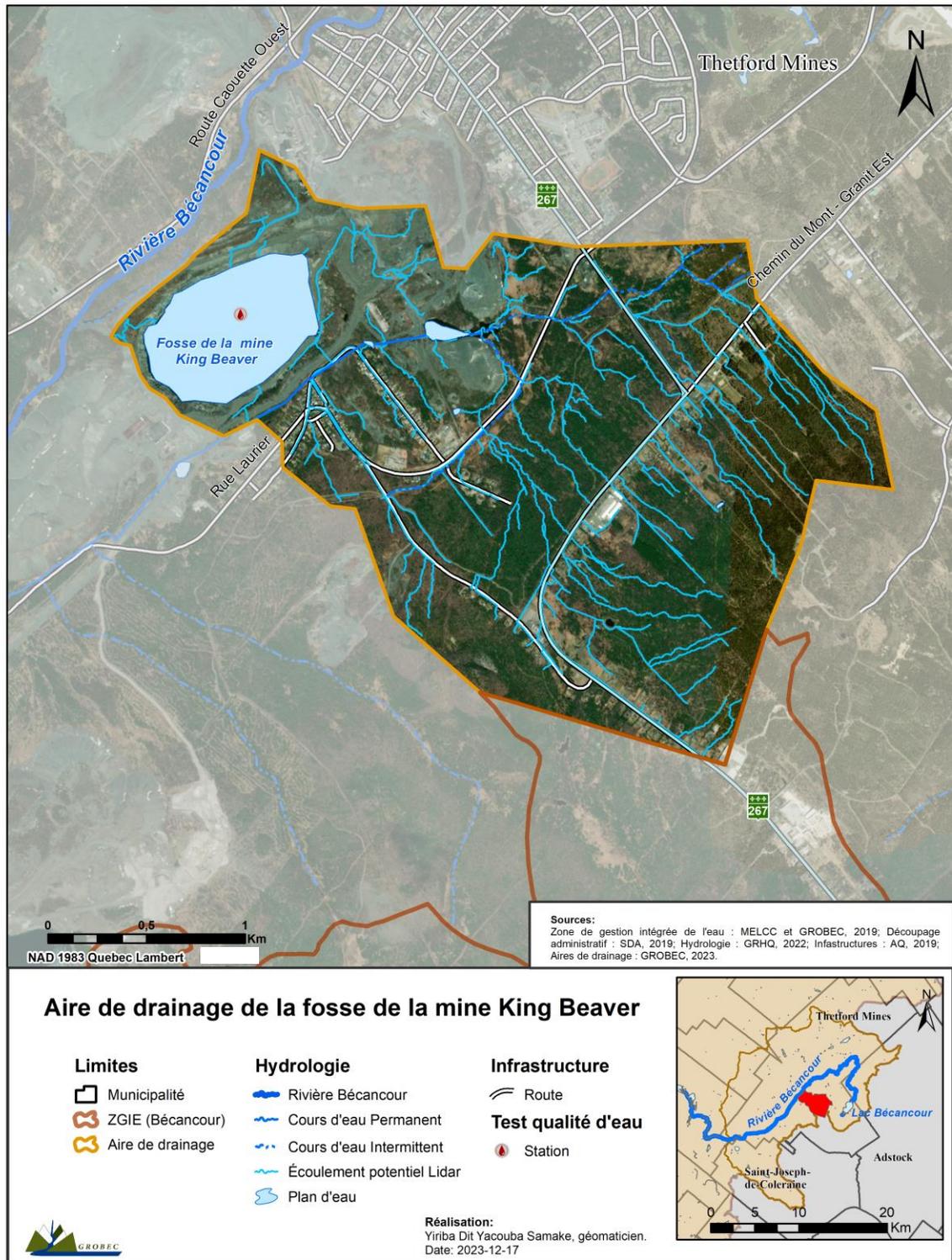
Concentrations en métaux dissous et extractibles (ug/l) à la mine Normandie à Saint-Joseph-de-Coleraine, le 22 août 2023.

