

Impacts des résidus miniers amiantés de la région de Thetford Mines sur les lacs du bassin de la rivière Bécancour

Olivier Jacques et Reinhard Pienitz



**Mémoire déposé au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
(BAPE) pour le dossier « L'état des lieux et la gestion de l'amiante et
des résidus miniers amiantés »**

Février 2020

Auteurs :

- Olivier Jacques, MSc
Étudiant au doctorat, Département de géographie, Université Laval
- Reinhard Pienitz, PhD
Professeur titulaire, Département de géographie, Université Laval



Citation recommandée :

Jacques, O. et R. Pienitz. 2020. Impacts des résidus miniers amiantés de la région de Thetford Mines sur les lacs du bassin de la rivière Bécancour. Mémoire déposé au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, Laboratoire de paléocéologie aquatique, Université Laval, Québec, 14 pp.

Table des matières

Liste des figures	iii
Avant-propos.....	iv
1. Introduction.....	1
2. Contexte d’artificialisation de l’étang Stater	2
3. Résumé méthodologique.....	3
3.1 Échantillonnage.....	3
3.2 Datations et chronologie.....	3
3.3 Matière organique et granulométrie	3
3.4 Métaux.....	3
3. Résultats et discussion	4
3.1 Changements dans la nature des sédiments.....	4
3.2 Identification de la source moderne de matière minérale	6
3.3 Impacts des résidus amiantés	8
3.4 Aperçu des résultats obtenus pour les lacs en aval.....	10
4. Conclusion	10
Remerciements.....	11
Références.....	12

Liste des figures

- Figure 1.** Plan du réseau de la rivière Bécancour dans la région de Thetford Mines. La photographie au centre de l'illustration présente un exemple d'un tronçon problématique où la rivière sillonne d'importantes haldes de résidus amiantés..... 1
- Figure 2.** Photographie et profils de variation stratigraphique de la matière organique et de la taille moyenne des grains dans la carotte de sédiments de l'étang Stater..... 5
- Figure 3.** Profils de variation stratigraphique de la concentration de divers métaux dans la carotte de sédiments de l'étang Stater..... 6
- Figure 4.** Profils de variation stratigraphique des concentrations en métaux exprimées sous forme de ratio avec l'élément titane dans la carotte de sédiments de l'étang Stater. Note : Al, aluminium; Cr, chrome; K, potassium; Mg, magnésium; Na, sodium; Ni, nickel; Ti, titane..... 7
- Figure 5.** Photographies des coulées de résidus amiantés en provenance des haldes du secteur de la mine Normandie dans la région de Thetford Mines en temps sec (gauche; Chum 2015) et en conditions pluvieuses (droite; RAPPEL/APLTI)..... 8

Avant-propos

Nous avons entrepris en 2017 un projet d'études paléolimnologiques sur une série de cinq plans d'eau présentant un état de santé précaire et faisant partie du réseau de la rivière Bécancour dans la région de Thetford Mines. Le projet est réalisé dans le cadre des études doctorales de Olivier Jacques sous la direction de Reinhard Pienitz à l'Université Laval (UL). À l'aide de carottes de sédiments, il vise principalement à reconstituer l'histoire évolutive des cinq plans d'eau à l'étude afin de définir leurs caractéristiques naturelles, de déterminer les facteurs historiques qui ont joué un rôle important dans leur état de santé actuel et d'évaluer leur niveau de dégradation. L'objectif ultime de notre étude est de fournir des données et recommandations qui permettront aux acteurs locaux de mieux orienter leurs efforts de rétablissement et de préservation de ces écosystèmes aquatiques.

Le dossier « L'état des lieux et la gestion de l'amiante et des résidus miniers amiantés » qui est présentement analysé par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) compte parmi ses principaux objectifs de dresser un état des connaissances scientifiques sur les répercussions de l'amiante et de ses résidus sur la santé, mais également sur l'environnement. Les résultats préliminaires de notre étude démontrent clairement que les haldes de résidus amiantés de la région de Thetford Mines ont un impact important sur l'état de santé de plusieurs plans d'eau situés en aval de la ville. Étant donné que nos travaux de recherche sont toujours en cours (fin prévue en 2021) et que nos résultats n'ont pas encore été publiés dans la littérature scientifique, nous avons choisi de restreindre le nombre de données présentées dans ce mémoire. Par conséquent, nous présentons ici seulement quelques résultats obtenus pour l'étang Stater qui est le premier bassin récepteur du réseau de la rivière Bécancour à l'aval des anciennes zones d'activité minière. À noter que la précision des données chronologiques est sujette à légères révisions dans le futur qui ne modifieront certes pas nos conclusions.

