

Les métaux dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012



2015

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée sous la coordination de la Direction du suivi de l'état de l'environnement du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

Renseignements

Pour tout renseignement, vous pouvez communiquer avec le centre d'information du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

Téléphone : 418 521-3830

1 800 561-1616 (sans frais)

Télécopieur : 418 656-5974

Courriel : info@mddelcc.gouv.qc.ca

Internet : www.mddelcc.gouv.qc.ca

Référence à citer :

HÉBERT, S. 2015. *Les métaux dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-74729-1 (PDF), 19 p. et 2 annexes.

Dépôt légal – 2015

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2015

ISBN 978-2-550-74729-1 (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2015

Photo 1 : Rivière Harricana en aval d'Amos

(crédit photo : Catherine Marion)

Photo 2 : Rivière Bourlamaque en aval du ruisseau Manitou

(crédit photo : MDDELCC)

Photo 3 : Ruisseau Manitou avant le début des travaux de restauration entrepris en 2006

(crédit photo : MDDELCC)

Photo 4 : Filtration d'un échantillon sur le terrain

(crédit photo : MDDELCC)

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction :	Serge Hébert ¹
Analyses en laboratoire :	Nathalie Dassylva ² Steeve Roberge ²
Techniciennes de laboratoire :	Julie Falardeau ² Hélène Ferland ² Gertrude Guay ² Nathalie Villeneuve ²
Soutien technique :	Sylvie Legendre ¹ Manon Ouellet ¹ Francine Rochette ¹ René Therreault ¹
Révision scientifique :	Marc Sinotte ¹ Denis Laliberté ¹ Isabelle Guay ¹ Louis Jalbert ³
Graphisme :	Mona Frenette ¹
Traitement de texte :	Murielle Gravel ¹

¹ Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, édifice Marie-Guyart, 675, boulevard René-Lévesque Est, 7^e étage, Québec (Québec) G1R 5V7

² Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Complexe scientifique, 2700, rue Einstein, Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8

³ Direction générale de l'analyse et de l'expertise régionales – Région Abitibi-Témiscamingue, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 180, boul. Rideau, Rouyn-Noranda (Québec) J9X 1N9

RÉSUMÉ

Entre 2008 et 2011, le Ministère a produit un portrait de la présence des métaux dans 41 rivières du sud-ouest du Québec. Afin d'étendre le portrait à d'autres régions du Québec, le Ministère a réalisé en 2012 une caractérisation des métaux dans les rivières Bourlamaque et Harricana, en Abitibi, région où les activités minières sont importantes.

En 2012, les activités minières ainsi que les haldes et les parcs à résidus miniers présents dans le bassin versant de la rivière Bourlamaque engendraient une hausse de la conductivité, de la dureté et du pH des eaux de la rivière. Les apports en provenance des sites miniers étaient également responsables de la hausse des concentrations de cadmium, de cuivre, de plomb et de zinc. Dans la rivière Bourlamaque, les concentrations de ces métaux présentaient un risque potentiel pour la vie aquatique, ce qui n'était pas le cas dans la rivière Harricana, sauf pour le plomb à la tête de la rivière. Dans le cas du cuivre, les concentrations observées dans la rivière Bourlamaque présentaient un risque potentiel pour la vie aquatique, peu importe que l'on considère les critères de qualité établis en fonction de la dureté ou ceux établis à partir du modèle du ligand biotique (BLM). Dans la rivière Harricana, le risque pour la vie aquatique était beaucoup moins présent : les dépassements des critères pour la protection de la vie aquatique basés sur la dureté, tant chroniques qu'aigus, étaient de faible amplitude et, dans le cas du cuivre, aucun dépassement des critères établis à partir du BLM n'avait été observé. Dans certains cas, notamment lorsque le pH est faible et que les concentrations de carbone organique dissous sont élevées, l'utilisation du modèle BLM pourrait représenter une amélioration par rapport au modèle basé sur la dureté. Le modèle BLM nécessite toutefois la disponibilité de données concernant plusieurs paramètres physicochimiques (Ca, Mg, Na, K, SO₄, Cl, pH, COD, alcalinité et température).

Les concentrations des métaux dans la rivière Bourlamaque ont diminué d'une façon marquée depuis la fin des années 1990 en raison, notamment, de la restauration du site Manitou. Tout juste en aval de la confluence du ruisseau Manitou, la concentration médiane de la forme extractible des métaux est passée, entre 1999 et 2012, de 0,8 à 0,1 µg/l pour le cadmium, de 25 à 2,9 µg/l pour le cuivre, de 5 à 1,25 µg/l pour le plomb et de 190 à 56,5 µg/l pour le zinc.

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction.....	1
2	Matériel et méthodes.....	2
3	Résultats.....	7
3.1	Profils amont-aval.....	7
3.1.1	Paramètres physicochimiques.....	7
3.1.2	Métaux dissous et extractibles.....	9
3.2	Dépassements des critères de qualité.....	12
4	Discussion et conclusion	18
	Bibliographie	19

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Métaux et critères de qualité pour la protection de la vie aquatique.....	6
Tableau 2	Fréquence de dépassement des critères de qualité (effet chronique) des métaux dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012.....	13

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des stations d'échantillonnage dans les rivières Bourlamaque et Harricana.....	4
Figure 2	Bassin versant de la rivière Bourlamaque.....	5
Figure 3	Profil amont-aval du pH et de la conductivité dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012.....	7
Figure 4	Profil amont-aval de la dureté et des matières en suspension dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012.....	8
Figure 5	Profil amont-aval du COD dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012.....	8
Figure 6	Profil amont-aval des formes dissoutes et extractibles de l'aluminium dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012.....	9
Figure 7	Profil amont-aval des formes dissoutes et extractibles de cadmium et de cuivre dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012.....	11
Figure 8	Profil amont-aval des formes dissoutes et extractibles de plomb et de zinc dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012.....	12
Figure 9	Fréquence et amplitude de dépassement du critère de qualité pour le cadmium, le plomb et le zinc (protection de la vie aquatique – effet chronique).....	15

Figure 10	Fréquence et amplitude de dépassement des critères de qualité pour le cuivre (protection de la vie aquatique – effet chronique; critères calculés selon la dureté et selon le BLM)	16
Figure 11	Fréquence et amplitude de dépassement des critères de qualité pour le cuivre (protection de la vie aquatique – toxicité aiguë; critères calculés selon la dureté et selon le BLM)	17

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Localisation des stations d'échantillonnage.....	21
Annexe 2	Statistiques descriptives	22

1 Introduction

Entre 2008 et 2011, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a produit un portrait de la présence des métaux dans 41 rivières du sud-ouest du Québec (Duchemin et Hébert, 2014). De façon générale, les concentrations des métaux n'étaient pas préoccupantes. Les résultats obtenus mettaient en évidence l'influence de la géologie et de la pédologie sur les concentrations des métaux à l'embouchure des principaux bassins versants tributaires du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais. L'impact des activités humaines sur les concentrations des métaux semblait plutôt faible et était surtout perceptible aux stations qui drainaient des bassins versants à vocation agricole. La présence de métaux à l'embouchure des cours d'eau étudiés découlait principalement de la vulnérabilité des bassins versants aux processus d'altération de la roche mère et d'érosion des sols.

Afin d'étendre le portrait à d'autres régions du Québec, le Ministère a réalisé en 2012 une caractérisation des métaux dans les rivières Bourlamaque et Harricana, en Abitibi, région où les activités minières sont importantes. On y trouve plusieurs sites miniers, dont certains sont générateurs de drainage acide. Les parcs à résidus récents sont confinés et gérés selon la réglementation en vigueur. Il peut cependant y avoir des sites miniers qui ont été exploités avant la mise en place de la réglementation et qui présentent encore des résidus non confinés.

En 1999 et 2000, le Ministère avait réalisé une étude sur la qualité de l'eau de la rivière Bourlamaque afin de cerner l'ampleur et l'étendue des problèmes de ce cours d'eau (Berryman et Jalbert, 2004). L'étude concluait que la rivière Bourlamaque était en fort mauvais état et qu'elle recevait des eaux acides et chargées en métaux provenant de parcs à résidus miniers abandonnés. À la hauteur du site minier East Sullivan, les concentrations de cuivre et de zinc dans la rivière augmentaient et dépassaient le seuil de toxicité aiguë des critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique. Les concentrations en cadmium dépassaient le seuil d'effet chronique. À environ 1,5 km en aval, le ruisseau Manitou, qui drainait le site minier du même nom, avait un impact majeur sur la rivière. L'acidité et les concentrations de métaux extrêmes dans ce ruisseau faisaient chuter le pH de la rivière Bourlamaque à une valeur aussi basse que 4,0 et faisaient augmenter ses teneurs en métaux à des niveaux qui dépassaient de beaucoup les critères de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique. À quelque 4 km en aval de la route 117, le pH de la rivière Bourlamaque revenait à des valeurs plus normales. De cet endroit jusqu'à l'embouchure de la rivière, la qualité générale de l'eau ne variait plus beaucoup : les concentrations de cuivre et de zinc étaient constamment supérieures aux critères de toxicité aiguë, les concentrations de cadmium étaient supérieures au critère d'effet chronique et les teneurs en plomb dépassaient occasionnellement les critères de toxicité aiguë et de toxicité chronique.

Des travaux majeurs de restauration du parc à résidus miniers Manitou ayant été entrepris en 2006, le deuxième objectif de la présente étude était de comparer la situation actuelle à celle qui prévalait à la fin des années 1990.

2 Matériel et méthodes

Un suivi a été réalisé à l'été 2012 pour documenter la présence des métaux dans les rivières Bourlamaque et Harricana. Des prélèvements d'eau ont été effectués à quatre stations localisées sur la rivière Bourlamaque, entre les lacs Marmette et Blouin, et à trois stations situées sur la rivière Harricana (figure 1 et annexe 1). Un prélèvement mensuel a été réalisé à chaque station entre les mois de mai et d'octobre inclusivement. Les échantillons destinés à l'analyse des métaux à l'état de trace ont été prélevés à gué en suivant le protocole en usage au Ministère (MDDELCC, 2014). La décontamination du matériel d'échantillonnage des métaux a été réalisée selon les règles de l'art (CEAEQ, 2014). La filtration des échantillons destinés à l'analyse des métaux dissous a été réalisée immédiatement après le prélèvement à l'aide d'une seringue décontaminée et d'un filtre de 0,45 µm. Les échantillons d'eau de surface ont été analysés au Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) selon les méthodes suivantes :

- Métaux extractibles : [MA. 203.Mét.Tra.ext 1.0](#)
- Métaux dissous : [MA. 203 - Mét. Tra. 1.1](#)
- Métaux majeurs : [MA. 203 - Mét. ICP-MS](#)
- Matières en suspension : [MA. 104 - S.S. 2.0](#)
- Carbone organique dissous : [MA. 300 – C 1.0](#)

Les limites de détection et la description des méthodes analytiques sont disponibles sur le site du CEAEQ à partir des hyperliens indiqués précédemment. La température, le pH et la conductivité ont été mesurés *in situ*. La dureté a été calculée selon l'équation suivante : dureté (mg/l CaCO₃) = 2,497 x [Ca] + 4,118 x [Mg], où [Ca] et [Mg] sont respectivement la concentration (en mg/l) de calcium et de magnésium. Lors du calcul des statistiques descriptives, les concentrations se situant sous la limite de détection ont été considérées comme étant égales à la moitié de celles-ci.

Les critères de qualité pour la protection de la vie aquatique (MDDEFP, 2013) ont été utilisés pour évaluer le risque potentiel d'effets toxiques à court terme (critères d'effets aigus) et à long terme (critères d'effets chroniques) sur la vie aquatique (tableau 1). Pour plusieurs métaux, les critères de qualité varient en fonction de la dureté. D'autres facteurs peuvent cependant influencer la toxicité des métaux. Al-Reasi *et al.* (2011) mentionnent que le carbone organique dissous (COD) est reconnu comme un facteur important susceptible d'atténuer la toxicité de certains métaux. Dans la présente étude, pour tous les métaux à l'exception du cuivre, la dureté *in situ* au moment de l'échantillonnage a été considérée pour calculer les critères de qualité. Dans le cas du cuivre, les concentrations ont été comparées aux critères établis en fonction de la dureté, mais également aux critères établis à partir du modèle du ligand biotique (BLM) qui tient compte de la température, du pH, de l'alcalinité et des concentrations de COD, Ca, Mg, Na, K, chlorures et sulfates pour évaluer la biodisponibilité du métal (USEPA, 2007). Dans les cas où les valeurs mesurées étaient inférieures aux valeurs pour lesquelles le modèle a été développé et calibré (température : 10 °C; pH : 4,9; chlorures : 0,32 mg/l; alcalinité : 1,99 mg/l), ces valeurs limites ont été utilisées. Par défaut, le contenu en acide humique a été fixé à 10 %. L'alcalinité et les sulfates n'ayant pas été analysés dans le cadre de la présente étude, des valeurs médianes par station, provenant d'une étude réalisée en 1999 et 2000 (Berryman et Jalbert, 2004), ont été utilisées. L'impact de l'utilisation de ces valeurs par défaut plutôt que de valeurs mesurées est négligeable, les critères de qualité calculés pour différentes valeurs d'alcalinité et concentrations de sulfates étant très semblables.

La fraction dissoute des métaux a été comparée aux critères de qualité exprimés en métaux dissous, car elle est plus représentative de la fraction biodisponible potentiellement toxique pour les organismes (USEPA, 2015). Lorsqu'aucun critère de qualité n'avait été défini pour la forme dissoute d'un métal, le critère établi pour la forme extractible était retenu. Le critère de qualité pour l'aluminium n'a pas été retenu, car il ne s'applique qu'à des eaux de dureté inférieure à 10 mg/l et de pH d'environ 6,5 et parce que des eaux de bonne qualité, notamment celles contenant de l'argile, peuvent présenter des concentrations supérieures à ce critère.