Métal	Métaux dissous	Métaux extractibles
Argent	<0,002	<0,002
Aluminium	4,8	7,5
Arsenic	7,2	7,2
Bore	23	24
Baryum	15	16
Béryllium	<0,005	<0,005
Cadmium	<0,005	<0,005
Cobalt	0,026	0,034
Chrome	0,84	1,0
Cuivre	0,56	0,62
Fer	4,7	9,9
Manganèse	0,21	0,49
Molybdène	1,3	1,3
Nickel	9,3	9,6
Plomb	0,006	0,011
Antimoine	0,31	0,32
Sélénium	<0,2	<0,2
Strontium	43	45
Thallium	0,02	0,13
Titane	0,06	0,021
Uranium	0,43	0,46
Vanadium	0,26	0,3
Zinc	<0,2	0,28

L'étude de l'ADN environnementale révèle l'absence de poissons, mais la présence d'une variété d'invertébrés aquatiques. Les fragments d'ADN ont permis d'identifier une diversité de 16 espèces. De ces 16 espèces, 7 ont été identifiées jusqu'à l'espèce. Les autres fragments ont permis d'établir la présence de certains genres, certaines familles et certains ordres d'insectes. La famille des chironomidae est celle la plus représentée avec 7 espèces distinctes. Le genre *ceriodaphnia* semble être le plus abondant, mais il faut prendre cette interprétation à la légère puisque le résultat est impacté par plusieurs facteurs, dont l'amplification des fragments d'ADN.



5.5.4. Mine King Beaver



Bassin versant : Rivière Bécancour

Ennoisement en cours / Aucun exutoire

Aire de drainage estimée : 6,5 km² (nécessite une validation terrain)

Date de la fermeture de la mine : 1986

Valeurs des paramètres physico-chimiques à la mine King Beaver, à Thetford Mines, le 31 octobre 2023.

Échantillon	Température °C	Turbidité UTN	pH	Conductivité us/cm	Oxygène dissous %	mg/l.
Beaver	12,5	N/A	8,92	707	98,5	10,21

Quantité de fibres d'amiante de 0,5 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau à la mine King Beaver à Thetford Mines, le 31 octobre 2023

Échantillon	Fibre ≥ 5µm <10 µm (MLF)			Fibres ≥ 10 µm (MFL)			Total (MFL)
	Chrysotile	Tremolite	Total	Chrysotile	Tremolite	Total	
Beaver	25,29	1,32	26,61	2,37	0,53	2,9	29,51



5.5.5. Mine Jeffrey



Bassin versant : Rivière Nicolet

Ennoisement en cours / aucun exutoire

Aire de drainage estimée : 7 km² (nécessite une validation terrain)

Date de fermeture de la mine : 2012

Valeurs des paramètres physico-chimiques à la mine Jeffrey, à Val-des-Sources, le 30 octobre 2023.