1. Introduction

La rivière Bécancour prend origine au lac Bécancour et s'écoule ensuite en direction de la ville de Thetford Mines dans le sud du Québec (Figure 1). Durant son parcours, elle sillonne les anciens sites miniers de la région et passe à travers des amoncellements importants de résidus amiantés. Plus en aval, la rivière rejoint ensuite l'étang Stater, puis s'élargit pour former successivement les lacs à la Truite, William et Joseph situés dans les municipalités d'Irlande, de Saint-Ferdinand, de Saint-Pierre-Baptiste et d'Inverness. Ces plans d'eau présentent un état de santé précaire depuis plusieurs années alors qu'ils sont à un stade avancé d'eutrophisation et souffrent d'ensablement. L'apport élevé de sédiments à l'étang Stater et au lac à la Truite peut notamment être constaté par photo-interprétation (Miquelon 2018; Mercier 2019). Les haldes de résidus amiantés sont soupçonnées d'être en grande partie responsable de cet ensablement (Le regroupement des 4 lacs 2015). Dans le passé, ces soupçons ont cependant été remis en question puisqu'une épaisse croûte limitant l'érosion des résidus dans la rivière se serait développée à la surface des haldes suivant la fermeture des sites d'exploitation minière (Bérubé 1991; Arbour 1994).

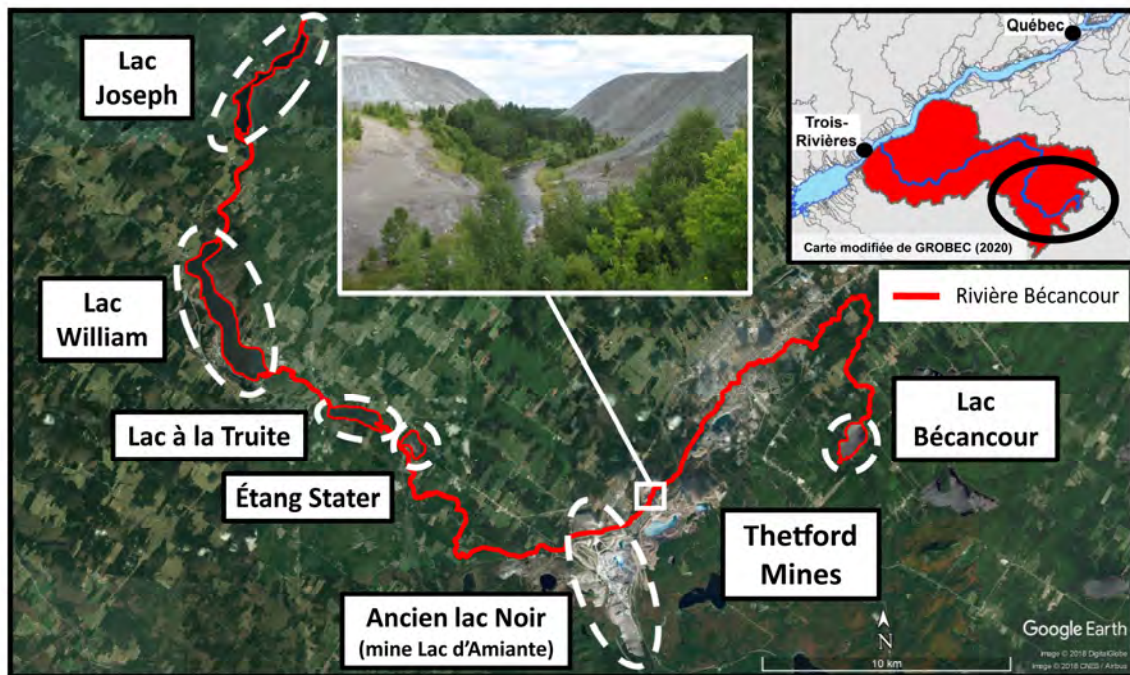


Figure 1. Plan du réseau de la rivière Bécancour dans la région de Thetford Mines. La photographie au centre de l'illustration présente un exemple d'un tronçon problématique où la rivière sillonne d'importantes haldes de résidus amiantés.

Un des objectifs spécifiques de notre projet de recherche était d'évaluer l'ampleur de la problématique d'ensablement dans les lacs du bassin de la rivière Bécancour et d'identifier les principales sources de sédiments. Pour ce faire, nous avons utilisé une approche paléolimnologique basée sur l'analyse de carottes de sédiments. Le matériel sédimentaire au fond d'un lac se dépose de manière graduelle et progressive au fil du temps. Les différentes couches peuvent être datées de manière précise à l'aide de datations radiométriques. De cette manière, il est possible de reconstituer l'évolution historique des taux de sédimentation d'un plan d'eau. À l'aide de différents indicateurs, il est également possible d'analyser les changements survenus au niveau de la nature des sédiments et de les relier au contexte environnemental du bassin versant. La paléolimnologie est de plus en plus utilisée au Québec et dans le monde afin d'étudier le passé évolutif de lacs à l'état de santé précaire. Elle fournit des connaissances cruciales qui permettent de mieux orienter les mesures de préservation et de rétablissement de ces écosystèmes aquatiques (Pienitz et Vincent 2003).

Dans ce mémoire, nous présentons quelques résultats préliminaires obtenus sur une carotte de sédiments prélevée au fond de l'étang Stater qui est le premier bassin récepteur du réseau de la rivière Bécancour en aval des anciens sites d'exploitation d'amiante de la région de Thetford Mines. Nous utilisons des données obtenues au niveau de la chronologie, de la teneur en matière organique, de la taille moyenne des grains et de la concentration en métaux des sédiments afin d'illustrer l'évolution sédimentologique de ce plan d'eau au cours des dernières décennies.