Dans les cas où les critères de qualité calculés étaient inférieurs aux bruits de fond naturels, ces derniers ont été utilisés comme critère de qualité (MDDEFP, 2013). Pour chaque métal, le bruit de fond correspond à la concentration maximale observée à la station ST-1 (étant donné le petit nombre d'échantillons, la concentration maximale plutôt que la médiane a été retenue). Conséquemment, les bruits de fond naturels du cadmium et du cuivre ont été utilisés comme critère de qualité aux stations ST-1 et ST-2, et le bruit de fond du plomb a été retenu comme critère pour l'ensemble des stations. Il faut noter que les bruits de fond définis dans le cadre de la présente étude sont du même ordre que les concentrations observées ailleurs au Québec dans des rivières où les activités minières et agricoles sont absentes (Duchemin et Hébert, 2014) et qu'ils ne sont pas influencés par les émissions de la fonderie Horne, à Rouyn-Noranda (Bonham-Carter *et al.*, 2005).

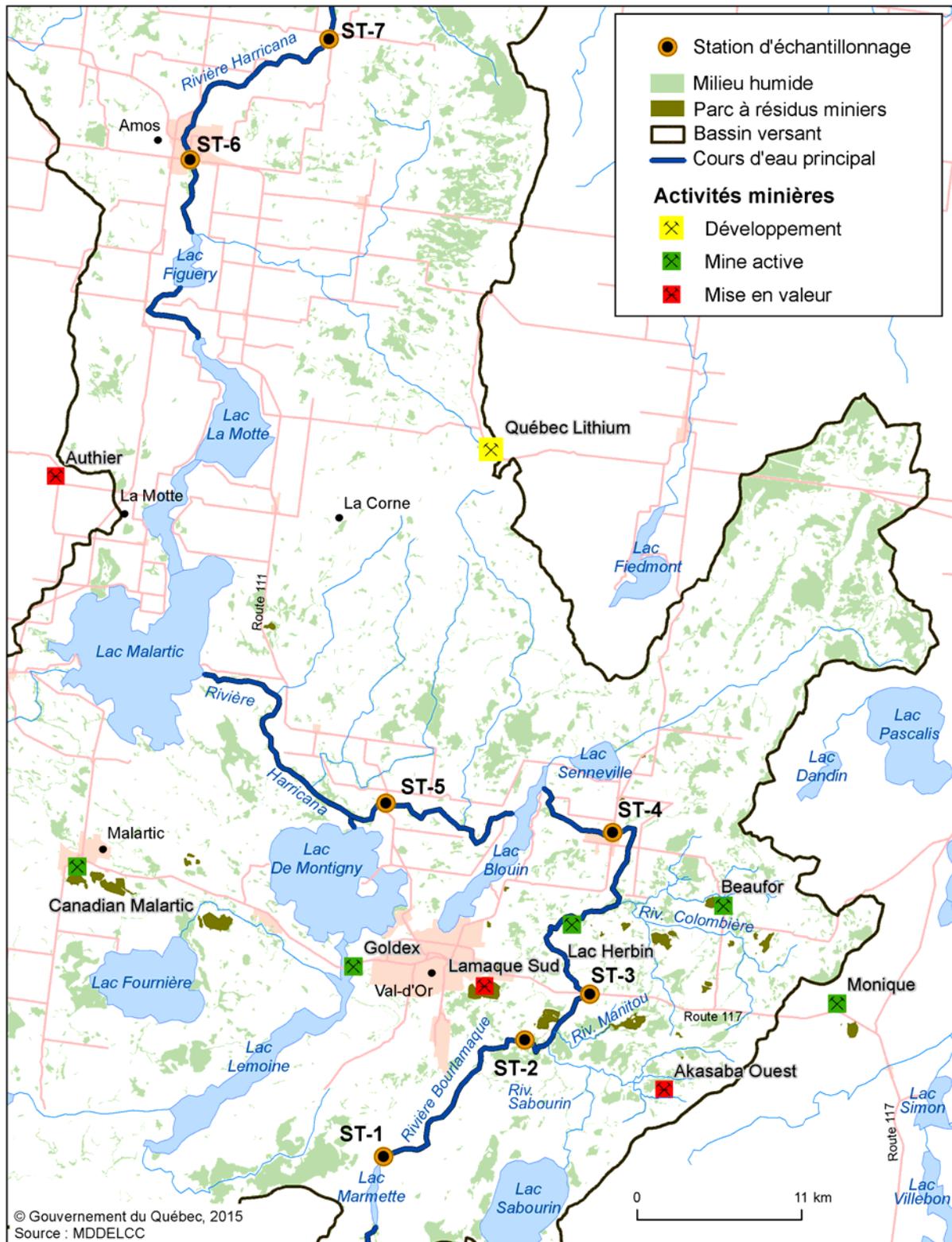


Figure 1 Localisation des stations d'échantillonnage dans les rivières Bourlamaque et Harricana

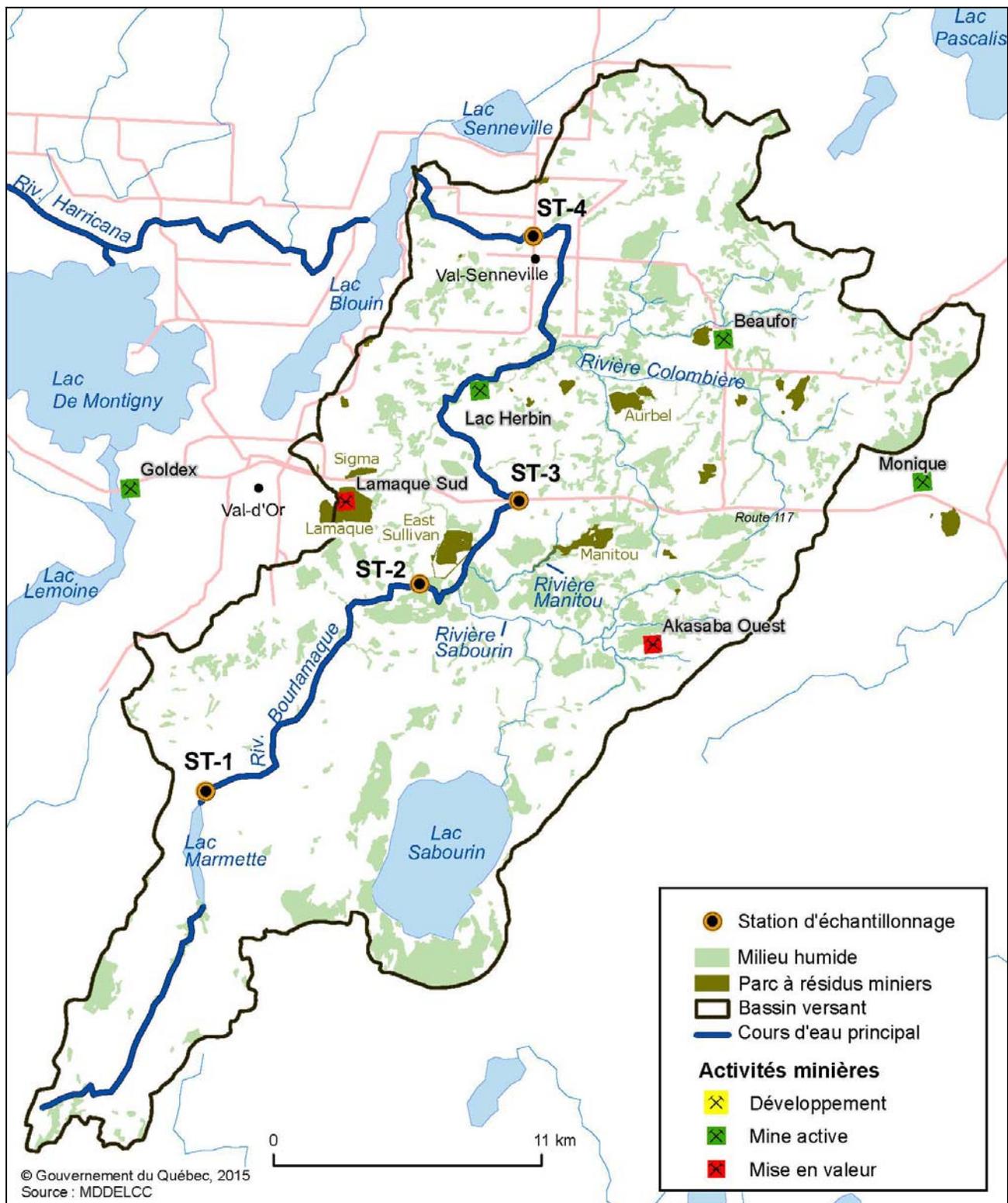


Figure 2 Bassin versant de la rivière Bourlamaque

Tableau 1 Métaux et critères de qualité pour la protection de la vie aquatique

Métaux		Critère (µg/l) effet chronique	Critère (µg/l) effet aigu	Critère (µg/l) effet chronique BLM	Critère (µg/l) effet aigu BLM
Ag	argent	0,1	0,033 – 0,801	–	–
As	arsenic	150	340	–	–
B	bore	5 000	28 000	–	–
Ba ¹	baryum	38 – 272	110 – 777	–	–
Be ²	béryllium	0,041 – 0,774	0,368 – 6,97	–	–
Cd ¹	cadmium	0,049 – 0,18	0,21 – 1,3	–	–
Co	cobalt	100	370	–	–
Cr ³	chrome	10,6	15,7	–	–
Cu	cuivre	1,3 – 6,1 ²	1,5 – 8,8 ²	0,34 – 35,2	0,55 – 56,7
Fe	fer	1 300	–	–	–
Mn ¹	manganèse	255 – 1 304	550 – 2813	–	–
Mo	molybdène	3 200	29 000	–	–
Ni ¹	nickel	7,4 – 36	67 – 321	–	–
Pb ¹	plomb	0,19 – 1,5	4,9 – 39,5	–	–
Se	sélénium	4,6	62	–	–
Sb	antimoine	240	1 100	–	–
Sr	strontium	21 000	40 000	–	–
U ⁴	uranium	14	320	–	–
V	vanadium	12	110	–	–
Zn ¹	zinc	16,8 - 81	16,8 - 81	–	–

Source : MDDEFP (2013)

¹ Les critères dépendent de la dureté de l'eau et correspondent à une dureté de 10 mg/l (dureté minimale pour le calcul des critères) et de 64 mg/l (dureté maximale observée).

² Pour le béryllium, les critères correspondent à des duretés de 20 mg/l (dureté minimale pour le calcul du critère du béryllium) et de 64 mg/l (dureté maximale observée).

³ Le critère associé au chrome hexavalent (CrVI) a été utilisé.

⁴ Pour l'uranium, le critère est valable pour des duretés variant entre 20 mg/l et 100 mg/l.

3 Résultats

3.1 Profils amont-aval

Les profils amont-aval des différents paramètres physicochimiques (pH, conductivité, dureté, COD et matières en suspension), des formes dissoutes et extractibles des principaux métaux (Al, Cd, Cu, Pb et Zn) ainsi que du ratio dissous/extractible sont présentés dans les sections suivantes.

3.1.1 Paramètres physicochimiques

La tête de la rivière Bourlamaque présente une eau acide avec un pH médian de 4,6 et 5,2 (ST-1 et ST-2, figure 3). Cette acidité est d'origine naturelle, les haldes à stériles et les parcs à résidus miniers étant situés plus en aval. À partir de la station 3 (première station en aval des parcs à résidus miniers East Sullivan et Manitou), le pH médian augmente d'une façon importante pour atteindre 6,2. À toutes les stations de la rivière Bourlamaque et de la rivière Harricana en amont d'Amos, le pH le plus faible et les concentrations de COD les plus élevées ont été observés en octobre, après de fortes pluies.

La conductivité est très faible à la tête de la rivière Bourlamaque et augmente d'une façon importante à partir de la station ST-3 (figure 3). Les apports en ions majeurs, en sulfates (Berryman et Jalbert, 2004) et en métaux en provenance des parcs à résidus miniers East Sullivan et Manitou seraient responsables de cette hausse.

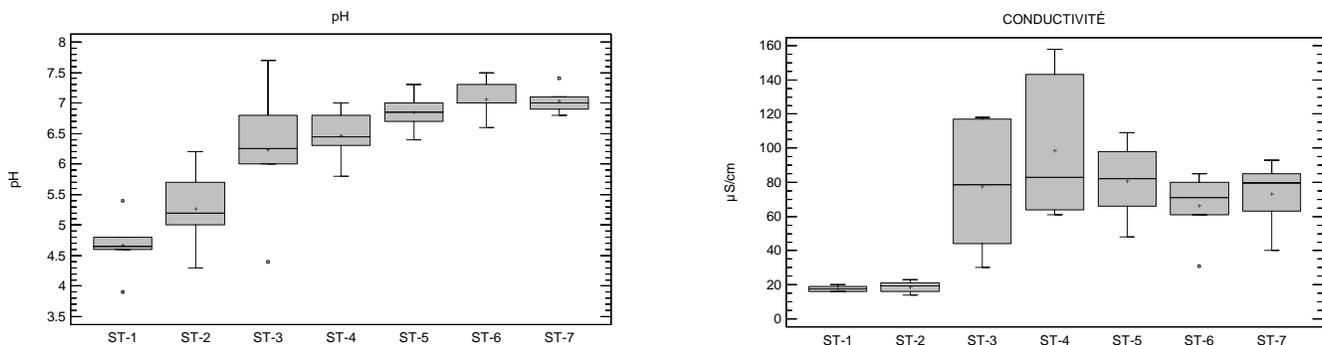


Figure 3 Profil amont-aval du pH et de la conductivité dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012

Le profil amont-aval de la dureté (figure 4) est similaire à celui de la conductivité. La dureté est très faible en tête de rivière, en amont des parcs à résidus miniers (ST-1). On note une légère influence du site East Sullivan à la station 2 et une augmentation importante de la dureté à partir de la station 3, soit en aval des sites East Sullivan et Manitou. Le traitement à la chaux des résidus miniers de la mine Goldex, qui sont acheminés par pipeline au parc Manitou, traitement visant la récupération des sulfures et la diminution du drainage acide, serait responsable de cette situation. Les concentrations de matières en suspension sont généralement faibles sur tout le parcours (figure 4). On note cependant une augmentation de la concentration médiane entre les stations 3 et 4, celle-ci passant de

3,5 à 6,0 mg/l. Dans la rivière Harricana, les concentrations sont plus élevées et présentent, à la station 7, une plus grande variabilité en raison des activités agricoles en amont.

