

Évaluation des risques écotoxicologiques pour la faune aviaire benthivore et piscivore au site minier East Sullivan



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

Québec 

Crédit photos page couverture : MDDELCC

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

Ce document peut être consulté sur le site Internet du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques au www.mddelcc.gouv.qc.ca.

ISBN 978-2-550-70732-5 (PDF)
© Gouvernement du Québec, 2014

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Auteurs :	Denis Laliberté ¹ Mélanie Desrosiers ² Gaëlle Triffault-Bouchet ²
Analyse de laboratoire	Nathalie Dassylva ² Jean-Pierre Blouin ²
Révision scientifique :	Jean Dionne ⁴ Jean-François Doyon ⁵ Julie Moisan ¹ Lyne Pelletier ¹ Jonathan Gagnon ³
Analyse de risque :	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec ²
Analyse de laboratoire :	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec ²
Échantillonnage :	Direction du suivi de l'état de l'environnement

¹ Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

² Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, ministère de Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

³ Direction régionale de l'analyse et de l'expertise de l'Abitibi-Témiscamingue et du Nord-du-Québec, ministère de Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

⁴ Direction de la restauration des sites miniers, ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

⁵ Mines Agnico Eagle ltée

Référence bibliographique : LALIBERTÉ, Denis, Mélanie DESROSIERS et Gaëlle TRIFFAULT-BOUCHET, 2014. *Évaluation des risques écotoxicologiques pour la faune aviaire au site minier East Sullivan*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, ISBN 978-2-550-70732-5 (PDF), 63 p.

REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes et organismes ont contribué, de près ou de loin, à la production du présent rapport. Nous voulons souligner le travail de la direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue et du Nord-du-Québec du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques ainsi que la direction de la restauration des sites miniers du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles pour sa contribution financière à la réalisation de l'étude. Enfin, nous désirons remercier la Société du loisir ornithologique de l'Abitibi (SLOA) pour la production de la liste annotée.

RÉSUMÉ

Afin d'évaluer les risques écotoxicologiques pour la faune aviaire dans les bassins Sud et Est du site minier East Sullivan, des échantillons d'eau, de sédiments, d'organismes benthiques et de poissons ont été prélevés du 4 au 7 juillet 2012 et analysés pour plusieurs éléments et composés. L'étude d'évaluation de risque écotoxicologique a mis en évidence des risques potentiels liés à la présence de manganèse dans le bassin Sud du parc à résidus miniers East Sullivan. Ces risques sont essentiellement associés à la consommation d'invertébrés et de poissons contenant des concentrations importantes de manganèse. À l'analyse des incertitudes associées à cette évaluation, ces risques ne semblent pas préoccupants. Ainsi, d'après les données disponibles, les bassins Sud et Est du site minier East Sullivan semblent être des habitats acceptables pour la faune aviaire qui les fréquente.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
2	DESCRIPTION DE L' AIRE D'ÉTUDE	2
2.1	Parc à résidus miniers East Sullivan	2
2.2	Lac Fortmac	2
2.3	Lac Frontière	3
3	MÉTHODOLOGIE	3
3.1	Analyse statistique	4
3.2	Comparaison aux critères de qualité de l'eau, des sédiments et des poissons	4
4	QUALITÉ DU MILIEU	6
4.1	Eau	6
4.1.1	Éléments nutritifs	6
4.1.2	Éléments majeurs et paramètres physicochimiques.....	6
4.1.3	Métaux dissous et extractibles dans l'eau.....	7
4.2	Sédiments	9
4.3	Macroinvertébrés benthiques	12
4.4	Poissons.....	15
5	ÉVALUATION DES RISQUES ÉCOTOXICOLOGIQUES POUR LES OISEAUX	16
5.1	Modèle conceptuel spécifique de l'évaluation des risques écotoxicologiques (ÉRÉ) pour les oiseaux	16
5.1.1	Zone d'étude	16
5.1.2	Contaminants et concentration représentative	16
5.1.3	Récepteurs écologiques.....	17
5.1.4	Voies d'exposition	18
5.1.5	Type d'effets considérés	18
5.1.6	Schéma du modèle conceptuel.....	19
5.2	Évaluation des risques.....	20
5.2.1	Évaluation de l'exposition des oiseaux.....	21
5.2.2	Valeurs de référence toxicologique	21
5.2.3	Estimation des risques.....	22
5.3	Analyse de l'incertitude de l'ÉRÉ pour la faune aquatique et aviaire	28

6	CONCLUSION	33
7	BIBLIOGRAPHIE	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Concentrations minimales et maximales des éléments nutritifs dans les échantillons d'eau non filtrée au site minier East Sullivan et au lac Fortmac, ainsi que les différences significatives observées entre les sites East Sullivan Sud, Est et le lac Fortmac.....	7
Tableau 2	Concentrations minimales et maximales des éléments majeurs et des paramètres physicochimiques dans les échantillons d'eau non filtrée au site minier East Sullivan et au lac Fortmac, ainsi que les différences significatives observées entre les sites East-Sullivan Sud, Est et le lac Fortmac.....	8
Tableau 3	Concentrations minimales et maximales des métaux dissous dans l'eau au site minier East Sullivan et au lac Fortmac, ainsi que les différences significatives observées entre les bassins Sud, Est et le lac Fortmac.....	9
Tableau 4	Concentration médiane des métaux dans les échantillons d'eau filtrée au site minier East Sullivan, au lac Fortmac, au lac Chibougamau et au lac aux Dorés	10
Tableau 5	Concentrations des métaux extractibles totaux et d'autres éléments dans les sédiments du site minier East Sullivan et du lac Fortmac en juillet 2011 ainsi que les différences significatives observées entre les bassins Sud, Est et le lac Fortmac	11
Tableau 6	Concentrations minimales et maximales des métaux dans les macroinvertébrés benthiques capturés en 2011 dans les bassins du site minier East Sullivan (A) et dans le lac Fortmac (B) en 2011 et différences significatives entre les sites A et B ($n \geq 3$; -- effectif insuffisant pour les analyses de variance).....	12
Tableau 7	Concentrations minimales et maximales des métaux dans les poissons capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011	15
Tableau 8	Caractéristique des espèces sélectionnées (mâle adulte) dans le cadre de cette étude (0,78 km ²)	18
Tableau 9	Paramètres retenus pour l'évaluation de l'exposition des oiseaux présents dans le parc à résidus miniers East Sullivan	19
Tableau 10	Valeurs de référence toxicologique pour les oiseaux en mg/kg de poids corporel/jour	22

Tableau 11	Égalités ou modèles de régression utilisés pour établir les doses d'expositions des oiseaux.....	23
Tableau 12	Concentrations maximales des métaux dans l'eau, les sédiments, les plantes, les invertébrés benthiques et les poissons dans les bassins du parc à résidus miniers East Sullivan et dans le lac Fortmac, utilisées pour l'ÉRE pour la faune aviaire (< LD : plus petit que la limite de détection)	24
Tableau 13	Concentrations médianes des métaux dans l'eau, les sédiments, les plantes, les invertébrés benthiques et les poissons dans les bassins du parc à résidus miniers East Sullivan et dans le lac Fortmac, utilisées pour l'ÉRE pour la faune aviaire (ND : non déterminable).....	25
Tableau 14	Indices de risque pour chaque espèce d'oiseau et chaque métal considérés pour le Lac Fortmac	29
Tableau 15	Indices de risque pour chaque espèce d'oiseau et chaque métal considérés pour le bassin Sud du parc à résidus miniers	30
Tableau 16	Indices de risque pour chaque espèce d'oiseau et chaque métal considérés pour le bassin Est du parc à résidus miniers.....	31
Tableau 17	Indices de risque pour chaque espèce d'oiseau et chaque métal considérés pour les bassins Sud et Est du parc à résidus miniers	32
Tableau 18	Limite de détection des métaux à l'état de trace	42
Tableau 19	Limite de détection (LDM) pour les métaux et les éléments majeurs dans les sédiments.....	44
Tableau 20	Limite de détection lors de l'analyse des composés inorganiques.....	45
Tableau 21	Concentrations des éléments nutritifs dans les échantillons d'eau non filtrée au site minier East Sullivan et au lac Fortmac	48
Tableau 22	Concentration des éléments majeurs et des paramètres physicochimiques dans les échantillons d'eau non filtrée au site minier East Sullivan et au lac Fortmac.....	49
Tableau 23	Concentrations des métaux dissous et extractibles dans l'eau au site minier East Sullivan et au lac Fortmac	50
Tableau 24	Concentrations des métaux extractibles totaux dans l'eau au site minier East Sullivan et au lac Fortmac.....	52
Tableau 25	Concentrations des métaux extractibles totaux et autres éléments dans les sédiments du site minier East Sullivan et au lac Fortmac en juillet 2011	54
Tableau 26	Concentrations des métaux dans les invertébrés capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011	56
Tableau 27	Teneurs en métaux dans les poissons capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011	62

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des secteurs d'études du site minier East Sullivan, du lac Fortmac et du lac Frontière	3
Figure 2	Localisation des sites d'échantillonnage au site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière.....	5
Figure 3	Modèle conceptuel de site spécifique de l'ÉRÉ pour les bassins du parc à résidus miniers East Sullivan	20

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Coordonnées des sites d'échantillonnage.....	37
Annexe 2	Échantillonnage et analyses chimiques.....	38
Annexe 3	Données brutes	48

1 INTRODUCTION

Le site de la mine East Sullivan, exploité entre 1949 et 1966, a fait l'objet de plusieurs travaux de restauration depuis le début des années 1980, dont son recouvrement partiel avec des résidus forestiers et la construction d'une digue de confinement. Ces travaux ont amené la création de deux bassins à même le site minier permettant la rétention temporaire de l'eau provenant du parc à résidus, ayant pour objectif la neutralisation du drainage acide, la réduction des sulfates et la précipitation partielle des métaux (Germain et coll., 2003; Tassé et Germain, 2004).

Afin de compléter la restauration du Parc à résidus miniers East Sullivan, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) désire procéder au remplissage des bassins Sud et Est avec des résidus miniers alcalins provenant de la mine Goldex (Mines Agnico Eagle).

Les relevés effectués par la Société de loisir ornithologique de l'Abitibi démontrent que, à la suite des premiers travaux de restauration du parc à résidus miniers, une faune aviaire très diversifiée a adopté les bassins Sud et Est du parc à résidus miniers East Sullivan comme habitat (Imbeau, 2010). Le remplissage des deux bassins pourrait représenter une perte d'habitats utilisables par cette faune aviaire comme aires d'alimentation et de reproduction. Dans ce contexte, il est nécessaire de déterminer s'il s'agit d'un habitat qui devrait être préservé ou si au contraire les concentrations des métaux dans le milieu présentent des risques pour la santé de la faune aquatique et aviaire.

Afin d'évaluer les risques écotoxicologiques pour la faune aquatique et aviaire présente dans les bassins Sud et Est du parc à résidus miniers East Sullivan, des échantillons d'eau, de sédiments, de macroinvertébrés benthiques et de poissons ont été prélevés du 4 au 7 juillet 2012 et analysés pour plusieurs éléments et composés. Ces données ont été produites pour répondre aux objectifs spécifiques suivants :

- a. Déterminer les concentrations en métaux dans les différentes composantes du milieu aquatique (eau, sédiments, organismes benthiques, poissons);
- b. Évaluer la qualité des différentes composantes en comparant les concentrations mesurées aux critères de qualité existants;
- c. Évaluer le transfert des métaux présents dans les sédiments, dans l'eau, vers les macroinvertébrés benthiques et les poissons;
- d. Évaluer le risque que le site représente pour les oiseaux qui fréquentent les bassins Sud et Est.

2 DESCRIPTION DE L'AIRE D'ÉTUDE

Le site de la mine East Sullivan se situe à 6 km à l'est de la ville de Val D'Or (48,06677 – 77,69849). Les lacs Fortmac et Frontière ont été utilisés comme lac témoin et sont situés à (48,14034, – 77,66817) et (48,486389, – 77,648611) (Figure 1).

2.1 Parc à résidus miniers East Sullivan

L'extraction de cuivre, de zinc, d'or, d'argent et de cadmium à la mine East Sullivan entre 1949 et 1966 a laissé sur place quelque 15 Mt de résidus et plus de 200 000 t de stériles générateurs d'acidité. Ce site orphelin couvre une superficie de 228 hectares, dont plus de 200 hectares sont occupés par les résidus miniers. Le gouvernement du Québec a pris la responsabilité du site en 1980 et la réhabilitation du site a débuté en 1984 sous la responsabilité du MERN (ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles). Les résidus ont tout d'abord été recouverts d'une couverture organique composée de résidus forestiers d'une épaisseur minimale de 2 mètres qui isolent les résidus miniers de l'oxygène et limitent ainsi le drainage minier acide, par une interruption de l'oxydation des sulfures (Germain et coll., 2003; Tassé et Germain, 2004). Les résidus ont aussi été recouverts de boues de stations d'épuration puis végétalisés (Cyr, 2012). Le scénario de restauration a ensuite été complété au début des années 1990 pour inclure la collecte et un traitement passif de l'effluent. Ainsi, une digue de confinement d'une longueur de 6 km, étanchéifiée par une géomembrane ancrée dans l'argile sous-jacente, a été construite entre 1992 et 1996, ceinturant le parc et ses épanchements. De 1998 à 2005, l'eau acide collectée dans les bassins autour du parc à résidus a été traitée en la faisant circuler à travers le couvert ligneux pour neutraliser l'acidité et précipiter les métaux dissous grâce à la réduction des sulfates au sein du parc. La purge des eaux souterraines contaminées a été complétée dans le secteur nord en 1999, dans le secteur ouest en 2001 et dans le secteur sud en 2006 (Tassé et Germain, 2004). La couverture ligneuse du secteur Est du parc n'est pas complétée et les effluents sont toujours générateurs de drainage minier acide.

Les bassins Sud et Est collectent actuellement les eaux de ruissellement et d'exfiltration du parc à résidus. Les bassins Sud et Est ont été construits sur des zones d'épanchement du parc à résidus miniers et le fond des bassins est constitué d'épaisseurs variables de résidus miniers. Les bassins sont peu profonds; près de l'exutoire du bassin Sud la profondeur maximale est de 3 m. Puisque la couverture ligneuse a été complétée dans les secteurs Nord, Ouest et Sud du parc à résidus miniers et que la purge des eaux est terminée dans ces secteurs, l'eau recueillie dans le bassin Sud n'est plus acide. Seul le secteur est du parc à résidus qui se draine dans le bassin Est génère du drainage minier acide. Cependant, depuis 2006, l'alcalinité dans le bassin Sud est suffisante pour neutraliser l'eau du bassin Est. L'effluent final est situé à la sortie du marais naturel (35 hectares), ce qui complète le traitement des eaux à l'exutoire du bassin Sud.

2.2 Lac Fortmac

Le lac Fortmac d'une superficie de 14,2 hectares est situé dans le bassin de la rivière Bourlamaque à 8,5 km en aval du parc à résidus miniers East Sullivan (Figure 1). L'effluent du lac Fortmac se déverse dans la rivière Bourlamaque. Non loin du lac Fortmac se trouvent la mine du lac Herbin et le parc à résidus Aurbell, mais ceux-ci n'influencent pas la qualité de l'eau du lac Fortmac. Les eaux de dénoyage de la mine du lac Herbin sont traitées puis rejetées dans le lac Herbin, situé près du lac Fortmac. L'effluent du parc à résidus Aurbell se déverse dans un

ruisseau parsemé de barrages de castors, puis dans une rivière qui se rejette dans la rivière Bourlamaque, en aval du lac Fortmac.

2.3 Lac Frontière

Le lac Frontière, d'une superficie de 1 hectare, est situé loin des activités minières à 84 km au nord-ouest du site minier East Sullivan. Ce lac servira de témoin pour les analyses sur les poissons.

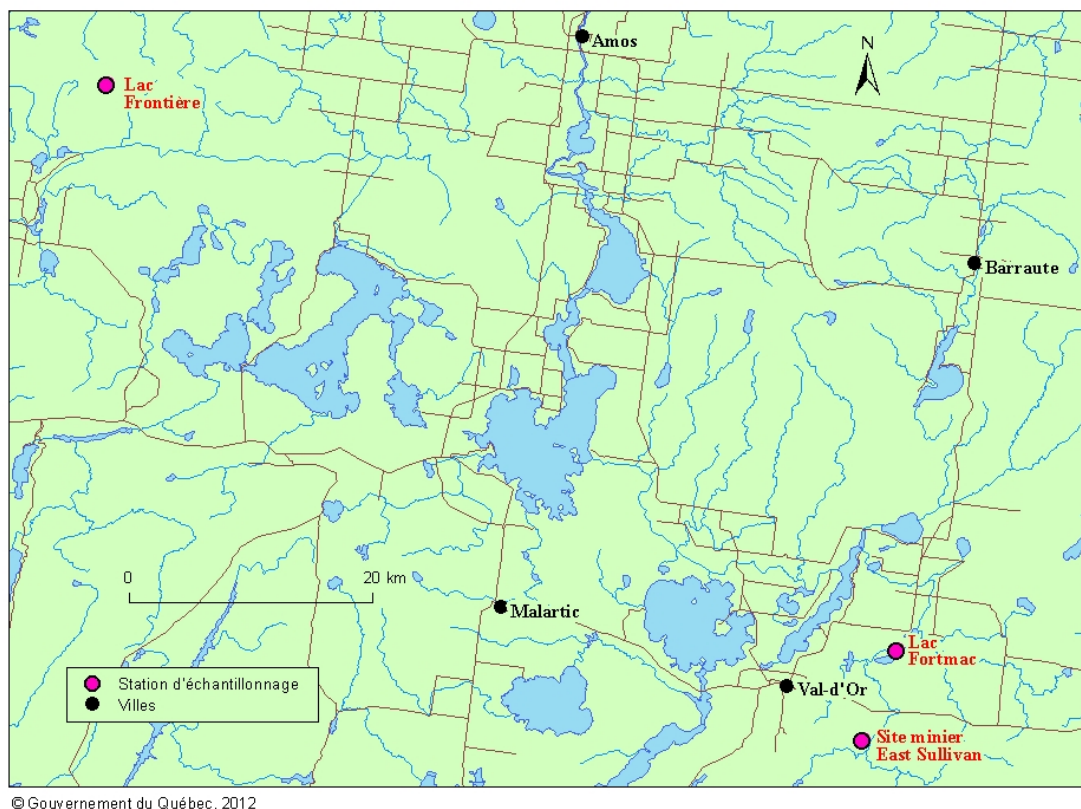


Figure 1 Localisation des secteurs d'études du site minier East Sullivan, du lac Fortmac et du lac Frontière

3 MÉTHODOLOGIE

L'analyse de risque pour la faune aquatique et aviaire a été établie à l'aide d'une étude de caractérisation des concentrations de métaux dans l'eau, les sédiments, les macroinvertébrés et les poissons. Afin d'obtenir une caractérisation chimique, des échantillons ont été prélevés durant la période du 4 au 7 juillet 2011, dans 13 sites localisés dans le bassin Sud (7 sites) et dans le bassin Est (3 sites) du parc à résidus miniers East Sullivan et au lac Fortmac (3 sites) (Figure 2). Il n'a pas été possible de recueillir d'échantillon de sédiments dans le bassin Sud au

site 5 situé près de la berge. Les macroinvertébrés n'ont pas été purgés des sédiments qu'ils contiennent de manière à estimer leur charge corporelle en contaminants et le potentiel de transfert aux prédateurs. L'échantillonnage des poissons a été effectué dans 6 sites répartis comme suit : trois dans le bassin Sud du site minier East Sullivan, un dans le bassin Est du site minier East Sullivan et un au lac Fortmac (site témoin).

Notons que, pour les macroinvertébrés benthiques, l'objectif de cette étude était d'évaluer, en premier lieu, le niveau de contamination de ces organismes. Une étude complémentaire pourrait être menée pour déterminer les indices de richesse, de diversité de Simpson et le coefficient Bray Curtis utilisés dans le cadre des études de suivi des effluents des mines de métaux sur l'environnement aquatique (ESEE) pour évaluer les effets sur l'habitat aquatique.

Sur le site minier East Sullivan, la seule espèce de poisson capturée a été l'épinoche à cinq épines (*Culaea inconstans*). Au lac Fortmac (site témoin), la seule espèce de poisson capturée a été la chatte de l'est (*Notemigonus crysoleucas*), poisson ayant une taille et un mode d'alimentation comparables à l'épinoche. Cependant, afin obtenir des poissons de la même espèce, soit l'épinoche à cinq épines, un autre site témoin a été échantillonné, soit le lac Frontière (Figure 2).

Un programme d'assurance et de contrôle de la qualité du prélèvement des échantillons a été appliqué. Les analyses chimiques ont toutes été effectuées dans les laboratoires du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) selon des méthodes standardisées et avec les contrôles de qualités requis. Les méthodes d'échantillonnages et d'analyses sont présentées à l'Annexe 2.

3.1 Analyse statistique

Les concentrations mesurées dans l'eau, les sédiments, les poissons et les macroinvertébrés benthiques dans les sites d'East Sullivan Est et Sud ainsi que dans les lacs témoins ont été comparées par analyses de variance. Des analyses de variances paramétriques (ANOVA) ou non paramétriques (Wilcoxon/Kruskal-Wallis) ont été effectuées selon que les données respectaient ou non les postulats de normalité ou d'égalité de la variance entre les groupes. Lorsqu'une différence significative était détectée, un test de Tukey-Kramer HSD était effectué pour permettre d'établir les différences.