2. Contexte d'artificialisation de l'étang Stater

Les activités minières d'extraction d'amiante ont débuté en 1877 dans la région de Thetford Mines. Après des débuts lents, l'exploitation a progressivement pris de l'ampleur au fil des années et de la mécanisation des équipements. Un des événements les plus marquants de l'histoire minière de la région est sans aucun doute la vidange du lac Noir qui est survenue dans les années 1950. Le lac Noir était un lac anciennement relié à la rivière Bécancour et situé à la sortie du secteur Black Lake de la ville de Thetford Mines (Figure 1). De 1955 à 1959, il a été complètement vidé et excavé afin de permettre l'exploitation d'un gisement minier sous son lit (Fortier 1983). Préalablement, un barrage et une digue ont été aménagés

environ 1 km en amont du lac à la Truite afin de limiter le transport de sédiments en aval de la rivière Bécancour durant les travaux au lac Noir. Ces installations ont résulté en un agrandissement important de l'étang Stater, déjà présent, qui fut alors connecté à la rivière Bécancour.

3. Résumé méthodologique

3.1 Échantillonnage

D'une longueur de 113,5 cm, la carotte de sédiments de l'étang Stater a été prélevée dans la région la plus profonde du plan d'eau lors de l'été 2017. Les travaux d'échantillonnage ont été réalisés à l'aide d'un carottier à percussion muni de tubes de plastique d'environ 6,5 cm de diamètre interne. La carotte a ensuite été coupée en tranches transversales de 0,5 cm à partir desquelles les analyses ont été réalisées.

3.2 Datations et chronologie

La chronologie de la séquence sédimentaire a été estimée à l'aide de datations radiométriques aux éléments radioactifs de plomb 210 (^{210}Pb), césium 137 (^{137}Cs) et carbone 14 (^{14}C). Ces analyses ont été réalisées au Laboratoire de radiochronologie du Centre d'études nordiques (CEN) situé sur le campus de l'UL.

3.3 Matière organique et granulométrie

La teneur en matière organique des différentes couches de sédiments a été estimée par combustion (550 °C) selon la technique de perte au feu (Heiri et al. 2001). Par la suite, la taille moyenne des gains a été mesurée par diffraction du laser sur les résidus de matière minérale au Laboratoire de sédimentologie et de géomorphologie de l'UL.

3.4 Métaux

La concentration en métaux des sédiments a été analysée au Centre Eau Terre Environnement de l'Institut National de la recherche scientifique (INRS-ÉTÉ; Québec) à l'aide des méthodes de spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif (ICP-AES) et de spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS). Dans

ce mémoire, uniquement les résultats obtenus pour certains éléments dont la concentration varie principalement qu'en fonction des apports externes (bassin versant; Engstrom et Wright 1984), soit le magnésium (Mg), l'aluminium (Al), le nickel (Ni), le chrome (Cr), le sodium (Na), le potassium (K) et le titane (Ti), ont été considérés. Les concentrations en fer et en manganèse, par exemple, varient en fonction des apports externes, mais également selon les conditions d'oxygénation dans la colonne d'eau et n'ont donc pas été analysées ici. Les données ont été exprimées en mg/kg de matière minérale (MM) afin d'éviter des biais reliés à des variations de la concentration en matière organique.

3. Résultats et discussion

3.1 Changements dans la nature des sédiments

La carotte de sédiments tirée de l'étang Stater est caractérisée par une zone de perturbation importante de 94 à 76 cm où plusieurs couches de sédiments de couleur variable se succèdent rapidement (Figure 2). Les sédiments de cet horizon de la carotte ont sans aucun doute été déposés durant les travaux de vidange du lac Noir (incluant la construction de la digue et du barrage) de 1955 à 1959. Ils constituent une coupure stratigraphique très importante dans la carotte. Préalablement à cet événement (113,5 à 94,0 cm), les sédiments de l'étang Stater présentaient un contenu très riche en matière organique (29-52 %) et une taille de grains variant entre 18 et 24 μm . Depuis la vidange (76,0-0,0 cm), les sédiments au fond de l'étang sont comparativement pauvres en matière organique (5-9 %) et présente une granulométrie plus fine (12-19 μm).

Il n'est pas surprenant que la vidange du lac Noir ait engendré des changements sédimentologiques permanents au fond de l'étang Stater étant donné que le plan d'eau a été considérablement dénaturé à la suite de cet événement et qu'une connexion précédemment inexistante a été établie avec la rivière Bécancour. L'ampleur des changements est cependant très importante et les caractéristiques des sédiments modernes (1960-2017) de l'étang sont étonnantes. Leur faible teneur en matière organique est en particulier curieuse considérant que ce plan d'eau présente un état hypereutrophe (phosphore total > 100 $\mu\text{g/L}$; O. Jacques, données pers.) et est caractérisé par une grande abondance de macrophytes. Dans un tel plan d'eau, on peut normalement s'attendre à ce