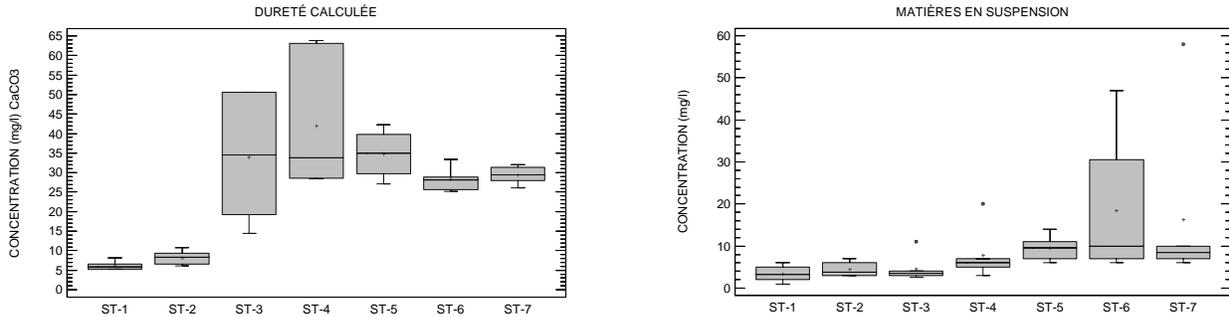


Figure 4 Profil amont-aval de la dureté et des matières en suspension dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012

La tête de la rivière Bourlamaque présente naturellement une eau riche en COD (figure 5). Ces concentrations élevées proviennent vraisemblablement des acides humiques que génèrent les milieux humides qui occupent une partie importante du bassin versant de la rivière Bourlamaque (figure 2). Les concentrations diminuent à partir de la station 3 en raison d'une augmentation de la concentration en ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et en métaux (Cu^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} et Cd^{2+}), ce qui a pour effet de diminuer la solubilité de la matière organique. En effet, les cations réagissent avec la matière organique en formant des liaisons avec les groupes anioniques des molécules organiques, ce qui diminue la charge superficielle et altère la conformation structurale des éléments adsorbés. De plus, les cations polyvalents peuvent lier entre eux des groupes fonctionnels négatifs des molécules organiques (« cation bridging ») et ainsi causer la précipitation du complexe métal-COD (Kalbitz *et al.*, 2000; Spitzzy et Leenheer, 1991). L'aluminium peut également être en cause dans la diminution observée du COD, car il a une affinité pour les sulfates (Crémazy *et al.*, 2013) et le sulfate d'aluminium ainsi formé favorise la précipitation du COD. Les concentrations plus faibles de COD observées dans la rivière Harricana (ST-5 à ST-7) s'expliquent par la présence de lacs qui favoriseraient la rétention de la matière organique et par des apports naturels plus faibles, les sols argileux y étant dominants (IRDA, 2015) et les milieux humides y occupant des superficies moins importantes.

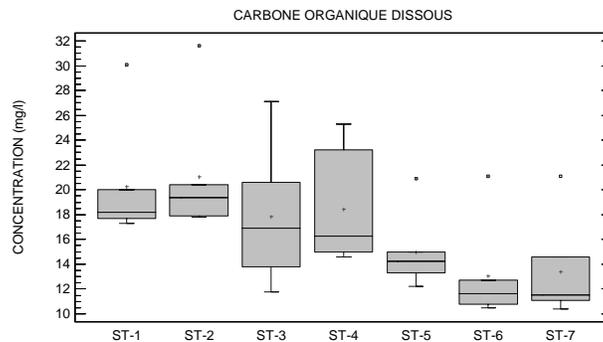


Figure 5 Profil amont-aval du COD dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012

Les statistiques descriptives concernant le pH, la conductivité, la dureté, les matières en suspension et le COD sont présentées à l'annexe 2.

3.1.2 Métaux dissous et extractibles

Les profils amont-aval des formes dissoutes et extractibles ainsi que du ratio dissous/extractible sont présentés pour l'aluminium, métal dont les apports ne proviennent pas des activités minières, ainsi que pour le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc, métaux pour lesquels des dépassements des critères de qualité liés à la présence des parcs à résidus miniers ont été observés (figures 6 à 8). Les statistiques pour l'ensemble des métaux analysés sont disponibles à l'annexe 2.

À la tête de la rivière Bourlamaque, l'aluminium est essentiellement sous forme dissoute (concentration médiane de 440 µg/l). Les activités minières ne constituent pas une source d'aluminium dans la Bourlamaque, les concentrations des formes dissoutes et extractibles diminuant de l'amont vers l'aval. Cependant, cette diminution se fait dans une proportion différente (figure 6) : le ratio dissous-extractible passe en effet de 84 % en amont à 51 % en aval. Dans la rivière Harricana, les concentrations médianes d'aluminium dissous diminuent légèrement et se stabilisent à 185 µg/l. On note cependant une hausse des concentrations médianes de l'aluminium extractible, celles-ci atteignant 1 350 µg/l en amont d'Amos (ST-6). La présence de sols argileux et le lessivage des sols agricoles présents en amont de la station ST-6 en seraient responsables.

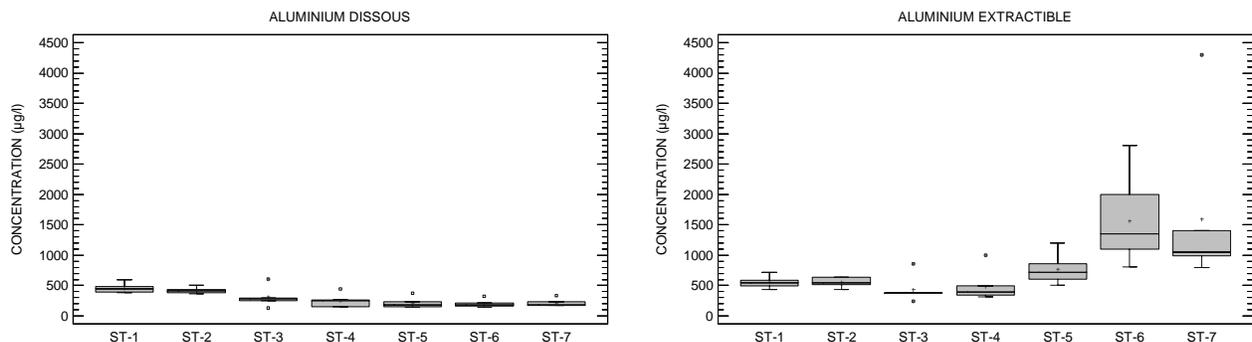


Figure 6 Profil amont-aval des formes dissoutes et extractibles de l'aluminium dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012

Dans la rivière Harricana, le ratio dissous-extractible de 27 % en amont diminue à 17 % en aval d'Amos. Dans la rivière Bourlamaque, la forme dissoute domine, alors que dans la rivière Harricana, c'est la fraction particulaire qui est la plus importante. La diminution des concentrations d'aluminium dissous et extractible observée dans la rivière Bourlamaque peut s'expliquer par la formation d'hydroxydes d'aluminium et par la précipitation qui en résulte (Sparling *et al.*, 1997), le tout causé par l'augmentation du pH lié au traitement des résidus miniers acheminés au parc Manitou. Le phénomène de précipitation du complexe métal-COD évoqué à la section précédente peut également contribuer à la baisse des concentrations d'aluminium dissous observée, celui-ci étant souvent complexé par les acides humiques et fulviques (Fortin et Campbell, 1999). Le fait que les concentrations d'aluminium dissous n'augmentent pas dans la rivière Harricana, malgré

l'augmentation de la forme particulaire, s'explique par le pH neutre de la rivière Harricana, qui demeure relativement stable jusqu'en aval d'Amos.

Les concentrations de cadmium, de plomb et de zinc présentent, tant sous forme dissoute que sous forme extractible, des profils semblables (figures 7 et 8). Dans la rivière Bourlamaque, on observe une augmentation des concentrations de l'amont vers l'aval, puis, de la tête de la rivière Harricana (station ST-5) jusqu'en aval d'Amos (ST-7), une diminution graduelle de celles-ci pour finalement se rapprocher des concentrations caractéristiques de l'amont de la rivière Bourlamaque. Dans le cas du cuivre (figure 7), les concentrations dans la rivière Harricana diminuent légèrement de l'amont vers l'aval, mais demeurent beaucoup plus élevées que ce qui était observé à la tête de la Bourlamaque.

L'augmentation des concentrations de cadmium, de cuivre, de plomb et de zinc dans la rivière Bourlamaque serait liée aux apports en provenance des parcs à résidus miniers East Sullivan, Manitou, Lamaque et Aurbel. La complexation de ces métaux avec la matière organique, de même que les processus de floculation et de précipitation causés par l'augmentation du pH n'engendrent pas, comme dans le cas de l'aluminium, une diminution des concentrations, les charges de ces métaux dans ce court segment de rivière étant trop importantes.

Dans la rivière Bourlamaque, le cadmium et le cuivre sont essentiellement sous forme dissoute, le ratio dissous-extractible médian étant toujours supérieur à 86 % (figure 7). Ce ratio diminue légèrement dans la rivière Harricana, mais la forme dominante demeure la forme dissoute. Le plomb est présent principalement sous forme dissoute à la tête de la rivière Bourlamaque, mais la forme particulaire augmente en aval des parcs à résidus miniers, le ratio dissous-extractible médian n'étant plus que de 62 % à la station aval (figure 8). Le zinc est principalement présent sous forme dissoute dans la Bourlamaque (ratios médians supérieurs à 90 %) et sous forme particulaire dans la rivière Harricana (figure 8). L'augmentation des formes particulières des métaux dans l'Harricana serait liée à la présence de sols argileux et aux apports en provenance des activités agricoles.

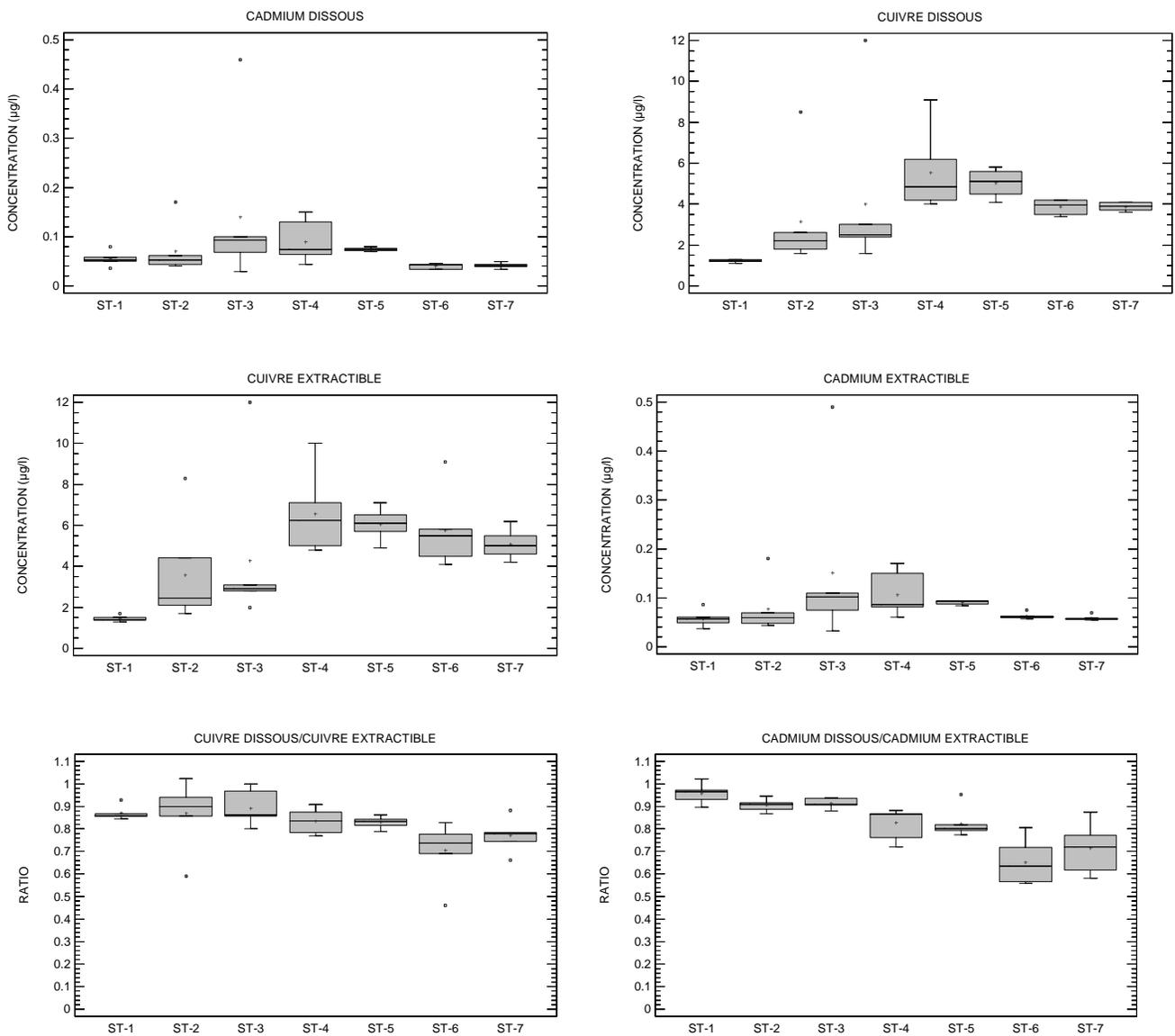


Figure 7 Profil amont-aval des formes dissoutes et extractibles de cadmium et de cuivre dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012

