

Les métaux dans les rivières du sud-ouest du Québec (2008-2011)



Crédit photos page couverture : MDDELCC

- Rivière Beauvage
- Échantillonnage pour les métaux et mesure de paramètres physico-chimiques

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

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

ISBN 978-2-550-71296-1 (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2014

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction	Marc Duchemin ¹ Serge Hébert ¹
Échantillonnage	Sylvie Legendre ¹ Manon Ouellet ¹ Francine Rochette ¹ René Therreault ¹
Analyses en laboratoire et décontamination	Julie Falardeau ² Gertrude Guay ² Nathalie Villeneuve ²
Révision scientifique	Sylvie Cloutier ¹ Isabelle Guay ¹ Peter G.C. Campbell ³ Myriam Rondeau ⁴
Cartographie	Mona Frenette ¹
Page Couverture	France Gauthier ¹
Coordination à la diffusion	Johanne Bélanger ¹
Mise en page	Claire Cournoyer ¹ Murielle Gravel ¹

¹ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.

² Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.

³ Institut national de la recherche scientifique, Centre INRS Eau Terre Environnement.

⁴ Environnement Canada, Division Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau.

Référence bibliographique :

DUCHEMIN, Marc et Serge 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 pages, 17 annexes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Isabelle Guay et Sylvie Cloutier (ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Service des avis et des expertises) ainsi que Myriam Rondeau (Environnement Canada, Division Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau) et Peter G.C.Campbell (Institut national de la recherche scientifique, Centre INRS Eau Terre Environnement) qui ont commenté la version préliminaire du présent rapport. Nous tenons également à remercier Nathalie Villeneuve, Gertrude Guay et Julie Falardeau du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec pour toute la rigueur et le professionnalisme dont elles ont fait preuve tout au long de ce projet.

RÉSUMÉ

La présence des métaux traces dans les rivières du Québec préoccupe le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. De 2008 à 2011, les concentrations de 21 métaux (Al, Ag, As, B, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, U, V, Zn) ont été mesurées mensuellement pendant au moins une saison entre les mois de mai et d'octobre à l'embouchure de 41 rivières tributaires du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais. Les formes extractible (c'est-à-dire totale) et dissoute des métaux ont été analysées. Les concentrations des ions majeurs (Ca, K, Mg, Na, Cl) et certains paramètres complémentaires (carbone organique dissous, conductivité, pH, matières en suspension et dureté calculée) ont aussi fait l'objet d'un suivi.

Les analyses statistiques effectuées ont permis de dresser un portrait récent de la présence des métaux dans les rivières du sud-ouest du Québec. Le présent rapport donne de l'information sur la distribution statistique des concentrations des métaux extractibles et dissous ainsi que sur la distribution statistique des principaux paramètres complémentaires. De plus, de l'information sur la forme dominante de chacun des métaux a été précisée à partir des ratios entre les concentrations dissoutes et extractibles.

Au total, 336 échantillons d'eau ont été prélevés durant la période d'étude et 6 100 analyses de métaux ont été réalisées pour comparer les concentrations dissoutes aux critères de qualité pour la protection de la vie aquatique (effet chronique). Seulement deux dépassements de faible amplitude ont été observés pour le fer, soit à l'embouchure des rivières Gentilly et Champlain.

Une analyse de classification (*cluster analysis*) effectuée à partir des concentrations médianes de la forme extractible des sept métaux les plus communs (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) a permis de répartir les 41 stations en 5 groupes distincts. Les stations du groupe 1 se concentrent dans la région de Québec alors que celles du groupe 5 se situent majoritairement dans la région de l'Outaouais où elles drainent un territoire appartenant à la province naturelle des Laurentides méridionales. Les stations des groupes 3 et 4 se retrouvent respectivement à l'ouest et à l'est de Trois-Rivières et drainent un territoire qui appartient en partie aux basses-terres du Saint-Laurent, aux Appalaches ou aux Laurentides méridionales. Quant aux stations du groupe 2, elles se retrouvent à l'embouchure de petits bassins versants agricoles drainant essentiellement les basses-terres du Saint-Laurent. Des analyses par comparaisons multiples effectuées à l'aide des concentrations médianes des sept métaux ont permis de caractériser les cinq groupes. Le même type d'analyse a été effectué avec les ratios médians des formes dissoute et extractible.