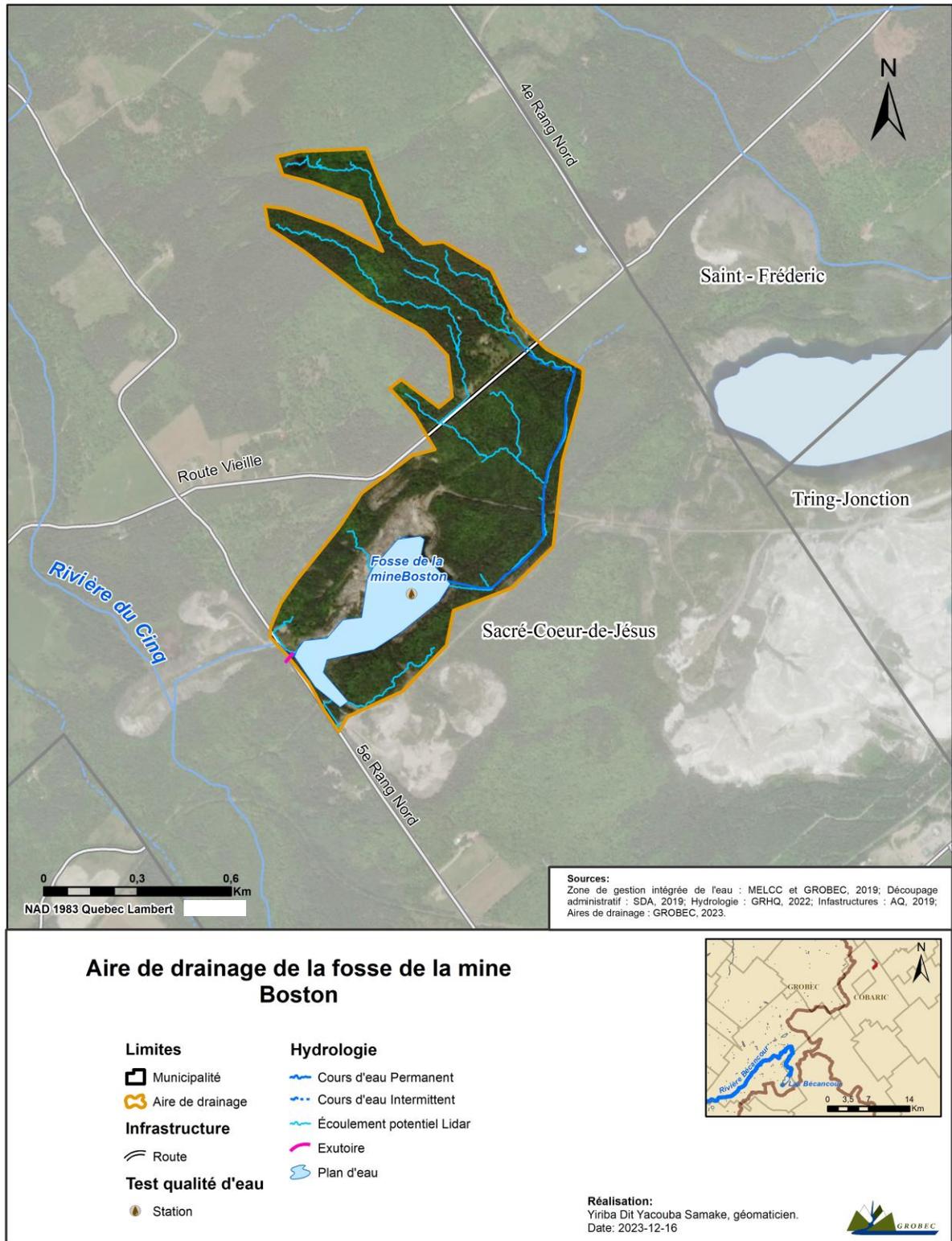
Échantillon	Température °C	Turbidité UTN	pH	Conductivité us/cm	Oxygène dissous % mg/l.
Jeffrey	14,2	N/A	8,73	1227,0	99,1 10,03

Quantité de fibres d'amiante de 0,5 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau à la mine Jeffrey à Val-des-Sources, le 30 octobre 2023

Échantillon	Fibre ≥ 5µm <10 µm (MLF)			Fibres ≥ 10 µm (MFL)			Total (MFL)
	Chrysotile	Tremolite	Total	Chrysotile	Tremolite	Total	
Jeffrey	41,1	<AS	41,1	1,58	<AS	1,58	42,68



5.5.6. Mine Boston



Bassin versant : Rivière Chaudière

Ennoiement complet

Exutoire se déverse dans la rivière du Cinq

Aire de drainage de la fosse Boston : 8 km²

Date de fermeture de la mine : 1923

Valeurs des paramètres physico-chimiques à la mine Boston, à Sacré-Cœur-de-Jésus, le 1^{er} novembre 2023.