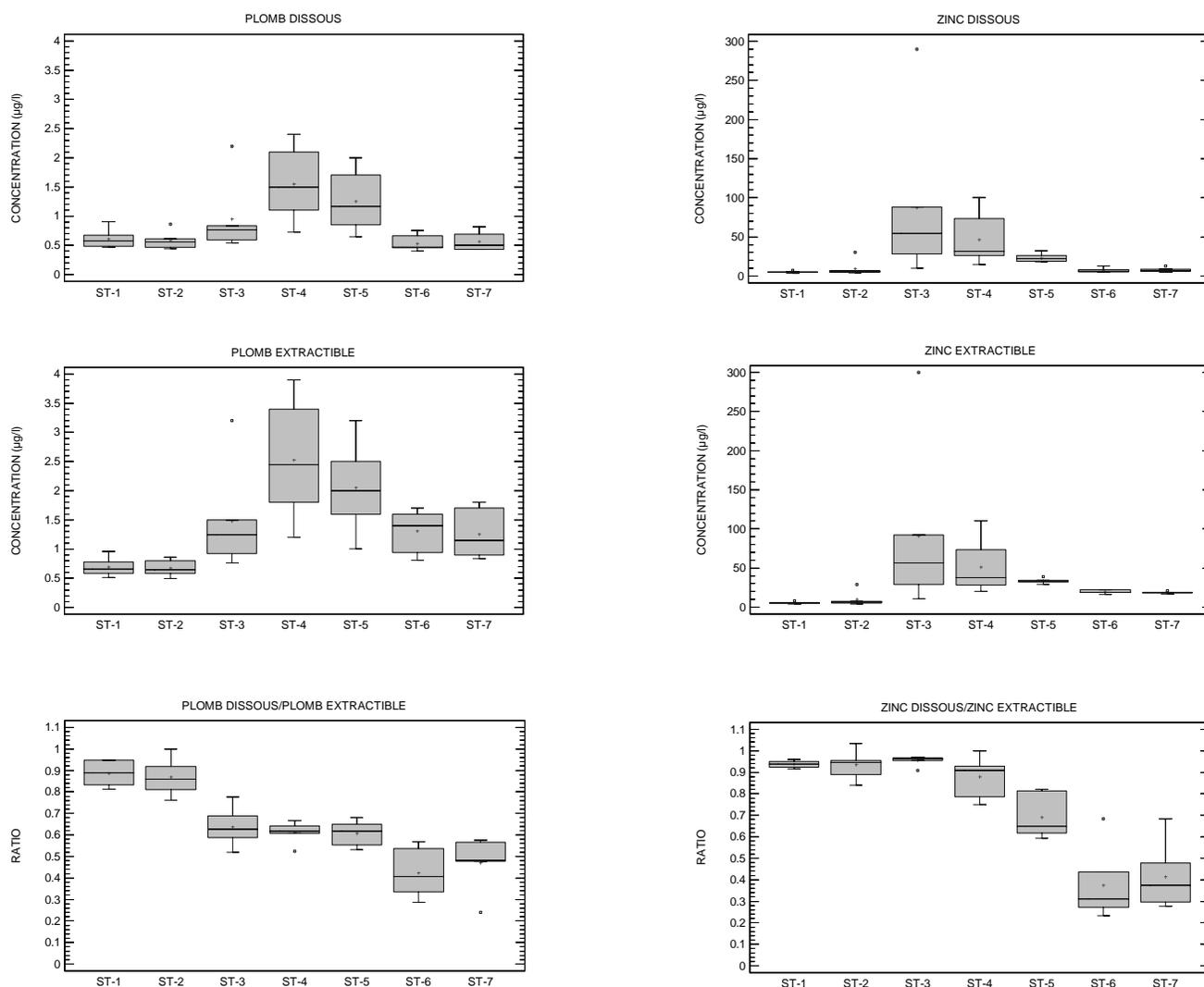


Figure 8 Profil amont-aval des formes dissoutes et extractibles de plomb et de zinc dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012

3.2 Dépassements des critères de qualité

Parmi les 20 métaux analysés pour lesquels des critères de qualité pour la protection de la vie aquatique sont disponibles, seuls le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc présentaient des dépassements des critères d'effet chronique et un seul métal, le cuivre, présentait des dépassements du critère d'effet aigu (figures 9 à 11).

À la station amont (ST-1), les critères d'effet chronique (calculés à partir de la dureté ou selon le BLM) étaient inférieurs au bruit de fond pour le cadmium, le cuivre et le plomb. À la station 2, les

bruits de fond définis à la station ST-1 ont été utilisés comme critères de qualité pour ces métaux, sauf pour le cuivre, lorsque les critères calculés selon le BLM étaient supérieurs au bruit de fond (ce qui s'est produit à deux reprises). À la station 2, située juste en aval du parc à résidu minier Orenada et d'un ruisseau drainant le secteur du puits de l'ancienne mine East Sullivan, on ne note aucun dépassement du critère d'effet chronique pour le plomb et un seul dépassement pour le cadmium et le zinc (tableau 2, figure 9). Ces dépassements ont été causés par une augmentation des concentrations à la suite d'une pluie importante quelques jours avant l'échantillonnage réalisé les 16 et 17 octobre 2012. Par contre, pour le cuivre, on observe un apport continu en provenance des sites mentionnés plus haut et un dépassement continu du bruit de fond (figure 10). L'amplitude moyenne de ces dépassements est de deux fois le critère. Si l'on considère les critères calculés selon le BLM, la situation est à peu de chose près la même, car, étant donné le faible pH, les critères sont encore plus faibles que ceux établis à partir de la dureté et c'est le bruit de fond qui a été utilisé pour quatre des six échantillons; pour les deux autres cas, les critères étaient supérieurs au bruit de fond à cause d'un pH et de concentrations de COD plus élevés.

Entre les stations 2 et 3, secteur de la rivière dans lequel se drainent les parcs à résidus miniers East Sullivan et Manitou, on note une hausse des concentrations et des fréquences de dépassement des critères d'effet chronique pour le cadmium, le plomb et le zinc (figure 9). Dans le cas du cuivre, on observe une hausse des concentrations (figure 7), mais une diminution de la fréquence de dépassement du critère (figure 10), le critère de qualité à la station 3 étant plus élevé en raison de l'augmentation de la dureté (figure 4). À la station 2, les concentrations ont été comparées au bruit de fond (1,5 µg/l), tandis qu'à la station 3, elles ont été comparées à un critère variant entre 1,71 et 5,01 µg/l. Que le critère de qualité du cuivre soit calculé selon la dureté ou selon le BLM, l'évolution de la fréquence de dépassement du critère entre les stations 2 et 3 suit le même patron, soit une diminution de 100 à 50 % dans le premier cas et une diminution de 83 à 33 % avec le critère BLM. Cependant, on doit noter qu'à la station 3, l'amplitude de dépassement est en moyenne de 4,5 fois le critère si l'on considère le critère BLM et de 1,8 fois le critère si l'on considère le critère calculé avec la dureté : le critère BLM est plus sévère que le critère dureté pour deux des six échantillons, en raison de leur faible pH.

Tableau 2 Fréquence de dépassement des critères de qualité (effet chronique) des métaux dans les rivières Bourlamaque et Harricana en 2012

	ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5	ST-6	ST-7
Cd (dureté)	–	1/6	2/6	1/6	0/6	0/6	0/6
Cu (dureté)	–	6/6	3/6	5/6	6/6	6/6	6/6
Cu (BLM)	–	5/6	2/6	1/6	0/6	0/6	0/6
Pb (dureté)	–	0/6	1/6	5/6	4/6	0/6	0/6
Zn (dureté)	–	1/6	4/6	2/6	0/6	0/6	0/6

Entre les stations 3 et 4, on observe pour le plomb et le cuivre une hausse des concentrations et des fréquences de dépassement des critères d'effet chronique (critères calculés en tenant compte de la dureté), et ce, malgré une hausse de la dureté et de la valeur des critères calculés (figures 9 et 10). Cette hausse des concentrations n'est pas surprenante, car c'est entre ces deux stations que se draine le territoire où sont situés les parcs à résidus miniers Lamaque, Sigma et Aurbel ainsi que les mines

du lac Herbin et de Beaufort. Dans le cas du cuivre, si l'on considère les critères de qualité calculés avec la dureté, il y a une hausse de 50 à 83 % de la fréquence de dépassement du critère entre les stations 3 et 4, mais avec le critère calculé selon le BLM, on observe une légère diminution de 33 à 17 % de la fréquence de dépassement entre ces deux stations. Un critère BLM plus élevé, essentiellement lié à l'augmentation du pH, en est la cause. À la station 4, l'amplitude de dépassement est de 4,2 fois le critère si l'on considère le critère BLM (dans ce cas-ci, il n'y a qu'un seul dépassement) et de 1,5 fois le critère si l'on considère le critère calculé avec la dureté (amplitude moyenne, car dans ce cas-ci, il y a cinq dépassements). À la station 4, le critère BLM est plus sévère que le critère dureté pour un seul des six échantillons, lequel présente d'ailleurs un pH très faible. Dans le cas du cadmium et du zinc, aucune augmentation des concentrations n'est observable et la fréquence de dépassement des critères diminue (figure 9) en raison de critères plus élevés liés à l'augmentation de la dureté. Les concentrations de métaux dissous observées dans la rivière Bourlamaque présenteraient un risque pour la vie aquatique. Cela demeure vrai dans le cas du cuivre, peu importe le modèle de critère utilisé.

Entre les stations 4 et 5, c'est-à-dire entre la section aval de la Bourlamaque et la tête de la rivière Harricana, les concentrations de cadmium et de cuivre sont assez semblables, mais diminuent légèrement dans le cas du plomb et du zinc (figures 7 et 8). Dans la rivière Harricana (ST-5 à ST-7), les concentrations de cadmium, de cuivre, de plomb et de zinc diminuent de l'amont vers l'aval d'une façon particulièrement importante entre les stations 5 et 6. La présence des lacs Malartic, La Motte et Figury pourrait favoriser la sédimentation des formes particulières de ces métaux. Dans la rivière Harricana, il n'y a aucun dépassement des critères d'effet chronique pour le cadmium et le zinc. Dans le cas du plomb, on observe encore des concentrations assez élevées et de fréquents dépassements (quatre échantillons sur six) du critère de qualité à la tête de la rivière (ST-5), avec une amplitude moyenne de dépassement de 1,7 fois le critère; plus en aval, il n'y a cependant aucun dépassement. Pour le cuivre, si l'on considère les critères de qualité calculés en tenant compte de la dureté, il y a des dépassements continus, mais de faible amplitude (de 1,2 à 1,4 fois le critère). Par contre, en utilisant le BLM, il n'y a aucun dépassement du critère d'effet chronique (figure 10) et les concentrations sont de trois à huit fois inférieures aux critères. Dans la rivière Harricana, les critères calculés selon le BLM sont moins sévères que ceux calculés avec la dureté en raison d'un pH neutre et de fortes concentrations de COD. Les deux modèles fournissent tout de même un signal comparable, car, en se basant sur les critères BLM, les concentrations de cuivre dissous observées dans la rivière Harricana ne présenteraient pas de risque pour la vie aquatique, alors qu'avec les critères établis à partir de la dureté, il existe un risque potentiel, mais réduit, vu la faible amplitude des dépassements.

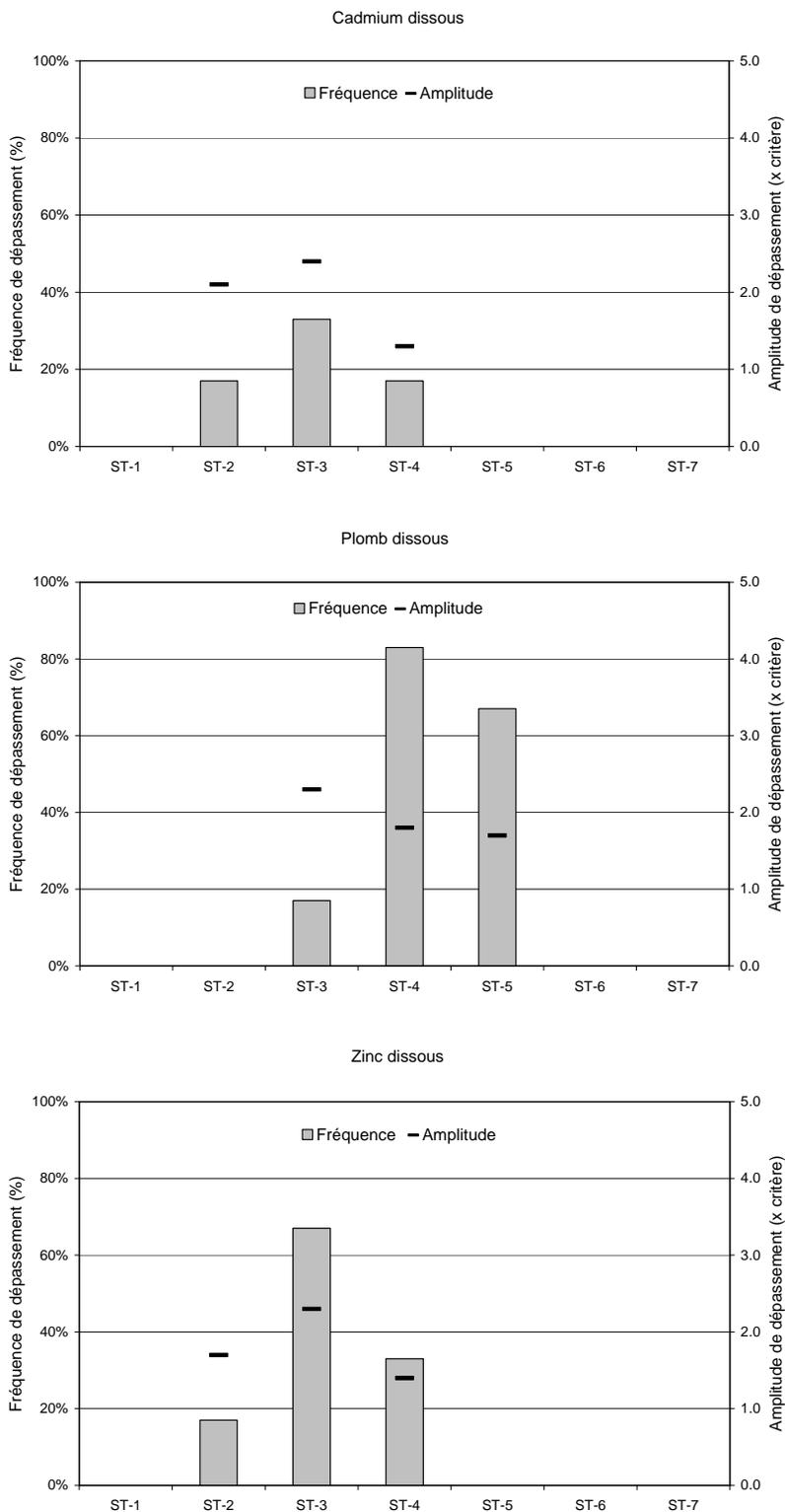


Figure 9 Fréquence et amplitude de dépassement du critère de qualité pour le cadmium, le plomb et le zinc (protection de la vie aquatique – effet chronique)