De façon générale, les concentrations des métaux n'étaient pas préoccupantes à l'embouchure des 41 rivières étudiées durant la période 2008-2011. Les concentrations des métaux dans les cours d'eau qui s'écoulent sur les roches cristallines des Laurentides méridionales étaient plus faibles comparativement à celles des cours d'eau qui s'écoulent sur les dépôts sédimentaires des basses-terres du Saint-Laurent. Ainsi, les résultats obtenus font ressortir 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 semble plutôt faible et est surtout perceptible aux stations qui drainent des bassins versants à vocation agricole. La présence de métaux à l'embouchure des cours d'eau étudiés résulterait donc principalement de la vulnérabilité des bassins versants aux processus d'altération de la roche mère et d'érosion des sols.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
1.1	Présence des métaux dans l'environnement.....	1
1.2	Historique du suivi des métaux dans les rivières du Québec.....	1
1.3	Objectifs et portée de l'étude.....	2
2	MÉTHODOLOGIE.....	2
2.1	Métaux étudiés et critères de qualité.....	2
2.2	Stations étudiées.....	3
2.3	Échantillonnage.....	6
2.4	Analyses en laboratoire.....	6
2.5	Analyses statistiques.....	7
3	RÉSULTATS.....	7
3.1	Statistiques descriptives pour l'ensemble des stations.....	7
3.1.1	Métaux extractibles.....	7
3.1.2	Métaux dissous et dépassement des critères de qualité.....	8
3.1.3	Paramètres complémentaires.....	8
3.1.4	Ratios entre les métaux dissous et les métaux extractibles.....	9
3.1.5	Matrices de corrélation de Spearman.....	10
3.2	Statistiques descriptives par stations.....	14
3.3	Régionalisation des stations.....	15
3.3.1	Regroupement des stations.....	15
3.3.2	Validation des regroupements de stations.....	17
3.3.3	Caractérisation des groupes de stations.....	18
3.3.3.1	Comparaison entre les médianes.....	18
3.3.3.2	Comparaison entre les ratios des métaux dissous et extractibles.....	19
3.3.3.3	Caractérisation de la qualité de l'eau des groupes de stations.....	20
4	CONCLUSION.....	21
5	BIBLIOGRAPHIE.....	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Liste des métaux et des critères de qualité de l'eau.....	3
Tableau 2	Liste des stations étudiées (description des stations)	4
Tableau 3	Statistiques descriptives (2008-2011) : métaux extractibles (données brutes).....	7
Tableau 4	Statistiques descriptives (2008-2011) : métaux dissous (données brutes).....	8
Tableau 5	Statistiques descriptives (2008-2011) : paramètres complémentaires (données brutes).....	8
Tableau 6	Coefficients de corrélation de Spearman entre les métaux extractibles et les paramètres complémentaires (2008-2011).....	10
Tableau 7	Coefficients de corrélation de Spearman entre les métaux dissous et les paramètres complémentaires (2008-2011).....	11
Tableau 8	Coefficients de corrélation de Spearman entre les ratios dissous/extractible et les paramètres complémentaires (2008-2011).....	12
Tableau 9	Liste des cinq groupes de stations obtenus par l'analyse de classification.....	16
Tableau 10	Résultats de la première analyse discriminante	17
Tableau 11	Résultats de la deuxième analyse discriminante.....	17
Tableau 12	Valeurs médianes des sept métaux extractibles et des cinq paramètres complémentaires pour chacun des cinq groupes de stations.....	19
Tableau 13	Résumé de l'analyse par comparaisons multiples entre les médianes des métaux extractibles et des paramètres complémentaires des cinq groupes de stations	19
Tableau 14	Ratios médians entre les concentrations dissoutes et les concentrations extractibles	20
Tableau 15	Résumé de l'analyse par comparaisons multiples entre les ratios médians des métaux dissous et extractibles pour les cinq groupes de stations.....	20