3.2 Comparaison aux critères de qualité de l'eau, des sédiments et des poissons

Les concentrations de métaux dans l'eau ont été comparées aux critères de protection de la vie aquatique, effet aigu (CVAA) et effet chronique (CVAC), du MDDEP (MDDEP, 2009), pour évaluer la présence potentielle de toxicité pour les organismes aquatiques. Pour plusieurs métaux, ces critères de toxicité sont calculés en fonction de la dureté de l'eau, à partir des concentrations de calcium et de magnésium. Ainsi, pour ces métaux, la valeur du critère de toxicité augmente avec la dureté étant donné que la toxicité du métal diminue avec la dureté. Toutefois, pour le calcul des critères de toxicité, la dureté maximale qui peut être utilisée est de 400 mg/l en CaCO_3 . Les critères de toxicité pour les métaux au site minier East Sullivan ont donc dû être calculés en considérant une dureté de 400 mg/l en CaCO_3 , bien que la dureté réelle des bassins variait de 419 à 548 mg/l en CaCO_3 . Les critères de qualité pour l'argent, le baryum, le cadmium, le chrome, le cuivre, le manganèse, le nickel, le plomb et le zinc varient selon la

dureté. Pour tous ces métaux les critères seront donc plus élevés dans les bassins Sud et Est du site minier East Sullivan qu'au lac Fortmac où la dureté est de 35 mg/l en CaCO_3 .

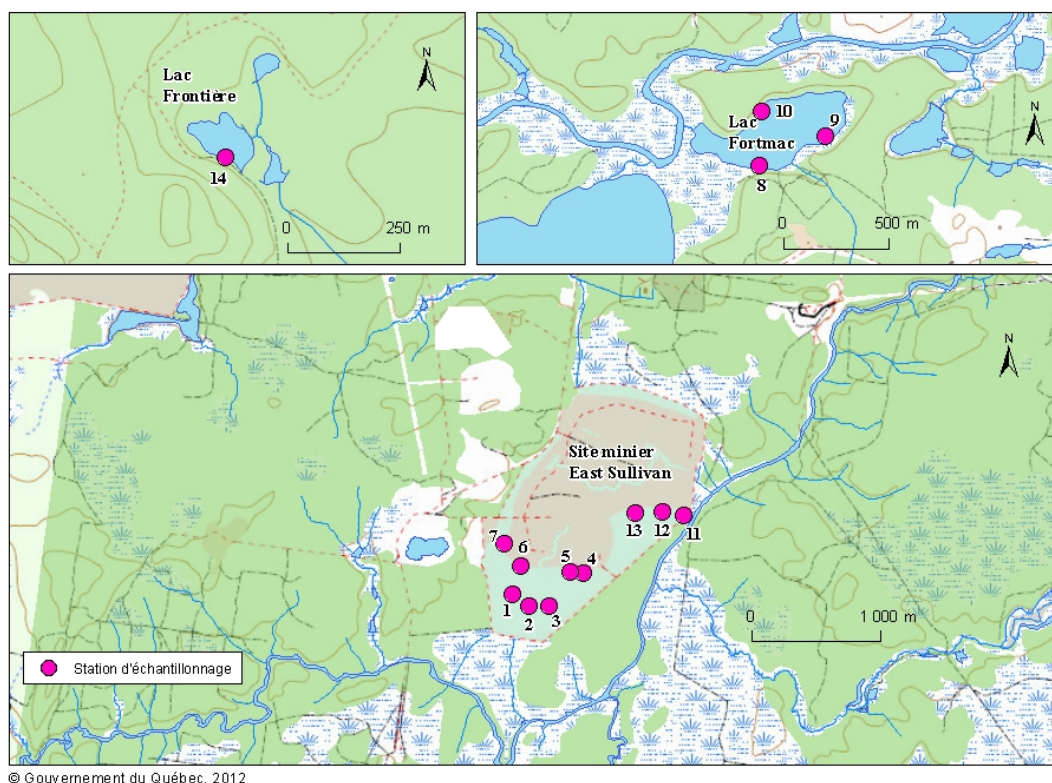


Figure 2 Localisation des sites d'échantillonnage au site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière

Les teneurs en mercure dans les poissons ont été comparées au critère pour la protection de la faune terrestre piscivore (oiseaux et mammifères), qui est de 0,033 mg/kg (CCME, 2000).

Les concentrations de métaux dans les sédiments ont été comparées aux critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec (EC et MDDEP, 2007) en utilisant le cadre d'application de la restauration de sites contaminés. Les critères retenus pour ces comparaisons sont donc la concentration produisant un effet probable (CEP) et la concentration d'effet fréquent (CEF). Ces critères définissent des classes de qualité des sédiments. Ainsi, en dessous de la CEP, bien que des effets biologiques néfastes puissent être appréhendés, le degré de contamination ne justifie pas à lui seul la restauration d'un site (Classe 1). Entre la CEP et la CEF, des études de milieu peuvent être nécessaires pour compléter l'évaluation de la contamination et juger du risque et ainsi statuer sur les besoins de restauration (Classe 2). Au-delà de la CEF, la contamination des sédiments est jugée problématique, la restauration du site est alors souhaitable

et il faut procéder à des évaluations biologiques afin d'établir si le processus de restauration est réalisable, de déterminer les mesures qui doivent être adoptées en priorité et de préciser les gains environnementaux de la restauration. Les sédiments sont généralement classés en fonction des critères de qualité et selon le facteur le plus déclassant. Cela signifie que la substance chimique ayant le plus mauvais classement donne sa classe de qualité au sédiment étudié. La classe 1 est attribuée lorsque la concentration de toutes les substances mesurées est inférieure à la CEP, la classe 2 est attribuée lorsque la concentration d'une ou de plusieurs substances est supérieure à la CEP et inférieure à la CEF et la classe 3 est attribuée lorsque la concentration d'une ou de plusieurs substances est supérieure à la CEF.

4 QUALITÉ DU MILIEU

4.1 Eau

4.1.1 Éléments nutritifs

Dans le bassin Sud, les concentrations de phosphore total dans l'eau excèdent le critère d'effet chronique (CVAC) pour l'ensemble des stations ce qui est caractéristique d'un milieu eutrophe. Des dépassements sont également observés dans les deux autres sites expliquant ainsi l'absence de différences significatives. (Tableau 1). Des différences significatives dans les concentrations d'éléments nutritifs s'observent entre le bassin Sud, le bassin Est du site minier East Sullivan et le lac Fortmac. Les concentrations de COD, de SO_4 et d'azote sont significativement plus élevées dans le bassin Est alors que les concentrations de $\text{NO}_2 - \text{NO}_3$ sont plus élevées dans le bassin Sud. Ces différences révèlent que les concentrations des éléments nutritifs, en particulier celles en azote et en COD dans les bassins Sud et Est du site minier East Sullivan, sont caractéristiques d'un milieu subissant un apport plus important en matière organique que le lac Fortmac. Les teneurs en SO_4 bien que très élevées par rapport au milieu naturel demeurent inférieures aux critères de qualité pour la protection de la vie aquatique (CVAA et CVAC).

4.1.2 Éléments majeurs et paramètres physicochimiques

Les concentrations en calcium, en magnésium, en potassium et en sodium sont significativement plus élevées au site minier East Sullivan par rapport au lac Fortmac avec des valeurs pour la dureté de l'eau variant de 419 à 548 mg/l en CaCO_3 comparativement à 35 et 45 mg/l au lac Fortmac (Tableau 2). Les concentrations en calcium, en magnésium, en potassium et en sodium influencent la conductivité de l'eau, laquelle est associée à la minéralisation de l'eau. La conductivité au site minier East Sullivan est significativement plus élevée et atteint des valeurs comprises entre 1029 et 1093 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comparativement à 105 et 112 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au lac Fortmac. Ces mesures montrent que l'eau est très minéralisée dans les deux bassins sur le site minier comparativement au milieu naturel.

Tableau 1 Concentrations minimales et maximales des éléments nutritifs dans les échantillons d'eau non filtrée au site minier East Sullivan et au lac Fortmac, ainsi que les différences significatives observées entre les sites East Sullivan Sud, Est et le lac Fortmac

	CVA C ¹	CVA A ¹	East Sullivan Sud	East Sullivan Est	CVAC ¹	CVAA ¹	Lac Fortmac	Analyse de variance ⁵
COD (mg/l) ²			18-29	25-27			12-12	B-A-C 0,0162
NO ₂ -NO ₃ (mg/l)	2,9		0,10-0,17	0,03-0,05	2,9		< 0,02	A-B-B 0,0066
P-Total (mg/l)	0,02		0,027- 0,033	0,012- 0,056	0,02		0,014- 0,020	0,1002
SO ₄ (mg/l)	2215 ³	2215 ³	460-470	560-580	908 ⁴	908 ⁴	21-21	B-A-C 0,0054
NTK (mg/l)			4,2 – 4,9	8,1-8,6			0,6-0,6	B-A-C 0,0068

¹ Critère pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique (MDDEP, 2009)

² Le carbone organique dissous (COD) a été mesuré sur des échantillons d'eau filtrée

³ Le critère de qualité a été calculé selon l'équation $[1276.7 + 5.508(\text{dureté} - 1,457 (\text{chlorure})) \times 0,65]$ pour une dureté de 400 mg/L CaCO₃ et 50 mg/L en chlorure

⁴ Le critère de qualité a été calculé selon l'équation $[1276.7 + 5.508(\text{dureté} - 1,457 (\text{chlorure})) \times 0,65]$ pour une dureté de 35 mg/L CaCO₃ et 50 mg/L en chlorure

⁵ Des lettres différentes indiquent les différences significatives (A indique une valeur plus élevée que B ou C), l'ordre des lettres correspond à l'ordre des sites suivant : East Sullivan Sud, East-Sullivan Est, et lac Fortmac

Les valeurs de pH mesurées à tous les sites sont dans un domaine acceptable pour la vie aquatique. Le pH du bassin Est (de 6,98 à 6,99) est significativement plus faible que celui du bassin Sud (de 7,56 à 8,41) et du lac Fortmac (de 7,40 à 7,69). Néanmoins, ce pH n'est pas préoccupant puisqu'il est proche de la neutralité. Les concentrations en oxygène dissous sont aussi dans un domaine acceptable pour la vie aquatique dans tous les sites, mais significativement plus élevées dans le bassin Sud (de 95,2 à 120,9 %).

4.1.3 Métaux dissous et extractibles dans l'eau

Les métaux dissous et extractibles ont été dosés dans les échantillons d'eau. Ces mesures permettent de déterminer la fraction des métaux adsorbés aux particules et dissous et la fraction des métaux dissous seulement. Le mercure n'a pas été dosé dans l'eau étant donné qu'il demande un échantillonnage spécial qui n'était pas prévu dans cette étude compte tenu des activités minières passées.

Dans les bassins du site minier East Sullivan, exception faite du fer, les concentrations de tous les métaux dissous sont plus faibles que les CVAA et CVAC. Selon les critères, seules les concentrations de fer dissous mesurées dans le bassin Est pourraient présenter un risque pour une exposition chronique des organismes aquatiques.

Bien que les concentrations dans l'eau demeurent inférieures aux critères pour la majorité des métaux, des différences significatives ont été observées entre les bassins Sud et Est du site East Sullivan et le lac Fortmac. Ainsi, les concentrations d'aluminium, d'arsenic, de baryum, de chrome, de molybdène, de plomb, d'antimoine, d'uranium et le vanadium dissous dans l'eau dans les bassins Sud et Est sont significativement plus faibles que celles mesurées au lac Fortmac

(Tableau 3). À l’opposé, les concentrations de cadmium, de nickel et de strontium dissous dans l’eau sont significativement plus élevées dans les bassins Sud et Est du site East Sullivan que dans le lac Fortmac. Enfin, les concentrations de cobalt, de manganèse et de zinc sont significativement plus élevées dans le bassin Est alors que les concentrations de cuivre et de fer sont plus faibles dans le bassin Sud (Tableau 3)

Tableau 2 Concentrations minimales et maximales des éléments majeurs et des paramètres physicochimiques dans les échantillons d’eau non filtrée au site minier East Sullivan et au lac Fortmac, ainsi que les différences significatives observées entre les sites East-Sullivan Sud, Est et le lac Fortmac

	East Sullivan Sud	East Sullivan Est	Lac Fortmac	Analyse de variance ¹	
Éléments majeurs					
Ca (mg/l)	160-170	120-160	10-13	A-B-C	<0,0001
K (mg/l)	31-33	28-40	1-1	A-A-B	<0,0001
Mg (mg/l)	28-30	29-37	3-3	B-A-C	<0,0001
Na (mg/l)	11-11	10-15	3-4	A-A-B	0,0176
Physicochimie					
Dureté CaCO ₃ (mg/l) ²	515-548	419-552	35-45	A-A-B	0,0319
Conductivité (µS/cm)	1029-1075	1084-1093	105-112	B-A-C	0,0070
Oxygène dissous (%)	95,2-120,9	83,5-88,6	77,6-83,6	A-B-B	0,0085
pH	7,56-8,41	6,98-6,99	7,40-7,69	A-B-A	0,0096
Température (°C)	21,3-24	20-20,3	21,8-23	A-B-A	0,0375

¹ Des lettres différentes indiquent les différences significatives (A indique une valeur plus élevée que B ou C), l’ordre des lettres correspond à l’ordre des sites suivants : East Sullivan Sud, East-Sullivan Est et lac Fortmac

² La dureté en mg/l CaCO₃ = 2,497 [Ca, mg/l] + 4,118 [Mg, mg/l]

À titre de comparaison, les concentrations des métaux mesurés dans les échantillons d’eau filtrée ont été comparées à celles mesurées pour les lacs Chibougamau et aux Dorés en 2007 (Tableau 4). Ces deux lacs sont dans un environnement influencé par l’industrie minière, mais les concentrations des métaux dans l’eau n’excèdent pas les critères de qualité de toxicité chronique calculés pour ces deux milieux (dureté moyenne de l’eau de 28,3 mg/l en CaCO₃). Les concentrations des métaux dans l’eau des bassins Sud et Est du site minier East Sullivan sont du même niveau que celles aux lacs Chibougamau et aux Dorés pour l’aluminium, l’arsenic, le chrome, le cuivre, le plomb, le sélénium et le vanadium (Laliberté, 2008). À ces métaux s’ajoute le cadmium dans le bassin Sud. Par contre, les concentrations pour le baryum, le cobalt, le fer, le manganèse, le nickel, le strontium et le zinc sont nettement plus élevées dans l’eau des bassins sur le site minier que celles dans l’eau des lacs Chibougamau et aux Dorés. Notamment les concentrations de manganèse, de fer, de cobalt, et de strontium qui sont respectivement de 140 à 5500, de 27 à 230, de 28 à 330 et de 30 à 36 fois plus élevées dans les bassins sur le site minier. Malgré ces différences importantes, les concentrations demeurent inférieures à leurs critères de toxicité respectifs. Ces métaux sont ainsi considérés comme présentant un potentiel toxique peu

élevé. Pour les métaux les plus toxiques comme le cadmium, le cuivre, le sélénium, le plomb et le vanadium, les concentrations sont comparables entre les différents milieux.

Par ailleurs, on constate que les concentrations de plusieurs métaux au lac Fortmac sont beaucoup plus élevées qu'aux lacs Chibougamau et aux Dorés. Ces métaux sont l'aluminium, l'arsenic, le cobalt, le fer, le manganèse, le plomb, le strontium, le vanadium et le zinc. Les concentrations en plomb excèdent même le critère de toxicité chronique au lac Fortmac. La raison de ces concentrations élevées en plomb et des autres métaux mentionnés n'est pas connue. D'autres mesures seraient nécessaires pour connaître le bruit de fond régional pour ces métaux.

Tableau 3 Concentrations minimales et maximales des métaux dissous dans l'eau au site minier East Sullivan et au lac Fortmac, ainsi que les différences significatives observées entre les bassins Sud, Est et le lac Fortmac

	CVAC ¹	CVAA ¹	East Sullivan Sud	East Sullivan Est	CVAC ¹	CVAA ¹	Lac Fortmac	Analyse de variance ²	
Ag (µg/l)	0,100	18,7	<0,002-0,029	<0,002	0,100	0,334	0,005-0,005		
Al (µg/l)	87	750	3,3-8,9	9,4-19	87	750	81-84	C-B-A	0,0071
As (µg/l)	150	340	0,28-0,36	0,41-0,41	150	340	1,5-1,5	C-B-A	0,0060
Ba (µg/l)	1911	5452	23-28	39-40	143	409	9-9	B-A-C	0,0060
Cd (µg/l)	0,6	7,7	<0,006	0,021-0,061	0,124	0,734	0,010-0,012	C-A-B	0,0029
Co (µg/l)	100	370	0,48-0,59	4,9-11	100	370	0,21-0,22	B-A-B	0,0068
Cr (µg/l)	231	1773	0,05-0,06	0,09-0,10	11	16	0,33-0,34	C-B-A	0,0051
Cu (µg/l)	29	50	0,56-0,77	1,6-3,3	3,8	5,2	2,9-3,4	B-A-A	0,0096
Fe (µg/l)	1300	3400	110-270	660-2000	1300	3400	760-810	B-A-A	0,0101
Mn (µg/l)	6521	14070	6-95	1000-1100	767	1656	8-15	B-A-B	0,0307
Mo (µg/l)	3200	29000	0,013-0,018	0,024-0,032	3200	29000	0,570-0,580	C-B-A	0,0068
Ni (µg/l)	168	1513	2,1-2,3	4,6-6,3	21	193	0,8-0,8	B-A-C	0,0060
Pb (µg/l)	11	281	<0,03	<0,03	0,84	21	2,3-2,4	B-B-A	0,0027
Sb (µg/l)	240	1100	0,013-0,015	0,014-0,015	240	1100	0,094-0,098	B-B-A	0,0218
Se (µg/l)	5	62	<0,2	<0,2	5	-	<0,2		
Sr (µg/l)	21000	40000	320-370	420-440	21000	40000	75-76	B-A-C	0,0060
U (µg/l)	100	2300	0,009-0,011	0,003-0,003	14	320	0,031-0,032	B-C-A	0,0049
V (µg/l)	12	110	0,11-0,13	0,15-0,18	12	110	0,57-0,57	C-B-A	0,0058
Zn (µg/l)	382	379	1,5-3,0	16-47	49	49	10-10	B-A-B	0,0066

¹ Critère pour la qualité des eaux visant la protection de la vie aquatique (MDDEP, 2009). Les critères sont calculés pour une dureté en CaCO₃ de 400 mg/l pour East Sullivan Sud et East Sullivan Est et de 35 mg/l pour le lac Fortmac (35 mg/l).

² Des lettres différentes indiquent des différences significatives (A indique une valeur plus élevée que B ou C), l'ordre des lettres correspond à l'ordre des sites suivant : East Sullivan Sud, East Sullivan Est, et lac Fortmac

4.2 Sédiments

Bien que certains métaux tels que le fer présentent des maximums nettement plus élevés allant jusqu'à 25% dans les bassins du site d'East Sullivan, l'hétérogénéité observée entre les stations ne permet pas de dégager une différence significative. Seules les concentrations d'aluminium, de chrome, de cuivre et de plomb présentent des différences significatives entre un des sites. À cet effet, les concentrations de chrome et de plomb sont plus élevées dans le lac Fortmac que dans les bassins du site minier alors que les concentrations de Cu sont significativement plus élevées

Tableau 4 Concentration médiane des métaux dans les échantillons d'eau filtrée au site minier East Sullivan, au lac Fortmac, au lac Chibougamau et au lac aux Dorés

Site	Ag (µg/l)	Al (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	Cd (µg/l)	Co (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	Mo (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Sb (µg/l)	Se (µg/l)	Sr (µg/l)	U (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
East Sullivan, bassin sud	< 0,002	4,0	0,31	24	< 0,006	0,57	0,05	0,65	160	28	0,016	2,2	< 0,03	0,014	< 0,2	360	0,010	0,12	1,8
East Sullivan, bassin est	< 0,002	11	0,41	40	0,032	6,6	0,10	2,2	1400	1100	0,027	5,3	< 0,03	0,015	< 0,2	430	0,003	0,17	24
Lac Fortmac, rives	0,005	82	1,50	9	0,011	0,22	0,34	3,0	770	11	0,570	0,8	2,40	0,096	< 0,2	76	0,032	0,57	10
Lac Chibougamau Lac aux Dorés (2007) ¹	-	9	0,24	3,5	0,004	0,02	0,14	1,9	6	0,2	-	0,4	< 0,03	-	< 0,3	12	-	0,08	< 0,7

¹ Laliberté, D. 2008.

dans le bassin Est qu'aux deux autres sites (tableau 5). Finalement, les concentrations d'aluminium sont significativement plus faibles dans le bassin Sud que dans le bassin Est mais les concentrations d'aluminium dans les deux bassins ne sont pas significativement différentes de celles dans le lac Fortmac. En ce qui concerne les teneurs en mercure, elles sont inférieures à la limite de détection à tous les sites.