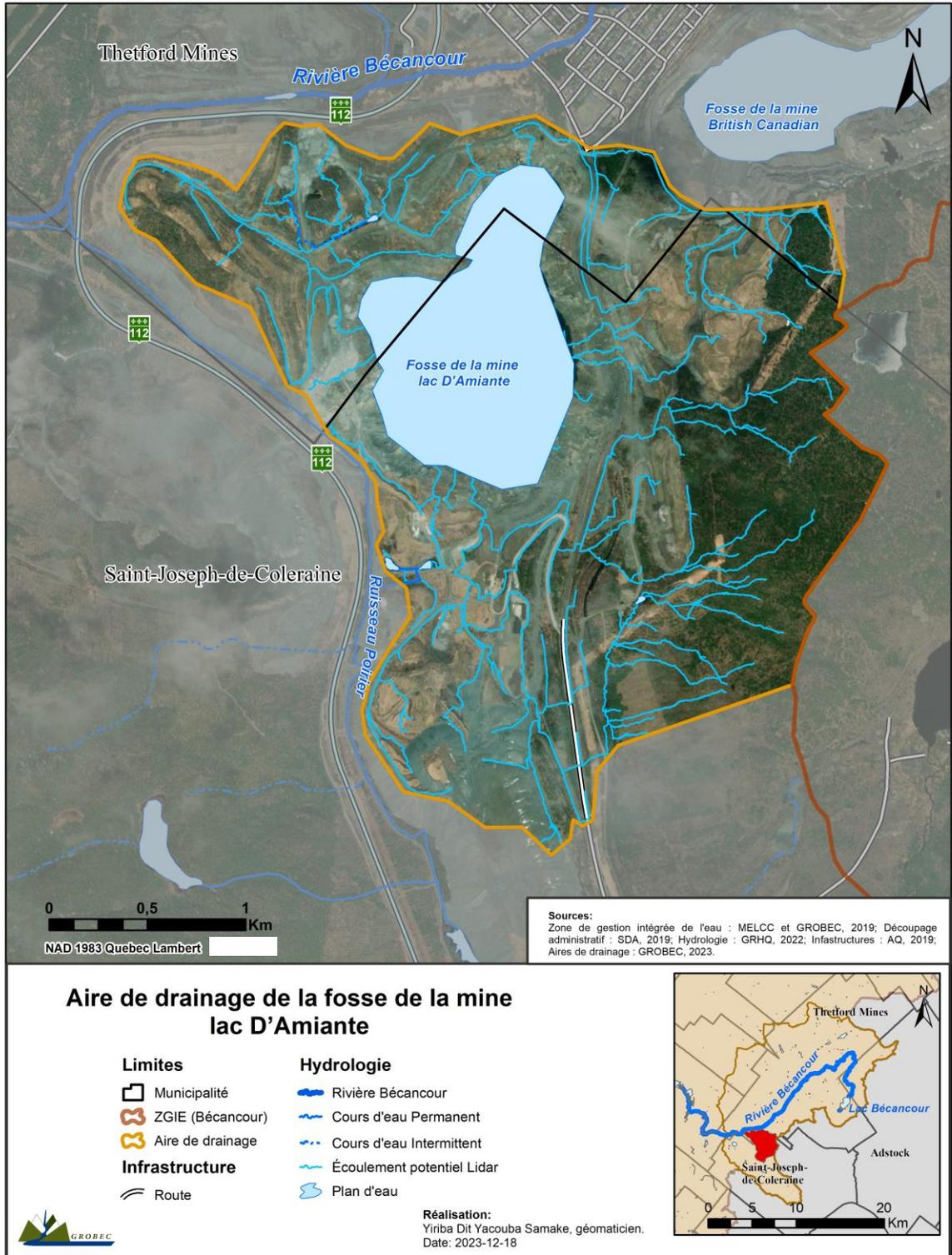
Échantillon	Température °C	Turbidité UTN	pH	Conductivité us/cm	Oxygène dissous %	mg/l.
Boston	10,2	N/A	7,65	107,3	98,6	10,6