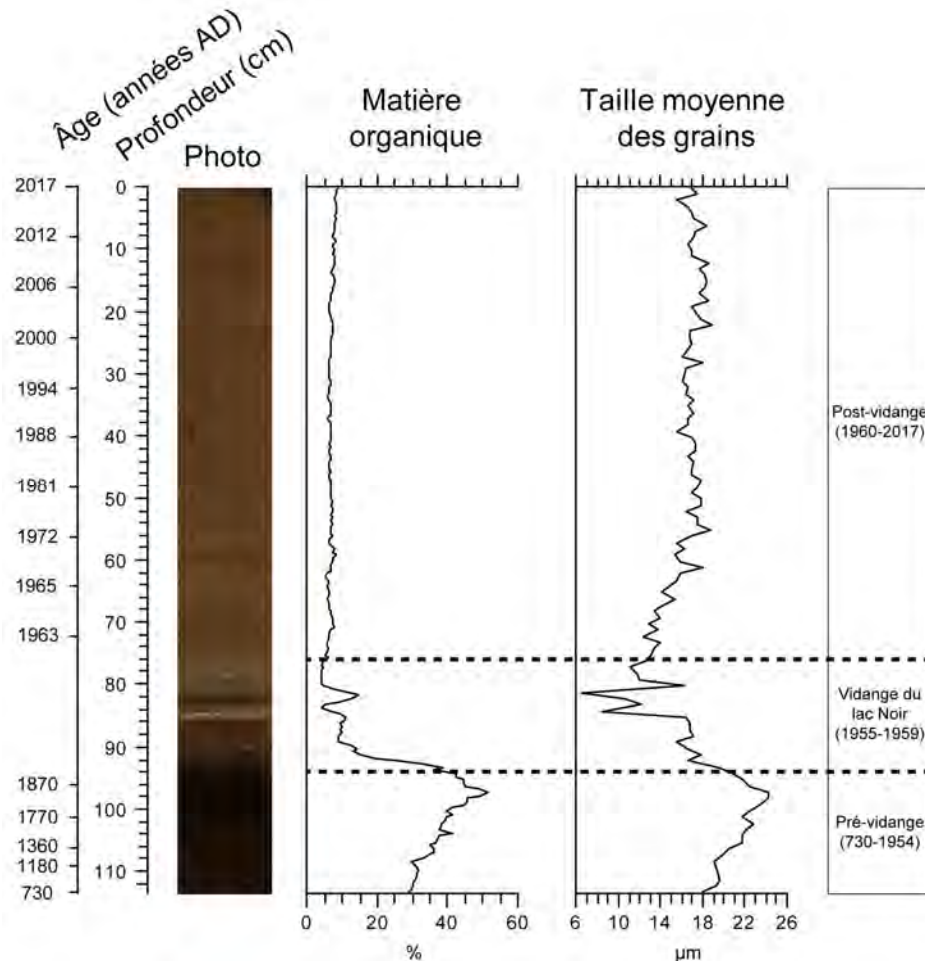


Figure 2. Photographie et profils de variation stratigraphique de la matière organique et de la taille moyenne des grains dans la carotte de sédiments de l'étang Stater.

que l'importance de la productivité biologique primaire résulte en des sédiments plus organiques. En comparaison, le lac Bécancour situé en amont de la ville de Thetford Mines présente une morphométrie comparable à l'étang Stater et est caractérisé par des sédiments de surface ayant un contenu en matière organique de 24 % (O. Jacques, données pers.). Par ailleurs, depuis la vidange du lac Noir, la vitesse d'accumulation des sédiments dans l'étang est très importante. Depuis 1960, le taux de sédimentation linéaire moyen est de 1,33 cm/an. Cette valeur est extrême en dépit du fait que les plans d'eau avec un barrage peuvent présenter des taux de sédimentation naturellement plus élevés. Elle représente une augmentation de 83 fois supérieure au taux de référence pré-1955 pouvant être établi pour l'étang Stater (0,016 cm/an) et est aussi beaucoup plus élevé que le taux historique moyen (pré-1800) du lac à la Truite (0,055 cm/an; O. Jacques, données pers.). À titre comparatif, la valeur est également bien supérieure aux taux de sédimentation modernes (post-1960)

de lacs détériorés d'autres régions d'études tels que les lacs Saint-Augustin (~0,25 cm/an; Pienitz et al. 2006) et Saint-Charles (~0,48 cm/an; Tremblay et al. 2001) situés dans la région de Québec et le lac Dauriat à Schefferville (~0,72 cm/an; Laperrière et al. 2009). On peut déduire de ces résultats que l'étang Stater reçoit des quantités très importantes de matière minérale en provenance de son bassin versant. Ces apports diluent la matière organique provenant de la productivité primaire.

3.2 Identification de la source moderne de matière minérale

En examinant la variation des concentrations en métaux dans la carotte de sédiments, on remarque que les sédiments récents de l'étang Stater (1959-2017) sont fortement enrichis en magnésium, aluminium, nickel, chrome, sodium et potassium (Figure 3). D'après Bertrand (1981; cité dans Bérubé 1991) et GROBEC (2015), tous ces éléments sont abondants dans les haldes de résidus miniers de la région, ce qui suggère que les quantités importantes de matière minérale que reçoit l'étang Stater proviennent de cette source. Les résidus amiantés sont, en particulier, réputés pour les grandes concentrations de magnésium qu'ils renferment. Or, les sédiments modernes (1960-2017) de l'étang présentent une concentration moyenne de magnésium hors norme de 38 446 mg/kg MM qui est beaucoup plus élevée que la concentration moyenne des sédiments déposés avant la vidange du lac