Les concentrations d'arsenic mesurées dans les sédiments des bassins Est et Sud sont supérieures à la concentration d'effet fréquent (CEF), alors que les concentrations de zinc sont supérieures à la CEF dans le bassin Est et même supérieures à la concentration d'effet probable (CEP) dans le bassin Sud (tableau 5). Seules les concentrations de plomb et de zinc sont supérieures à la CEP dans le lac Fortmac. En fonction des critères de qualité et selon le facteur le plus déclassant, les sédiments des deux bassins du site East Sullivan sont de Classe 3 alors que le lac Fortmac est de Classe 2. Sur cette base il est donc justifié de se questionner quant à la nécessité de restaurer le site et de procéder à des évaluations biologiques afin d'établir si le processus de restauration est réalisable et de déterminer quelles mesures doivent être adoptées en priorité et aussi de préciser les gains environnementaux de la restauration.

Tableau 5 Concentrations des métaux extractibles totaux et d'autres éléments dans les sédiments du site minier East Sullivan et du lac Fortmac en juillet 2011 ainsi que les différences significatives observées entre les bassins Sud, Est et le lac Fortmac

	CEP ¹	CEF ¹	East Sullivan Sud	East Sullivan Est	Lac Fortmac	Analyse de variance ²	
Al (mg/kg)			4200-11000	12000-57000	13000-16000	B-A-AB	0,0114
As (mg/kg)	17	23	0,7-29	7,9-31	6-9		0,2619
Ba (mg/kg)			14-130	36-170	61-87		0,8528
Ca (mg/kg)			1000-2000	1600-7200	4800-8300		0,3385
Cd (mg/kg)	3,5	12	<0,25-0,7	<0,25-3,0	1,1-2,1		0,5683
Co (mg/kg)			3-22	8-27	7-11		0,9574
Cr (mg/kg)	90	120	8-29	9-17	31-43	B-B-A	0,0411
Cu (mg/kg)	200	700	15-120	190-660	58-99	B-A-B	0,0430
Fe (mg/kg)			14000-250000	90000-220000	13000-19000		0,0678
Hg (mg/kg)	0,49		<0,25	<0,25	<0,25		
K (mg/kg)			280-840	170-1700	550-930		0,8093
Mg (mg/kg)			2900-5700	1100-7500	2400-5400		0,6939
Mn (mg/kg)			100-710	230-430	220-260		0,5393
Mo (mg/kg)			<0,5-2,4	<0,05-3,4	0,6-1,2		0,2636
Na (mg/kg)			58-1200	53-93	220-250		0,0760
Ni (mg/kg)	47		1-20	6-14	19-26		0,3316
Pb (mg/kg)	91	150	<1-34	6-58	52-110	B-B-A	0,0450
Se (mg/kg)			<0,7-5,3	<0,7-5,9	<0,07		0,2020
Sr (mg/kg)			5-19	7-39	32-48		0,4540
V (mg/kg)			12-33	5-33	26-32		0,2995
Zn (mg/kg)	310	770	37-480	250-1700	230-460		0,5912
S (%)			0,02-1,2	0,5-1,8	0,3-0,7		0,7838
COT (%)			0,3-9,1	0,8-15	12-40		0,2066

¹ CEP: concentration produisant un effet probable; CEF : Concentrations d'effets fréquents (EC et MDDEP, 2007),

² Les lettres A, B, C indique les différences significatives dans l'ordre suivant : East Sullivan Sud, East Sullivan Est, et lac Fortmac

4.3 Macroinvertébrés benthiques

En raison d'un effectif des différents taxons très variable d'un site à l'autre, il n'a été possible d'effectuer des analyses statistiques des concentrations de métaux dans les macroinvertébrés benthiques qu'entre le regroupement des macroinvertébrés benthiques des bassins Sud et Est du site minier East Sullivan et du lac Fortmac.

Les concentrations de métaux dans les macroinvertébrés benthiques sont généralement plus faibles dans le regroupement des bassins Sud et Est pour l'arsenic, le cadmium, le chrome, le molybdène, le plomb, le strontium, l'uranium et le vanadium avec présence de différences significatives pour certains taxons (tableau 6). À l'opposé, les concentrations de baryum, de cobalt, de fer et de manganèse sont plus élevées dans le regroupement des bassins Sud et Est que dans le lac Fortmac. Aucune différence significative n'a été observée pour le cuivre, le sélénium et le zinc. Le nickel s'est révélé non détectable dans tous les organismes benthiques. Le mercure n'a pas été dosé dans les organismes benthiques, la quantité de matière permettait uniquement le dosage des métaux excluant le mercure, lequel est dosé par une autre méthode d'analyse.

Tableau 6 Concentrations minimales et maximales des métaux dans les macroinvertébrés benthiques capturés en 2011 dans les bassins du site minier East Sullivan (A) et dans le lac Fortmac (B) en 2011 et différences significatives entre les sites A et B ($n \geq 3$; -- effectif insuffisant pour les analyses de variance)

Métal	Taxon	East Sullivan Sud et Est	Lac Fortmac	Analyse de variance ¹
As (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	0,28-1,1	1,5-2,0	A < B
	Diptère – Chironomidae	0,13-1,7	0,84-3	0,0358
	Hémiptère – Corixidae	0,12-0,66	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	0,1-0,26	2-2,6	--
	Hémiptère – Nononectidae	0,15-0,25	0,55-0,7	0,0809
	Mollusque – Physa	1,2-1,7	3,9-4,1	--
	Mollusque – Planorbidae	0,66-2,4	2,9-4,2	A < B
	Odonate – Zygoptera	0,16-0,31	0,82-3,2	A < B
Ba (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	7-21	3,4-5,9	A > B
	Diptère – Chironomidae	14-140	2,5-10	A > B
	Hémiptère – Corixidae	0,36-1,8	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	0,84-4,6	7-7,1	--
	Hémiptère – Notonectidae	1,4-2,8	5,6-25	A < B
	Mollusque – Physa	18-27	21-29	--
	Mollusque – Planorbidae	20-38	16-24	0,0463
	Odonate – Zygoptera	1,2-4,9	0,6-11	0,0526
Cd (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	0,23-0,35	0,29-1,2	0,8969
	Diptère – Chironomidae	0,13-0,72	0,13-0,76	0,0526
	Hémiptère – Corixidae	0,099-0,18	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	0,034-0,2	1,1-1,5	--
	Hémiptère – Notonectidae	0,99-1,3	1,4-1,5	0,0765
	Mollusque – Physa	0,077-0,22	0,84-0,85	--
	Mollusque – Planorbidae	0,25-0,91	0,33-0,60	0,3711
	Odonate – Zygoptera	0,014-0,1	0,18-1	A < B

Métal	Taxon	East Sullivan Sud et Est	Lac Fortmac	Analyse de variance ¹	
Co (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	4-6,2	1,5-2,6	A > B	0,0369
	Diptère – Chironomidae	1,6-26	0,67-2,8	A > B	0,0402
	Hémiptère – Corixidae	0,68-1,1	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	0,26-2,2	1,6-4,5	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	0,35-1,4	0,53-0,79		0,8273
	Mollusque – Physa	2,5-5,7	3-4,3	--	--
	Mollusque – Planorbidae	5,6-12	2,1-4,7	A > B	0,0369
	Odonate – Zygoptera	0,46-1,5	0,32-6,9		0,8973
Cr (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	0,022-0,29	0,75-1,4	A < B	0,0253
	Diptère – Chironomidae	0,003-0,35	0,67-3,3	A < B	0,0167
	Hémiptère – Corixidae	0,037-0,2	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	0,011-0,14	0,8-1,5	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	0,016-0,031	0,048-0,098		0,0809
	Mollusque – Physa	0,072-0,58	0,57-0,86	--	--
	Mollusque – Planorbidae	0,017-0,58	0,26-0,37		0,1771
	Odonate – Zygoptera	0,008-0,39	0,086-2		0,3017
Cu (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	12-29	13-19		0,8801
	Diptère – Chironomidae	7,4-48	16-19		0,7309
	Hémiptère – Corixidae	15-73	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	6,5-32	26-36	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	19-54	31-33		0,6625
	Mollusque – Physa	45-250	85-100	--	--
	Mollusque – Planorbidae	4,1-210	5,9-64		0,5510
	Odonate – Zygoptera	7,2-18	16-27		0,0684
Fe (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	2400-14000	1700-2000	A > B	0,0358
	Diptère – Chironomidae	4200-66000	1200-5800		0,0682
	Hémiptère – Corixidae	270-1800	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	150-4700	1700-2700	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	180-440	260-410		0,8273
	Mollusque – Physa	4200-14000	1200-1400	--	--
	Mollusque – Planorbidae	6500-19000	1100-3600	A > B	0,0369
	Odonate – Zygoptera	610-5800	250-3500		0,3017
Mn (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	440-1300	110-320	A > B	0,0347
	Diptère – Chironomidae	68-18000	62-250		0,0682
	Hémiptère – Corixidae	20-37	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	61-480	250-280	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	43-56	36-43		0,1212
	Mollusque – Physa	340-1200	240-380	--	--
	Mollusque – Planorbidae	1300-3300	300-890	A > B	0,0369
	Odonate – Zygoptera	29-500	29-670		0,8969
Mo (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	0,11-0,2	0,71-0,96	A < B	0,0358
	Diptère – Chironomidae	0,042-0,48	0,3-0,66		0,0687
	Hémiptère – Corixidae	0,26-0,34	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	0,031-0,15	0,43-0,53	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	0,41-0,75	0,29-0,47		0,3758
	Mollusque – Physa	0,24-0,36	0,56-0,67	--	--
	Mollusque – Planorbidae	0,16-0,92	0,28-0,34		0,2274
	Odonate – Zygoptera	0,057-0,11	0,25-0,78	A < B	0,0275

Métal	Taxon	East Sullivan Sud et Est	Lac Fortmac	Analyse de variance ¹	
Pb (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	0,034-1,1	5,3-7,4	A < B	0,0369
	Diptère – Chironomidae	0,057-2,1	8,7-14	A < B	0,0227
	Hémiptère – Corixidae	0,024-0,27	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	0,016-0,12	4,8-9,9	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	0,019-0,078	0,67-0,83		0,0809
	Mollusque – Physa	0,11-0,83	5,7-6,7	--	--
	Mollusque – Planorbidae	0,037-0,48	2,7-4	A < B	0,0369
	Odonate – Zygoptera	0,005-0,2	0,71-12	A < B	0,0282
Se (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	<0,05-5,1	<0,05	--	--
	Diptère – Chironomidae	<0,05-9,3	<0,05	--	--
	Hémiptère – Corixidae	<0,05-0,11	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	<0,05	<0,05	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	<0,05	<0,05-1,8	--	--
	Mollusque – Physa	97-190	82-89		0,0603
	Mollusque – Planorbidae	6,2-150	110-140		0,8801
	Odonate – Zygoptera	<0,05-0,91	<0,05-0,9		0,5716
Sr (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	1,3-5,1	2,9-3,7		0,2330
	Diptère – Chironomidae	2,4-18	3,7-7,8		0,3605
	Hémiptère – Corixidae	1,2-2,8	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	1,7-15	8,4-8,8	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	6,1-8,9	4,6-9,5		0,6625
	Mollusque – Physa	120-150	340-370	--	--
	Mollusque – Planorbidae	2,8-190	240-420	A < B	0,0358
	Odonate – Zygoptera	0,43-16	2-12		0,5186
Zn (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	150-750	200-590		0,5510
	Diptère – Chironomidae	150-1300	80-740		0,8175
	Hémiptère – Corixidae	140-190	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	140-550	250-510	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	200-290	220-240		0,6579
	Mollusque – Physa	32-53	82-82	--	--
	Mollusque – Planorbidae	30-780	53-80		0,2330
	Odonate – Zygoptera	71-290	82-820		1,000
U (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	0,009-0,04	0,047-0,053	A < B	0,0245
	Diptère – Chironomidae	<0,005-0,02	0,029-0,14	A < B	0,0164
	Hémiptère – Corixidae	<0,005-0,03	--	--	--
	Coléoptère – Dysticidae (L)	<0,005-0,006	0,043-0,06	A < B	0,0326
	Hémiptère – Notonectidae	<0,005	<0,005	--	--
	Mollusque – Physa	0,027-0,039	0,21-0,24		0,0641
	Mollusque – Planorbidae	0,014-0,22	0,046-0,057	A < B	0,0245
	Odonate – Zygoptera	<0,005-0,007	0,007-0,11	A < B	0,0157
V (mg/kg)	Éphéméroptère – Caenis	<0,04-0,53	1,2-1,8	A < B	0,0236
	Diptère – Chironomidae	<0,04-1,4	0,79-3,5		0,0520
	Hémiptère – Corixidae	<0,04	--		
	Coléoptère – Dysticidae (L)	<0,04	1,3-2,1	--	--
	Hémiptère – Notonectidae	0,12-0,15	<0,04	--	--
	Mollusque – Physa	0,07-0,59	1,6-1,8		0,0641
	Mollusque – Planorbidae	0,05-0,36	0,93-3,7	A < B	0,0253
	Odonate – Zygoptera	<0,04-0,72	0,15-2,9		0,0477

4.4 Poissons

Une seule espèce de poisson a été capturée au site minier East Sullivan, l'épinoche à cinq épines. Au lac Fortmac la seule espèce de poisson qui a été capturée était la chatte de l'est. La taille de cette espèce est similaire à celle des épinoches et ces deux poissons possèdent les mêmes habitudes alimentaires. Toutefois, de manière à pouvoir comparer des espèces similaires, le lac Frontière a été ajouté comme site témoin pour les épinoches à cinq épines. De manière générale, les teneurs en métaux des épinoches à cinq épines au lac Frontière sont du même ordre de grandeur que celles des chattes de l'est du lac Fortmac.

Les concentrations de baryum, de cadmium, de cobalt, de fer et de sélénium sont significativement plus élevées dans le bassin Est que dans le bassin Sud du site minier East Sullivan. Par contre, les concentrations de manganèse sont plus élevées dans le bassin Sud que dans le bassin Est et les concentrations d'arsenic, de chrome, de cuivre, de mercure, de molybdène, de plomb, de strontium et de zinc sont similaires dans les deux bassins. Seules les concentrations de cobalt, de cuivre, de fer et de sélénium dans le bassin Est et celles de manganèse dans le bassin Sud excèdent celles dans le lac Fortmac. Il en est de même pour le lac Frontière, à l'exception des concentrations de cuivre similaires à celles dans les deux bassins. Les autres éléments tels l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le molybdène, le plomb, le strontium et le zinc présentent des concentrations similaires ou plus élevées dans les lacs Fortmac ou Frontière que dans les deux bassins du site minier East Sullivan (tableau 7). Quant au mercure, il présente des concentrations plus élevées au lac Frontière que dans les deux bassins.

Tableau 7 Concentrations minimales et maximales des métaux dans les poissons capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011

Métaux (mg/kg)	East Sullivan Est	East Sullivan Sud	Lac Fortmac	Lac Frontière	Analyse de variance ¹	
As (mg/kg)	0,13-0,26	0,2-0,29	0,77-0,97	0,39-0,49	C-C-A-B	0,0034
Ba (mg/kg)	0,23-5,7	4,4-15	3-5,4	2,7-4,2	B-A-A-A	0,0069
Cd (mg/kg)	0,027-0,1	0,025-0,049	0,042-0,098	0,15-0,18	B-C-ABC-A	0,0045
Co (mg/kg)	0,58-2	0,33-0,67	0,2-0,56	0,15-0,22	A-B-B-B	0,0023
Cr (mg/kg)	0,16-1,3	0,071-0,49	0,13-1	0,21-0,29		0,0644
Cu (mg/kg)	5,8-13	8,1-9,7	4,2-6,6	5,9-7,7	A-A-B-AB	0,0065
Fe (mg/kg)	280-2600	300-1500	160-710	260-360	A-B-B-B	0,0341
Hg (mg/kg)	0,03	0,03		0,12	B-B—A	0,0001
Mn (mg/kg)	26-170	45-240	20-44	10-16	B-A-B-B	0,0026
Mo (mg/kg)	0,064-0,18	0,068-0,1	0,097-0,15	0,12-0,14		0,3000
Pb (mg/kg)	0,037-3,2	0,023-0,065	0,52-3,4	0,11-0,15	AB-B-A-AB	0,0083
Se (mg/kg)	6,7-8,1	4,7-7,8	5,4-6,4	5,7-7	A-B-B-B	0,0242
Sr (mg/kg)	24-35	21-33	62-63	16-26	B-B-A-C	0,0183
Zn (mg/kg)	120-190	130-220	180-200	130-180	B-AB-A-AB	0,0771

5 ÉVALUATION DES RISQUES ÉCOTOXICOLOGIQUES POUR LES OISEAUX

Cette partie de l'étude a pour objectif de déterminer si l'exposition à l'eau et aux sédiments, associée à l'ingestion de nourriture potentiellement contaminée, au site restauré du parc à résidus miniers East Sullivan, présente des risques significatifs pour les oiseaux. Il s'agit d'évaluer les risques pour les oiseaux vivant en partie ou en totalité en milieu aquatique. La présente étude ne s'intéresse pas aux oiseaux terrestres.

5.1 Modèle conceptuel spécifique de l'évaluation des risques écotoxicologiques (ÉRE) pour les oiseaux

5.1.1 Zone d'étude

La zone d'étude soumise à l'évaluation des risques pour les oiseaux correspond aux bassins Sud et Est du parc à résidus miniers East Sullivan.

D'après les cartes consultées, les bassins Sud et Est constitueraient environ 36 % du site, ce qui correspondrait à une superficie d'environ 0,78 km² (78 ha). Cela est une estimation conservatrice de la superficie occupée par les deux bassins. Ainsi, nous avons pu estimer que le bassin Sud a une superficie d'environ 0,58 km² (58 ha) et le bassin Est une superficie d'environ 0,20 km² (20 ha).

5.1.2 Contaminants et concentration représentative

Les contaminants considérés sont les métaux pour lesquels nous disposons d'une valeur de référence toxicologique (CEAEQ, 2011), c'est-à-dire : l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc.

Il convient de noter que le mercure n'a pas fait l'objet de cette évaluation des risques du fait qu'il n'a pas été détecté dans les sédiments des bassins Est et Sud et qu'il n'a pas été dosé dans l'eau ni dans les invertébrés benthiques. L'unique voie d'exposition des organismes supérieurs, oiseaux et mammifères, serait ainsi, d'après les données disponibles, le mercure présent dans les poissons, à des concentrations moyennes de 0,03 mg/kg. Dans cette étude, les paramètres d'exposition des oiseaux (taux d'ingestion, aire d'alimentation, domaine vital, etc.) ne sont pas exclusifs aux oiseaux qui vivent dans le parc à résidus miniers East Sullivan. Nous avons en effet dû estimer de nombreux paramètres sans connaître de façon précise les comportements alimentaires, de nichage et d'occupation du site des oiseaux qui fréquentent réellement le site minier East Sullivan. Ainsi, à titre d'exemple, le grand héron et le martin-pêcheur d'Amérique sont des oiseaux piscivores qui utilisent les bassins du site minier East Sullivan pour se nourrir mais également les autres plans d'eau situés à proximité de leur nid. La liste annotée des espèces d'oiseaux recensées au parc à résidus miniers East Sullivan de Val-d'Or (2010) montre que le martin-pêcheur d'Amérique est un nicheur possible, mais que ce dernier n'est recensé que sur 1,4 % des 423 feuillets d'observation remplis jusqu'au 31 mai 2010. Pour sa part, le grand héron est mentionné sur 5,7 % des feuillets et signalé seulement à l'occasion pendant la période de nidification. Ainsi, pour ces deux espèces, l'importance du site est définie comme faible. L'exposition au mercure présent dans les poissons sera donc très faible et ce métal n'est donc pas considéré comme préoccupant dans la présente étude.

L'évaluation des risques, exception faite du mercure, a été réalisée en utilisant, d'une part, la concentration maximale et, d'autre part, la concentration médiane des concentrations totales en métaux dans l'eau, les sédiments, les invertébrés benthiques, les plantes aquatiques et les poissons pour : 1) le lac Fortmac (superficie de 15 ha); 2) le regroupement des bassins Sud et Est; 3) le bassin Sud et 4) le bassin Est.

5.1.3 Récepteurs écologiques

Au total, 190 espèces d'oiseaux ont été répertoriées par des ornithologues et des observateurs sur le site restauré du parc à résidus miniers East Sullivan depuis une trentaine d'années (Imbeau, 2010). Une centaine de ces espèces sont associées directement aux habitats humides créés lors de la restauration par les bassins Est et Sud. L'évaluation des risques a été réalisée sur sept représentants de ces espèces pour lesquelles le CEAEQ disposait des informations suffisantes pour mener à bien cette étude (taux métaboliques, taux d'ingestion de nourriture, nature de la diète, taux d'ingestion d'eau, etc.). Ainsi, les espèces sélectionnées pour représenter la communauté d'oiseaux utilisant les bassins Sud et Est sont les suivantes :

- la bernache du Canada (*Branta canadensis*), herbivore opportuniste qui se nourrit aux abords des lacs, des baies et des marais de nouvelles pousses, de racines et de tubercules et occasionnellement de végétation aquatique (CEAEQ, 2005a);
- le canard colvert (*Anas platyrhynchos*), omnivore qui se nourrit essentiellement en milieux humide et aquatique, notamment de carex, de scirpe d'Amérique, d'insectes aquatiques, de têtards, de grenouilles et de poissons (CEAEQ, 2005b);
- le fuligule à collier (*Aythya collaris*), qui se nourrit des graines et tubercules des plantes aquatiques ainsi que d'invertébrés aquatiques (CEAEQ, 2005c);
- le grand héron (*Ardea herodias*), qui se nourrit de poissons, d'amphibiens, d'insectes, de reptiles, d'oiseaux et de petits mammifères (CEAEQ, 2005d);
- le goéland à bec cerclé (*Larus delawarensis*), omnivore opportuniste qui se nourrit notamment de poissons en eau peu profonde, d'insectes terrestres et de petits mammifères (CEAEQ, 2005e);
- le martin-pêcheur d'Amérique (*Megaceryle alcyon*), qui se nourrit de poissons de petites tailles, de mollusques, de crustacés, d'insectes, d'amphibiens, et de baies (CEAEQ, 2005f).