Quantité de fibres d'amiante de 0,5 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau à la mine Boston à Sacré-Cœur-de-Jésus, le 1^{er} novembre 2023

Échantillon	Fibre ≥ 5µm <10 µm (MLF)			Fibres ≥ 10 µm (MFL)			Total (MFL)
	Chrysotile	Tremolite	Total	Chrysotile	Tremolite	Total	
Boston	7,9	<AS	7,9	0,26	<AS	0,26	8,17



5.5.7. Mine Lac d'Amiante



Bassin versant : Rivière Bécancour
 Ennoisement en cours / aucun exutoire
 Aire de drainage estimée : 8 km² (nécessite une validation terrain)
 Date de fermeture de la mine : 2012

Valeurs des paramètres physico-chimiques à la mine Lac d'Amiante, à Saint-Joseph-de-Coleraine, le 10 octobre 2023.

Échantillon	Température °C	Turbidité UTN	pH	Conductivité us/cm	Oxygène dissous %	mg/l;
Lac d'Amiante	16,2	0,25	8,84	786	106	10,04

Quantité de fibres d'amiante de 0,5 µm et plus en millions de fibres par litre (MFL) d'eau à la mine Lac d'Amiante, à Saint-Joseph-de-Coleraine, le 28 août 2023

Échantillon	Fibre ≥ 5µm <10 µm (MLF)			Fibres ≥ 10 µm (MFL)			Total (MFL)
	Chrysotile	Tremolite	Total	Chrysotile	Tremolite	Total	
Lac d'Amiante	25,29	4,74	30,04	3,95	29,28	4,74	33,99

Valeurs des paramètres de chlorophylle active, phosphore total et carbone organique dissous à la mine lac d'Amiante, à Saint-Joseph-de-Coleraine, en 2023

Échantillon	Chlorophylle a µg/l	Phosphore total mg/l	Carbone organique dissous mg/l C
Lac d'Amiante, 28 août	0,46*	<0,0006	1,12*
Lac d'Amiante, 10 octobre	0,90	0,0016	1,29

*Non-conformité au laboratoire : réception hors du délai de conservation de l'échantillon

Valeurs des métaux majeurs à la mine Lac d'Amiante, à Saint-Joseph-de-Coleraine, en 2023

Échantillon	Sodium	Calcium	Potassium	Magnésium	Dureté (CaCO ₃)
Lac d'Amiante, 28 août	18	31	25	90	450
Lac d'Amiante, 10 octobre	19	25	24	85	410

Valeurs des concentrations en métaux dissous et métaux extractibles (ug/l) à la mine lac d'Amiante à Thetford Mines le 28 août et le 10 octobre 2023.

Métal	Métaux dissous		Métaux extractibles	
	28 août	10 oct.	28 août	10 oct.
Argent	<0,002	<0,002	N/A	<0,002
Aluminium	4,3	3,2	N/A	6,2
Arsenic	3,0	3,0	N/A	2,9
Bore	54	52	N/A	54
Baryum	11	11	N/A	11
Béryllium	<0,005	<0,005	N/A	<0,005
Cadmium	0,006	0,007	N/A	0,010
Cobalt	0,05	0,05	N/A	0,055
Chrome	0,29	0,31	N/A	0,34
Cuivre	0,41	0,65	N/A	0,73
Fer	2,6	5,1	N/A	9,3
Manganèse	2,9	1,9	N/A	3,0
Molybdène	6,3	6,3	N/A	6,5
Nickel	1,9	2,1	N/A	2,3
Plomb	0,016	0,010	N/A	0,017
Antimoine	0,68	0,69	N/A	0,69
Sélénium	0,4	0,3	N/A	0,3
Strontium	45	45	N/A	44
Thallium	0,037	0,039	N/A	0,07
Titane	0,02	0,04	N/A	0,041
Uranium	0,46	0,47	N/A	0,47
Vanadium	0,18	0,18	N/A	1,0
Zinc	1,1	0,8	N/A	0,2