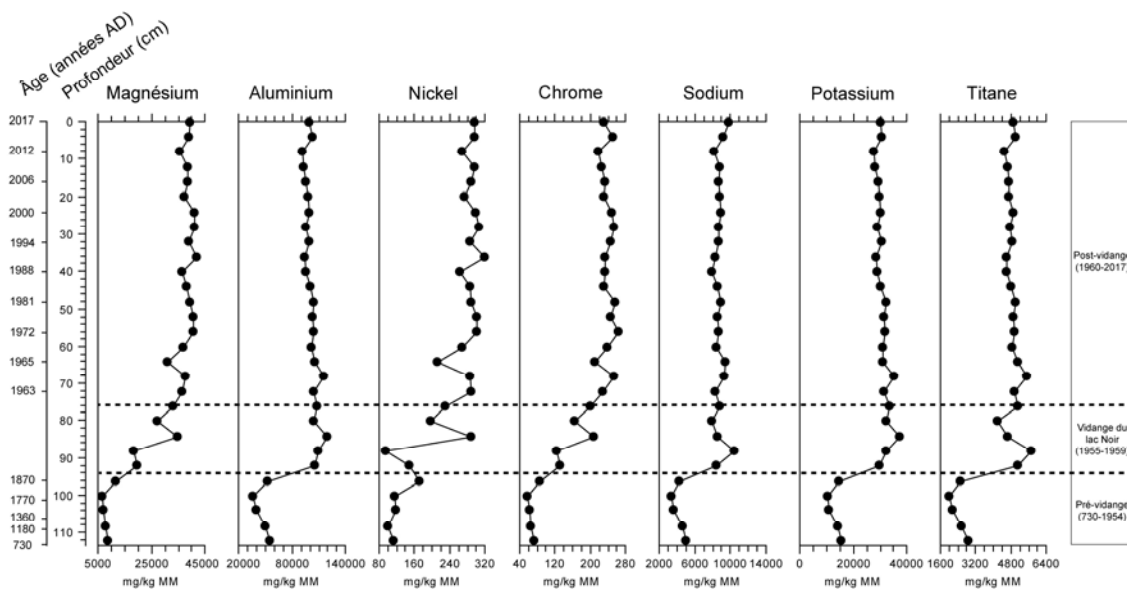


Figure 3. Profils de variation stratigraphique de la concentration de divers métaux dans la carotte de sédiments de l'étang Stater.

Noir dans ce plan d'eau (10 287 mg/kg MM) et avant la colonisation (pré-1800) dans le lac à la Truite (15 545 mg/kg MM). La concentration moyenne de magnésium non normalisée des sédiments récents (35 745 mg/kg) est également largement supérieure aux valeurs maximales historiques et modernes recensées dans les lacs Saint-Augustin (~17 000 mg/kg; Pienitz et al. 2006), Saint-Charles (~5600 mg/kg; Tremblay et al. 2001) et Dauriat (~6500 mg/kg; Laperrière et al. 2009).

Le fait que la concentration en titane augmente également au même titre que les autres métaux précédemment énumérés pourraient remettre en doute le fait que la matière minérale qui sédimente dans l'étang Stater provient majoritairement des haldes minières. Effectivement, le titane n'est pas recensé comme étant abondant dans les résidus amiantés de la région (GROBEC 2015). Cependant, en exprimant les concentrations de métaux en termes de ratio vis-à-vis le titane, on remarque que les profils de plusieurs des éléments analysés, en particulier le magnésium (Mg/Ti) et le chrome (Cr/Ti), suivent toujours des tendances à la hausse dans les sédiments modernes (1960-2017; Figure 4). Ce résultat indique que leur augmentation dans l'horizon supérieur de la carotte de sédiments est plus prononcée (non proportionnelle) avec celle du titane, ce qui est cohérent avec la signature géochimique des résidus amiantés.