Le tableau 8 reprend quelques caractéristiques des espèces sélectionnées. Du fait d'un manque d'information, nous avons considéré que le fuligule à collier et le martin-pêcheur d'Amérique nichent sur le site de l'étude. Un pourcentage d'utilisation du site à l'étude a été calculé en divisant la superficie de la zone d'étude par le domaine vital utilisé par l'oiseau. Ainsi, à titre d'exemple, les bassins du site minier d'East Sullivan correspondent à 46% du territoire utilisé par la bernache du Canada lorsqu'elle se trouve dans la zone étudiée.

Tableau 8 Caractéristique des espèces sélectionnées (mâle adulte) dans le cadre de cette étude (0,78 km²)

Espèce	Guilde trophique	Domaine vital (km ²)	Zone d'étude/Domaine vital
Bernache du Canada	Herbivore	De 1,7 à 14	46 %
Canard colvert	Omnivore	2,01	39 %
Fuligule à collier	Omnivore	2,8 x 10 ⁻⁵ (3 m autour du nid)	100 %
Grand héron	Piscivore	1,13 (0,6 km autour du nid)	69 %
Goéland à bec cerclé	Omnivore	0,037	100 %
Martin-pêcheur d'Amérique	Piscivore	2,01 (0,8 km autour du nid)	39 %

* Zone d'étude/Domaine vital (CEAEQ, 2005a-g)

5.1.4 Voies d'exposition

Les voies d'exposition prises en considération pour les oiseaux sont l'ingestion de particules de sédiment, d'aliments (plantes aquatiques, invertébrés aquatiques et/ou poissons) et d'eau contaminés (Tableau 9). La voie d'exposition par contact dermique n'est pas considérée, les plumes étant censées limiter les contacts de la peau avec les sédiments (Sample et coll., 1997).

5.1.5 Type d'effets considérés

Un effet ou une réponse écologique se définit chez un récepteur comme le changement ou la série de changements d'ordre physiologique, biochimique ou comportemental induits en réponse à une stimulation occasionnée par un agent de stress, qui, dans le cas présent, est un polluant chimique.

Les effets considérés pour cette évaluation des risques sont la diminution de la survie, de la croissance et/ou de la reproduction de l'un ou de plusieurs des représentants des oiseaux présents dans le parc à résidus miniers East Sullivan.

Tableau 9 Paramètres retenus pour l'évaluation de l'exposition des oiseaux présents dans le parc à résidus miniers East Sullivan

Espèce	Poids (kg)	Diète dans la zone d'étude	Taux d'ingestion		
			Aliment (kg/j)	Sédiment (% diète)	Eau (l/kg/J)
Bernache du Canada	4,173	99 % de plantes aquatiques 1 % d'invertébrés aquatiques	0,03	8,0	0,04
Canard colvert	1,100	70 % de plantes aquatiques 10 % d'invertébrés 20 % autres (non quantifié)	0,05	5,0	0,07
Fuligule à collier	0,725	70 % de plantes aquatiques 25 % d'invertébrés 5 % autres (non quantifié)	0,06	2,0	0,07
Grand héron	2,300	100 % de poissons	0,18	2,0 ^b	0,45
Goéland à bec cerclé	0,566	10 % de poissons	0,07	2,0 ^b	0,07
Martin-pêcheur d'Amérique	0,148	10 % d'invertébrés aquatiques 90 % de poissons	0,07	2,0 ^b	0,74

^a Donnée estimée d'après les données disponibles pour le canard colvert

^b Donnée estimée. Conservatrice du fait du mode alimentaire du grand héron.

5.1.6 Schéma du modèle conceptuel

Ainsi, en résumé, la Figure 3 présente sous la forme d'un schéma le modèle conceptuel détaillé dans les sections précédentes.

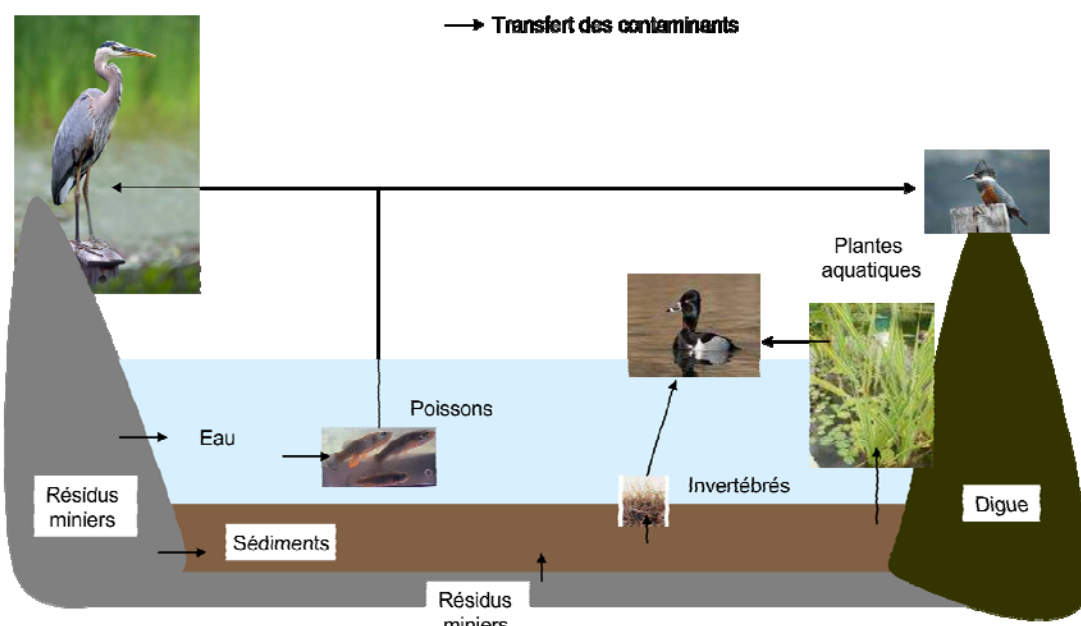


Figure 3 **Modèle conceptuel de site spécifique de l'ÉRE pour les bassins du parc à résidus miniers East Sullivan**

5.2 Évaluation des risques

La méthode du quotient a été utilisée pour estimer le risque pour les oiseaux. Cette méthode permet de vérifier l'absence d'un risque significatif et a été utilisée pour estimer quantitativement le risque pour les récepteurs écologiques retenus. La forme générale de la méthode du quotient est la suivante :

$$IR = \sum_{i,j=1}^n (EE_{ij} / V_{réf_{ij}})$$

où :

IR	: indice de risque estimé
EE_{ij}	: exposition estimée (dose, concentration) pour le contaminant i et la voie d'exposition j
$V_{réf_{ij}}$	: valeur de référence (dose, concentration) pour le contaminant i et la voie d'exposition j

Un indice de risque inférieur à 1 indique l'absence de risques significatifs pour l'espèce concernée. Un indice de risque supérieur à 1 indique un risque probable pour l'espèce concernée. Cette probabilité doit être analysée, en particulier au regard de l'analyse d'incertitude de l'étude, et éventuellement documentée pour conclure à un risque significatif.

5.2.1 Évaluation de l'exposition des oiseaux

La dose d'expositions D peut être déterminée à l'aide de l'égalité suivante :

$$D_{\text{totale}} = (D_{\text{inga}} + D_{\text{inge}} + D_{\text{ings}}) \times PA \times PT$$

avec

D_{totale} :	dose d'expositions totales au contaminant, mg/kj/j;
D_{inga} :	dose par ingestion d'aliments, mg/kj/j;
D_{inge} :	dose par ingestion d'eau, mg/kj/j;
D_{ings} :	dose par ingestion de sédiments, mg/kj/j;
PA :	proportion de l'aire utilisée par l'espèce qui se trouve sur le site à l'étude (ratio zone d'étude/domaine vital);
PT :	proportion du temps où l'espèce est présente sur le site.

Les différentes doses d'expositions des oiseaux ont été déterminées à l'aide des égalités présentées dans le tableau 11. Les taux d'ingestion d'aliments, d'eau et de sédiments sont issus des fiches sur les facteurs d'exposition des oiseaux publiées par le CEAEQ (CEAEQ, 2005a, b, c, d, e, f; tableau 9). Les concentrations en métaux dans l'eau, les sédiments, les invertébrés benthiques et les poissons sont issues de la campagne d'échantillonnage décrite dans les sections précédentes de ce rapport. Les concentrations en métaux dans les plantes aquatiques ont été estimées à l'aide des modèles de régression, indiqués dans le tableau 11. Étant donné qu'il n'existe pas actuellement de modèles de régression exclusives aux plantes aquatiques, ce sont les modèles de régression élaborés pour les plantes terrestres qui ont été utilisés en remplaçant la concentration dans le sol par la concentration dans les sédiments. Ces concentrations sont présentées dans le tableau 12.

Dans cette région, les zones humides et les lacs sont sous la glace une grande partie de l'année. De plus, dès les premiers signes de l'hiver, les espèces sélectionnées vont migrer vers le sud, c'est-à-dire à la mi-octobre, pour revenir à la mi-mars. La proportion de temps passé (PT) par les espèces sur le site a ainsi été fixée à 0,33 (4 mois/12 mois).

5.2.2 Valeurs de référence toxicologique

Les valeurs de référence toxicologique utilisées pour cette étude sont les données N2 du document *Valeurs de référence pour les récepteurs terrestres* (CEAEQ, 2011). Ces données sont utilisées dans le cadre de l'évaluation des risques de sols et de terrains contaminés ayant notamment un usage récréatif. Ces données correspondent par ailleurs à 20 % d'effets c'est-à-dire une diminution de 20 % du taux de survie, de la croissance et/ou du succès de reproduction). Elles sont précisées dans le tableau 10.

Tableau 10 Valeurs de référence toxicologique pour les oiseaux en mg/kg de poids corporel/jour

Métal (et métalloïde)	N2 (mg/kg/j)
Arsenic	4,4
Baryum	51,3
Cadmium	2,1
Chrome total	1,0
Chrome trivalent	1,0
Cobalt	2,6
Cuivre	4,5
Manganèse	46,0
Mercure	0,8
Nickel	6,1
Plomb	1,1
Sélénium	0,50
Zinc	130,9

5.2.3 Estimation des risques

Les indices de risque IR obtenus pour chaque espèce d'oiseaux sont présentés dans les tableaux suivants :

- Tableau 14 : IR pour le lac Fortmac;
- Tableau 15 : IR pour les bassins Sud et Est du parc à résidus miniers East Sullivan;
- Tableau 16 : IR pour le bassin Sud du parc à résidus miniers East Sullivan;
- Tableau 17 : IR pour le bassin Est du parc à résidus miniers East Sullivan.

Un indice de risque inférieur à 1,0 indique l'absence de risques significatifs pour l'espèce concernée. Un indice de risque supérieur à 1,0 indique un risque probable pour l'espèce concernée.

Tableau 11 Égalités ou modèles de régression utilisés pour établir les doses d'expositions des oiseaux

Paramètre	Égalité ou modèle de régression	Référence
D_{inga} , mg/kg/j	$D_{inga} = \Sigma (T_{inga} \times C_{ali}) \times P$	T_{inga} : taux d'ingestion d'aliment, kg/kg poids corporel/j C_{ali} : concentration dans l'aliment, mg/kg P : pourcentage de la zone / domaine vital
D_{inge} , mg/kg/j	$D_{inge} = T_{inge} \times C_e \times P$	T_{inge} : taux d'ingestion d'eau, l/kg poids corporel/j C_e : concentration dans l'eau, mg/l P : pourcentage de la zone / domaine vital
D_{ings} , mg/kg/j	$D_{ings} = T_{ings} \times C_s \times P$	T_{ings} : taux d'ingestion de sol, kg/kg poids corporel/j C_s : concentration dans les sédiments, mg/kg P : pourcentage de la zone / domaine vital
$C_{plantes}$, mg/kg	$\ln(C_{plantes}) = -1.992 + 0.564 \ln(C_s)$ (arsenic) $\ln(C_{plantes}) = -0.476 + 0.546 \ln(C_s)$ (cadmium) $\ln(C_{plantes}) = 0.669 + 0.394 \ln(C_s)$ (cuivre) $\ln(C_{plantes}) = -2.224 + 0.748 \ln(C_s)$ (nickel) $\ln(C_{plantes}) = -1.328 + 0.561 \ln(C_s)$ (plomb) $\ln(C_{plantes}) = 1.575 + 0.555 \ln(C_s)$ (zinc) Pour le baryum, le chrome, le cobalt, le manganèse et le sélénium : $C_{plantes} = C_s \times BCF$ $BCF = e^{(2,38 - \ln(kd)) / 0,89}$	C_s : concentration dans les sédiments, mg/kg BCF : facteur de bioaccumulation sédiments-plantes Kd : coefficient de distribution sol/eau (Baes et coll., 1984) (Bechtel Jacobs Company LLC, 1998) (Baes et al., 1984)

Tableau 12 Concentrations maximales des métaux dans l'eau, les sédiments, les plantes, les invertébrés benthiques et les poissons dans les bassins du parc à résidus miniers East Sullivan et dans le lac Fortmac, utilisées pour l'ÉÉRÉ pour la faune aviaire (< LD : plus petit que la limite de détection)

	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
EAU (total) (mg/l)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	0,42	44	0,065	10	0,15	4,1		1200	6,7	0,06	0,3	55
East Sullivan, bassin Est	0,42	44	0,065	10	0,15	4,1		1200	6,7	0,03	0,3	55
East Sullivan, bassin Sud	0,37	40	0,01	2,3	0,07	0,96		1100	2,8	0,06	0,2	6,5
Lac Fortmac	1,6	9,4	0,016	0,32	0,52	3,5		18	1,0	2,9	0,2	12
SÉDIMENTS (mg/kg)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	31	430	4,2	440	29	660	< LD	18000	80	58	5,9	2600
East Sullivan, bassin Est	31	170	3,0	27	17	660	< LD	430	14	58	5,9	1700
East Sullivan, bassin Sud	29	430	4,2	440	29	120	< LD	18000	80	34	5,3	2600
Lac Fortmac	9,0	87	2,1	11	43	99	< LD	260	26	110	0,7	460
PLANTES AQUATIQUES (mg/kg) (estimées)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	0,95	62,7	1,4	88,6	0,21	25,2		2397	2,9	2,6	0,14	379
East Sullivan, bassin Est	0,95	24,8	1,2	5,4	0,13	25,2		57	0,78	2,6	0,14	300
East Sullivan, bassin Sud	0,91	62,7	1,4	88,6	0,21	12,9		2397	2,9	1,9	0,13	379
Lac Fortmac	0,47	12,7	0,94	2,2	0,32	11,9		35	1,2	3,7	0,02	145
INVERTÉBRÉS BENTHIQUES (mg/kg)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	2,4	140	1,3	26	0,58	250		18000	< LD	2,1	190	1300
East Sullivan, bassin Est	0,61	27	1,1	26	0,39	73		1800	< LD	0,64	2,8	1300
East Sullivan, bassin Sud	2,4	140	1,3	21	0,58	250		18000	< LD	2,1	190	780
Lac Fortmac	4,2	29	1,5	6,9	3,3	100		890	< LD	14	140	820
POISSONS (mg/kg)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	0,29	15	0,1	2,0	1,3	13	0,03	240	< LD	3,2	8,1	220
East Sullivan, bassin Est	0,26	5,7	0,1	2,0	1,3	13	0,03	170	< LD	3,2	8,1	190
East Sullivan, bassin Sud	0,29	15	0,049	0,67	0,49	9,7	0,03	240	< LD	0,05	7,8	220
Lac Fortmac ou lac Frontière	0,97	5,4	0,098	0,56	1,0	6,6	0,13	44	< LD	3,4	6,4	200

Tableau 13 Concentrations médianes des métaux dans l'eau, les sédiments, les plantes, les invertébrés benthiques et les poissons dans les bassins du parc à résidus miniers East Sullivan et dans le lac Fortmac, utilisées pour l'ÉRE pour la faune aviaire (ND : non déterminable)

	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
EAU (total) (mg/l)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	0,34	35	0,0065	1,55	0,07	0,86		815	2,8	0,03	0,20	4,15
East Sullivan, bassin Est	0,41	41	0,041	6,7	0,13	2,4		910	6,3	0,03	0,30	30
East Sullivan, bassin Sud	0,33	33	0,006	1,3	0,07	0,76		670	2,7	0,03	0,20	3,4
Lac Fortmac	1,6	9,3	0,014	0,30	0,50	3,3		17	0,95	2,9	0,20	12
SÉDIMENTS (mg/kg)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	7,9	100	0,25	8,0	11	120	< LD	340	11	8,0	1,5	480
East Sullivan, bassin Est	15	100	0,25	8,0	11	300	< LD	340	11	15	1,5	560
East Sullivan, bassin Sud	5,2	79,5	0,46	14,5	10	86,5	< LD	495	15	6,5	1,35	270
Lac Fortmac	6,9	78	1,3	9,0	33	74	< LD	230	20	91	0,70	350
PLANTES AQUATIQUES (mg/kg) (estimées)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	0,44	14,6	0,28	1,6	0,08	12,9		45,3	0,65	0,85	0,04	149
East Sullivan, bassin Est	0,63	14,6	0,28	1,6	0,08	18,5		45,3	0,65	1,2	0,04	162
East Sullivan, bassin Sud	0,35	11,6	0,40	2,9	0,07	11,3		65,9	0,82	0,76	0,03	108
Lac Fortmac	0,41	11,4	0,72	1,8	0,24	10,6		34,6	1,0	3,3	0,02	125
INVERTÉBRÉS BENTHIQUES (mg/kg)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	0,37	7,7	0,20	2,5	0,085	16		480	ND	0,11	0,05	160
East Sullivan, bassin Est	0,26	2,1	0,17	1,45	0,125	33		53	ND	0,072	0,05	195
East Sullivan, bassin Sud	0,42	14	0,22	3,3	0,072	15		520	ND	0,12	0,05	150
Lac Fortmac	2,0	7,1	0,76	2,1	0,670	20		240	ND	5,7	0,05	220
POISSONS (mg/kg)												
East Sullivan, bassin Sud et Est	0,23	5,5	0,038	0,64	0,21	8,3	0,03	89	ND	0,049	7,0	150
East Sullivan, bassin Est	0,22	3,2	0,056	1,0	0,28	7,7	0,03	48	ND	0,24	7,5	130
East Sullivan, bassin Sud	0,24	6,5	0,028	0,54	0,10	9,0	0,03	155	ND	0,038	6,3	160
Lac Fortmac ou lac Frontière	0,81	3,2	0,044	0,22	0,19	4,8	0,11	20	ND	0,59	6,0	190

Le lac Fortmac (tableau 14)

Un indice de risque supérieur à 1,0 a été obtenu pour le fuligule à collier au lac Fortmac (IR = 1,5), pour les concentrations maximales de sélénium (eau, sédiment et nourriture). L'indice de risque pour les concentrations médianes de sélénium est en revanche très inférieur à 1,0 (IR = 0,011). Les indices de risques estimés pour les autres métaux sont tous très inférieurs à 1.

Il convient de noter que plusieurs incertitudes sont associées à cette étude de risque. Ainsi :

- Les concentrations en métaux dans les plantes ont été estimées par utilisation d'un modèle de régression non exclusif aux macrophytes;
- Les paramètres d'exposition des oiseaux (taux d'ingestion, aire d'alimentation, domaine vital, etc.) ne sont pas spécifiques des oiseaux qui vivent dans le parc à résidus miniers East Sullivan. Nous avons en effet dû estimer de nombreux paramètres sans connaître de façon précise les comportements alimentaires, de nichage et d'occupation du site des oiseaux qui fréquentent réellement le site minier East Sullivan. Ainsi, à titre d'exemple, le grand héron et le martin-pêcheur d'Amérique sont des oiseaux piscivores qui utilisent les bassins du site minier East Sullivan pour se nourrir mais également les autres plans d'eau situés à proximité de leur nid;
- La méthode d'analyse considère que les métaux absorbés (eau, sédiments, nourriture) sont biodisponibles à 100 %, ce qui n'est pas le cas dans la réalité. Cela surestime très probablement la quantité de métaux qui peut être libérée dans le tractus digestif des oiseaux et qui peut, éventuellement, avoir un effet sur leur survie, leur croissance ou leur reproduction.

Par conséquent, l'indice de risque légèrement supérieur à 1,0 obtenu pour le fuligule à collier est probablement surestimé et nous pouvons le considérer comme non significatif.

Ainsi, les conditions environnementales présentes au lac Fortmac ne présentent pas de risques significatifs pour les espèces d'oiseaux retenues pour cette étude.