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Localisation des stations d'échantillonnage des eaux de surface pour les métaux	5
Figure 2	Distribution interannuelle des prélèvements aux 41 stations échantillonnées	6
Figure 3	Ratios des concentrations de métaux dissous et extractibles pour les 41 stations durant la période 2008-2011	9
Figure 4	Relation entre les ratios Ni dissous/Ni extractible et le Ni extractible.....	13
Figure 5	Relation entre les ratios Ni dissous/Ni extractible et les matières en suspension (SS)	13
Figure 6	Variabilité spatiale des ratios entre les concentrations dissoute et extractible aux 41 stations : le cas du nickel	14
Figure 7	Variabilité temporelle des ratios entre les concentrations dissoute et extractible : le cas du nickel à la station 05220544 (L'Assomption).....	15
Figure 8	Groupements de stations obtenus à partir des concentrations médianes des métaux extractibles As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn	16
Figure 9	Localisation des cinq groupes de stations obtenus par classification	18

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Description des provinces naturelles du Cadre écologique de référence	25
Annexe 2	Liste des stations étudiées (localisation)	26
Annexe 3	Interprétation des diagrammes en boîte à moustaches et des comparaisons multiples	27
Annexe 4	Coefficients de corrélation de Spearman : métaux extractibles	28
Annexe 5	Coefficients de corrélation de Spearman : métaux dissous	29
Annexe 6	Distribution des concentrations de métaux extractibles à chacune des 41 stations étudiées (2008-2011) : (a) argent, (b) aluminium, (c) arsenic, (d) bore, (e) baryum, (f) béryllium, (g) cadmium, (h) cobalt, (i) chrome, (j) cuivre, (k) fer, (l) manganèse, (m) molybdène, (n) nickel, (o) plomb, (p) antimoine, (q) strontium, (r) uranium, (s) vanadium et (t) zinc.....	30
Annexe 7	Concentrations médianes de métaux extractibles par stations (2008-2011)	40
Annexe 8	Distribution des concentrations de métaux dissous à chacune des 41 stations étudiées (2008-2011) : (a) argent, (b) aluminium, (c) arsenic, (d) bore, (e) baryum, (f) béryllium, (g) cadmium, (h) cobalt, (i) chrome, (j) cuivre, (k) fer, (l) manganèse, (m) molybdène, (n) nickel, (o) plomb, (p) antimoine, (q) strontium, (r) uranium, (s) vanadium et (t) zinc.....	41
Annexe 9	Concentrations médianes de métaux dissous par stations (2008-2011)	51
Annexe 10	Distribution des paramètres complémentaires à chacune des 41 stations étudiées (2008-2011) : (a) calcium, (b) chlore, (c) carbone organique dissous, (d) conductivité, (e) potassium, (f) magnésium, (g) sodium, (h) pH, (i) matières en suspension et (j) dureté	52
Annexe 11	Valeurs médianes de paramètres complémentaires par stations (2008-2011).....	57
Annexe 12	Ratios médians entre les concentrations dissoute et extractible (par stations).....	58
Annexe 13	Distribution des ratios entre les concentrations dissoute et extractible des métaux aux 41 stations (2008-2011) : (a) argent, (b) aluminium, (c) arsenic, (d) bore, (e) baryum, (f) béryllium, (g) cadmium, (h) cobalt, (i) chrome, (j) cuivre, (k) fer, (l) manganèse, (m) molybdène, (n) nickel, (o) plomb, (p) antimoine, (q) strontium, (r) uranium, (s) vanadium et (t) zinc	60
Annexe 14	Statistiques descriptives (2008-2011) des métaux extractibles par groupes de stations.....	70
Annexe 15	Statistiques descriptives (2008-2011) des paramètres complémentaires par groupes de stations.....	72
Annexe 16	Comparaison des concentrations de métaux extractibles entre les cinq groupes de stations : (a) arsenic, (b) cadmium, (c) chrome, (d) cuivre, (e) nickel, (f) plomb, (g) zinc et des paramètres complémentaires : (h) carbone organique dissous, (i) conductivité, (j) pH, (k) matières en suspension et (l) dureté	74
Annexe 17	Comparaison des ratios des concentrations dissoute et extractible des métaux entre les cinq groupes de stations : (a) arsenic, (b) cadmium, (c) chrome, (d) cuivre, (e) nickel, (f) plomb et (g) zinc	80

1 INTRODUCTION

1.1 Présence des métaux dans l'environnement

La présence des métaux dans les eaux de surface est généralement associée à l'altération de la roche mère et à l'érosion des dépôts de surface dont la composition géologique varie d'une région à l'autre. À ces sources naturelles peuvent s'ajouter des sources ponctuelles et diffuses d'origine anthropique. Les parcs à résidus miniers, les rejets industriels et municipaux ainsi que les sites d'enfouissement représentent des sources potentielles de métaux dans les eaux de surface. Les activités agricoles, en diminuant la couverture naturelle des sols, favorisent leur érosion et les apports de métaux vers les cours d'eau. Si, à de faibles concentrations, certains métaux comme le cuivre et le zinc sont essentiels aux organismes, ils peuvent devenir toxiques à de fortes concentrations (Mason, 2013).