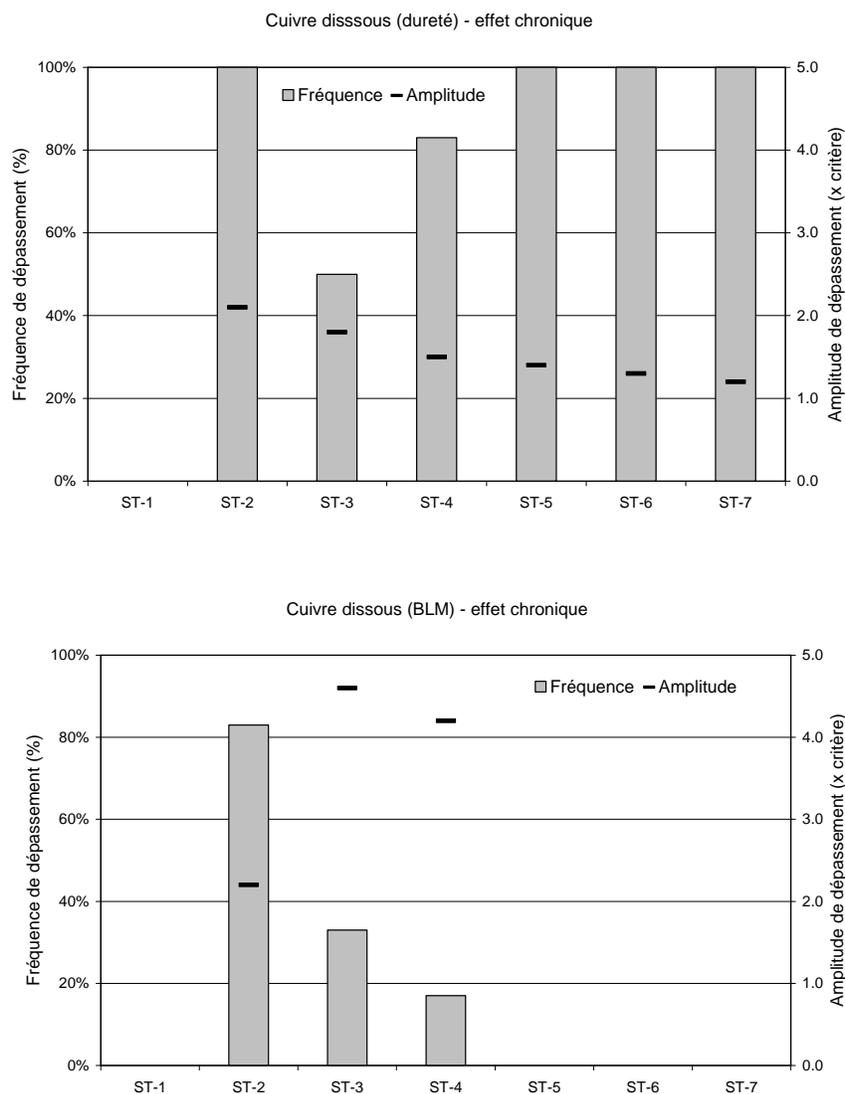


Figure 10 Fréquence et amplitude de dépassement des critères de qualité pour le cuivre (protection de la vie aquatique – effet chronique; critères calculés selon la dureté et selon le BLM)

Parmi tous les métaux analysés, seul le cuivre présente des dépassements du critère de toxicité aiguë (figure 11). En considérant le critère établi à partir de la dureté, la protection de la vie aquatique ne serait pas assurée dans la rivière Bourlamaque, la fréquence de dépassement du critère aigu étant toujours supérieure à 30 % avec des concentrations de 1,4 à 2 fois le critère en moyenne (stations 2, 3 et 4). Dans la rivière Harricana, les deux stations les plus en amont (stations 5 et 6) présentent également des dépassements du critère de toxicité aiguë, mais les concentrations sont à peine supérieures à celui-ci. En utilisant le critère calculé selon le BLM, il y aurait de fréquents dépassements à la station 2 de la rivière Bourlamaque, mais un seul dépassement aux stations 3 et 4,

dépassement de forte amplitude lié au faible pH résultant du coup d'eau du mois d'octobre. Dans la rivière Bourlamaque, que l'on utilise le critère basé sur la dureté ou le modèle BLM pour évaluer la situation, il y aurait un risque de toxicité aiguë pour la faune aquatique. Dans la rivière Harricana, en se basant sur le modèle BLM, il n'y a aucun dépassement du critère de toxicité aiguë et les concentrations sont de quatre à dix fois inférieures au critère de qualité. La toxicité du cuivre ne serait donc pas préoccupante dans la rivière Harricana. Si l'on considère les critères calculés avec la dureté, il existerait un risque potentiel, mais réduit, de toxicité aiguë en raison de la très faible amplitude des dépassements observés.

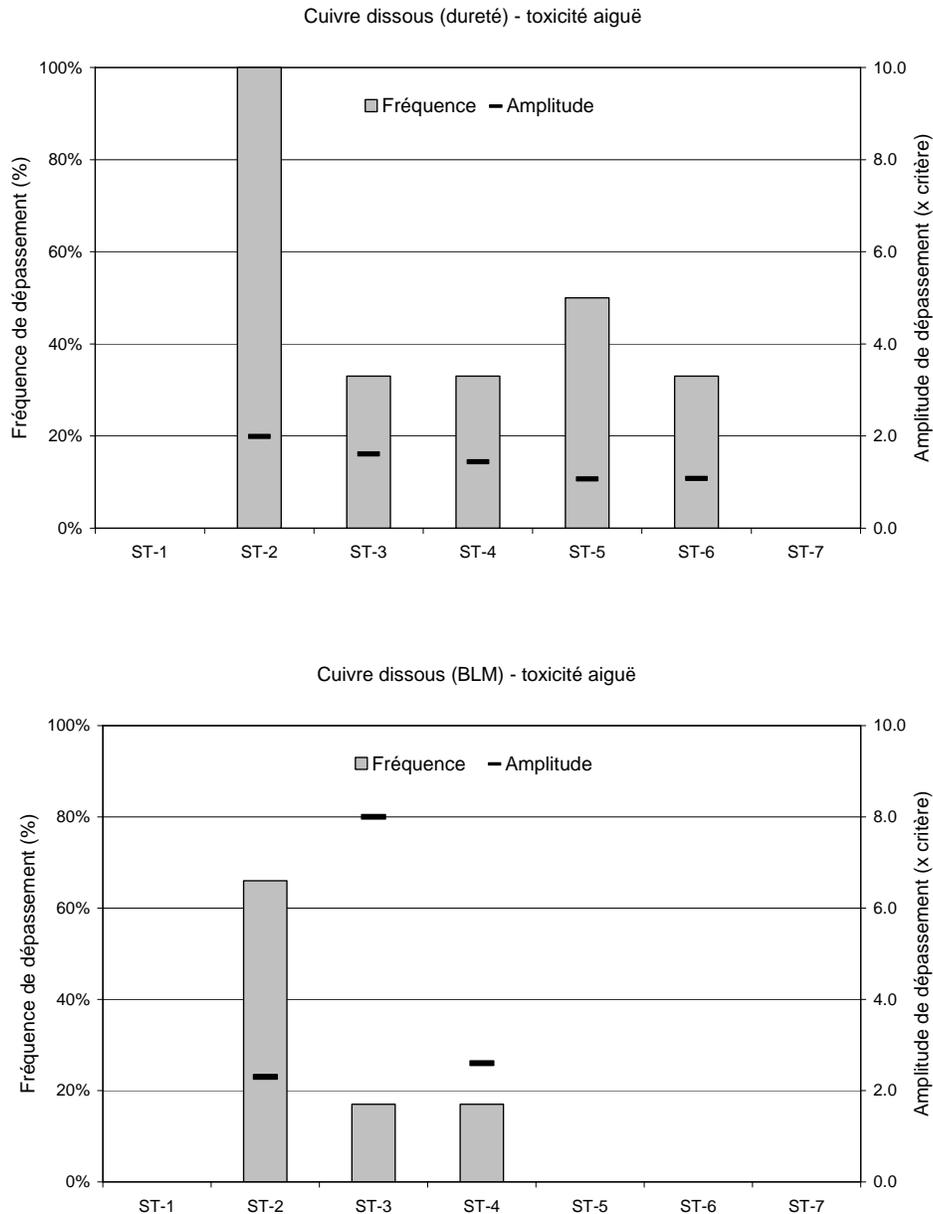


Figure 11 Fréquence et amplitude de dépassement des critères de qualité pour le cuivre (protection de la vie aquatique – toxicité aiguë; critères calculés selon la dureté et selon le BLM)

4 Discussion et conclusion

La présence de parcs à résidus miniers dans le bassin versant de la rivière Bourlamaque engendrerait une hausse de la conductivité, de la dureté et du pH des eaux de la rivière. Les apports à la rivière en provenance de ces parcs seraient également responsables d'une diminution des concentrations de carbone organique dissous découlant entre autres de la diminution de la solubilité de la matière organique et de la précipitation de complexes métal-COD (Kalbitz *et al.*, 2000; Spitzzy et Leenheer, 1991). La diminution des concentrations d'aluminium dissous et extractible observée dans la rivière Bourlamaque serait quant à elle liée à la formation d'hydroxydes d'aluminium et à la précipitation qui en résulte (Sparling *et al.*, 1997) ainsi qu'au phénomène de précipitation des complexes métal-COD, le tout causé par l'augmentation du pH. Les apports en provenance des parcs à résidus miniers seraient également responsables de la hausse des concentrations de cadmium, de cuivre, de plomb et de zinc. Les concentrations de ces métaux ont cependant diminué d'une façon marquée depuis la fin des années 1990 en raison notamment de la restauration du site Manitou entrepris en 2006. À la station 3, si l'on considère la forme extractible des métaux, la concentration médiane est passée, entre 1999 et 2012, de 0,8 à 0,1 µg/l pour le cadmium, de 25 à 2,9 µg/l pour le cuivre, de 5 à 1,25 µg/l pour le plomb et de 190 à 56,5 µg/l pour le zinc (Berryman et Jalbert, 2004).

Les concentrations de cadmium, de plomb et de zinc observées dans la rivière Bourlamaque dépassent fréquemment les critères d'effet chronique et présenteraient un risque potentiel pour la vie aquatique, ce qui ne serait pas le cas dans la rivière Harricana, où les concentrations sont inférieures aux critères (à l'exception du plomb à la tête de la rivière). Dans le cas du cuivre, l'utilisation des deux modèles permet de conclure que les concentrations observées dans la Bourlamaque présenteraient un risque potentiel pour la vie aquatique, alors que celles observées dans la rivière Harricana seraient beaucoup moins problématiques.

Comme mentionné précédemment dans le cas du cuivre, plusieurs facteurs peuvent influencer à la hausse ou à la baisse la toxicité des métaux et les critères de qualité calculés selon l'un ou l'autre des modèles retenus. Les deux modèles peuvent surestimer ou sous-estimer les risques engendrés par la présence du cuivre dans l'eau, dépendamment des conditions physicochimiques du milieu. On ne peut conclure que le critère BLM sera systématiquement moins contraignant que le critère basé sur la dureté uniquement. L'Environmental Protection Agency des États-Unis considère cependant que le critère basé sur la dureté pourrait ne pas être assez sécuritaire lorsque le pH est bas et être trop protecteur lorsque le COD est très élevé (USEPA, 2007). Dans certains cas, l'utilisation du modèle BLM pourrait représenter une amélioration par rapport au modèle basé sur la dureté, mais ce modèle nécessite la disponibilité de données concernant de nombreux paramètres physicochimiques (Ca, Mg, Na, K, SO₄, Cl, pH, COD, alcalinité et température).

Bibliographie

- AL-REASI, H. A., C. M. WOOD ET D. S. SMITH, 2011. « Physicochemical and spectroscopic properties of natural organic matter (NOM) from various sources and implications for ameliorative effects on metal toxicity to aquatic biota ». *Aquatic Toxicology*, vol. 103, n° 3-4, p. 179-190.
- BERRYMAN, D., ET L. JALBERT, 2004. *La Rivière Bourlamaque : mortalité de poissons du 8 août 2003 et qualité de l'eau*. Québec, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement et Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue, 37 p. et 4 annexes.
- BONHAM-CARTER, G. F., P. J. HENDERSON, D. A. KLIZA ET I. M. KETTLES, 2005. « Smelter emissions deposited in the environment around the Horne smelter, Quebec : comparaison of regional snow, peat, soil and lake-sediment and lake-water surveys ». IN *Metals in the Environment Around Smelters at Rouyn-Noranda, Quebec, and Belledune, New-Brunswick: Results and Conclusions of the GSC MITE Point Sources Project*, G. F. Bonham-Carter (éd.), Commission géologique du Canada, Bulletin 584, 19 p.
- CEAEQ, 2014. *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 – Met.Tra. 1.1, Rév. 1*. Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 16 p.
- CREMAZY, A., P.G.C. CAMPBELL ET C. FORTIN, 2013. The Biotic Ligand Model Can Successfully Predict the Uptake of a Trivalent Ion by a Unicellular Alga Below pH 6.50 but not Above: Possible Role of Hydroxo-Species, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 47, p. 2408-2415.
- DUCHEMIN, M. ET S. HÉBERT, 2014. *Les métaux dans les rivières du sud-ouest du Québec (2008-2011)*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-71296-1 (PDF), 24 p. et 17 annexes.
- FORTIN, C., ET P. G. C. CAMPBELL, 1999. *Calculs de spéciation pour l'aluminium rejeté en eaux courantes*. Rapport rédigé pour Environnement Canada, Direction de la protection de l'environnement, région du Québec, INRS-Eau, ISBN 2-89146-326-9, 11 p.
- IRDA, 2015. « Cartes pédologiques #32C04201 et 32C04202 ». Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. En ligne. Site consulté le 25 juillet 2015.
- KALBITZ, K., S. SOLINGER, J.-H. PARK, B. MICHALZIC ET E. MATZNER, 2000. « Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils : a review ». *Soil Science*, vol. 165, n° 4, p. 277-304.