Le bassin Sud (tableau 15)

Dans le cas du bassin Sud du parc à résidus miniers East Sullivan, des indices de risque supérieurs à 1,0 ont été obtenus pour les concentrations maximales pour :

- le manganèse pour le fuligule à collier (IR = 3,6), le grand héron (IR = 2,2) et le martin-pêcheur d'Amérique (IR = 4,2);
- le sélénium pour le fuligule à collier (IR = 2,0) et le martin-pêcheur d'Amérique (IR = 2,5).

Les indices de risque obtenus avec les concentrations médianes en métaux sont inférieurs à 1,0 à l'exception de l'indice de risque relatif au manganèse pour le grand héron (IR = 1,2) et le martin-pêcheur d'Amérique (IR = 1,2). Ces indices de risque ne sont pas considérés comme préoccupants étant donné le haut niveau d'incertitude de cette étude, tel qu'il est précisé ci-dessus.

Le bassin Est (tableau 16)

Les indices de risque sont tous inférieurs à 1,0 pour le bassin Est du parc à résidus miniers East Sullivan, que l'on considère les concentrations maximales ou médianes des métaux.

Les bassins Sud et Est (tableau 17)

Pour le regroupement des bassins Sud et Est, des indices de risque supérieurs à 1,0 ont été obtenus pour les concentrations maximales pour :

- le manganèse pour le fuligule à collier (IR = 3,6), le grand héron (IR = 3,2) et le martin-pêcheur d'Amérique (IR = 5,8);
- le sélénium pour le fuligule à collier (IR = 2,0) et le martin-pêcheur d'Amérique (IR = 3,4).

Avec les concentrations médianes des métaux, les indices de risque sont inférieurs à 1,0 à l'exception de l'indice de risque pour le manganèse pour le grand héron (IR = 1,9) et le martin-pêcheur d'Amérique (IR = 1,9).

Ces estimés indiquent qu'il existe un risque potentiel pour certains oiseaux du fait de la présence de manganèse et de sélénium dans les bassins Sud et Est. Ces risques sont essentiellement associés à la consommation de poissons, ainsi que des invertébrés dans le cas du martin-pêcheur d'Amérique (10 % de sa diète), qui contiennent des concentrations importantes en manganèse, considérées ici comme 100 % biodisponibles : la médiane est de 89 mg/kg dans les poissons des bassins comparée à 20 mg/kg dans le lac Fortmac et de 480 mg/kg dans les invertébrés du bassin comparée à 240 mg/kg dans le lac Fortmac. D'après les résultats, cette problématique semble essentiellement présente dans le bassin Sud.

Les résultats doivent être nuancés pour le grand héron, le martin-pêcheur d'Amérique et le canard pilet. En effet, la liste annotée des espèces d'oiseaux recensées au Parc à résidus minier East Sullivan de Val-d'Or (2010) montre que le martin-pêcheur d'Amérique est un nicheur possible, mais que ce dernier n'est recensé que sur 1,4 % des 423 feuillets d'observation remplis jusqu'au 31 mai 2010. Pour sa part, le grand héron est mentionné sur 5,7 % des feuillets et signalé seulement à l'occasion pendant la période de nidification. Ainsi, pour ces deux espèces, l'importance du site est définie comme faible. Les risques pour ces deux oiseaux ont vraisemblablement été surestimés dans cette étude.

Malgré les incertitudes associées à cette étude (voir plus haut dans le texte), ces résultats indiquent qu'une exposition aux concentrations maximales telle qu'elles sont relevées dans les bassins Sud et Est en manganèse et en sélénium constitue un potentiel de risque faible pour le fuligule à collier.

Il convient également de préciser que faute de valeur de référence toxicologique, l'ÉRÉ n'a pu être réalisée pour l'ensemble des métaux, notamment le fer qui est caractérisé par des concentrations très élevées dans le milieu.

5.3 Analyse de l'incertitude de l'ÉRE pour la faune aquatique et aviaire

Les principales sources d'incertitude liée à cette étude sont les suivantes :

- Les concentrations en métaux dans les plantes ont été estimées par utilisation d'un modèle de régression non spécifique des macrophytes. Notons que la mesure des concentrations en métaux dans les plantes des bassins permettrait de vérifier l'importance de cette voie d'exposition, particulièrement pour les oiseaux herbivores comme le fuligule à collier;
- Les paramètres d'exposition des oiseaux (taux d'ingestion, aire d'alimentation, domaine vital, etc.) ne sont pas propres aux oiseaux qui vivent dans le parc à résidus miniers East Sullivan. Nous avons en effet dû estimer de nombreux paramètres sans connaître de façon précise les comportements alimentaires, de nichage et d'occupation du site des oiseaux qui fréquentent réellement le site minier East Sullivan;
- La méthode d'analyse considère que les métaux absorbés (eau, sédiments, nourriture) sont biodisponibles à 100 %, ce qui n'est pas le cas dans la réalité. Cela surestime très probablement la quantité de métaux qui peut être libérée dans le tractus digestif des oiseaux et qui peut, éventuellement, avoir un effet sur leur survie, leur croissance ou leur reproduction;
- Faute de valeur de référence toxicologique, l'ÉRE n'a pu être effectuée pour tous les métaux présents, notamment le fer qui est caractérisé par des concentrations très élevées dans l'eau, les sédiments et les organismes des bassins du parc à résidus miniers d'East Sullivan. Or, le fer peut perturber les membranes cellulaires et endommager l'ADN des plantes et des animaux aquatiques (Sinha et coll., 1997; Payne et coll., 1998; Dandapat et coll., 1999). En outre, la précipitation d'hydroxydes et de colloïdes ferriques peut s'accumuler sur les branchies des poissons, ce qui limite la respiration (Lehtinen et Klingstedt, 1983; Peuranen et coll., 1994; Dalzell et MacFarlane, 1999), ou l'accès aux aliments par les invertébrés (Gerhardt, 1992; Randall et coll., 1999), et altérer la qualité et la structure des habitats benthiques (Letterman et Mitsch, 1978; Scullion et Edwards, 1980). Une réduction de la diversité des espèces et de l'abondance du périphyton, des invertébrés benthiques et des poissons est souvent signalée dans les plans d'eau avec des concentrations élevées de fer (Letterman et Mitsch, 1978; Scullion et Edwards, 1980; Rasmussen et Lindegaard, 1988);
- Les résidus miniers du parc East Sullivan ont été recouverts de copeaux de bois qui, lors de contacts répétés avec l'eau, peuvent libérer des substances toxiques pour les organismes. En effet, les lixiviats de résidus de bois présentent généralement une toxicité très élevée, caractérisée par de forts pourcentages de mortalité (> 80 %) à des concentrations très faibles (de 1 à quelques pour cent), qui diminuent dans le temps, au fur et à mesure que les composés sont dégradés, chimiquement ou biologiquement (Borga et coll., 1996; Samis et coll., 1999); (Taylor et coll., 1996; Taylor et Carmichael, 2003). Ces matrices se sont révélées toxiques pour un grand nombre d'organismes : algues, bactéries, invertébrés benthiques tels que des daphnies, des poissons (truite, tête de boule, etc.), etc. (Borga et coll., 1996; Taylor et coll., 1996; Bailey et coll., 1999; Samis et coll., 1999; CEAEQ, 2001; Taylor et Carmichael, 2003; NCASI, 2005). Les acides résiniques ainsi que les composés phénoliques, soit les tanins et la lignine, sont à l'origine de la plupart des effets toxiques qui ont pu être mesurés dans des lixiviats de résidus de bois, quelles que soient les essences de bois (Taylor et coll., 1996; Bailey et coll., 1999; Samis et coll., 1999; Taylor et Carmichael, 2003). Faute de concentrations dans le milieu, ces substances n'ont pu être évaluées dans la présente étude.

Tableau 14 Indices de risque pour chaque espèce d'oiseau et chaque métal considérés pour le Lac Fortmac

Métal	Indice de risque	Bernache du Canada	Canard colvert	Canard pilet	Fuligule à collier	Grand héron	Goéland à bec cerclé	Martin-pêcheur d'Amérique
As	IR max	0,001	0,001	0,002	0,016	0,009	0,010	0,011
	IR médian	0,001	0,001	0,002	0,013	0,009	0,010	0,010
Ba	IR max	0,001	0,001	0,002	0,012	0,005	0,005	0,006
	IR médian	0,0005	0,001	0,001	0,009	0,004	0,005	0,005
Cd	IR max	0,0005	0,001	0,002	0,011	0,001	0,0008	0,002
	IR médian	0,0004	0,0004	0,001	0,007	0,0004	0,0005	0,001
Co	IR max	0,001	0,002	0,004	0,031	0,005	0,005	0,009
	IR médian	0,001	0,001	0,003	0,0019	0,003	0,005	0,005
Cr	IR max	0,004	0,004	0,011	0,053	0,025	0,035	0,035
	IR médian	0,003	0,003	0,008	0,033	0,017	0,028	0,020
Cu	IR max	0,005	0,008	0,024	0,185	0,030	0,032	0,063
	IR médian	0,004	0,005	0,013	0,083	0,025	0,027	0,035
Mn	IR max	0,002	0,004	0,014	0,126	0,016	0,014	0,043
	IR médian	0,001	0,002	0,006	0,049	0,012	0,012	0,019
Ni	IR max	0,001	0,001	0,002	0,009	0,004	0,006	0,004
	IR médian	0,001	0,001	0,001	0,007	0,004	0,005	0,004
Pb	IR max	0,013	0,016	0,040	0,221	0,092	0,116	0,123
	IR médian	0,011	0,013	0,032	0,169	0,069	0,102	0,081
Se	IR max	0,003	0,038	0,139	1,500	0,109	0,040	0,049
	IR médian	0,001	0,001	0,002	0,011	0,103	0,038	0,141
Zn	IR max	0,001	0,002	0,007	0,053	0,014	0,007	0,027
	IR médian	0,001	0,001	0,004	0,026	0,014	0,007	0,020

Tableau 15 Indices de risque pour chaque espèce d'oiseau et chaque métal considérés pour le bassin Sud du parc à résidus miniers

Métal	Indice de risque	Bernache du Canada	Canard colvert	Canard pilet	Fuligule à collier	Grand héron	Goéland à bec cerclé	Martin-pêcheur d'Amérique
As	IR max	0,003	0,003	0,008	0,011	0,012	0,005	0,018
	IR médian	0,001	0,001	0,003	0,004	0,008	0,002	0,009
Ba	IR max	0,010	0,013	0,032	0,054	0,073	0,023	0,089
	IR médian	0,004	0,005	0,012	0,020	0,054	0,016	0,054
Cd	IR max	0,003	0,003	0,009	0,014	0,002	0,001	0,006
	IR médian	0,0007	0,001	0,002	0,004	0,001	0,0002	0,001
Co	IR max	0,164	0,175	0,456	0,643	0,178	0,101	0,273
	IR médian	0,007	0,009	0,023	0,037	0,048	0,015	0,056
Cr	IR max	0,009	0,009	0,022	0,020	0,038	0,016	0,056
	IR médian	0,003	0,003	0,008	0,007	0,015	0,007	0,019
Cu	IR max	0,020	0,047	0,152	0,354	0,098	0,023	0,397
	IR médian	0,014	0,017	0,044	0,067	0,086	0,018	0,132
Mn	IR max	0,393	0,639	1,788	3,576	2,220	0,753	4,153
	IR médian	0,069	0,106	0,229	0,423	1,219	0,353	1,240
Ni	IR max	0,007	0,008	0,019	0,023	0,043	0,017	0,045
	IR médian	0,003	0,004	0,009	0,013	0,035	0,012	0,034
Pb	IR max	0,014	0,015	0,040	0,051	0,024	0,016	0,044
	IR médian	0,004	0,004	0,011	0,014	0,007	0,004	0,010
Se	IR max	0,018	0,201	0,733	2,039	0,512	0,051	2,517
	IR médian	0,003	0,004	0,008	0,012	0,416	0,040	0,571
Zn	IR max	0,015	0,019	0,052	0,084	0,067	0,014	0,123
	IR médian	0,003	0,004	0,012	0,020	0,040	0,004	0,062

Tableau 16 Indices de risque pour chaque espèce d'oiseau et chaque métal considérés pour le bassin Est du parc à résidus miniers

Métal	Indice de risque	Bernache du Canada	Canard colvert	Canard pilet	Fuligule à collier	Grand héron	Goéland à bec cerclé	Martin-pêcheur d'Amérique
As	IR max	0,001	0,001	0,003	0,009	0,005	0,006	0,006
	IR médian	0,001	0,001	0,002	0,006	0,004	0,004	0,004
Ba	IR max	0,002	0,003	0,006	0,031	0,024	0,022	0,025
	IR médian	0,002	0,002	0,005	0,024	0,022	0,020	0,021
Cd	IR max	0,001	0,001	0,003	0,012	0,002	0,002	0,003
	IR médian	0,0002	0,0002	0,001	0,003	0,001	0,0006	0,001
Co	IR max	0,009	0,014	0,033	0,178	0,111	0,096	0,125
	IR médian	0,005	0,007	0,015	0,073	0,072	0,062	0,071
Cr	IR max	0,002	0,002	0,005	0,015	0,021	0,015	0,029
	IR médian	0,001	0,001	0,003	0,010	0,009	0,009	0,011
Cu	IR max	0,022	0,025	0,065	0,253	0,085	0,097	0,140
	IR médian	0,012	0,013	0,035	0,140	0,046	0,048	0,072
Mn	IR max	0,040	0,066	0,148	0,833	0,726	0,621	0,759
	IR médian	0,030	0,045	0,093	0,481	0,532	0,467	0,503
Ni	IR max	0,002	0,003	0,006	0,028	0,029	0,027	0,028
	IR médian	0,002	0,003	0,005	0,026	0,028	0,025	0,026
Pb	IR max	0,008	0,008	0,020	0,061	0,042	0,032	0,062
	IR médian	0,003	0,003	0,007	0,023	0,006	0,008	0,008
Se	IR max	0,002	0,004	0,010	0,053	0,188	0,057	0,267
	IR médian	0,001	0,002	0,004	0,017	0,174	0,051	0,237
Zn	IR max	0,005	0,007	0,019	0,102	0,029	0,019	0,052
	IR médian	0,002	0,003	0,007	0,033	0,017	0,010	0,024

Tableau 17 Indices de risque pour chaque espèce d'oiseau et chaque métal considérés pour les bassins Sud et Est du parc à résidus miniers

Métal	Indice de risque	Bernache du Canada	Canard colvert	Canard pilet	Fuligule à collier	Grand héron	Goéland à bec cerclé	Martin-pêcheur d'Amérique
As	IR max	0,004	0,005	0,012	0,011	0,018	0,006	0,025
	IR médian	0,002	0,002	0,004	0,004	0,012	0,003	0,013
Ba	IR max	0,013	0,018	0,044	0,056	0,107	0,025	0,127
	IR médian	0,006	0,008	0,017	0,022	0,076	0,017	0,075
Cd	IR max	0,004	0,005	0,012	0,015	0,007	0,002	0,012
	IR médian	0,0007	0,001	0,002	0,003	0,001	0,0002	0,002
Co	IR max	0,237	0,262	0,669	0,721	0,564	0,171	0,069
	IR médian	0,007	0,010	0,023	0,029	0,074	0,016	0,081
Cr	IR max	0,012	0,013	0,031	0,022	0,092	0,020	0,130
	IR médian	0,005	0,005	0,012	0,008	0,019	0,007	0,025
Cu	IR max	0,086	0,124	0,353	0,432	0,332	0,097	0,797
	IR médian	0,024	0,027	0,071	0,077	0,117	0,021	0,181
Mn	IR max	0,540	0,878	2,442	3,627	3,208	0,804	5,791
	IR médian	0,107	0,165	0,352	0,483	1,901	0,421	1,874
Ni	IR max	0,013	0,016	0,036	0,038	0,123	0,032	0,121
	IR médian	0,004	0,005	0,011	0,013	0,049	0,012	0,046
Pb	IR max	0,030	0,031	0,080	0,069	0,168	0,033	0,253
	IR médian	0,006	0,007	0,017	0,016	0,011	0,004	0,015
Se	IR max	0,026	0,273	0,991	2,044	0,735	0,057	3,440
	IR médian	0,004	0,005	0,011	0,012	0,617	0,044	0,849
Zn	IR max	0,023	0,031	0,086	0,114	0,128	0,023	0,226
	IR médian	0,007	0,008	0,021	0,026	0,053	0,005	0,082

6 CONCLUSION

L'Évaluation des risques écotoxicologiques (ÉRE) a mis en évidence un faible risque lié à la présence de manganèse et de sélénium dans le bassin Sud du parc à résidus miniers East Sullivan pour les oiseaux similaires au fuligule à collier. À l'analyse des incertitudes associées à cette évaluation, ces risques ne semblent pas préoccupants. Ainsi, d'après les données disponibles, les bassins Sud et Est du site minier East Sullivan semblent être des habitats acceptables pour la faune aviaire qui les fréquente.

Notons que cette étude n'a pas permis d'évaluer le risque associé à la présence des copeaux de bois et des concentrations importantes de fer dans les sédiments et le biota. Une caractérisation des acides résiniques ainsi que des composés phénoliques, soit les tanins et la lignine permettrait d'évaluer le danger associé à ces substances organiques. De plus, l'absence de valeur de référence pour le fer n'a pas permis d'évaluer le risque pour la faune aviaire, mais des impacts sur la faune benthique et piscivore sont possibles aux concentrations observées dans les sites d'East Sullivan.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Baes, C. F., R. D. Sharp, A. L. Sjoeren et R. W. Shor. 1984. *A review and analysis of parameters for assessing transport of environmentally released radionuclides through agriculture*, ORNL-576, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of energy, Oak Ridge, Tennessee, 150 p.
- Bailey, H. C., J. R. Elphick, A. Potter, E. Chao, D. Konasewich et J. B. Zak. 1999. « Causes of toxicity in stormwater runoff from sawmills ». *Environmental Toxicology and Chemistry* 18, p. 1485-1491.
- Bechtel Jacobs Company LLC. 1998. *Empirical Models for the Uptake of Inorganic Chemicals from Soil by Plants*. Bechtel Jacobs Company LLC, Oak Ridge, TN.
- Borga, P., T. Elowson et K. Liukko. 1996. « Environmental loads from water-sprinkled softwood timber: 2. Influence of tree species and water characteristics on wastewater discharges ». *Environmental Toxicology and Chemistry* 15, p. 1445-1454.
- Conseil Canadien des ministres de l'Environnement (CCME). 2000. *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, Winnipeg, le Conseil.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). 2001. *Étude écotoxicologique des eaux de résurgence du site de dépôts de résidus de la Scierie des Outardes* – Rapport technique présenté à la Direction régionale de la Côte-Nord. Rapport technique interne, ministère de l'Environnement du Québec, 11 p. + annexes.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2005a. *Paramètres d'exposition chez les oiseaux – Bernache du Canada*, Fiche descriptive, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 17 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2005b. *Paramètres d'exposition chez les oiseaux – Canard colvert*, Fiche descriptive, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 20 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2005c. *Paramètres d'exposition chez les oiseaux – Fuligule à collier*, Fiche descriptive, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 18 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2005d. *Paramètres d'exposition chez les oiseaux – Grand Héron*, Fiche descriptive, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 19 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2005e. *Paramètres d'exposition chez les oiseaux – Goéland à bec cerclé*, Fiche descriptive, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 15 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2005f. *Paramètres d'exposition chez les oiseaux – Martin-pêcheur d'Amérique*, Fiche descriptive, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 16 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2011. *Valeurs de référence pour les récepteurs terrestres*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 28 p.

- Cyr, J. 2012. *Restauration des sites miniers*, Salon des technologies environnementales du Québec, 9^e édition, 13 et 14 mars 2012, Québec (Qc).
- Dalzell, D. J. B. et N. A. A. MacFarlane. 1999. « The toxicity of iron to brown trout and effects on the gills: A comparison of two grades of iron sulfate ». *Journal of Fish Biology* 55, p. 301-315.
- Dandapat, J., K. J. Rao et G. B. N. Chainy. 1999. « An *in vitro* study of metal ion-induced lipid peroxidation in giant fresh water prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de MAN) ». *BioMetals* 12, p.89-97.
- Environnement Canada (EC) et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 2007. Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration. 39 p.
- Gerhardt, A. 1992. « Effects of subacute doses of iron (Fe) on *Leptophlebia marginata* (Insecta: Ephemeroptera) ». *Freshwater Biology* 27, p. 79-84.
- Germain, D., N. Tassé et J. Cyr. 2003. *Rehabilitation of mine Tailings by simultaneous prevention of oxidation and treatment of acid effluents using a wood-waste cover*. 6th International Conference on Acid Rock Drainage.
- Imbeau, L. 2010. *Liste annotée des espèces d'oiseaux recensées au parc à résidus miniers East Sullivan de Val-d'Or*, Rapport technique établi pour la Société du loisir ornithologique de l'Abitibi, 68 p.
- Laliberté, D. 2008. *Teneurs en métaux et en composés organochlorés dans les lacs de la région de Chibougamau et d'Oujé-Bougoumou (2001-2005)*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-52001-6 (PDF), 113 p. et 11 annexes.
- Lehtinen, K. et G. Klingstedt. 1983. « X-ray microanalysis in the scanning electron microscope on fish gills affected by acidic, heavy metal containing industrial effluents ». *Aquatic Toxicology* 3, p. 93-102.
- Letterman, R. D. et W. J. Mitsch. 1978. « Impact of mine drainage on a mountain stream in Pennsylvania ». *Environmental Pollution* 17, p. 53-73.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP). 2009. *Critères de qualité de l'eau de surface*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, ISBN 978-2-550-57559-7 (PDF), 506 p., et 16 annexes [En ligne] [<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/>] (Consulté le 12 janvier 2012).
- National Council for Air and Stream Improvement, Inc. (NCASI). 2005. «Characterization, toxicology, and management and treatment options for wood pile leachates and runoff: Part I – Literature review ». *Technical bulletin* No 911. Research triangle park, N.C. (NCASI), 61 p.
- Payne, J. F., D. C. Malins, S. Gunselman, A. Rahimtula et P. A. Yeats. 1998. « DNA oxidative damage and vitamin A reduction in fish from a large lake system in Labrador, Newfoundland, contaminated with iron-ore mine tailings ». *Marine Environmental Research* 46, p. 289-294.