Les métaux peuvent être présents sous forme dissoute, colloïdale ou en suspension dans l'eau. Toutefois, la forme colloïdale est la plupart du temps comprise dans la forme dissoute puisque la porosité des filtres généralement utilisés ne permet pas de retenir ces fines particules. La présence de métaux sous forme particulaire ou dissoute résulte des nombreux processus régissant l'interaction des métaux avec les particules en suspension et leur éventuelle précipitation (Sigg, Behra et Stumm, 2006). Ainsi, les métaux peuvent se trouver simultanément sous forme dissoute et sous forme particulaire dans les cours d'eau, dans des proportions qui varient selon les propriétés physico-chimiques de l'eau et la présence d'autres métaux. Certains métaux peuvent également s'accumuler dans les organismes aquatiques.

1.2 Historique du suivi des métaux dans les rivières du Québec

Un examen de documents portant sur la qualité des eaux dans les rivières du Québec publiés par le gouvernement du Québec permet de dater le début du suivi des substances toxiques vers la fin des années 1970 (Gauthier et autres, 1978; Dupont et Goulet, 1979). De 1979 à 1992, le ministère de l'Environnement du Québec a effectué, dans le cadre des activités du Réseau-toxiques et du Réseau-rivières, un suivi des métaux lourds dans les rivières du Québec (Croteau, Goulet et Laliberté, 1983; Paul et Laliberté, 1985). Les données étaient emmagasinées dans une banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) gérée par ce ministère et toujours active à ce jour.

Au cours de cette période, les prélèvements étaient souvent réalisés avec du matériel non décontaminé, par des citoyens formés par le Ministère alors que les analyses en laboratoire étaient réalisées dans des locaux qui n'étaient pas réservés à la mesure des métaux à l'état de traces. À la suite de contrôles de qualité réalisés par le Ministère et d'essais comparatifs interlaboratoires, un doute sur la validité des données a été émis. Une contamination des échantillons au moment du prélèvement et de l'analyse en laboratoire a alors été mise en cause. Une étude réalisée aux États-Unis (Windom et autres, 1991) avait également remis en question la validité des données de métaux recueillies dans le cadre du réseau NASQUAN (*National Stream Quality Accounting Network*) de l'agence américaine USGS (*United States Geological Survey*).

À la suite de ces constats, le Ministère a mandaté l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau) pour effectuer une validation des données et formuler des recommandations sur la poursuite du suivi des métaux à l'état de traces dans les cours d'eau du Québec. Le rapport qui découle de cette validation a recommandé notamment (Lachance, Duchemin et Campbell, 1993) :

- que l'échantillonnage soit réalisé lors de campagnes intensives spécialement consacrées au suivi des métaux par du personnel technique qualifié et bien formé;
- qu'un meilleur contrôle de la manipulation des échantillons au moment du prélèvement et de l'analyse soit mis en place pour diminuer les risques de contamination;
- que le nouveau protocole d'échantillonnage de l'USGS pour le suivi des métaux à l'état de traces soit utilisé.

Le suivi des métaux effectué dans le cadre du Réseau-rivières a alors été suspendu de 1993 à 2004 pour donner suite à ces recommandations. Quelques études spéciales et de courte durée, visant des objectifs, des territoires ou des problématiques particuliers, ont toutefois été effectuées entre 1997 et 2004 (voir par exemple : Berryman et autres, 2003; Berryman et Jalbert, 2004; Laliberté, 2008).