- MDDEFP, 2013. *Critères de qualité de l'eau de surface, 3^e édition*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-68533-3 (PDF), 510 p. et 16 annexes.
- MDDELCC, 2014. *Protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux en traces*. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-69205-8 (PDF), 19 p.
- SPARLING, D. W., T. P. LOWE ET P. G. C. CAMPBELL, 1997. « Ecotoxicology of Aluminium to Fish and Wildlife (Chapter 3) ». IN *Research Issues in Aluminium Toxicity: proceedings of the Workshop on Research Issues in Aluminium Toxicity*, Yokel, A. R., et M. S. Golub (éd.), Vancouver, C.-B., 1995, CRC Press, 256 p.
- SPITZY, A., ET J. LEENHEER, 1991. « Dissolved organic carbon in rivers ». In *Biogeochemistry of Major World Rivers, SCOPE 42 (Chapter 9)*, Degens, E. T., S. Kempe et J. E. Richey (éd.), Wiley, New York, 356 p.
- USEPA, 2007. « Aquatic Life Criteria – Copper, 2007 Update ». United States Environmental Protection Agency. En ligne. Site consulté le 25 juillet 2015.
- USEPA, 2015. « National Recommended Water Quality Criteria ». United States Environmental Protection Agency. En ligne. Site consulté le 4 septembre 2015.

Annexe 1 Localisation des stations d'échantillonnage

STATION	No BQMA	DESCRIPTION	LATITUDE	LONGITUDE
ST-1	08010126	BOURLAMAQUE AU PONT DU CHEMIN DES RAPIDES TWIN	47,9816950	-77,8233820
ST-2	08010060	BOURLAMAQUE AU PONT DU CHEMIN EAST SULLIVAN	48,0619800	-77,7106280
ST-3	08010061	BOURLAMAQUE AU PONT-ROUTE 117 EN AVAL DU SITE EAST SULLIVAN	48,0943080	-77,6578460
ST-4	08010062	BOURLAMAQUE AU PONT-ROUTE 397 EN AMONT DE VAL-SENNEVILLE	48,1922391	-77,6558999
ST-5	08010004	HARRICANA AU PONT-ROUTE 111 AU SUD-OUEST DE SAINT-EDMOND	48,1923630	-77,8621920
ST-6	08010064	HARRICANA AU PONT-ROUTE 111 EN AMONT D'AMOS	48,5601402	-78,1149352
ST-7	08010063	HARRICANA AU PONT COUVERT EN AVAL D'AMOS	48,6427936	-78,0043147

Annexe 2 Statistiques descriptives

Annexe 2.1 Statistiques descriptives de la station ST-1, mai à octobre 2012

PARAMÈTRE	UNITÉS	N	MOYENNE	E. TYPE	MIN	Q25	MÉDIANE	Q75	MAX
Carbone organique dissous	mg/l	6	20,3	4,9	17,3	17,7	18,2	20,0	30,1
Conductivité	µS/cm	6	17,7	1,9	16,0	16,0	17,5	19,0	20,0
Dureté calculée	mg/l CaCO ₃	6	6,2	1,1	5,3	5,3	5,9	6,5	8,2
Matières en suspension	mg/l	6	3,4	1,9	1,0	2,0	3,3	5,0	6,0
Oxygène dissous	mg/l	2	9,7	2,6	7,9	7,9	9,7	11,6	11,6
pH	pH	6	4,5		3,9	4,6	4,6	4,8	5,4
Température	° C	6	14,3	6,1	3,3	11,7	16,3	17,8	20,5
Calcium	mg/l	6	1,5	0,3	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9
Chlorures	mg/l	6	0,13	0,06	<0,06	0,10	0,15	0,17	0,18
Magnésium	mg/l	6	0,6	0,1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,8
Potassium	mg/l	6	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Sodium	mg/l	6	0,9	0,1	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
Aluminium dissous	µg/l	6	455	80	380	390	440	480	600
Aluminium extractible	µg/l	6	552	100	430	490	540	590	720
Antimoine dissous	µg/l	6	0,055	0,006	0,046	0,052	0,056	0,058	0,065
Antimoine extractible	µg/l	6	0,055	0,009	0,045	0,052	0,054	0,054	0,072
Argent dissous	µg/l	6	0,003	0,001	<0,002	<0,002	0,004	0,004	0,004
Argent extractible	µg/l	6	0,004	0,001	<0,003	<0,003	0,004	0,004	0,005
Arsenic dissous	µg/l	6	0,68	0,10	0,52	0,63	0,69	0,77	0,79
Arsenic extractible	µg/l	6	0,72	0,09	0,59	0,66	0,72	0,78	0,86
Baryum dissous	µg/l	6	7,7	1,2	6,5	7,3	7,4	7,6	10,0
Baryum extractible	µg/l	6	8,1	1,0	6,9	7,8	7,9	8,0	10,0
Béryllium dissous	µg/l	6	0,021	0,005	0,015	0,018	0,020	0,022	0,030
Béryllium extractible	µg/l	6	0,020	0,005	0,016	0,016	0,019	0,021	0,030
Bore dissous	µg/l	6	2,3	0,3	1,8	2,0	2,3	2,5	2,7
Bore extractible	µg/l	6	2,3	0,2	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6
Cadmium dissous	µg/l	6	0,055	0,014	0,036	0,050	0,053	0,058	0,080
Cadmium extractible	µg/l	6	0,058	0,016	0,037	0,049	0,057	0,060	0,086
Chrome dissous	µg/l	6	1,5	0,2	1,2	1,3	1,5	1,5	1,8
Chrome extractible	µg/l	6	1,7	0,2	1,4	1,6	1,8	1,8	1,9
Cobalt dissous	µg/l	6	0,65	0,11	0,52	0,59	0,63	0,66	0,85
Cobalt extractible	µg/l	6	0,73	0,14	0,61	0,65	0,71	0,72	1,00
Cuivre dissous	µg/l	5	1,2	0,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5
Cuivre extractible	µg/l	6	1,5	0,1	1,3	1,4	1,4	1,5	1,7
Fer dissous	µg/l	6	768	224	590	600	725	770	1200
Fer extractible	µg/l	6	928	205	710	810	880	990	1300
Manganèse dissous	µg/l	6	30	3	27	27	30	31	36
Manganèse extractible	µg/l	6	34	4	29	31	33	34	41
Molybdène dissous	µg/l	6	0,046	0,009	0,029	0,045	0,048	0,052	0,053
Molybdène extractible	µg/l	6	0,048	0,010	0,030	0,050	0,050	0,050	0,060
Nickel dissous	µg/l	6	1,8	0,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,3
Nickel extractible	µg/l	6	2,0	0,3	1,6	1,8	1,9	2,2	2,4
Plomb dissous	µg/l	6	0,61	0,16	0,47	0,48	0,58	0,67	0,91
Plomb extractible	µg/l	6	0,69	0,17	0,51	0,58	0,66	0,78	0,96
Strontium dissous	µg/l	6	11	2	9	9	10	12	15
Strontium extractible	µg/l	6	11	2	9	10	11	12	15
Sélénium dissous	µg/l	6	<0,2	0,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sélénium extractible	µg/l	6	<0,3	0,0	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Uranium dissous	µg/l	6	0,022	0,004	0,017	0,020	0,023	0,025	0,027
Uranium extractible	µg/l	6	0,025	0,004	0,018	0,024	0,025	0,027	0,029
Vanadium dissous	µg/l	6	1,13	0,19	0,86	1,00	1,15	1,20	1,40
Vanadium extractible	µg/l	6	1,30	0,19	1,00	1,20	1,30	1,50	1,50
Zinc dissous	µg/l	6	5,1	1,3	3,5	4,4	4,9	5,2	7,5
Zinc extractible	µg/l	6	5,4	1,4	3,7	4,8	5,2	5,6	7,9

Annexe 2.2 Statistiques descriptives de la station ST-2, mai à octobre 2012

PARAMÈTRE	UNITÉS	N	MOYENNE	E. TYPE	MIN	Q25	MÉDIANE	Q75	MAX
Carbone organique dissous	mg/l	6	21,1	5,3	17,8	17,9	19,4	20,4	31,6
Conductivité	µS/cm	6	18,8	3,3	14,0	16,0	19,5	21,0	23,0
Dureté calculée	mg/l CaCO ₃	6	8,2	1,8	6,1	6,5	8,3	9,4	10,8
Matières en suspension	mg/l	6	4,4	1,7	3,0	3,0	3,8	6,0	7,0
Oxygène dissous	mg/l	2	9,4	3,8	6,7	6,7	9,4	12,1	12,1
pH	pH	6	4,9		4,3	5,0	5,2	5,7	6,2
Température	° C	6	13,9	6,4	2,8	11,7	14,5	19,2	21,0
Calcium	mg/l	6	2,2	0,5	1,5	1,7	2,2	2,5	2,8
Chlorures	mg/l	6	4,13	9,73	<0,06	0,12	0,16	0,34	24,00
Magnésium	mg/l	6	0,70	0,14	0,55	0,57	0,69	0,77	0,92
Potassium	mg/l	6	0,30	0,07	0,22	0,26	0,30	0,30	0,42
Sodium	mg/l	6	0,90	0,12	0,74	0,76	0,94	1,00	1,00
Aluminium dissous	µg/l	6	417	48	360	380	415	430	500
Aluminium extractible	µg/l	6	550	83	430	510	540	640	640
Antimoine dissous	µg/l	6	0,056	0,007	0,047	0,051	0,056	0,057	0,067
Antimoine extractible	µg/l	6	0,057	0,007	0,048	0,054	0,055	0,058	0,069
Argent dissous	µg/l	6	0,003	0,001	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004
Argent extractible	µg/l	6	0,004	0,001	0,002	0,004	0,005	0,005	0,005
Arsenic dissous	µg/l	6	0,86	0,17	0,59	0,70	0,93	0,99	1,00
Arsenic extractible	µg/l	6	0,91	0,19	0,64	0,73	0,95	1,10	1,10
Baryum dissous	µg/l	6	6,3	0,8	5,5	5,9	6,1	6,7	7,8
Baryum extractible	µg/l	6	7,0	0,7	6,3	6,4	6,9	7,3	8,2
Béryllium dissous	µg/l	6	0,016	0,002	0,014	0,014	0,016	0,018	0,019
Béryllium extractible	µg/l	6	0,019	0,002	0,016	0,016	0,020	0,020	0,020
Bore dissous	µg/l	6	2,6	0,6	2,0	2,2	2,4	3,2	3,5
Bore extractible	µg/l	6	2,5	0,3	2,1	2,3	2,6	2,8	2,9
Cadmium dissous	µg/l	6	0,070	0,050	0,040	0,044	0,053	0,062	0,170
Cadmium extractible	µg/l	6	0,077	0,052	0,044	0,048	0,060	0,070	0,180
Chrome dissous	µg/l	6	1,4	0,2	1,1	1,3	1,4	1,5	1,5
Chrome extractible	µg/l	6	1,7	0,3	1,3	1,6	1,7	1,9	2,0
Cobalt dissous	µg/l	6	0,58	0,13	0,42	0,42	0,63	0,69	0,70
Cobalt extractible	µg/l	6	0,69	0,16	0,50	0,52	0,71	0,81	0,87
Cuivre dissous	µg/l	6	3,2	2,7	1,6	1,8	2,2	2,6	8,5
Cuivre extractible	µg/l	6	3,6	2,5	1,7	2,1	2,5	4,4	8,3
Fer dissous	µg/l	6	858	194	620	630	915	970	1100
Fer extractible	µg/l	6	1107	232	740	900	1200	1300	1300
Manganèse dissous	µg/l	6	39	6	33	34	39	43	47
Manganèse extractible	µg/l	6	44	6	38	39	43	49	52
Molybdène dissous	µg/l	6	0,058	0,014	0,037	0,050	0,060	0,065	0,079
Molybdène extractible	µg/l	6	0,063	0,018	0,040	0,050	0,065	0,070	0,090
Nickel dissous	µg/l	6	1,6	0,2	1,4	1,4	1,6	1,7	1,8
Nickel extractible	µg/l	6	1,8	0,3	1,4	1,7	1,7	2,0	2,1
Plomb dissous	µg/l	6	0,58	0,15	0,44	0,47	0,56	0,61	0,86
Plomb extractible	µg/l	6	0,67	0,14	0,49	0,58	0,65	0,80	0,86
Strontium dissous	µg/l	6	13	2	10	10	13	14	16
Strontium extractible	µg/l	6	13	2	10	11	13	14	16
Sélénium dissous	µg/l	6	<0,2	0,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sélénium extractible	µg/l	6	<0,3	0,0	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Uranium dissous	µg/l	6	0,023	0,004	0,017	0,020	0,024	0,027	0,028
Uranium extractible	µg/l	6	0,025	0,005	0,018	0,022	0,026	0,028	0,031
Vanadium dissous	µg/l	6	1,08	0,20	0,78	0,92	1,15	1,20	1,30
Vanadium extractible	µg/l	6	1,43	0,31	0,96	1,20	1,50	1,60	1,80
Zinc dissous	µg/l	6	9,6	10,0	4,1	4,7	6,3	6,5	30,0
Zinc extractible	µg/l	6	9,9	9,4	4,3	5,6	6,6	7,3	29,0