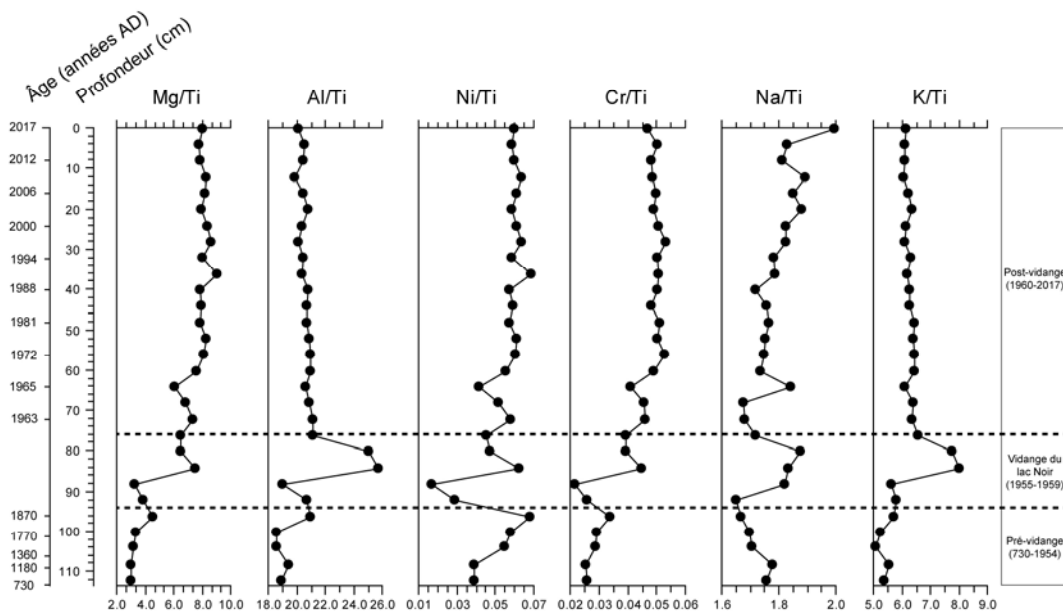


Figure 4. Profils de variation stratigraphique des concentrations en métaux exprimées sous forme de ratio avec l'élément titane dans la carotte de sédiments de l'étang Stater. Note : Al, aluminium; Cr, chrome; K, potassium; Mg, magnésium; Na, sodium; Ni, nickel; Ti, titane.

La quantité importante de résidus amiantés transportée jusqu'à l'étang Stater n'est pas surprenante lorsqu'on considère les importants amoncellements qui sont situés directement en bordure de plusieurs tronçons de la rivière Bécancour. Sur certaines photographies, il est possible d'apercevoir des coulées de déchets miniers qui se rendent jusqu'à la rivière (Figure 5). Ces apports sont sans aucun doute très importants en période de fortes pluies, de crues et de fonte printanière.



Figure 5. Photographies des coulées de résidus amiantés en provenance des haldes du secteur de la mine Normandie dans la région de Thetford Mines en temps sec (gauche; Chum 2015) et en conditions pluvieuses (droite; RAPPEL/APLTI).

3.3 Impacts des résidus amiantés

L'impact le plus évident des résidus amiantés sur l'étang Stater est certainement les taux de sédimentation extrêmes qu'ils engendrent. En 2015, l'étang présentait une profondeur maximale pouvant atteindre 3,9 m, mais la majeure partie du plan d'eau était caractérisée une profondeur inférieure à 1,5 m (Chum 2015). Au rythme actuel (1,33 cm/an), une grande portion de sa superficie devrait être comblée dans un horizon de 100 ans si l'érosion des

haldes minières n'est pas freinée. De ce résultat, on peut également déduire que la rivière Bécancour véhicule une grande charge de matière en suspension. L'étang Stater présente une très faible transparence de l'eau (Secchi : 0,4-0,5 m; O. Jacques, données pers. 2017) qui pourrait être en partie attribuable à la présence de résidus miniers dans la colonne d'eau. De manière générale, la matière en suspension a pour effet de réduire la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau qui est alors moins accessible pour les organismes benthiques. De plus, elle absorbe l'énergie du soleil, ce qui peut mener à une hausse de la température de l'eau et une perte d'oxygène nuisible à la faune aquatique.

Les résultats d'un rapport publié par GROBEC (2015) ont révélé que l'eau de la rivière Bécancour du secteur de Thetford Mines ne présentait pas, au moment de l'échantillonnage, des concentrations en métaux pouvant s'avérer inquiétantes. Nos données démontrent cependant que des concentrations très élevées sont somme toute présentes dans les sédiments de l'étang Stater, ce qui suggère que la rivière Bécancour transporte des quantités importantes de métaux d'un point de vue global. Certains éléments présentés dans ce mémoire tels que l'aluminium et le chrome peuvent avoir un potentiel toxique important (e.g., Gundersen et al. 1994; Chandra et Kulshreshtha 2004). Leur toxicité réelle dans l'étang Stater et les lacs du bassin de la rivière Bécancour doit cependant encore être évaluée. Dans les prochains mois, notre équipe prévoit également récolter des données au niveau de la concentration de certains métaux lourds, tels que l'arsenic, le cadmium et, possiblement, le mercure dans les sédiments. Par ailleurs, il est fort probable que les résidus amiantés qui atteignent l'étang Stater transportent également des fibres d'amiante. Or, les fibres de chrysotile peuvent être nuisibles aux organismes aquatiques. Par exemple, il a été démontré qu'elles pouvaient s'accumuler dans les tissus, causer des lésions aux organes vitaux et nuire au développement et aux mécanismes physiologiques de bivalves et de poissons (Woodhead et al. 1983; Belanger et al. 1986a, 1986b, 1990). De manière similaire, elles peuvent également nuire aux algues et aux macrophytes (e.g., Lauth et Schurr 1983, 1984; Trivedi et al. 2004, 2007).