- Peuranen, S., P. J. Vuorinen, M. Vuorinen et A. Hollender. 1994. « The effects of iron, humic acids, and low pH on the gills and physiology of brown trout (*Salmo trutta*) ». *Annales Zoologici Fennici* 31.
- Randall, S., D. Harper et B. Brierley. 1999. « Ecological and ecophysiological impacts of ferric dosing in reservoirs ». *Hydrobiologia* 395/396, p. 355-364.
- Rasmussen, K. et C. Lindegaard. 1988. « Effects of iron compounds on macroinvertebrate communities in a Danish lowland river system ». *Water Research* 22, p. 1101-1108.
- Samis, S. C., S. D. Liu, B. G. Wernick et M. D. Nassichuk. 1999. « Mitigation of fisheries impacts from the use and disposal of wood residue in British Columbia and the Yukon ». *Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences* 22965, viii, 91 p.
- Sample, B. E., M. S. Aplin, R. A. Efroymson, G. W. Suter II et C. J. E. Welsh. 1997. *Methods and Tools for Estimation of the Exposure of Terrestrial Wildlife to Contaminants*. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory. ORNL/TM-13391. Rapport final préparé pour le U.S. Department of Energy. 113 p.
- Scullion, J. et R. W. Edwards. 1980. « The effects of coal industry pollutants on the macroinvertebrate fauna of a small river in the South Wales coalfield ». *Freshwater Biology* 10, p. 141-162.
- Sinha, S., M. Gupta et P. Chandra. 1997. « Oxidative stress induced by iron in *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle: Response of antioxidants ». *Ecotoxicological and Environmental Safety* 38, p. 286-291.
- Tassé, N. et D. Germain. 2004. « The East-Sullivan mine site: from abandonment to restoration ». *Geo Québec*.
- Taylor, B. R., J. S. Goudey et N. B. Carmichael. 1996. « Toxicity of aspen wood leachate to aquatic life: laboratory studies ». *Environmental Toxicology and Chemistry* 15, p. 150-159.
- Taylor, B. R. et N. B. Carmichael. 2003. « Toxicity and chemistry of aspen wood leachate to aquatic life: field study ». *Environmental Toxicology and Chemistry* 22, p. 2048-2056.

Annexe 1 Coordonnées des sites d'échantillonnage

Plan d'eau	Station	Station	Localisation		Date
East Sullivan, bassin Sud	08010119	1	48,06745	-77,70045	2011-07-04
East Sullivan, bassin Sud	08010120	2	48,06677	-77,69849	2011-07-04
East Sullivan, bassin Sud	08010121	3	48,06695	-77,69650	2011-07-04
East Sullivan, bassin Sud	08010122	4	48,06957	-77,69340	2011-07-05
East Sullivan, bassin Sud	08010123	5	48,06954	-77,69477	2011-07-05
East Sullivan, bassin Sud	08010124	6	48,06953	-77,70000	2011-07-05
East Sullivan, bassin Sud	08010125	7	48,07090	-77,70193	2011-07-05
Lac Fortmac	08010130	8	48,13802	-77,66787	2011-07-06
Lac Fortmac	08010131	9	48,13961	-77,66390	2011-07-06
Lac Fortmac	08010132	10	48,14034	-77,66817	2011-07-06
East Sullivan, bassin Est	08010127	11	48,07455	-77,68369	2011-07-07
East Sullivan, bassin Est	08010128	12	48,07460	-77,68596	2011-07-07
East Sullivan, bassin Est	08010129	13	48,07425	-77,68870	2011-07-07

Annexe 2 Échantillonnage et analyses chimiques

1) Échantillonnage de l'eau

Des échantillons d'eau ont été prélevés pour la mesure des concentrations des métaux extractibles totaux, des métaux dissous, de l'azote Kjeldahl, du phosphore total, des nitrates nitrites, des sulfates et du carbone organique dissous (COD). Les mesures pour la conductivité, le pH et l'oxygène dissous ont été faites *in situ* à l'aide de sondes appropriées à ces mesures.

Les bouteilles pour l'échantillonnage ont été au préalable décontaminées au laboratoire et emballées individuellement dans deux sacs en polyéthylène. Un petit sac contient la bouteille d'échantillonnage et est placé dans un plus grand contenant les gants pour l'échantillonnage. Lors de l'échantillonnage, le préleveur portait des gants longs en polyéthylène et l'assistant des gants courts en polyéthylène.

a. Métaux extractibles totaux et dissous

Les échantillons d'eau pour les mesures des métaux extractibles totaux ont été prélevés à même la bouteille d'échantillonnage de 125 ml en l'immergeant fermée à 30 cm sous l'eau. La bouteille était maintenue horizontalement et ouverte sous l'eau pour être remplie jusqu'à l'épaule puis refermée sous l'eau. Un espace d'air était laissé dans la bouteille. La bouteille était ensuite égouttée et remise dans son sac original individuel et dans le deuxième sac portant le numéro d'identification du site d'échantillonnage. Il n'y avait pas d'agent de préservation dans la bouteille lors du prélèvement. Au laboratoire, lors de la réception des échantillons, l'extérieure de la bouteille a été rincée à l'eau NANOpure® avant d'ajouter l'agent de préservation qui était constitué de 0,25 ml d'acide nitrique HNO₃ concentré (15 N). Un délai minimal de 3 jours a été laissé après l'ajout de l'acide avant de procéder aux analyses.

Les échantillons d'eau pour la mesure des métaux dissous ont été prélevés avec une seringue en polyéthylène de 50 ml. Au laboratoire, la seringue à usage unique a été rincée trois fois avec de l'eau NANOpure® et remplie avec de l'eau NANOpure®. La seringue contenant l'eau a ensuite été placée dans un sac individuel en polyéthylène. Avant de commencer l'échantillonnage, le préleveur doit placer un filtre de 0,45 µm sur l'embout de la seringue et expulser toute l'eau NANOpure® contenue dans la seringue à travers le filtre qui sera utilisé pour filtrer l'échantillon. Ensuite, le préleveur enlève le filtre et le remet temporairement dans le sac. Pour prélever l'échantillon d'eau, la seringue (sans le filtre) est immergée à 30 cm sous l'eau pour aspirer 50 ml d'eau. Le volume est ajusté à 25 ml en expulsant l'excédent d'eau et d'air en orientant la sortie de la seringue vers le haut. Le préleveur installe le filtre sur l'embout de la seringue, expulse 5 ml à travers le filtre et jette l'eau. L'assistant conserve la bouteille d'échantillonnage de 60 ml dans le sac et enlève le bouchon à l'intérieure du sac. Le préleveur expulse 20 ml d'eau à travers le filtre et la recueille dans la bouteille de 60 ml contenant l'agent de préservation constitué de 40 µl de HNO₃ concentré (15 N).

Un blanc de transport a été préparé au laboratoire en versant 100 ml d'eau NANOpure® dans une bouteille identique à celle utilisée pour l'échantillonnage. Le blanc de transport sert à vérifier la contamination en métaux du matériel utilisé et celle qui pourrait survenir au cours du transport entre le laboratoire et le moment de l'analyse des échantillons. Il n'est pas ouvert sur le terrain.

De plus, trois blancs de terrain ont été préparés pour les métaux totaux et les métaux dissous, un au bassin Sud, un autre au bassin Est du site minier East Sullivan et enfin un au lac Fortmac. Les blancs ont été préparés en transvidant dans une bouteille de 125 ml, 100 ml d'eau NANOpure® provenant d'une bouteille de 500 ml préparée au laboratoire. Pour les métaux dissous, la même procédure que pour les échantillons a été utilisée, mais en utilisant de l'eau NANOpure® prélevée dans la bouteille de 500 ml. Un ensemble neuf a été utilisé pour chaque blanc de terrain. Ce blanc sert à connaître la contamination introduite lors des manipulations ainsi que celles provenant du matériel et de son transport jusqu'au laboratoire.

Avant d'être utilisées, les bouteilles pour recueillir les échantillons avaient été décontaminées par trempage dans de l'acide nitrique 10 % V/V pendant 12 heures, ensuite durant 3 jours dans de l'eau déminéralisée, puis rincées 7 fois avec de l'eau déminéralisée. Les filtres pour les métaux filtrés n'ont pas été décontaminés au laboratoire. Il s'est révélé préférable de seulement les rincer avec de l'eau NANOpure® avant de les utiliser sur le terrain. Les blancs montrent que les concentrations des métaux libérés par les filtres neufs demeurent presque toutes inférieures à leur limite de détection.

b. Carbone organique dissous (COD)

Les échantillons d'eau pour la mesure du carbone organique dissous ont été prélevés de la même manière que pour les métaux filtrés et il a été recueilli dans une bouteille de 60 ml contenant l'agent de préservation constitué de 20 µl de HCl concentrés (12 N). Trois blancs de terrain ont été préparés aux mêmes sites et de la même manière que pour les métaux filtrés.

c. Azote Kjeldahl, phosphore total, nitrates et nitrites et les sulfates

Les échantillons d'eau pour la mesure de l'azote Kjeldahl, du phosphore total, des nitrates et nitrites et des sulfates ont été prélevés successivement en immergeant une bouteille fermée de 125 ml à 30 cm sous l'eau. La bouteille était ouverte et refermée sous l'eau. Pour les trois premiers paramètres, l'échantillon prélevé était ensuite transvidé dans une autre bouteille de 125 ml contenant un agent de préservation constitué de 0,5 ml de H₂SO₄ (8 N). La bouteille était remplie jusqu'à l'épaule. Pour les sulfates, l'échantillon était prélevé directement dans la bouteille de 125 ml sans ajout d'agent de préservation.

Trois blancs ont été préparés aux mêmes sites que précédemment pour chacun des paramètres. Ces blancs ont été préparés en transvidant 100 ml d'eau NANOpure® (provenant d'une bouteille de 500 ml préparée au laboratoire) dans des bouteilles de 125 ml contenant le même agent de préservation que celui utilisé pour les échantillons, à l'exception des sulfates qui n'en ont pas.

2) Échantillonnage des sédiments

Les échantillons ont été prélevés à gué sous une profondeur d'eau d'environ 30 cm en utilisant une pelle en fer à bout carré. La pelle était enfoncée à environ 10 cm sous la surface des sédiments et remontée lentement hors de l'eau. La couche superficielle des sédiments (0 à 3 cm) était prélevée avec une bouteille de 125 ml en polyéthylène dont le fond avait été coupé, en évitant la couche de sédiments en contact avec la pelle. Environ 300 ml de sédiments étaient placés dans des sacs à languettes (*whirl pack*) en polyéthylène de 700 ml, un sac par site. Les sédiments étaient prélevés après avoir enlevé les copeaux de bois et autres matériaux grossiers et en évitant de toucher à la paroi de la pelle. Un sac neuf et une bouteille neuve de 125 ml étaient utilisés à chaque site pour le prélèvement des sédiments. Pour aider le préleveur avec la pelle, l'assistant portait des gants en polyéthylène et s'assurait du prélèvement de l'échantillon.

Les échantillons prélevés en profondeur au centre du bassin Sud l'ont été en utilisant une benne Ekman. Une fois remontée la benne était partiellement égouttée et déposée dans un bac en plastique. La benne était ouverte par le fond et le contenu était déposé délicatement dans le bac en plastique. La partie superficielle des sédiments était prélevée comme pour les échantillons à gué. Après chaque prélèvement la benne était rincée avec l'eau du site pour enlever les sédiments résiduels sur les parois. La benne était aussi rincée avec l'eau du nouveau site avant de procéder à l'échantillonnage. Plusieurs coups de benne ont été donnés pour prélever un volume de 300 ml de sédiments. L'embarcation était déplacée entre chaque coup de benne pour éviter de prélever au même endroit.

3) Échantillonnage des macroinvertébrés benthiques

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques a été fait à l'aide d'un filet troubleau, ou *D-net*, d'une largeur de 30 cm avec une maille d'ouverture de 600 µm. Les macroinvertébrés ont été délogés en passant le filet dans l'habitat ciblé. Le filet troubleau a été privilégié en raison de sa facilité d'utilisation et de sa polyvalence. L'échantillonnage au centre du bassin Sud de East Sullivan a été fait avec une benne Ekman.

Dans l'eau peu profonde (environ 30 cm), le filet était passé dans la végétation aquatique. Un coup de filet consiste en une traction du filet sur une distance approximative de 1 m. Le coup de filet initial était suivi de deux allers-retours sur la surface échantillonnée afin de capturer les organismes délogés. Le nombre de coups de filet dépendait du nombre d'organismes recueillis.

Dans le substrat meuble du rivage, le filet était enfoncé dans le substrat (de 2 à 5 cm) sur une distance approximative de 1 m. Lorsque le substrat était d'origine organique (résidus forestiers), l'échantillonnage était alors stationnaire avec le filet troubleau (main et pied).

Pour la récolte des organismes, le contenu de chaque coup de filet était transféré dans une chaudière en plastique. Les gros débris (roches, branches, bouts de bois et feuilles) étaient inspectés et nettoyés. Ensuite l'échantillon était transféré dans un bac en plastique blanc pour procéder au tri visuel.

Les organismes étaient triés avec des pinces en Teflon® par grands groupes (ordre ou famille) et ils ont été mis dans un contenant à glaçons contenant de l'eau NANOpure® puis ils ont été transférés dans des flacons d'échantillonnage (*vials* en verre) prénumérotés et nettoyés selon les

méthodes de contrôle de la qualité appropriées aux analyses de métaux. Au besoin les organismes étaient identifiés avec un microscope binoculaire.

Au centre du bassin Sud du site minier East Sullivan, des sédiments ont été prélevés avec une benne Ekman et les organismes ont été triés jusqu'à l'obtention d'une dizaine de chironomides, et de 1 ou 2 spécimens pour les organismes de grande taille (ex. : odonates, sangsues, coléoptères dytiques) et de 5 à 10 pour les autres taxons. Les organismes n'ont pas été purgés des sédiments qu'ils contiennent de manière à estimer leur charge corporelle en contaminants et le potentiel de transfert aux prédateurs.

4) Échantillonnage des poissons

Les poissons ont été capturés dans des habitats ciblés à l'aide d'un filet troubleau, ou *D-net*, d'une largeur de 30 cm avec une maille d'ouverture de 600 µm.

5) Méthodes d'analyses

a. Méthodes d'analyses pour l'eau

- **Éléments majeurs**

Les éléments majeurs sont dosés avec un spectromètre à émission au plasma induit par radiofréquence, ou ICP-OES. Le plasma est produit par un phénomène d'induction dans une torche localisée à l'intérieur d'une bobine. L'échantillon est entraîné dans ce plasma. Les métaux sont atomisés, puis ionisés à des longueurs d'onde qui leur sont propres. La lumière émise est séparée par un réseau dispersif et son intensité est mesurée à l'aide d'un détecteur. Les concentrations des éléments sont déterminées en comparant les intensités lumineuses respectives de l'échantillon et des solutions étalons. La limite de quantification de la méthode (LQM) pour le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium est respectivement de 0,07 mg/l, de 0,07 mg/l, de 0,1 mg/l et de 0,07 mg/l (CEAEQ, 2008).

- **Composés inorganiques**

Les métaux à l'état de trace dans l'eau sont dosés par spectrométrie d'émission au plasma d'argon induit par radiofréquence et détection par spectrométrie de masse (ICP-MS). L'échantillon est entraîné dans un plasma où les métaux y sont atomisés et ionisés à des températures pouvant atteindre 10 000 K. Par la suite, les métaux ionisés sont dirigés dans un spectromètre de masse où ils sont séparés selon leur masse/charge. Les concentrations des éléments sont déterminées en comparant les intensités respectives de l'échantillon et des solutions étalons. La limite de détection de la méthode pour chaque élément est indiquée dans le tableau 18 (CEAEQ, 2011a).

Tableau 18 Limite de détection des métaux à l'état de trace

Élément	LDM (µg/l)	Élément	LDM (µg/l)	Élément	LDM (µg/l)
Ag	0,002	Cu	0,02	Sb	0,003
Al	0,4	Fe	0,24	Se	0,09
As	0,03	Mn	0,004	Sr	0,05
Ba	0,02	Mo	0,002	U	0,001
Cd	0,006	Ni	0,02	V	0,007
Co	0,007	Pb	0,01	Zn	0,08
Cr	0,004				

- Éléments nutritifs

- Nitrites-nitrates ($\text{NO}_2 - \text{NO}_3$)

La concentration des nitrates et des nitrites dans l'eau est déterminée par une méthode colorimétrique automatisée avec le sulfate d'hydrazine et le N.E.D. Pour la détermination des ions nitrates et nitrites, le nitrate est d'abord réduit en nitrite en milieu alcalin par l'intermédiaire du sulfate d'hydrazine en présence de sulfate de cuivre qui agit comme catalyseur.

Le nitrite réagit avec le sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui se combine en milieu acide avec le dihydrochlorure de N-(1-naphthyl)-éthylènediamine pour former un composé rosé à violet dont l'absorbance à 540 nm est proportionnelle à la concentration des ions nitrites et nitrates. La limite de détection (LDM) est de 0,02 mg/l N ($\text{NO}_3 - \text{NO}_2$) (CEAEQ, 2009).

- Phosphore total (P-total)

La concentration du phosphore total dans les eaux naturelles est déterminée par minéralisation au persulfate et par une méthode colorimétrique automatisée. Le phosphore, sous forme inorganique et organique, est transformé à chaud (121 °C) et sous pression en orthophosphate (PO_4^{3-}) en présence de persulfate de potassium et d'acide sulfurique. L'orthophosphate réagit avec le molybdate d'ammonium en milieu acide pour former l'acide phosphomolybdique. Ce composé est ensuite réduit par le chlorure stanneux en bleu de molybdène, dont l'absorbance à 880 nm est proportionnelle à la concentration de phosphore. La limite de détection de la méthode est de 0,002 mg/l (CEAEQ, 2011b).

- Azote total Kjeldahl

La concentration de l'azote total Kjeldahl est déterminée par digestion acide et par une méthode colorimétrique automatisée. La détermination de l'azote total Kjeldahl s'effectue en deux étapes. La première est une digestion en milieu acide qui transforme tous les composés organiques azotés en azote ammoniacal.

Dans la seconde étape, les ions ammonium sont dosés par un système automatisé.

Ils réagissent avec du salicylate, du nitroferriocyanure et de l'hypochlorite de sodium pour former en milieu alcalin un complexe salicylate ammoniacal, dont l'absorbance à 660 nm est proportionnel à la concentration d'azote ammoniacal. La limite de détection de la méthode (LDM) est de 0,3 mg/l (CEAEQ, 2010a).

- Sulfate (SO_4)

La concentration des ions sulfates dans l'eau est déterminée par chromatographie ionique avec détecteur conductivimétrique. Un échantillon d'eau est injecté et entraîné par une solution de carbonates et de bicarbonates dans une colonne chromatographique (échange d'anions). Les anions présents dans l'échantillon sont séparés en fonction de leur affinité relative pour le matériel de la colonne. Ils sont identifiés à partir de leur temps de rétention et dosés à l'aide d'un détecteur conductivimétrique. La conductivité mesurée est proportionnelle à la concentration de chaque anion dans l'échantillon. La limite de détection (LDM) est de 0,3 mg/l pour les sulfates (CEAEQ, 2010b).

- Carbone organique dissous (COD)

La concentration du carbone organique dissous est déterminée par détection à infrarouge. L'échantillon contenant des composés carbonylés est introduit dans un tube chauffé à 680 °C qui contient un catalyseur agissant comme oxydant. Les composés de combustion et de dégradation sont sous forme de CO_2 , et sont analysés par détection infrarouge et quantifiés par comparaison à une courbe d'étalonnage. Le carbone organique dissous (COD) fait référence au carbone organique non volatile, qui est mesuré en acidifiant l'échantillon au préalable à l'aide de l'acide chlorhydrique 1N et en y faisant barboter de l'air de qualité ultrapure. La limite de détection est 0,05 mg/l C (CEAEQ, 2011c).

6) Méthodes d'analyses pour les sédiments

a. Composés inorganiques

À l'exception de l'argent, l'échantillon est homogénéisé et séché à 105 °C puis minéralisé à chaud avec de l'acide nitrique 50 %, du peroxyde d'hydrogène 30 % (V/V) et de l'acide chlorhydrique. La solution est ensuite filtrée et ajustée à un volume de 100ml. Pour l'argent, l'échantillon est minéralisé à chaud avec une solution d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique, laquelle est ensuite filtrée et ajustée à un volume de 100ml. Les métaux sont dosés par spectrométrie d'émission au plasma d'argon induit par radiofréquence et détection par spectrométrie de masse (ICP-MS). L'échantillon est entraîné dans un plasma où les métaux y sont atomisés et ionisés à des températures pouvant atteindre 10 000 K. Par la suite, les métaux ionisés sont dirigés dans un spectromètre de masse où ils sont séparés selon leur masse/charge. Les concentrations des éléments sont déterminées en comparant les intensités respectives de l'échantillon et des solutions étalons. Les résultats sont rapportés par poids sec. La limite de détection (LDM) de la méthode pour chaque élément est indiquée dans le Tableau 19 (CEAEQ, 2011d).