Annexe 2.3 Statistiques descriptives de la station ST-3, mai à octobre 2012

PARAMÈTRE	UNITÉS	N	MOYENNE	E. TYPE	MIN	Q25	MÉDIANE	Q75	MAX
Carbone organique dissous	mg/l	6	17,9	5,5	11,8	13,8	16,9	20,6	27,1
Conductivité	µS/cm	6	77,7	36,3	30,0	44,0	78,5	117,0	118,0
Dureté calculée	mg/l CaCO ₃	6	34,0	15,8	14,4	19,2	34,5	50,6	50,6
Matières en suspension	mg/l	6	4,6	3,2	2,5	3,0	3,5	4,0	11,0
Oxygène dissous	mg/l	2	12,0	3,9	9,3	9,3	12,0	14,8	14,8
pH	pH	6	5,1		4,4	6,0	6,2	6,8	7,7
Température	° C	6	13,4	6,0	2,7	11,2	14,3	18,4	19,5
Calcium	mg/l	6	9,9	4,6	4,1	5,7	9,7	15,0	15,0
Chlorures	mg/l	6	0,6	0,5	0,2	0,3	0,5	0,8	1,5
Magnésium	mg/l	6	2,3	1,1	1,0	1,2	2,5	3,2	3,3
Potassium	mg/l	6	1,2	0,6	0,6	0,7	1,1	1,9	2,0
Sodium	mg/l	6	1,7	0,7	1,0	1,1	1,7	2,2	2,8
Aluminium dissous	µg/l	6	308	160	130	250	285	290	610
Aluminium extractible	µg/l	6	433	216	240	370	375	380	860
Antimoine dissous	µg/l	6	0,058	0,007	0,046	0,055	0,060	0,063	0,065
Antimoine extractible	µg/l	6	0,063	0,007	0,051	0,060	0,064	0,066	0,073
Argent dissous	µg/l	6	0,005	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007
Argent extractible	µg/l	6	0,019	0,008	0,005	0,018	0,019	0,023	0,030
Arsenic dissous	µg/l	6	1,12	0,30	0,69	0,90	1,10	1,40	1,50
Arsenic extractible	µg/l	6	1,30	0,37	0,79	1,00	1,35	1,50	1,80
Baryum dissous	µg/l	6	6,5	1,2	5,1	5,4	6,4	7,3	8,3
Baryum extractible	µg/l	6	7,0	1,3	5,6	5,9	7,0	7,7	9,0
Béryllium dissous	µg/l	6	0,015	0,007	0,009	0,011	0,013	0,014	0,029
Béryllium extractible	µg/l	6	0,014	0,007	<0,01	<0,01	0,018	0,020	0,020
Bore dissous	µg/l	6	6,0	2,3	3,0	4,0	6,0	7,8	9,1
Bore extractible	µg/l	6	6,1	2,4	3,0	4,3	6,2	6,8	10,0
Cadmium dissous	µg/l	6	0,141	0,159	0,029	0,068	0,094	0,100	0,460
Cadmium extractible	µg/l	6	0,152	0,168	0,033	0,075	0,102	0,110	0,490
Chrome dissous	µg/l	6	0,9	0,2	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1
Chrome extractible	µg/l	6	1,2	0,2	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5
Cobalt dissous	µg/l	6	1,19	0,87	0,36	0,67	1,00	1,30	2,80
Cobalt extractible	µg/l	6	1,39	1,11	0,43	0,75	1,08	1,50	3,50
Cuivre dissous	µg/l	6	4,0	3,9	1,6	2,4	2,5	3,0	12,0
Cuivre extractible	µg/l	6	4,3	3,8	2,0	2,8	2,9	3,1	12,0
Fer dissous	µg/l	6	738	282	470	530	690	850	1200
Fer extractible	µg/l	6	1097	315	690	850	1120	1300	1500
Manganèse dissous	µg/l	6	103	61	45	57	94	130	200
Manganèse extractible	µg/l	6	114	65	52	64	103	140	220
Molybdène dissous	µg/l	6	0,071	0,019	0,047	0,055	0,072	0,086	0,094
Molybdène extractible	µg/l	6	0,080	0,021	0,050	0,070	0,080	0,090	0,110
Nickel dissous	µg/l	6	1,6	0,8	0,8	1,1	1,5	1,8	3,1
Nickel extractible	µg/l	6	1,8	0,9	1,0	1,3	1,6	2,0	3,4
Plomb dissous	µg/l	6	0,95	0,62	0,54	0,59	0,76	0,83	2,20
Plomb extractible	µg/l	6	1,48	0,88	0,76	0,92	1,25	1,50	3,20
Strontium dissous	µg/l	6	42,3	22,2	19,0	22,0	42,5	60,0	68,0
Strontium extractible	µg/l	6	43,2	22,5	19,0	24,0	41,5	61,0	72,0
Sélénium dissous	µg/l	6	<0,2	0,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sélénium extractible	µg/l	6	<0,3	0,0	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Uranium dissous	µg/l	6	0,023	0,003	0,019	0,022	0,024	0,025	0,027
Uranium extractible	µg/l	6	0,026	0,004	0,020	0,025	0,026	0,028	0,033
Vanadium dissous	µg/l	6	0,65	0,09	0,54	0,60	0,61	0,71	0,80
Vanadium extractible	µg/l	6	1,01	0,13	0,84	0,93	1,00	1,10	1,20
Zinc dissous	µg/l	6	87,5	103,7	10,0	28,0	54,5	88,0	290,0
Zinc extractible	µg/l	6	90,8	107,2	11,0	29,0	56,5	92,0	300,0

Annexe 2.4 Statistiques descriptives de la station ST-4, mai à octobre 2012

PARAMÈTRE	UNITÉS	N	MOYENNE	E. TYPE	MIN	Q25	MÉDIANE	Q75	MAX
Carbone organique dissous	mg/l	6	18,4	4,6	14,6	15,0	16,3	23,2	25,3
Conductivité	µS/cm	6	98,7	42,3	61,0	64,0	83,0	143,0	158,0
Dureté calculée	mg/l CaCO ₃	6	41,9	16,9	28,4	28,6	33,7	63,1	63,9
Matières en suspension	mg/l	6	7,8	6,1	3,0	5,0	6,0	7,0	20,0
Oxygène dissous	mg/l	2	10,6	4,4	7,5	7,5	10,6	13,7	13,7
pH	pH	6	6,3		5,8	6,3	6,5	6,8	7,0
Température	° C	6	14,6	6,6	2,9	12,4	15,7	19,8	21,1
Calcium	mg/l	6	12,4	5,1	8,4	8,5	9,8	19,0	19,0
Chlorures	mg/l	6	2,4	0,9	1,0	1,7	2,5	3,1	3,6
Magnésium	mg/l	6	2,7	1,0	1,8	1,8	2,3	3,8	4,0
Potassium	mg/l	6	1,0	0,4	0,7	0,8	0,9	1,1	1,7
Sodium	mg/l	6	3,6	1,2	2,4	2,8	3,3	4,5	5,5
Aluminium dissous	µg/l	6	250	106	150	150	250	260	440
Aluminium extractible	µg/l	6	487	259	310	340	390	490	1000
Antimoine dissous	µg/l	6	0,072	0,008	0,060	0,066	0,074	0,079	0,081
Antimoine extractible	µg/l	6	0,080	0,011	0,065	0,072	0,081	0,089	0,094
Argent dissous	µg/l	6	0,011	0,005	0,007	0,008	0,010	0,012	0,020
Argent extractible	µg/l	6	0,044	0,016	0,024	0,028	0,047	0,053	0,068
Arsenic dissous	µg/l	6	2,05	0,91	1,00	1,20	2,15	2,90	2,90
Arsenic extractible	µg/l	6	2,50	1,15	1,20	1,60	2,45	3,50	3,80
Baryum dissous	µg/l	6	7,1	1,1	5,9	5,9	7,1	7,8	8,6
Baryum extractible	µg/l	6	8,3	1,4	6,8	6,9	8,1	9,7	10,0
Béryllium dissous	µg/l	6	0,013	0,003	0,009	0,012	0,014	0,015	0,017
Béryllium extractible	µg/l	6	0,017	0,008	0,010	0,011	0,016	0,021	0,030
Bore dissous	µg/l	6	8,4	3,0	5,8	6,0	7,4	11,1	13,0
Bore extractible	µg/l	6	8,9	3,3	6,1	6,5	7,4	13,0	13,0
Cadmium dissous	µg/l	6	0,089	0,041	0,044	0,064	0,074	0,130	0,150
Cadmium extractible	µg/l	6	0,106	0,043	0,061	0,082	0,087	0,150	0,170
Chrome dissous	µg/l	6	0,8	0,1	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0
Chrome extractible	µg/l	6	1,4	0,4	1,1	1,1	1,2	1,3	2,2
Cobalt dissous	µg/l	6	0,85	0,40	0,52	0,60	0,69	1,00	1,60
Cobalt extractible	µg/l	6	1,05	0,48	0,66	0,69	0,83	1,50	1,80
Cuivre dissous	µg/l	6	5,5	1,9	4,0	4,2	4,9	6,2	9,1
Cuivre extractible	µg/l	6	6,6	1,9	4,8	5,0	6,3	7,1	10,0
Fer dissous	µg/l	6	942	287	530	690	1015	1100	1300
Fer extractible	µg/l	6	1588	466	930	1100	1750	1900	2100
Manganèse dissous	µg/l	6	86	39	51	65	75	92	160
Manganèse extractible	µg/l	6	97	40	56	71	89	110	170
Molybdène dissous	µg/l	6	0,198	0,053	0,150	0,150	0,195	0,250	0,250
Molybdène extractible	µg/l	6	0,217	0,059	0,160	0,160	0,215	0,270	0,280
Nickel dissous	µg/l	6	1,4	0,4	1,1	1,1	1,3	1,7	2,0
Nickel extractible	µg/l	6	1,7	0,5	1,3	1,4	1,6	2,2	2,4
Plomb dissous	µg/l	6	1,56	0,65	0,73	1,10	1,50	2,10	2,40
Plomb extractible	µg/l	6	2,53	1,02	1,20	1,80	2,45	3,40	3,90
Strontium dissous	µg/l	6	52	23	35	37	40	69	92
Strontium extractible	µg/l	6	54	23	36	38	42	74	91
Sélénium dissous	µg/l	6	<0,2	0,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sélénium extractible	µg/l	6	<0,3	0,0	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Uranium dissous	µg/l	6	0,038	0,002	0,035	0,037	0,038	0,038	0,040
Uranium extractible	µg/l	6	0,044	0,004	0,041	0,042	0,042	0,042	0,052
Vanadium dissous	µg/l	6	0,60	0,09	0,48	0,53	0,61	0,69	0,70
Vanadium extractible	µg/l	6	1,13	0,25	0,94	0,96	1,05	1,20	1,60
Zinc dissous	µg/l	6	46,2	33,0	15,0	26,0	31,5	73,0	100,0
Zinc extractible	µg/l	6	51,0	34,2	20,0	28,0	37,5	73,0	110,0

Annexe 2.5 Statistiques descriptives de la station ST-5, mai à octobre 2012

PARAMÈTRE	UNITÉS	N	MOYENNE	E. TYPE	MIN	Q25	MÉDIANE	Q75	MAX
Carbone organique dissous	mg/l	6	15,0	3,1	12,2	13,3	14,3	15,0	20,9
Conductivité	µS/cm	5	80,6	24,4	48,0	66,0	82,0	98,0	109,0
Dureté calculée	mg/l CaCO ₃	6	34,8	5,9	27,1	29,7	35,1	39,8	42,3
Matières en suspension	mg/l	6	9,5	3,0	6,0	7,0	9,5	11,0	14,0
Oxygène dissous	mg/l	2	8,8	2,9	6,8	6,8	8,8	10,8	10,8
pH	pH	6	6,8		6,4	6,7	6,9	7,0	7,3
Température	° C	6	14,9	6,4	4,0	12,6	15,2	20,1	22,1
Calcium	mg/l	6	10,4	2,0	7,7	8,6	10,5	12,0	13,0
Chlorures	mg/l	6	4,2	0,9	2,7	3,9	4,3	4,8	5,2
Magnésium	mg/l	6	2,2	0,2	1,9	2,0	2,2	2,4	2,4
Potassium	mg/l	6	0,8	0,1	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
Sodium	mg/l	6	4,2	0,7	3,2	3,7	4,2	4,8	4,9
Aluminium dissous	µg/l	6	210	85	140	150	185	230	370
Aluminium extractible	µg/l	6	768	244	500	610	720	860	1200
Antimoine dissous	µg/l	6	0,067	0,005	0,060	0,065	0,066	0,072	0,073
Antimoine extractible	µg/l	6	0,071	0,010	0,057	0,065	0,071	0,082	0,082
Argent dissous	µg/l	6	0,009	0,001	0,007	0,008	0,009	0,010	0,010
Argent extractible	µg/l	6	0,028	0,010	0,015	0,020	0,028	0,036	0,039
Arsenic dissous	µg/l	6	1,15	0,22	0,82	1,00	1,20	1,30	1,40
Arsenic extractible	µg/l	6	1,42	0,35	0,94	1,20	1,40	1,70	1,90
Baryum dissous	µg/l	6	6,5	0,6	5,9	6,3	6,4	6,5	7,6
Baryum extractible	µg/l	6	10,5	1,4	9,2	9,7	9,9	11,0	13,0
Béryllium dissous	µg/l	6	0,013	0,003	0,011	0,012	0,012	0,012	0,019
Béryllium extractible	µg/l	6	0,021	0,005	0,017	0,019	0,020	0,022	0,030
Bore dissous	µg/l	6	5,9	0,8	5,2	5,3	5,9	6,0	7,4
Bore extractible	µg/l	6	6,3	0,7	5,3	5,7	6,4	6,8	7,2
Cadmium dissous	µg/l	6	0,074	0,004	0,069	0,072	0,075	0,076	0,080
Cadmium extractible	µg/l	6	0,091	0,004	0,084	0,087	0,093	0,093	0,094
Chrome dissous	µg/l	6	0,8	0,2	0,7	0,7	0,7	0,8	1,1
Chrome extractible	µg/l	6	1,9	0,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,7
Cobalt dissous	µg/l	6	0,30	0,10	0,19	0,21	0,29	0,38	0,42
Cobalt extractible	µg/l	6	0,63	0,11	0,50	0,55	0,61	0,70	0,82
Cuivre dissous	µg/l	6	5,0	0,7	4,1	4,5	5,1	5,6	5,8
Cuivre extractible	µg/l	6	6,1	0,8	4,9	5,7	6,1	6,5	7,1
Fer dissous	µg/l	6	735	141	560	560	780	860	870
Fer extractible	µg/l	6	1450	217	1100	1300	1500	1600	1700
Manganèse dissous	µg/l	6	37	5	31	33	38	40	45
Manganèse extractible	µg/l	6	57	5	48	55	59	59	64
Molybdène dissous	µg/l	6	0,232	0,048	0,180	0,180	0,235	0,280	0,280
Molybdène extractible	µg/l	6	0,263	0,069	0,190	0,200	0,255	0,340	0,340
Nickel dissous	µg/l	6	1,1	0,2	1,0	1,0	1,1	1,2	1,5
Nickel extractible	µg/l	6	1,8	0,3	1,5	1,7	1,8	1,8	2,4
Plomb dissous	µg/l	6	1,26	0,53	0,65	0,85	1,17	1,70	2,00
Plomb extractible	µg/l	6	2,05	0,78	1,00	1,60	2,00	2,50	3,20
Strontium dissous	µg/l	6	41	6	33	37	41	46	48
Strontium extractible	µg/l	6	43	5	37	37	44	48	48
Sélénium dissous	µg/l	6	<0,2	0,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sélénium extractible	µg/l	6	<0,3	0,0	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Uranium dissous	µg/l	6	0,062	0,006	0,054	0,057	0,063	0,066	0,069
Uranium extractible	µg/l	6	0,073	0,006	0,063	0,071	0,074	0,077	0,081
Vanadium dissous	µg/l	6	0,72	0,12	0,53	0,63	0,75	0,80	0,87
Vanadium extractible	µg/l	6	1,63	0,28	1,30	1,40	1,65	1,70	2,10
Zinc dissous	µg/l	6	23,2	5,2	18,0	19,0	22,0	26,0	32,0
Zinc extractible	µg/l	6	33,3	3,3	29,0	32,0	33,0	34,0	39,0