Au fil du temps, les techniques de prélèvement et de conservation des échantillons, de même que les méthodes analytiques ont évolué au gré du développement de nouveaux appareils de mesure plus précis et plus sensibles. Le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) a alors acquis des équipements plus performants et s'est doté d'une chambre « blanche » à pression positive où les risques de contamination sont grandement réduits. Un protocole de décontamination du matériel d'échantillonnage de même qu'un protocole d'échantillonnage très strict ont été mis en place pour éliminer les sources possibles de contamination. Ainsi, entre 2004 et 2008, le suivi des métaux a été repris dans une quarantaine de rivières du Québec. Toutefois, la méthode analytique utilisée générait des résultats qui ne représentaient pas de manière appropriée les formes extractible (c'est-à-dire totale) ou dissoute des métaux. En 2008, dans le cadre d'une étude comparative de cinq méthodes d'analyse ciblant différentes formes de métaux, deux méthodes analytiques pour la détermination par ICP-MS des métaux traces dissous et extractibles en conditions propres ont finalement été retenues (Hébert et autres, 2009).

De 2008 à 2013, des campagnes d'échantillonnage ont été effectuées dans 73 rivières se trouvant dans différentes régions hydrographiques du Québec. Pour neuf de ces rivières, tributaires du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Québec, l'échantillonnage est effectué chaque année afin de suivre l'évolution des concentrations de métaux. Pendant cette période, des études spécifiques ont également été réalisées (voir par exemple : Berryman, Guay et Beaudoin, 2012; Laliberté, 2013).

1.3 Objectifs et portée de l'étude

Les concentrations de métaux extractibles et dissous (aluminium, antimoine, argent, arsenic, baryum, béryllium, bore, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, fer, manganèse, molybdène, nickel, plomb, sélénium, strontium, uranium, vanadium et zinc) mesurées entre 2008 et 2011 dans 41 rivières se jetant dans le fleuve Saint-Laurent et la rivière des Outaouais ont été utilisées pour dresser un portrait récent de la présence des métaux dans les rivières du sud-ouest du Québec. Les principaux objectifs de la présente étude sont les suivants :

- présenter les statistiques descriptives sur les concentrations des métaux;
- comparer les concentrations des métaux dissous aux critères de qualité;
- déterminer le ratio des concentrations dissoute et extractible des métaux;
- regrouper les rivières sur la base de la forme extractible de sept métaux d'intérêt.

Cette étude utilise une approche qui repose essentiellement sur les statistiques descriptives. Elle ne vise pas à déterminer les liens entre l'hydrométéorologie, les activités humaines et la présence des métaux dans les rivières, ni à documenter les effets toxiques de ces métaux sur le milieu aquatique.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Métaux étudiés et critères de qualité

Les 21 métaux étudiés sont listés au tableau 1. Ces métaux appartiennent à différentes familles d'éléments chimiques, soit les métaux alcalino-terreux (Be, Sr, Ba), les métaux de transition (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Cd), les métaux pauvres (Al, Pb), les métalloïdes (B, As, Sb), le non-métal (Se) et l'actinide (U). De plus, dix paramètres complémentaires ont également été mesurés, soit cinq ions majeurs (Ca, Cl, K, Mg, Na), le carbone organique dissous (COD), la conductivité totale (COND), le pH et

les matières en suspension (SS). La dureté totale de l'eau (dureté) a été calculée par la relation : dureté (mg CaCO₃/l) = 2,497 x [Ca] + 4,118 x [Mg] où [Ca] est la concentration de calcium (mg/l) et [Mg] est la concentration de magnésium (mg/l).

Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques a adopté pour chaque métal des critères de qualité des eaux de surface qui définissent les concentrations assurant la protection de la vie aquatique (MDDEFP, 2013a). Les critères établis pour les effets chroniques ont été retenus dans cette étude (tableau 1). Ces critères correspondent à la concentration la plus élevée d'un métal qui ne produira pas d'effet néfaste sur les organismes aquatiques lorsqu'ils y seront exposés pendant toute leur vie. Puisque la forme et la toxicité des métaux varient en fonction des caractéristiques du milieu, les critères de qualité peuvent être influencés par certains facteurs environnementaux. D'ailleurs, plusieurs des critères actuels intègrent la dureté de l'eau dans leur formulation; plus la dureté est faible, plus le métal est potentiellement toxique pour la faune et la flore. D'autres facteurs influencent aussi la toxicité des métaux. Al-Reasi, Wood et Smith (2011) mentionnent que le carbone organique dissous, un agent complexant omniprésent dans les eaux naturelles, est reconnu comme un facteur important susceptible d'atténuer la toxicité des métaux en milieu aqueux. Dans la présente étude, seule la dureté totale a été prise en considération pour établir les critères de qualité des eaux.