Tableau 19 Limite de détection (LDM) pour les métaux et les éléments majeurs dans les sédiments

Élément	LDM (mg/kg)	Élément	LDM (mg/kg)	Élément	LDM (mg/kg)
Ag	3	Cr	1,0	Ni	1,0
Al	15	Cu	2,0	Pb	1,0
As	0,2	Fe	10	Sb	5,0
Be	0,1	Hg	0,25	Se	0,7
Ba	2	Mg	3	Sr	3
B	10	Mn	1,0	U	0,5
Ca	15	Mo	0,5	V	1,0
Cd	0,25	Na	10	Zn	4
Co	1,0				

b. Carbone organique total

Le soufre total est déterminé par combustion et dosage par spectrométrie infrarouge. L'échantillon est préalablement séché à 105 °C et placé dans un bateau. Par la suite, celui-ci est inséré dans une fournaise à haute température en présence d'oxygène afin de dégrader la matière en bioxyde de soufre. Le gaz (SO₂) produit est acheminé vers le détecteur à infrarouge. Un système informatisé calcule et affiche la concentration du soufre total présent dans l'échantillon. La limite de détection (LDM) est de 50 mg/kg de S. Les résultats sont rapportés par poids sec (CEAEQ, 2010c).

c. Soufre total

Le soufre total est déterminé par combustion et dosage par spectrométrie infrarouge. L'échantillon est préalablement séché à 105 °C et placé dans un bateau. Par la suite, celui-ci est inséré dans une fournaise à haute température en présence d'oxygène afin de dégrader la matière en bioxyde de carbone et en bioxyde de soufre. Les gaz (CO₂ et SO₂) produits sont acheminés vers le détecteur à infrarouge. La limite de détection (LDM) est de 50 mg/kg de S. Les résultats sont rapportés par poids sec (CEAEQ, 2010c).

d. Perte de poids

Cette méthode permet de déterminer la perte de poids à 105 °C dans un échantillon solide. Pour la perte de poids, une portion de l'échantillon est séchée à 105 °C dans une capsule préalablement pesée. Après le séchage, le résidu est pesé à nouveau. La perte de poids à 105 °C est obtenue par différence des poids. La limite de détection (LDM) est de 0,8 % (CEAEQ, 2010d).

7) Méthodes d'analyses pour les macroinvertébrés benthiques et les poissons

Les macroinvertébrés benthiques recueillis sur un même site ont été regroupés par taxon et homogénéisés pour les analyses de mercure et de métaux extractibles totaux. Les poissons ont été analysés par groupe de trois spécimens. Les teneurs sont exprimées en poids sec (mg/kg).

a. Mercure

Les échantillons de tissus biologiques sont décomposés thermiquement dans une fournaise à température contrôlée et en présence d'oxygène. Les gaz de combustion sont ensuite traités dans un tube catalytique. Le mercure est amalgamé par la suite sur un support en or. Après désorption par chauffage, le mercure est dosé par spectrométrie UV à 253,7 nm à l'aide de deux cellules de sensibilité différentes placées en série. Le signal est mesuré dans chaque cellule. La cellule avec un parcours court permet de doser les hautes concentrations de mercure. Lorsque l'absorbance dans la cellule à parcours long (basse concentration) dépasse 0,8 unité d'absorbance, la mesure est automatiquement réalisée avec la cellule à parcours court (haute concentration). La limite de détection (LDM) est de 0,01 mg/kg Hg (CEAEQ, 2011e).

b. Autres composés inorganiques

La concentration totale des métaux extractibles dans les tissus biologiques est déterminée par spectrométrie de masse à source ionisante au plasma d'argon après digestion à l'acide nitrique et à l'acide chlorhydrique. Dans une première étape, l'échantillon est séché et homogénéisé. Il est par la suite minéralisé à l'aide d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique dans un bloc digesteur.

Dans une seconde étape, le dosage est effectué à l'aide d'un spectromètre de masse à source ionisante au plasma d'argon (ICP-MS). L'échantillon est entraîné dans un plasma d'argon par l'intermédiaire d'une pompe péristaltique et d'un nébuliseur. Les métaux contenus dans l'échantillon sont atomisés et ionisés dans le plasma. Les ions produits sont ensuite introduits dans la chambre du spectromètre de masse, où ils sont dirigés par une lentille ionique chargée vers un quadropôle et où les métaux ionisés seront séparés selon leur ratio masse /charge.

La concentration d'un élément, à une masse spécifique, est déterminée par comparaison des quantités d'ions captés dans l'échantillon et dans les solutions étalons. Les résultats sont rapportés par poids sec. La limite de détection de la méthode (LDM) pour chaque élément est donnée dans le tableau 20 (CEAEQ, 2012).

Tableau 20 Limite de détection lors de l'analyse des composés inorganiques

Élément	LDM (mg/kg)	Élément	LDM (mg/kg)	Élément	LDM (mg/kg)
As	0,02	Cu	0,02	Pb	0,0005
Ba	0,001	Fe	0,2	Se	0,05
Cd	0,009	Mn	0,004	Sr	0,005
Co	0,0006	Mo	0,0006	V	0,04
Cr	0,003	Ni	0,005	Zn	0,06

* : Poids sec

RÉFÉRENCES DES MÉTHODES D'ANALYSE

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2008. *Détermination des métaux dans l'eau : méthode par spectrométrie au plasma d'argon*, MA. 203 – Mét. 3.2, Rév. 2, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 19 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2009. *Détermination des nitrates et des nitrites dans l'eau : méthode colorimétrique automatisée avec le sulfate d'hydrazine et le N.E.D.*, MA. 303 – NO₃ 1.1, ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec, 12 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2010a. *Détermination de l'azote total Kjeldahl et du phosphore total : digestion acide – méthode colorimétrique automatisée*, MA. 300 – NTPT 1.1, rév. 2, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 16 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2010b. *Détermination des anions fluorure, chlorure et sulfate dans l'eau : dosage par chromatographie ionique avec détecteur conductivimétrique*, MA. 303 – Anions 1.0, rév. 2, MA. 303 – Anions 1.0, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 10 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2010c. *Détermination du carbone et du soufre : méthode par combustion et dosage par spectrophotométrie infrarouge*, MA. 310 – CS 1.0, rév. 1, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 8 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2010d. *Détermination des solides totaux et des solides totaux volatils : méthode gravimétrique*, MA. 100 – S.T. 1.10, rév. 1, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 13 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2011a. *Détermination des métaux à l'état de trace en conditions propres dans l'eau : méthode par spectrométrie d'émission au plasma d'argon et détection par spectrométrie de masse*, MA. 203 Mét. Tra. 1.0, rév. 4, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 21 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2011b. *Détermination du phosphore total dans les eaux naturelles par minéralisation au persulfate : méthode colorimétrique automatisée et procédures adaptées pour le phosphore de faible concentration et à l'état de trace*, MA. 303 – P 5.2, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 16 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2011c. *Détermination du carbone inorganique dissous, du carbone organique dissous et du carbone organique total : méthode par détection infrarouge*, MA. 300 – C 1.0, rév. 3, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 11 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2011d. *Détermination des métaux : méthode par spectrométrie de masse à source ionisante au plasma d'argon*, MA. 200 – Mét. 1.2, rév. 1, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 32 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2011e. *Détermination du mercure dans les tissus biologiques et les sédiments par décomposition thermique : dosage par photométrie UV*, MA. 207 – Hg 2.0, rév. 3, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 12 p.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 2012. *Détermination des métaux dans les tissus animaux : méthode par spectrométrie de masse à source ionisante au plasma d'argon après digestion à l'acide nitrique et chlorhydrique*. MA. 207-Mét 2.0, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.

Environnement Canada et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 2007. *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration*. 39 pages.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 2009. *Critères de qualité de l'eau de surface*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, ISBN 978-2-550-57559-7 (PDF), 506 p., et 16 annexes [En ligne] [<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/>] (Consulté le 12 janvier 2012).

Annexe 3 Données brutes

Tableau 21 Concentrations des éléments nutritifs dans les échantillons d'eau non filtrée au site minier East Sullivan et au lac Fortmac

Station	Site	COD	NO ₂ - NO ₃	P-total	SO ₄	Azote total Kjeldahl
		(mg/l C)	(mg/l N)	(mg/l P)	(mg/l)	(mg/l N)
1	East Sullivan, bassin Sud, bassin	18	0,15	0,033	460	4,3
2	East Sullivan, bassin Sud, bassin	18	0,13	0,031	460	4,4
3	East Sullivan, bassin Sud, bassin	20	0,12	0,033	460	4,4
4	East Sullivan, bassin Sud, rives	29	0,17	0,033	470	4,2
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	20	0,17	0,040	470	4,3
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	18	0,11	0,034	470	4,9
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	18	0,10	0,027	470	4,5
11	East Sullivan, bassin Est, rives	25	0,04	0,012	580	8,6
12	East Sullivan, bassin Est, rives	25	0,03	0,019	560	8,1
13	East Sullivan, bassin Est, rives	27	0,05	0,056	560	8,3
8	Lac Fortmac, rives	12	< 0,02	0,014	21	0,6
9	Lac Fortmac, rives	12	< 0,02	0,019	21	0,6
10	Lac Fortmac, rives	12	< 0,02	0,020	21	0,6
2 ¹	East Sullivan, bassin Sud, bassin	0,5	< 0,02	< 0,002	< 0,3	< 0,3
11 ¹	East Sullivan, bassin Est, rives	0,6	< 0,02	0,013	< 0,3	< 0,3
8 ¹	Lac Fortmac, rives	0,5	< 0,02	0,006	< 0,3	< 0,3
	Blanc de transport	0,3	< 0,02	< 0,002	< 0,3	< 0,3

¹ Blanc de terrain

Tableau 22 Concentration des éléments majeurs et des paramètres physicochimiques dans les échantillons d'eau non filtrée au site minier East Sullivan et au lac Fortmac

Station	Site	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	Dureté ² CaCO ₃ (mg/l)	Conductivité (µS/cm)	Oxygène dissous (mg/l)	Oxygène dissous (%)	pH	Température (°C)
1	East Sullivan, bassin sud, bassin	160	31	28	11	515	1035	9,96	115,7	8,24	22,5
2	East Sullivan, bassin sud, bassin	160	31	29	11	519	1040	10,4	120,9	8,37	22,8
3	East Sullivan, bassin sud, bassin	160	32	29	11	519	1037	10,4	121,3	8,41	22,8
4	East Sullivan, bassin sud, rives	170	33	30	11	548	1029	9,8	110,7	7,94	21,3
5	East Sullivan, bassin sud, rives	170	32	30	11	548	1037	8,38	95,2	7,56	21,5
6	East Sullivan, bassin sud, rives	170	32	29	11	544	1057	9,77	114,4	7,97	23
7	East Sullivan, bassin sud, rives	170	32	29	11	544	1075	9,7	114,8	8,28	24
11	East Sullivan, bassin est, rives	160	40	37	15	552	1084	7,57	83,5	6,98	20
12	East Sullivan, bassin est, rives	140	36	34	14	490	1085	7,63	84,4	6,98	20
13	East Sullivan, bassin est, rives	120	28	29	10	419	1093	7,97	88,6	6,99	20,3
8	Lac Fortmac, rives	13	1	3	4	45	105	6,9	78,9	7,69	21,8
9	Lac Fortmac, rives	10	1	3	3	35	111	6,72	77,6	7,40	22,8
10	Lac Fortmac, rives	10	1	3	3	35	112	7,16	83,6	7,48	23
2 ¹	East Sullivan, bassin sud, bassin	<0,02	<0,03	<0,02	<0,02						
11 ¹	East Sullivan, bassin est, rives	<0,02	<0,03	<0,02	<0,02						
8 ¹	Lac Fortmac, rives	<0,02	<0,03	<0,02	<0,02						

¹ Blanc de terrain² La dureté en mg/l CaCO₃ = 2,497 [Ca, mg/l] + 4,118 [Mg, mg/l]

Tableau 23 Concentrations des métaux dissous et extractibles dans l'eau au site minier East Sullivan et au lac Fortmac

Station	Site	Ag µg/l	Al µg/l	As µg/l	Ba µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l
1	East Sullivan, bassin Sud, bassin	<0,002	3,4	0,31	24	<0,006	0,58	0,05	0,70	110
2	East Sullivan, bassin Sud, bassin	0,029	4,0	0,31	24	<0,006	0,52	0,06	0,56	110
3	East Sullivan, bassin Sud, bassin	<0,002	4,3	0,31	24	<0,006	0,57	0,05	0,63	110
4	East Sullivan, bassin Sud, rives	<0,002	3,9	0,32	27	<0,006	0,48	0,05	0,65	180
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	<0,002	3,3	0,36	28	<0,006	0,59	0,05	0,63	230
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	<0,002	4,6	0,28	23	<0,006	0,48	0,06	0,77	160
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	<0,002	8,9	0,30	25	<0,006	0,58	0,05	0,76	270
11	East Sullivan, bassin Est, rives	<0,002	19	0,41	40	0,061	11,0	0,09	3,3	1400
12	East Sullivan, bassin Est, rives	<0,002	11	0,41	39	0,032	6,6	0,10	2,2	660
13	East Sullivan, bassin Est, rives	<0,002	9,4	0,41	40	0,021	4,9	0,10	1,6	2000
8	Lac Fortmac, rives	0,005	81	1,50	9	0,010	0,22	0,34	3,4	810
9	Lac Fortmac, rives	0,006	84	1,50	9	0,012	0,22	0,34	2,9	760
10	Lac Fortmac, rives	0,005	82	1,50	9	0,011	0,21	0,33	3,0	770
2 ¹	East Sullivan, bassin Sud, rives	0,003	1,5	<0,03	<0,02	<0,006	<0,007	<0,04	0,09	<0,5
11 ¹	East Sullivan, bassin Est, rives	<0,002	0,4	<0,03	<0,02	<0,006	<0,007	<0,04	0,05	<0,5
8 ¹	Lac Fortmac, rives	<0,002	0,6	<0,03	<0,02	<0,006	<0,007	<0,04	<0,05	<0,5
	Blanc de transport	<0,002	0,5	<0,03	<0,02	<0,006	<0,007	<0,04	<0,05	<0,5

¹ Blanc de terrain

Tableau 23 (suite) Concentrations des métaux dissous et extractibles dans l'eau au site minier East Sullivan et au lac Fortmac

Station	Site	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	U	V	Zn
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1	East Sullivan, bassin Sud, bassin	11	0,013	2,2	<0,03	0,015	<0,2	370	0,011	0,12	1,5
2	East Sullivan, bassin Sud, bassin	28	0,016	2,3	<0,03	0,013	<0,2	360	0,010	0,11	1,7
3	East Sullivan, bassin Sud, bassin	47	0,013	2,2	<0,03	0,014	<0,2	360	0,009	0,12	1,6
4	East Sullivan, bassin Sud, rives	6	0,015	2,2	<0,03	0,014	<0,2	360	0,010	0,12	1,8
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	95	0,017	2,2	<0,03	0,015	<0,2	370	0,010	0,13	1,8
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	10	0,018	2,1	<0,03	0,013	<0,2	320	0,010	0,11	2,1
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	55	0,017	2,3	<0,03	0,014	<0,2	360	0,010	0,12	3,0
11	East Sullivan, bassin Est, rives	1100	0,027	6,3	<0,03	0,015	<0,2	420	0,003	0,18	47
12	East Sullivan, bassin Est, rives	1100	0,024	5,3	<0,03	0,015	<0,2	440	0,003	0,17	24
13	East Sullivan, bassin Est, rives	1000	0,032	4,6	<0,03	0,014	<0,2	430	0,003	0,15	16
8	Lac Fortmac, rives	15	0,570	0,8	2,40	0,094	<0,2	75	0,031	0,57	10
9	Lac Fortmac, rives	11	0,570	0,8	2,30	0,096	<0,2	76	0,032	0,57	10
10	Lac Fortmac, rives	8	0,580	0,8	2,40	0,098	<0,2	76	0,032	0,57	10
2 ¹	East Sullivan, bassin Sud, rives	0,005	0,014	<0,05	<0,03	<0,004	<0,2	0,07	0,001	<0,01	<0,3
11 ¹	East Sullivan, bassin Est, rives	<0,004	0,003	<0,05	<0,03	<0,004	<0,2	<0,05	<0,001	<0,01	<0,3
8 ¹	Lac Fortmac, rives	<0,004	0,009	<0,05	<0,03	<0,004	<0,2	<0,05	<0,001	<0,01	<0,3
	Blanc de transport	<0,004	<0,003	<0,05	<0,03	<0,004	<0,2	<0,05	<0,001	<0,01	<0,3

¹ Blanc de terrain

Tableau 24 Concentrations des métaux extractibles totaux dans l'eau au site minier East Sullivan et au lac Fortmac

Station	Site	Ag µg/l	Al µg/l	As µg/l	Ba µg/l	Cd µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l
1	East Sullivan, bassin Sud, rives	0,001	5,5	0,30	28	<0,006	0,80	0,06	0,60	310
2	East Sullivan, bassin Sud, rives	0,001	5,2	0,31	28	<0,006	0,83	0,06	0,60	300
3	East Sullivan, bassin Sud, rives	0,001	5,9	0,32	29	<0,006	0,95	0,07	0,63	320
4	East Sullivan, bassin Sud, rives	0,002	24	0,34	33	<0,006	1,30	0,07	0,76	540
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	0,002	18	0,37	35	0,007	1,40	0,07	0,85	1000
6	East Sullivan, bassin Sud, bassin	0,001	20	0,34	40	0,010	2,30	0,07	0,96	870
7	East Sullivan, bassin Sud, bassin	0,001	19	0,33	35	0,006	1,70	0,06	0,86	860
11	East Sullivan, bassin Est, rives	0,001	81	0,42	41	0,065	10,00	0,11	4,10	3000
12	East Sullivan, bassin Est, rives	0,002	14	0,41	41	0,041	6,70	0,13	2,40	2200
13	East Sullivan, bassin Est, rives	0,001	15	0,40	44	0,031	4,10	0,15	1,90	3300
8	Lac Fortmac, rives	0,009	100	1,60	9	0,016	0,26	0,52	3,30	930
9	Lac Fortmac, rives	0,010	100	1,60	9	0,014	0,32	0,44	3,30	990
10	Lac Fortmac, rives	0,011	100	1,60	9	0,013	0,30	0,50	3,50	1000
2 ¹	East Sullivan, bassin Sud, rives	<0,001	0,4	<0,03	<0,02	<0,006	<0,007	<0,04	<0,05	
11 ¹	East Sullivan, bassin Est, rives	<0,001	0,4	<0,03	<0,02	<0,006	<0,007	<0,04	<0,05	<1
8 ¹	Lac Fortmac, rives	<0,001	0,4	<0,03	<0,02	<0,006	<0,007	<0,04	<0,05	<1

¹ Blanc de terrain

Tableau 24 (suite) Concentrations des métaux extractibles totaux dans l'eau au site minier East Sullivan et au lac Fortmac

Station	Site	Mn µg/l	Mo µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Se µg/l	Sr µg/l	U µg/l	V µg/l	Zn µg/l
1	East Sullivan, bassin Sud, bassin	11	0,013	2,2	<0,03	0,015	<0,2	370	0,011	0,12	1,5
2	East Sullivan, bassin Sud, bassin	28	0,016	2,3	<0,03	0,013	<0,2	360	0,010	0,11	1,7
3	East Sullivan, bassin Sud, bassin	47	0,013	2,2	<0,03	0,014	<0,2	360	0,009	0,12	1,6
4	East Sullivan, bassin Sud, rives	6	0,015	2,2	<0,03	0,014	<0,2	360	0,010	0,12	1,8
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	95	0,017	2,2	<0,03	0,015	<0,2	370	0,010	0,13	1,8
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	10	0,018	2,1	<0,03	0,013	<0,2	320	0,010	0,11	2,1
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	55	0,017	2,3	<0,03	0,014	<0,2	360	0,010	0,12	3,0
11	East Sullivan, bassin Est, rives	1100	0,027	6,3	<0,03	0,015	<0,2	420	0,003	0,18	47
12	East Sullivan, bassin Est, rives	1100	0,024	5,3	<0,03	0,015	<0,2	440	0,003	0,17	24
13	East Sullivan, bassin Est, rives	1000	0,032	4,6	<0,03	0,014	<0,2	430	0,003	0,15	16
8	Lac Fortmac, rives	15	0,570	0,8	2,40	0,094	<0,2	75	0,031	0,57	10
9	Lac Fortmac, rives	11	0,570	0,8	2,30	0,096	<0,2	76	0,032	0,57	10
10	Lac Fortmac, rives	8	0,580	0,8	2,40	0,098	<0,2	76	0,032	0,57	10
2 ¹	East Sullivan, bassin Sud, rives	0,005	0,014	<0,05	<0,03	<0,004	<0,2	0,07	0,001	<0,01	<0,3
11 ¹	East Sullivan, bassin Est, rives	<0,004	0,003	<0,05	<0,03	<0,004	<0,2	<0,05	<0,001	<0,01	<0,3
8 ¹	Lac Fortmac, rives	<0,004	0,009	<0,05	<0,03	<0,004	<0,2	<0,05	<0,001	<0,01	<0,3
	Blanc de transport	<0,004	<0,003	<0,05	<0,03	<0,004	<0,2	<0,05	<0,001	<0,01	<0,3