L'étude de l'ADN environnementale du Lac d'Amiante révèle l'absence d'invertébrés aquatiques. Contrairement aux attentes, l'étude révèle la présence d'une espèce de poissons, le mené à tête de boule (*Pimephales promelas*). Les fragments d'ADN retrouvés correspondent à cette espèce, mais présentent quelques différences pouvant s'expliquer par le fait que les individus sont isolés des autres espèces depuis plusieurs années.



6. Conclusion et recommandations

Pour conclure, les conclusions et interprétations de ce rapport peuvent présenter des tendances, mais rappelons que ces affirmations ne sont basées que sur un nombre très limité de données. À première vue, la qualité de l'eau des fosses de mines semble varier en fonction de la date de fermeture des sites et de la présence ou l'absence de haldes de RMA dans l'aire de drainage de ces fosses.

En ce sens, il semble que le pH diminue plus la mine est ennoyée depuis longtemps. De plus, aucune fosse de mine ne présente des valeurs de pH dépassant le seuil de 9,5 de la directive 019. Il est également possible de constater que la conductivité semble être plus élevée dans les mines qui sont toujours en cours d'ennoiement ce qui peut s'expliquer par l'apport par le lessivage des parois à nu. La diversité des communautés d'invertébrés aquatiques est également plus élevée dans la mine Normandie, soit la mine qui est fermée depuis la plus longue période parmi celles ayant été étudiées pour l'ADN environnemental.

Le lien entre la fermeture des mines et la qualité de l'eau n'est pas aussi clair quant à l'étude des métaux et des fibres d'amiante. L'étude des métaux dissous, extractibles et majeurs permet de constater que l'ensemble des fosses de mines présentent des concentrations qui ne dépassent jamais les seuils de protection de la vie aquatique (effet chronique) CVAC. Les métaux ne sont donc pas considérés comme toxiques pour la vie aquatique. Tel que confirmé par l'étude du GROBEC en 2021, le lessivage des RMA et des sites miniers à nu provoque un ruissellement vers les fosses et les cours d'eau qui est basique et chargé en métaux et en fibres d'amiante.

Pour la suite, il est recommandé de procéder à un suivi plus complet pour l'ensemble des fosses. Les limites de cette étude ne permettent pas d'arriver à des conclusions claires en raison du manque de données. Il est donc important de prévoir un échantillonnage dans chacune des fosses minimalement à trois reprises pendant 2 à 3 saisons estivales pour l'ensemble des paramètres étudiés dans cette étude, à l'exception de l'ADN environnemental qui peut se faire seulement une nouvelle fois par fosse. Idéalement, l'échantillonnage pour l'ADN environnemental se ferait durant la période de brassage

saisonnier et viserait environ cinq points d'échantillonnage par fosse pour obtenir le plus d'informations possible.

Pour les échantillonnages de qualité de l'eau, il est également recommandé de procéder à des échantillonnages en surface et des échantillonnages en profondeur pour l'ensemble des fosses. Cela pourrait être possible grâce à l'utilisation de bouteille de type VanDorn.

Il est également recommandé de prendre une deuxième série de mesures en période estivale pour ce qui concerne la thermocline. Il est également recommandé de retourner au Lac d'Amiante et la mine Jeffrey considérant que les prises de données de thermocline n'ont pas fonctionné comme prévu. Cela peut s'expliquer, pour la mine Jeffrey notamment, par le brassage saisonnier en raison de la date de la visite. Une autre hypothèse concernant la thermocline de ces deux lacs est que l'eau est potentiellement trop récente pour créer le phénomène. Une deuxième visite permettra de clarifier le tout.