Dans notre étude, la fraction dissoute des métaux a été comparée aux critères de qualité, car elle est plus représentative de la fraction biodisponible, potentiellement toxique. Lorsqu'aucun critère n'était disponible pour la forme dissoute d'un métal, le critère lié à la forme extractible a été utilisé (MDDEFP, 2013a). Le critère suggéré pour l'aluminium (87 µg/l) n'a pas été retenu dans cette étude. Selon MDDEFP (2013a), le critère de 87 µg/l s'applique à des eaux ayant des duretés inférieures à 10 mg/l et un pH d'environ 6,5. Seulement 8 % des échantillons analysés comblaient ces deux exigences durant la période 2008-2011.

Tableau 1 Liste des métaux et des critères de qualité de l'eau

Critères pour la protection de la vie aquatique (effet chronique) ¹					
Métal		Forme dissoute (µg/l)	Métal		Forme dissoute (µg/l)
Ag	Argent	0,1	Mn ²⁺	Manganèse	255 – 4087
As	Arsenic	150	Mo	Molybdène	3200
B	Bore	5000	Ni ²⁺	Nickel	7,4 – 107
Ba ²⁺	Baryum	38 – 1086	Pb ²⁺	Plomb	0,170 – 6,3
Be ³⁺	Béryllium	0,041 – 20,7	Se	Sélénium	4,6
Cd ²⁺	Cadmium	0,05 – 0,44	Sb	Antimoine	240
Co	Cobalt	100	Sr	Strontium	21000
Cr ⁵⁺	Chrome	10,6	U ⁴⁺	Uranium	14 – 200
Cu ²⁺	Cuivre	1,25 – 18,6	V	Vanadium	12
Fe	Fer	1300	Zn ²⁺	Zinc	16,8 – 244

¹ Source : MDDEFP (2013a)

² Pour ces métaux, la valeur des critères dépend de la dureté de l'eau. La plage des valeurs présentées correspond aux critères calculés pour une dureté minimale de 10 mg/l et maximale de 235 mg/l.

³ Pour le béryllium, les critères présentés correspondent à des duretés de 20 mg/l et 235 mg/l.

⁴ Pour l'uranium, les critères présentés correspondent à des duretés de 20 mg/l et 200 mg/l.

⁵ Le critère associé au chrome hexavalent (CrVI) a été utilisé.

2.2 Stations étudiées

Les 41 stations d'échantillonnage étudiées sont listées au tableau 2 et localisées à la figure 1. Ces stations se trouvent à proximité des exutoires de 36 bassins versants tributaires du fleuve Saint-Laurent, entre Montréal et l'île d'Orléans, ainsi qu'à proximité des exutoires de 5 bassins versants se jetant dans la rivière des Outaouais.

Tableau 2 Liste des stations étudiées (description des stations)