Finalement, il est probable que les haldes de résidus amiantés provoquent une alcalinisation des lacs du bassin de la rivière Bécancour. Effectivement, les eaux s'écoulant des amoncellements de résidus amiantés sont alcalines (Meck et al. 2006) et il a été démontré que le pH de la rivière Bécancour semblait être influencé par les haldes de résidus

miniers (Masi et Bourget 2007; GROBEC 2015). Bien que nous ne puissions pas encore le conclure avec certitude, nos données préliminaires d'analyses de restes d'algues (diatomées) préservées dans les sédiments suggèrent également que le pH des plans d'eau situés en aval des anciens sites d'exploitation minière aurait augmenté au cours des dernières décennies. L'étang Stater présente un pH d'environ 8,9 qui est surprenant considérant que le lac Bécancour situé en tête du bassin versant en possède un de 6,4 (O. Jacques, données pers. 2017). Un changement de pH engendre des bouleversements importants au niveau des écosystèmes aquatiques et de la composition des communautés d'organismes vivants du milieu. Par ailleurs, il a été démontré que le potentiel de toxicité de certains métaux tels que l'aluminium peut s'accroître avec une augmentation de pH (passage de circumneutre à alcalin; e.g, Gundersen et al. 1994).

3.4 Aperçu des résultats obtenus pour les lacs en aval

Le lac à la Truite présente une stratigraphie très similaire à l'étang Stater située à son amont. Les résultats obtenus pour ce lac indiquent qu'il reçoit également des quantités très importantes de résidus amiantés qui influencent grandement sa sédimentologie et provoquent un remplissage fortement accéléré. Nos données suggèrent qu'une quantité importante de résidus amiantés atteignent également le lac William et, dans une moindre mesure, le lac Joseph situés plus en aval. On peut donc conclure que les résidus amiantés de la région de Thetford Mines sont transportés sur plus de 25 km (au minimum) et ont un impact important sur une très large proportion du réseau de la rivière Bécancour.

4. Conclusion

Les résultats préliminaires de notre étude démontrent qu'il y a un transport massif de résidus amiantés vers le réseau de la rivière Bécancour en aval des anciens sites d'exploitation minière de la région de Thetford Mines. Il ne fait aucun doute qu'ils ont un impact très important sur plusieurs plans d'eau du bassin versant. Ils contribuent à leur mauvais état de santé et, dans certains cas, représentent une menace directe à leur existence à long terme. Nous en avons fait ici la démonstration en présentant le cas de l'étang Stater, mais détenons également de résultats probants en ce qui a trait aux lacs à la Truite, William et Joseph. Les résidus amiantés engendrent un remplissage très accéléré de ces plans d'eau

(perte de profondeur et de superficie) et contribuent probablement à maintenir une quantité importante de matière en suspension dans l'eau du réseau de la rivière Bécancour. Le rejet de fibres d'amiante et une hausse de la teneur en métaux et du pH de l'eau sont vraisemblablement d'autres conséquences néfastes engendrées par la présence des haldes minières sur le territoire.

La préservation et le rétablissement des plans d'eau du bassin de la rivière Bécancour sont d'une importance capitale pour la région. L'étang Stater, par exemple, représente un des plus importants sites de biodiversité de Chaudière-Appalaches. Le site est aménagé pour l'observation de la nature et accueille notamment la tortue serpentine (statut préoccupant; COSEPAC) et plusieurs espèces d'oiseaux tels que le balbuzard pêcheur et le pygargue à tête blanche. Les lacs à la Truite, William et Joseph sont des endroits importants pour la villégiature et la pratique de la pêche et des sports nautiques. Ils ont une valeur économique et récréotouristique très importante pour la région. Afin de préserver ces milieux naturels, il est essentiel de freiner rapidement les apports de résidus amiantés en provenance des haldes minières. Des solutions potentielles pourraient notamment inclure le détournement de certains tronçons de la rivière Bécancour, la construction de bassins de rétention/sédimentation, l'adoucissement et la végétalisation des pentes des haldes ou encore le déplacement de certaines portions des amoncellements de résidus miniers.

Les résultats détaillés de notre projet de recherche, incluant une plus grande abondance de données, des analyses plus approfondies et des recommandations, seront progressivement publiés au cours des prochains mois sous forme d'articles scientifiques, de conférences et d'un rapport de recherche final dont le dépôt est prévu au début de l'été 2021.

Remerciements

Nous tenons à remercier tous les organismes contribuant au financement de notre projet de recherche, soit la MRC des Appalaches, la MRC de l'Érable, la municipalité de Thetford Mines, la municipalité d'Irlande, la municipalité de Saint-Ferdinand, la municipalité d'Inverness, la municipalité de Saint-Pierre-Baptiste, l'Association de protection du lac à la Truite d'Irlande (APLTI), l'Association du lac William (ALW), l'Association des

riveraines et riverains du lac Joseph (ARRLJ) et le fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FRQNT). Nous remercions également le Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour (GROBEC) qui participe de manière importante à la coordination du projet. Finalement, merci à Réjean Vézina (ALPTI), Martin Turcotte (APLTI), Ismail El Haddaoui (UL), Yohanna Klanten (UL) et Camille Latourelle-Vigeant (UL) pour l'aide en laboratoire et/ou sur le terrain.