Il serait également intéressant de pousser l'étude plus loin pour les fosses ayant un exutoire, soit la mine Boston, la mine Nationale et la mine British Canadian. Un échantillonnage de la qualité de l'eau dans les exutoires, avant leur rejet dans les cours d'eau naturels, serait très pertinent. Il serait ensuite possible d'analyser les résultats en fonction des critères de rejets émis dans la Directive 019 sur les activités minières du MELCCFP. La cartographie de ces exutoires devrait également être réalisée.

Finalement, il serait important de débiter l'étude de l'impact des fibres d'amiante dans l'eau dans le but que le Québec puisse éventuellement établir un seuil de protection de la vie aquatique ainsi qu'un critère pour l'eau potable. Le critère pour l'eau potable est particulièrement pertinent considérant l'intérêt de la municipalité de Val-des-Sources de s'approvisionner en eau potable dans la fosse Jeffrey à moyen terme.

7. Bibliographie

AquaPortail, 2023. Pimephales promelas. Repéré à : <https://www.aquaportail.com/fiche-poisson-3067-pimephales-promelas.html>

Arrakis consultants inc. mai 2011. Valorisation des résidus de chrysotile. Étude hydrogéologique. Rapport H497-02A. Présenté à Société Asbestos Limitée. 44p + Annexes

Data Stream, 2023. La conductivité - Water Qualité Guide. Repéré à : <https://datastream.org/fr-ca/guide/la-conductivite>

Dubois, Jean-Marie et Baker, Nathan, 2009. Val-des-Sources (Asbestos). Repéré à : <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/asbestos>

Environnement Canada, 2021. Données historiques. Gouvernement du Canada - Environnement et ressources naturelles. Repéré à https://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html

FNX-Innov, 2021. Mise à niveau #2. Plan de restauration. Mine Lac d'Amiante. Municipalité de Thetford Mines et de Saint-Joseph-de-Coleraine, 23 p. + annexes.

Gouvernement du Québec, 2013a. Répertoire du patrimoine culturel du Québec. Mine Beaver. Repéré à : <https://www.patrimoine-culturel.gouv.qc.ca/rpcq/detail.do?methode=consulter&id=201284&type=bien>

Gouvernement du Québec, 2013b. Répertoire du patrimoine culturel du Québec. Mine Boston. Repéré à : <https://www.patrimoine-culturel.gouv.qc.ca/rpcq/detail.do?methode=consulter&id=200849&type=bien>

Gouvernement du Québec, 2013c. Répertoire du patrimoine culturel du Québec. Mine British Canadian. Repéré à : <https://www.patrimoine-culturel.gouv.qc.ca/rpcq/detail.do?methode=consulter&id=201470&type=bien>

Gouvernement du Québec, 2013d. Répertoire du patrimoine culturel du Québec. Mine Lac d'Amiante. Repéré à : <https://www.patrimoine-culturel.gouv.qc.ca/rpcq/detail.do?methode=consulter&id=201033&type=bien>

Gouvernement du Québec, 2013e. Répertoire du patrimoine culturel du Québec. Mine National. Repéré à : <https://www.patrimoine-culturel.gouv.qc.ca/rpcq/detail.do?methode=consulter&id=201105&type=bien>

Gouvernement du Québec, 2013f. Répertoire du patrimoine culturel du Québec. Mine Normandie. Repéré à : <https://www.patrimoine-culturel.gouv.qc.ca/rpcq/detail.do?methode=consulter&id=201484&type=bien>

Hébert, S., Légaré, S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau (No. n°QE-123). Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, 24 p. + annexes.

Jacques, O., Pienitz, R., 2022. Impacts des activités minières d'amiante sur l'évolution du lac à la Truite d'Irlande, région de Thetford Mines (Québec, Canada) Impacts of asbestos mining activities on the evolution of Lac à la Truite d'Irlande, Thetford Mines region (Quebec, Canada). *Can. Water. Res. J.* 1–21.