¹ Blanc de terrain

Tableau 25 Concentrations des métaux extractibles totaux et autres éléments dans les sédiments du site minier East Sullivan et au lac Fortmac en juillet 2011

Station	Site	Al mg/kg	As mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Hg mg/kg
1	East Sullivan, bassin Sud, bassin	4000	4,6	430	34000	4,2	440	3	120	250000	<0,25
2	East Sullivan, bassin Sud, bassin	3100	5,8	170	110000	1,4	110	2	63	120000	<0,25
3	East Sullivan, bassin Sud, bassin	11000	29	130	1900	0,7	22	12	120	250000	<0,25
4	East Sullivan, bassin Sud, rives	11000	28	24	1000	<0,25	4	8	110	99000	<0,25
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	-	-	-		-	-	-	-	-	
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	7300	0,7	14	2000	<0,25	7	29	15	14000	<0,25
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	4200	1,1	29	1800	<0,25	3	15	16	25000	<0,25
11	East Sullivan, bassin Est, rives	57000	7,9	170	7200	3,0	27	9	660	220000	<0,25
12	East Sullivan, bassin Est, rives	12000	15	36	1600	<0,25	8	11	300	100000	<0,25
13	East Sullivan, bassin Est, rives	18000	31	100	1700	<0,25	8	17	190	90000	<0,25
8	Lac Fortmac, rives	16000	6,0	87	8300	1,1	7	33	58	13000	<0,25
9	Lac Fortmac, rives	13000	9,0	61	7800	2,1	9	31	99	13000	<0,25
10	Lac Fortmac, rives	16000	6,9	78	4800	1,3	11	43	74	19000	<0,25

Tableau 25 (suite) Concentrations des métaux extractibles totaux et autres éléments dans les sédiments du site minier East Sullivan et au lac Fortmac en juillet 2011

Station	Site	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn	S	COT
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%
1	East Sullivan, bassin Sud, bassin	600	1700	18000	<0,5	160	80	8	1,8	61	3	2600	7,3	21
2	East Sullivan, bassin Sud, bassin	2800	3100	9400	<0,5	200	24	5	0,9	120	3	1200	3,9	37
3	East Sullivan, bassin Sud, bassin	280	4400	710	1,1	92	10	22	3,3	12	25	480	0,5	5,2
4	East Sullivan, bassin Sud, rives	840	5700	280	2,4	1200	1	34	5,3	19	33	61	1,2	0,3
5	East Sullivan, bassin Sud, rives			-	-		-	-	-	-	-	-		-
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	370	5000	180	<0,5	58	20	<1	<0,7	6	20	37	0,02	0,8
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	830	2900	100	<0,5	85	6	<1	<0,7	5	12	55	0,3	9,1
11	East Sullivan, bassin Est, rives	170	1100	230	<0,5	53	14	6	<0,7	39	5	1700	1,8	15
12	East Sullivan, bassin Est, rives	1700	6500	340	2,7	93	6	15	1,5	7	23	250	1,0	0,8
13	East Sullivan, bassin Est, rives	440	7500	430	3,4	74	11	58	5,9	12	33	560	0,5	2,2
8	Lac Fortmac, rives	590	3000	230	1,1	250	20	52	<0,7	48	28	230	0,7	32
9	Lac Fortmac, rives	550	2400	220	1,2	220	19	110	<0,7	46	26	460	0,7	40
10	Lac Fortmac, rives	930	5400	260	0,6	230	26	91	<0,7	32	32	350	0,3	12

Tableau 26 Concentrations des métaux dans les invertébrés capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011

Taxon	Station	Site	Nb	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
				mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Caenis	2	East Sullivan, bassin Sud, bassin	2	0,58	11	0,35	4,8	0,02	18	2400
Caenis	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	12	1,1	7,7	0,28	4,0	0,29	13	6300
Caenis	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	1,1	21	0,23	5,9	0,21	12	12000
Caenis	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	2	0,42	15	0,26	6,2	0,04	29	4000
Caenis	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	0,28	7	0,27	5,8	0,09	15	14000
Caenis	8	Lac Fortmac, rives	8	1,5	3,4	1,20	2,1	0,75	19	1700
Caenis	9	Lac Fortmac, rives	18	1,8	4,6	0,29	1,5	0,85	15	2000
Caenis	10	Lac Fortmac, rives	6	2,0	5,9	0,68	2,6	1,4	13	2000
Chiro	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	23	1,7	36	0,20	3,3	0,35	44	13000
Chiro	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	14	0,30	14	0,13	1,6	0,10	7,4	4900
Chiro	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	1	0,40	140	0,24	21	<0,003	20	6100
Chiro	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	15	0,13	25	0,24	2,9	0,02	13	4200
Chiro	11	East Sullivan, bassin Est, rives	32	0,47	27	0,72	26	0,34	48	46000
Chiro	12	East Sullivan, bassin Est, rives	8	0,37	27	0,59	10	0,12	16	66000
Chiro	13	East Sullivan, bassin Est, rives	23	0,43	21	0,23	6,3	0,23	20	17000
Chiro	8	Lac Fortmac, rives	8	1,0	6,6	0,76	1,2	1,3	18	1800
Chiro	9	Lac Fortmac, rives	3	0,84	2,5	0,13	0,67	0,67	16	1200
Chiro	10	Lac Fortmac, rives	21	3,0	10	0,53	2,8	3,3	19	5800
Coryxidae	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	2	0,66	0,4	0,18	1,1	0,06	15	270
Coryxidae	11	East Sullivan, bassin Est, rives	3	0,18	1,0	0,14	1,1	0,05	73	1100
Coryxidae	12	East Sullivan, bassin Est, rives	6	0,61	1,3	0,099	0,93	0,20	58	1800
Coryxidae	13	East Sullivan, bassin Est, rives	15	0,12	1,8	0,13	0,68	0,04	33	1100

Tableau 26 (suite) Concentrations des métaux dans les invertébrés capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011

Taxon	Station	Site	Nb	As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg
Dytiscidae (L)	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	0,26	0,8	0,16	0,26	0,14	16	150
Dytiscidae (L)	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	2	0,10	3,2	0,079	0,36	0,01	6,5	820
Dytiscidae (L)	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	0,20	4,6	0,079	1,7	0,06	11	1500
Dytiscidae (L)	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	3	0,21	1,7	0,034	0,45	0,03	10	4500
Dytiscidae (L)	11	East Sullivan, bassin Est, rives	1	0,22	2,4	0,20	2,2	0,07	32	4700
Dytiscidae (L)	8	Lac Fortmac, rives	3	2,6	7,0	1,50	4,5	1,5	26	2700
Dytiscidae (L)	10	Lac Fortmac, rives	3	2,0	7,1	1,10	1,6	0,80	36	1700
Notonectidae	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	6	0,18	2,8	0,99	0,67	0,03	26	280
Notonectidae	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	3	0,15	1,4	1,30	0,35	0,03	19	180
Notonectidae	11	East Sullivan, bassin Est, rives	16	0,25	2,8	1,10	1,4	0,02	54	440
Notonectidae	8	Lac Fortmac, rives	14	0,55	5,6	1,50	0,78	0,09	31	260
Notonectidae	9	Lac Fortmac, rives	13	0,70	25	1,50	0,79	0,10	33	410
Notonectidae	10	Lac Fortmac, rives	12	0,67	16	1,40	0,53	0,05	32	340
Physa	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	21	1,3	26	0,16	5,7	0,24	89	6200
Physa	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	14	1,2	26	0,22	3,8	0,58	250	14000
Physa	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	18	1,7	18	0,14	2,5	0,27	110	4700
Physa	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	20	1,2	27	0,077	3,8	0,07	45	4200
Physa	8	Lac Fortmac, rives	2	3,9	21	0,85	4,3	0,57	100	1200
Physa	10	Lac Fortmac, rives	20	4,1	29	0,84	3,0	0,86	85	1400
Planorbidae	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	25	0,82	38	0,32	8,6	0,10	4,6	6500
Planorbidae	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	9	0,66	30	0,39	5,9	0,14	7,3	19000
Planorbidae	1	East Sullivan, bassin Sud, bassin	1	2,4	20	0,91	12	0,58	210	11000
Planorbidae	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	13	1,4	33	0,25	7,0	0,09	5,6	8100
Planorbidae	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	21	1,0	37	0,31	5,6	0,02	4,1	8800

Tableau 26 (suite) Concentrations des métaux dans les invertébrés capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac au lac Frontière en 2011

Taxon	Station	Site	Nb	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
				mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Planorbidae	8	Lac Fortmac, rives	2	3,0	24	0,43	4,7	0,26	64	3600
Planorbidae	9	Lac Fortmac, rives	18	4,2	16	0,33	2,1	0,37	6,8	2400
Planorbidae	10	Lac Fortmac, rives	19	2,9	19	0,60	2,4	0,26	5,9	1100
Zygoptère	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	0,31	1,2	0,10	0,88	0,05	18	610
Zygoptère	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	2	0,16	4,9	0,014	0,97	0,03	7,2	720
Zygoptère	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	0,20	3,1	0,048	1,2	0,01	16	630
Zygoptère	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	1	0,29	2,4	0,055	0,46	0,21	13	2900
Zygoptère	11	East Sullivan, bassin Est, rives	1	0,18	1,5	0,082	1,0	0,13	11	2000
Zygoptère	12	East Sullivan, bassin Est, rives	1	0,26	1,4	0,030	1,5	0,39	13	5800
Zygoptère	8	Lac Fortmac, rives	2	0,82	0,6	0,18	0,32	0,09	16	250
Zygoptère	9	Lac Fortmac, rives	2	3,2	11	1,00	6,9	2,0	27	3500
Zygoptère	10	Lac Fortmac, rives	4	1,1	1,5	0,26	0,95	0,18	20	390
Prosobranches	9	Lac Fortmac, rives	12	6,1	34	1,00	4,4	0,45	130	4000

Tableau 26 (suite) Concentrations des métaux dans les invertébrés capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011

Taxons	Station	Site	Nb	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Pb mg/kg	Se mg/kg	Sr mg/kg	U mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Caenis	2	East Sullivan, bassin Sud, bassin	2	1300	0,16	0,11	<0,05	1,3	0,021	<0,04	750
Caenis	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	12	490	0,20	1,1	5,1	2,7	0,009	0,53	150
Caenis	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	960	0,18	0,39	<0,05	5,1	0,040	0,25	280
Caenis	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	2	1300	0,11	0,03	<0,05	1,9	0,021	<0,04	160
Caenis	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	440	0,11	0,21	<0,05	2,5	0,013	0,09	310
Caenis	8	Lac Fortmac, rives	8	110	0,96	5,3	<0,05	2,9	0,049	1,2	590
Caenis	9	Lac Fortmac, rives	18	110	0,71	7,4	<0,05	3,7	0,053	1,8	200
Caenis	10	Lac Fortmac, rives	6	320	0,72	5,7	<0,05	3,4	0,047	1,8	380
Chiro	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	23	3300	0,37	2,1	9,3	13	0,009	1,4	150
Chiro	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	14	790	0,16	0,16	<0,05	2,4	<0,005	0,08	220
Chiro	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	1	18000	0,073	0,06	<0,05	12	0,007	<0,04	150
Chiro	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	15	2400	0,042	0,06	<0,05	3,1	<0,005	<0,04	290
Chiro	11	East Sullivan, bassin Est, rives	32	1800	0,22	0,64	2,8	13	0,020	0,34	350
Chiro	12	East Sullivan, bassin Est, rives	8	600	0,48	0,55	<0,05	15	0,014	0,11	1300
Chiro	13	East Sullivan, bassin Est, rives	23	68	0,29	0,47	0,72	18	0,012	0,13	150
Chiro	8	Lac Fortmac, rives	8	150	0,53	8,7	<0,05	6,2	0,066	1,3	590
Chiro	9	Lac Fortmac, rives	3	62	0,30	10	<0,05	3,7	0,029	0,79	80
Chiro	10	Lac Fortmac, rives	21	250	0,66	14	<0,05	7,8	0,140	3,5	740
Coryxidae	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	2	37	0,29	0,18	<0,05	1,2	0,030	<0,04	140
Coryxidae	11	East Sullivan, bassin Est, rives	3	21	0,34	0,07	0,11	2,2	<0,005	<0,04	190
Coryxidae	12	East Sullivan, bassin Est, rives	6	35	0,30	0,27	<0,05	2,8	0,005	0,04	160
Coryxidae	13	East Sullivan, bassin Est, rives	15	20	0,26	0,02	<0,05	2,1	<0,005	<0,04	160

Tableau 26 (suite) Concentrations des métaux dans les invertébrés capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011

Taxon	Station	Site	Nb	Mn	Mo	Pb	Se	Sr	U	V	Zn
				mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Dytiscidae (L)	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	130	0,12	0,02	<0,05	4,7	<0,005	<0,04	140
Dytiscidae (L)	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	2	200	0,05	0,02	<0,05	1,7	<0,005	<0,04	550
Dytiscidae (L)	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	480	0,13	0,12	<0,05	8,7	0,006	0,04	250
Dytiscidae (L)	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	3	61	0,031	0,07	<0,05	5,8	<0,005	<0,04	340
Dytiscidae (L)	11	East Sullivan, bassin Est, rives	1	110	0,15	0,06	<0,05	15	<0,005	<0,04	350
Dytiscidae (L)	8	Lac Fortmac, rives	3	280	0,53	9,9	<0,05	8,8	0,060	2,1	510
Dytiscidae (L)	10	Lac Fortmac, rives	3	250	0,43	4,8	<0,05	8,4	0,043	1,3	250
Notonectidae	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	6	56	0,75	0,05	<0,05	6,7	<0,005	<0,04	290
Notonectidae	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	3	43	0,41	0,08	<0,05	6,1	<0,005	<0,04	290
Notonectidae	11	East Sullivan, bassin Est, rives	16	48	0,41	0,02	1,8	8,9	<0,005	<0,04	200
Notonectidae	8	Lac Fortmac, rives	14	36	0,47	0,70	<0,05	4,6	0,005	0,14	230
Notonectidae	9	Lac Fortmac, rives	13	41	0,29	0,83	<0,05	9,5	0,006	0,15	240
Notonectidae	10	Lac Fortmac, rives	12	43	0,39	0,67	<0,05	5,0	<0,005	0,12	220
Physa	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	21	1200	0,30	0,27	100	130	0,039	0,18	51
Physa	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	14	520	0,36	0,83	190	120	0,033	0,30	53
Physa	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	18	340	0,29	0,81	100	150	0,027	0,59	38
Physa	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	20	1000	0,24	0,11	97	130	0,032	0,07	32
Physa	8	Lac Fortmac, rives	2	380	0,56	6,7	89	340	0,240	1,6	82
Physa	10	Lac Fortmac, rives	20	240	0,67	5,7	82	370	0,210	1,8	82
Planorbidae	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	25	2200	0,20	0,10	120	190	0,022	0,06	32
Planorbidae	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	9	1300	0,18	0,23	150	170	0,014	0,09	50
Planorbidae	1	East Sullivan, bassin Sud, bassin	1	3300	0,92	0,48	6,2	2,8	0,014	0,32	780
Planorbidae	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	13	1800	0,21	0,39	140	190	0,017	0,36	45
Planorbidae	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	21	2000	0,20	0,04	100	180	0,018	0,05	30

Tableau 26 (suite) Concentrations des métaux dans les invertébrés capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011

Taxon	Station	Site	Nb	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Pb mg/kg	Se mg/kg	Sr mg/kg	U mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Planorbidae	8	Lac Fortmac, rives	2	890	0,34	2,4	120	240	0,046	0,93	80
Planorbidae	9	Lac Fortmac, rives	18	300	0,34	7,4	140	410	0,056	3,7	53
Planorbidae	10	Lac Fortmac, rives	19	510	0,28	2,5	110	420	0,057	1,8	58
Zygoptère	4	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	230	0,11	0,14	0,91	3,4	<0,005	<0,04	120
Zygoptère	5	East Sullivan, bassin Sud, rives	2	500	0,057	0,01	<0,05	0,43	<0,005	<0,04	130
Zygoptère	6	East Sullivan, bassin Sud, rives	4	410	0,098	0,04	0,74	2,1	<0,005	<0,04	83
Zygoptère	7	East Sullivan, bassin Sud, rives	1	29	0,100	0,20	<0,05	16	<0,005	<0,04	170
Zygoptère	11	East Sullivan, bassin Est, rives	1	57	0,081	0,01	<0,05	1,5	0,007	<0,04	71
Zygoptère	12	East Sullivan, bassin Est, rives	1	44	0,100	0,07	<0,05	1,8	<0,005	0,72	290
Zygoptère	8	Lac Fortmac, rives	2	29	0,25	0,71	0,70	2,0	0,007	0,15	82
Zygoptère	9	Lac Fortmac, rives	2	670	0,78	12	<0,05	12	0,110	2,9	820
Zygoptère	10	Lac Fortmac, rives	4	120	0,28	1,1	0,90	2,2	0,009	0,34	100
Prosobranches	9	Lac Fortmac, rives	12	240	0,52	9,7	120	360	0,170	3,8	190

Tableau 27 Teneurs en métaux dans les poissons capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011

Station	Site	Espèce	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,29	13	0,028	0,50	0,16	8,2	610
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,26	15	0,026	0,49	0,26	9,0	720
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,29	6,7	0,038	0,64	0,49	9,0	520
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,21	6,3	0,025	0,67	0,11	8,3	420
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,22	6,8	0,026	0,57	0,10	8,1	300
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,20	6,0	0,049	0,67	0,09	9,1	300
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,24	5,5	0,027	0,35	0,09	9,4	1500
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,23	4,4	0,037	0,33	0,07	9,7	1000
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines	0,17	2,3	0,040	0,77	0,99	7,3	710
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines	0,23	5,7	0,100	1,0	0,28	8,8	2200
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines	0,22	5,0	0,027	0,58	0,21	13	280
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines	0,18	2,7	0,081	1,3	0,16	5,8	1700
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines	0,13	3,5	0,092	2,0	1,2	7,7	2600
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines	0,24	3,2	0,056	1,0	0,22	7,0	1500
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines	0,26	3,0	0,038	0,61	1,3	7,8	1400
8	Lac Fortmac, rives	Chatte de l'est	0,81	3,0	0,044	0,20	0,13	4,8	160
8	Lac Fortmac, rives	Chatte de l'est	0,77	3,2	0,042	0,22	0,19	4,2	190
8	Lac Fortmac, rives	Chatte de l'est	0,97	5,4	0,098	0,56	1,0	6,6	710
20	Lac Frontière	Épinoche à cinq épines	0,48	3,6	0,17	0,22	0,29	5,9	260
20	Lac Frontière	Épinoche à cinq épines	0,49	2,7	0,18	0,21	0,29	7,7	360
20	Lac Frontière	Épinoche à cinq épines	0,39	4,2	0,15	0,15	0,21	7,2	360

Tableau 27 (suite) Teneurs en métaux dans les poissons capturés sur le site minier East Sullivan, au lac Fortmac et au lac Frontière en 2011

Station	Site	Espèce	Hg	Mn	Mo	Pb	Se	Sr	V	Zn
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines		180	0,087	0,05	6,6	24	<0,04	170
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,03	150	0,085	0,04	6,6	28	<0,04	150
5	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,03	140	0,086	0,04	7,8	33	<0,04	220
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,03	240	0,068	0,02	4,7	24	<0,04	130
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines		160	0,096	0,04	5,0	31	<0,04	160
6	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines		230	0,10	0,03	5,5	30	<0,04	160
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,03	45	0,088	0,05	7,1	26	<0,04	160
7	East Sullivan, bassin Sud, rives	Épinoche à cinq épines	0,03	67	0,10	0,04	6,0	21	<0,04	150
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines		48	0,079	3,2	7,5	29	<0,04	120
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines		48	0,089	2,1	7,6	33	<0,04	170
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines	0,03	34	0,076	0,99	7,9	35	<0,04	190
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines		89	0,064	0,05	6,7	25	<0,04	130
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines		170	0,080	0,24	8,1	25	<0,04	130
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines		59	0,077	0,04	7,0	26	<0,04	140
12	East Sullivan, bassin Est, rives	Épinoche à cinq épines	0,02	26	0,18	0,05	7,4	24	<0,04	120
8	Lac Fortmac, rives	Chatte de l'est		20	0,11	0,59	5,4	63	0,18	180
8	Lac Fortmac, rives	Chatte de l'est		20	0,10	0,52	6,0	63	0,28	190
8	Lac Fortmac, rives	Chatte de l'est		44	0,16	3,4	6,4	62	1,7	200
20	Lac Frontière	Épinoche à cinq épines	0,13	10	0,12	0,11	5,7	18	0,20	140
20	Lac Frontière	Épinoche à cinq épines	0,11	13	0,14	0,15	5,8	16	0,26	130
20	Lac Frontière	Épinoche à cinq épines	0,11	16	0,12	0,15	7,0	26	0,22	180