Numéro BQMA	LOCALISATION DE LA STATION
2300001	Boyer, au pont-route 281 au sud-est de Saint-Michel; métaux : rive gauche, 100 m en amont
2330001	Etchemin, au pont-route 132 à Saint-Romuald; métaux : rive droite, 425 m en amont (accès face au 2685, rue du Vieux-Moulin)
2340034	Beaurivage, au pont-route 171 à Saint-Étienne-de-Lauzon; métaux : rive gauche, 700 m en amont (accès derrière le 735, rue Principale)
2340037	Chaudière, rive gauche à 1 km en amont du pont-route 132; à 25 m en amont de l'émissaire de Saint-Nicolas, au début du boisé
2360014	du Chêne, au pont-route du chemin du Vieux moulin à Leclercville; métaux : rive gauche, 50 m en amont
2370002	Petite du Chêne, au pont-route 265 à Deschaillons
2390001	Gentilly, au pont-route 132 à Gentilly
2400004	Bécancour, au pont-route 132 à Bécancour; métaux : rive droite, 10 m en amont
3010008	Nicolet, au pont-route 226 à Sainte-Monique; métaux : rive gauche, 60 m en amont
3010009	Nicolet, sud-ouest, au pont-route 226 à La Visitation; métaux : rive gauche, 20 m en amont
3020031	Saint-François, au pont-route 132 à Pierreville; métaux : rive droite, à la rampe de mise à l'eau
3030023	Yamaska, au pont-route 132 à Yamaska; métaux : rive gauche, 30 m en amont
3040193	Richelieu, rive gauche à la rampe de mise à l'eau, à 200 m en aval de l'usine de filtration de Tracy
3090001	Châteauguay, au pont-route 205, au nord de Sainte-Martine; métaux : rive droite, 25 m en amont
4010002	du Nord, au pont-route 344 à Saint-André-Est; métaux : rive droite, 100 m en aval
4020001	Rouge, au pont-route 148 à l'embouchure; métaux : rive gauche, 150 m en amont (halte routière)
4040001	de la Petite Nation, au pont-route 148 à Plaisance : métaux : rive droite, 75 m en amont
4060162	du Lièvre, rive gauche, 300 m en amont du pont de chemin de fer, parc du Landing
4080003	Gatineau, au pont-route Alonzo-Wright en amont du ruisseau Chelsea; métaux : rive gauche, 180 m en amont, derrière le Centre dentaire Limbour
4320069	des Mille-Îles, passerelle de l'île du Moulin à Terrebonne; métaux : rive gauche, environ 100 m en amont du barrage
4330017	des Prairies, rive droite, rampe de mise à l'eau, 1,2 km en amont du pont Legardeur (route 138)
4640003	Mascouche, rive droite, 500 m en amont du pont-route 640
5010532	Saint-Maurice, rive sud de l'île Saint-Quentin à Trois-Rivières, 50 m en amont du Club Kayak-Canot, au début du sentier
5020006	Champlain, au pont-route du rang Picardie
5030001	Batiscan, au pont-route à Sainte-Geneviève-de-Batiscan
5040006	Blanche, au pont du rang de la Rivière-Blanche Est à Saint-Casimir; métaux : rive gauche, 100 m en amont
5040196	Sainte-Anne, rive gauche, 900 m en amont de l'autoroute 40 à Sainte-Anne-de-la-Pérade
5070012	Portneuf, au pont de la 1 ^{re} Avenue à Portneuf
5080105	Jacques-Cartier, à la prise d'eau de Donnacona; métaux : rive gauche, 50 m en amont
5090014	Lorette, près de son embouchure, au pont du boulevard Masson à Québec; métaux : rive droite, 25 m en amont
5090015	du Berger, près de son embouchure, au pont du boulevard Central à Québec; métaux : rive gauche, 25 m en amont
5090017	Saint-Charles, au pont Dorchester à Québec; métaux : rive droite, 35 m en amont
5100014	Montmorency, au pont-route 360 (avenue Royale) à Boischatel; métaux : rive gauche, plage à 100 m en amont
5220544	L'Assomption, rive gauche, 400 m en amont de l'autoroute 40, accès par la rue Allard à Repentigny
5230001	Chaloupe, au pont-route de la rue de Frontenac
5240001	Bayonne, au pont-route de Notre-Dame (route 138) à Berthierville
5250002	Chicot, au pont-route 138 à Sainte-Geneviève-de-Berthier
5260038	Maskinongé, rive droite, 650 m en amont de l'autoroute 40, face au 376, rang de la Sud-Ouest En 2005 et 2006, rive gauche, 430 m en amont de la station actuelle
5280001	du Loup, rive droite à 4 km de l'embouchure, rampe de mise à l'eau derrière le 823, rue Notre-Dame Sud à Louiseville
5290001	Petite Yamachiche, au pont de la route de la Bezote (sud-ouest de Yamachiche)
5300004	Yamachiche, au pont du chemin Charles-Lesieur