Annexe 2.6 Statistiques descriptives de la station ST-6, mai à octobre 2012

PARAMÈTRE	UNITÉS	N	MOYENNE	E. TYPE	MIN	Q25	MÉDIANE	Q75	MAX
Carbone organique dissous	mg/l	6	13,1	4,0	10,5	10,8	11,7	12,7	21,1
Conductivité	µS/cm	6	66,5	19,4	31,0	61,0	71,0	80,0	85,0
Dureté calculée	mg/l CaCO ₃	6	28,2	2,9	25,2	25,6	28,2	28,9	33,4
Matières en suspension	mg/l	6	18,4	16,7	6,0	7,0	10,0	30,5	47,0
Oxygène dissous	mg/l	2	11,0	2,8	9,1	9,1	11,0	13,0	13,0
pH	pH	6	7,0		6,6	7,0	7,0	7,3	7,5
Température	° C	6	13,0	6,2	2,9	10,4	13,5	17,9	20,1
Calcium	mg/l	6	7,9	0,9	6,8	7,1	8,0	8,1	9,4
Chlorures	mg/l	6	3,2	0,8	2,0	3,0	3,3	3,6	4,3
Magnésium	mg/l	6	2,1	0,2	1,9	2,0	2,0	2,1	2,4
Potassium	mg/l	6	1,1	0,2	0,9	0,9	1,0	1,1	1,5
Sodium	mg/l	6	3,4	0,5	2,6	3,1	3,4	3,6	4,2
Aluminium dissous	µg/l	6	200	64	140	160	185	210	320
Aluminium extractible	µg/l	6	1568	737	810	1100	1350	2000	2800
Antimoine dissous	µg/l	6	0,061	0,005	0,055	0,056	0,062	0,064	0,067
Antimoine extractible	µg/l	6	0,064	0,005	0,059	0,060	0,064	0,069	0,070
Argent dissous	µg/l	6	0,006	0,001	0,004	0,005	0,006	0,006	0,008
Argent extractible	µg/l	6	0,016	0,005	0,009	0,012	0,018	0,020	0,021
Arsenic dissous	µg/l	6	0,74	0,06	0,66	0,72	0,75	0,77	0,82
Arsenic extractible	µg/l	6	0,95	0,11	0,78	0,89	0,95	1,00	1,10
Baryum dissous	µg/l	6	7,1	0,5	6,6	6,9	7,0	7,2	8,1
Baryum extractible	µg/l	6	17,3	5,3	12,0	14,0	16,0	19,0	27,0
Béryllium dissous	µg/l	6	0,013	0,003	0,010	0,011	0,012	0,016	0,019
Béryllium extractible	µg/l	6	0,047	0,018	0,024	0,040	0,045	0,050	0,080
Bore dissous	µg/l	6	4,4	0,3	4,1	4,2	4,4	4,5	4,9
Bore extractible	µg/l	6	4,8	0,3	4,4	4,7	4,8	4,8	5,2
Cadmium dissous	µg/l	6	0,041	0,005	0,034	0,034	0,043	0,044	0,046
Cadmium extractible	µg/l	6	0,063	0,006	0,057	0,060	0,061	0,063	0,075
Chrome dissous	µg/l	6	0,8	0,1	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9
Chrome extractible	µg/l	6	3,3	1,3	2,0	2,6	3,1	3,5	5,8
Cobalt dissous	µg/l	6	0,22	0,06	0,18	0,18	0,19	0,24	0,34
Cobalt extractible	µg/l	6	0,80	0,32	0,50	0,61	0,72	0,87	1,40
Cuivre dissous	µg/l	6	3,9	0,3	3,4	3,5	4,0	4,2	4,2
Cuivre extractible	µg/l	6	5,8	1,8	4,1	4,5	5,5	5,8	9,1
Fer dissous	µg/l	6	438	107	340	350	415	480	630
Fer extractible	µg/l	6	1630	593	980	1300	1500	1800	2700
Manganèse dissous	µg/l	6	30	13	20	23	26	29	55
Manganèse extractible	µg/l	6	61	18	46	47	57	66	95
Molybdène dissous	µg/l	6	0,495	0,138	0,240	0,470	0,525	0,600	0,610
Molybdène extractible	µg/l	6	0,558	0,163	0,290	0,500	0,560	0,710	0,730
Nickel dissous	µg/l	6	1,2	0,1	1,0	1,2	1,2	1,2	1,3
Nickel extractible	µg/l	6	2,8	0,7	2,0	2,3	2,6	3,1	4,0
Plomb dissous	µg/l	6	0,53	0,14	0,40	0,46	0,47	0,66	0,75
Plomb extractible	µg/l	6	1,31	0,36	0,81	0,94	1,40	1,60	1,70
Strontium dissous	µg/l	6	40	6	28	39	41	43	45
Strontium extractible	µg/l	6	44	5	37	40	45	47	51
Sélénium dissous	µg/l	6	<0,2	0,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sélénium extractible	µg/l	6	<0,3	0,0	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Uranium dissous	µg/l	6	0,082	0,009	0,069	0,075	0,083	0,089	0,093
Uranium extractible	µg/l	6	0,110	0,022	0,080	0,097	0,105	0,130	0,140
Vanadium dissous	µg/l	6	0,79	0,16	0,56	0,67	0,78	0,93	1,00
Vanadium extractible	µg/l	6	2,62	1,04	1,40	2,00	2,45	3,00	4,40
Zinc dissous	µg/l	6	7,2	3,1	4,5	5,1	6,3	8,3	13,0
Zinc extractible	µg/l	6	19,5	2,3	16,0	19,0	19,0	22,0	22,0

Annexe 2.7 Statistiques descriptives de la station ST-7, mai à octobre 2012

PARAMÈTRE	UNITÉS	N	MOYENNE	E. TYPE	MIN	Q25	MÉDIANE	Q75	MAX
Carbone organique dissous	mg/l	6	13,4	4,0	10,4	11,1	11,6	14,6	21,1
Conductivité	µS/cm	6	73,3	19,1	40,0	63,0	79,5	85,0	93,0
Dureté calculée	mg/l CaCO ₃	6	29,4	2,2	26,1	28,0	29,4	31,3	32,0
Matières en suspension	mg/l	6	16,3	20,5	6,0	7,0	8,5	10,0	58,0
Oxygène dissous	mg/l	2	10,8	3,5	8,3	8,3	10,8	13,2	13,2
pH	pH	6	7,0		6,8	6,9	7,0	7,1	7,4
Température	° C	6	13,3	6,2	2,6	11,6	14,0	18,3	19,5
Calcium	mg/l	6	8,2	0,7	7,3	7,7	8,1	8,9	9,2
Chlorures	mg/l	6	3,5	0,6	2,5	3,2	3,6	3,8	4,2
Magnésium	mg/l	6	2,2	0,3	1,9	2,0	2,1	2,2	2,6
Potassium	mg/l	6	1,33	0,58	0,98	1,00	1,15	1,20	2,50
Sodium	mg/l	6	4,12	0,70	3,40	3,50	3,95	4,80	5,10
Aluminium dissous	µg/l	6	210,0	63,2	170,0	170,0	180,0	230,0	330,0
Aluminium extractible	µg/l	6	1598,3	1338,1	800,0	990,0	1050,0	1400,0	4300,0
Antimoine dissous	µg/l	6	0,063	0,005	0,053	0,062	0,065	0,067	0,067
Antimoine extractible	µg/l	6	0,066	0,005	0,059	0,060	0,067	0,068	0,073
Argent dissous	µg/l	6	0,006	0,001	0,004	0,005	0,006	0,006	0,007
Argent extractible	µg/l	6	0,017	0,007	0,010	0,013	0,016	0,018	0,029
Arsenic dissous	µg/l	6	0,75	0,11	0,64	0,65	0,73	0,82	0,91
Arsenic extractible	µg/l	6	0,99	0,17	0,78	0,87	0,99	1,10	1,20
Baryum dissous	µg/l	6	8,10	0,99	6,80	7,40	8,15	8,40	9,70
Baryum extractible	µg/l	6	18,83	10,07	12,00	14,00	15,00	18,00	39,00
Béryllium dissous	µg/l	6	14,2	7,6	6,5	7,3	13,0	18,0	27,1
Béryllium extractible	µg/l	6	14,7	8,0	7,1	7,8	13,5	17,0	29,0
Bore dissous	µg/l	6	0,014	0,002	0,012	0,012	0,014	0,016	0,017
Bore extractible	µg/l	6	0,048	0,031	0,026	0,034	0,038	0,040	0,110
Cadmium dissous	µg/l	6	0,042	0,005	0,034	0,039	0,042	0,044	0,049
Cadmium extractible	µg/l	6	0,059	0,005	0,055	0,056	0,057	0,058	0,069
Chrome dissous	µg/l	6	0,85	0,13	0,77	0,77	0,78	0,88	1,10
Chrome extractible	µg/l	6	3,58	2,68	2,00	2,40	2,50	3,10	9,00
Cobalt dissous	µg/l	6	0,220	0,062	0,180	0,180	0,195	0,230	0,340
Cobalt extractible	µg/l	6	0,825	0,580	0,500	0,570	0,580	0,720	2,000
Cuivre dissous	µg/l	6	3,88	0,21	3,60	3,70	3,90	4,10	4,10
Cuivre extractible	µg/l	6	5,08	0,70	4,20	4,60	5,00	5,50	6,20
Fer dissous	µg/l	6	463,3	94,2	350,0	390,0	455,0	540,0	590,0
Fer extractible	µg/l	6	1711,7	1098,4	970,0	1200,0	1250,0	1700,0	3900,0
Manganèse dissous	µg/l	6	33,833	14,511	25,000	25,000	29,500	31,000	63,000
Manganèse extractible	µg/l	6	66,500	26,719	48,000	53,000	58,000	62,000	120,000
Molybdène dissous	µg/l	6	0,515	0,170	0,200	0,490	0,550	0,610	0,690
Molybdène extractible	µg/l	6	0,570	0,210	0,190	0,550	0,595	0,680	0,810
Nickel dissous	µg/l	6	1,20	0,06	1,10	1,20	1,20	1,20	1,30
Nickel extractible	µg/l	6	2,82	1,42	1,90	2,30	2,30	2,40	5,70
Plomb dissous	µg/l	6	0,56	0,16	0,43	0,43	0,50	0,69	0,82
Plomb extractible	µg/l	6	1,26	0,41	0,83	0,90	1,15	1,70	1,80
Strontium dissous	µg/l	6	40,500	5,468	30,000	40,000	42,000	44,000	45,000
Strontium extractible	µg/l	6	44,833	2,714	41,000	43,000	45,000	46,000	49,000
Sélénium dissous	µg/l	6	<0,2	0,0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sélénium extractible	µg/l	6	<0,3	0,0	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Uranium dissous	µg/l	6	0,0867	0,0111	0,0710	0,0780	0,0885	0,0940	0,1000
Uranium extractible	µg/l	6	0,1160	0,0384	0,0830	0,0940	0,1045	0,1200	0,1900
Vanadium dissous	µg/l	6	0,89	0,21	0,59	0,70	0,93	1,10	1,10
Vanadium extractible	µg/l	6	2,82	1,91	1,40	1,90	2,10	2,80	6,60
Zinc dissous	µg/l	6	7,7	2,9	4,7	6,2	7,0	8,6	13,0
Zinc extractible	µg/l	6	18,7	1,4	17,0	18,0	18,5	19,0	21,0

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

Québec 