Références

- Arbour, S. 1994. État de l'environnement de la région de Chaudière-Appalaches. Conseil régional de l'environnement Chaudière-Appalaches (CRECA), 280 pp.
- Belanger, S. E., D. S. Cherry et J. Cairns. 1986a. Seasonal, behavioral and growth changes of juvenile *Corbicula fluminea* exposed to chrysotile asbestos. *Water Research* **20**: 1243-1250.
- Belanger, S. E., K. Schurr, D. J. Allen et A. F. Gohara. 1986b. Effects of chrysotile asbestos on Coho Salmon and Green Sunfish: evidence of behavioral and pathological stress. *Environmental Research* **39**: 74-85.
- Belanger, S. E., D. S. Cherry et J. Cairns. 1990. Functional and pathological impairment of Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) by long-term asbestos exposure. *Aquatic Toxicology*, **17**: 133-154.
- Bertrand, R. 1981. Rapport technique du bassin versant de la rivière Bécancour. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de l'assainissement des eaux. 29 pp.
- Bérubé, P. 1991. Qualité des eaux du bassin de la rivière Bécancour, 1979-1989. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau, envirodoq n° EN910401 QEN/QE-73-E, 188 pp.
- Chandra, P. et K. Kulshreshtha. 2004. Chromium accumulation and toxicity in aquatic vascular plants. *The Botanical Review* **70**: 313-327.
- Chum, M. 2015. Analyse hydro-sédimentologique de l'Étang Stater et proposition d'interventions. 21 pp.
- Engstrom, D. R. et H. E. Wright. 1984. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. Pp. 11-68 dans E. Y. Haworth et J. W. G. Lund

- (éditeurs). Lake sediments and environmental history. Leicester University Press, Leicester.
- Fortier, C. 1983. Black Lake: lac d'amiante 1882-1982. Tome I: amiante et chrome des Appalaches – Cent ans d'histoire. 346 pp.
- [GROBEC] Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour. 2015. Présence de métaux dans l'eau de surface du bassin versant de la rivière Bécancour, secteur minier de Thetford Mines. 48 pp.
- [GROBEC] Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour. 2020. Répertoire cartographique. <<http://www.grobec.org/repertoire.php>>.
- Gundersen, B. T., S. Bustarnan, W.K. Seim, and L.R. Curtis. 1994. pH, hardness, and humic acid influence aluminum toxicity to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in weakly alkaline waters. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **51**: 1345-1355.
- Heiri, O, A. F. Lotter et G. Lemcke. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. Journal of Paleolimnology **25**: 101-110.
- Laperrière, L., R. Pienitz, M.-A. Fallu, S. Hausmann et D. Muir. 2009. Impacts de l'activité minière et des eaux usées sur la santé du lac Dauriat à Schefferville : données paléolimnologiques. Le Naturaliste Canadien **133**: 83-95.
- Lauth, J. et K. Schurr. 1983. Some effects of chrysotile asbestos on a planktonic alga (*Cryptomonas erosa*). Micron **14**: 93-94.
- Lauth, J. et K. Schurr. 1984. Entry of chrysotile asbestos fibers from water into the planktonic alga (*Cryptomonas erosa*). Micron and Microscopica Acta **15**: 113-114.
- Le regroupement des 4 lacs. 2015. Le Lac à la Truite d'Irlande en voie de disparition. 29 pp.
- Masi, M.-E. et D. Bourget. 2007. Diagnostic sur les ressources et les usages de la Haute-Bécancour, rapport technique. Canards illimités Canada, 68 pp.
- Meck, M., D. Love et B. Mapani. 2006. Zimbabwean mine dumps and their impacts on river quality – a reconnaissance study. Physics and Chemistry of the Earth **31**: 797-803.

- Mercier, D. 2019. Photo-interprétation historique de l'Étang Stater – Irlande, Qc – Outil évolutif pour le suivi de l'érosion (transport et sédimentation). RAPPEL Experts-Conseils en environnement et en gestion de l'eau, 46 pp.
- Miquelon, G. 2018. Photo-interprétation historique du Lac à la Truite d'Irlande. RAPPEL-Coop de solidarité en protection de l'eau, 16 pp.
- Pienitz, R. et W. F. Vincent. 2003. Generic approaches towards water quality monitoring based on paleolimnology. Pp. 61-82 *dans* M. Kumagai et W. F. Vincent (éditeurs). Freshwater management: global versus local perspectives. Springer-Verlag, Tokyo.
- Pienitz, R, K. Roberge et W. F. Vincent. 2006. Three hundred years of human-induced change in an urban lake: paleolimnological analysis of Lac Saint-Augustin, Québec City, Canada. *Canadian Journal of Botany* **84**: 303-320.
- Tremblay, R., S. Légaré, R. Pienitz, W. F. Vincent et R. I. Hall. 2001. Étude paléolimnologique de l'histoire trophique du lac Saint-Charles, réservoir d'eau potable de la communauté urbaine de Québec. *Revue des Sciences de l'Eau* **14**: 489-510.
- Trivedi, A. K., I. Ahmad, M. S. Musthapa, F. A. Ansari et Q. Rahman. 2004. Environmental contamination of chrysotile asbestos and its effects on growth and physiological and biochemical parameters of *Lemna gibba*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **47**: 281-289.
- Trivedi, A. K., I. Ahmad, M. S. Musthapa et F. A. Ansari. 2007. Environmental contamination of chrysotile asbestos and its toxic effects on antioxidative system of *Lemna gibba*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **52**: 355-362.
- Woodhead, A. D., R. B. Setlow et V. Pond. 1983. The effects of chronic exposure to asbestos fibers in the Amazon molly *Poecilia Formosa*. *Environment International* **9**: 173-176.