MDDELCC, 2015. Critères de qualité de l'eau de surface au Québec. Fondements des critères de qualité pour chaque usage de l'eau. Repéré à http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/fondements.htm (accessed 12.15.15).

Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), 2019. Rapport sectoriel sur l'état de la situation de l'amiante au Québec, Gouvernementale No. PR4.4. Gouvernement du Québec, 68 p. + annexes.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2023. Critères de qualité de l'eau de surface. Repéré à https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/details.asp?code=S0381

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2017. Protocole d'échantillonnage de la qualité de l'eau, 3^e édition. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rsvl/protocole-echantill-qualite.pdf>

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2009. Critères de la qualité de l'Eau de surface. Direction du suivi de l'état de l'environnement. ISBN-978-2-550-64798-0, 510p. et 16 annexes.

Ministère du Développement Durable de l'Environnement de la Faune et des Parcs (MDDEP), 2012. Directive 019 sur l'industrie minière. Gouvernement du Québec, 66 p. + annexes.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), 2014. Protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux en traces.

Nature Metrics, 2023a. Environnemental DNA Report. Freshwater fish (exc. sharks & rays). Prepared for Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour.

Nature Metrics, 2023b. Environnemental DNA Report. Freshwater insects. Prepared for Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour.

Sahidi-Hakak, F., Amid-Motlagh, M.H., Khosravani, M., 2022. A quick review of the Family Chironomidae (Order Diptera) with effect on the Environnement. Repéré à : <https://brieflands.com/articles/tms-129263.pdf>

USEPA, 2020. Risk Evaluation for Asbestos Part 1: Chrysotile Asbestos (No. EPA-740-R1-8012). United States Environmental Protection Agency, 262 p. + annexes.

Villeneuve, M., 2013. Rapport de caractérisation des résidus miniers Région de Thetford Mines. Ministère du Développement durable, Environnement, Faune et Parcs (MDDEFP), 87 p. + annexes.

Woodhead, A.D., Setlow, R.B., Pond, V., 1983. The effects of chronic exposure to asbestos fibers in the Amazon molly *Poecilia formosa*. Environ. Int. 9, 173-176.

Annexes

Annexe 1 : Tableau présentant les espèces détectées par l'étude d'ADN environnemental des invertébrés aquatiques à la mine Normandie, à Saint-Joseph de Coleraine, le 22 août 2023 (Nature Metrics, 2023b)

Kingdom	Phylum	Class	Order	Family	Genus	Species	VIMY2023
Animalia	Arthropoda	Branchiopoda	Diplostraca	Chydoridae	<i>Alona</i>	<i>Alona affinis</i>	40
Animalia	Arthropoda	Branchiopoda	Diplostraca	Daphniidae	<i>Ceriodaphnia</i>		19353
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Calliphoridae	<i>Pollenia</i>		25
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chaoboridae	<i>Chaoborus</i>	<i>Chaoborus americanus</i>	108
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Cricotopus</i>	<i>Cricotopus intersectus</i>	22
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Cricotopus</i>		111
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Psectrocladius</i>		26
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae			7712
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae			1158
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae			137
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae			150
Animalia	Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae			39
Animalia	Arthropoda	Insecta	Hemiptera	Notonectidae	<i>Notonecta</i>	<i>Notonecta kirbyi</i>	56
Animalia	Arthropoda	Insecta	Hymenoptera	Tenthredinidae	<i>Cladius</i>	<i>Cladius compressicornis</i>	37
Animalia	Arthropoda	Insecta					629
Animalia	Arthropoda	Ostracoda	Podocopida	Cyprididae	<i>Cypridopsis</i>	<i>Cypridopsis vidua</i>	32

Annexe 2 : Localisation de l'exutoire de la mine Nationale

La localisation de la prise de l'échantillon analysé dans ce rapport nommé « Nationale exutoire » est présentée à l'aide d'un point rouge dans l'image ci-dessous.