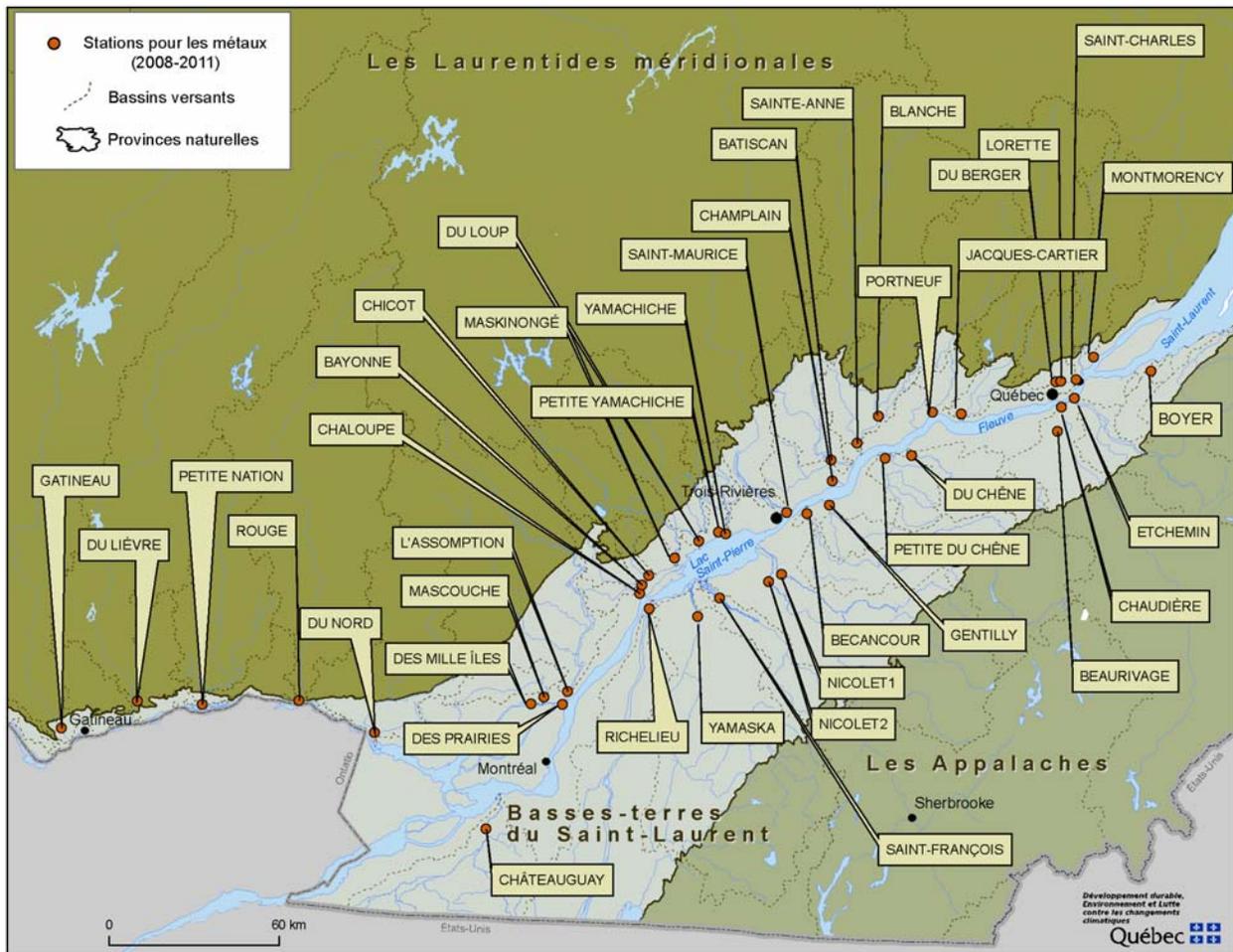


Figure 1 Localisation des stations d'échantillonnage des eaux de surface pour les métaux

Les stations étudiées se retrouvent dans quatre provinces naturelles définies dans le Cadre écologique de référence (Li et Ducruc, 1999) : les Appalaches, les basses-terres du Saint-Laurent, les Laurentides méridionales et les basses-terres de l'Abitibi et de la baie James (annexe 1). Ces provinces se distinguent par rapport à leurs composantes climatique, topographique, hydrologique, géologique, pédologique, floristique et faunique.

Sigg, Behra et Stumm (2006) rappellent qu'il existe une relation entre la composition géologique des bassins versants et la composition chimique de l'eau. De façon générale, les concentrations de métaux dans les cours d'eau qui s'écoulent sur des roches cristallines (par exemple, le gneiss) sont plus faibles comparativement à celles qu'on retrouve dans les cours d'eau qui s'écoulent sur des roches et des dépôts sédimentaires (par exemple, le schiste). Les coordonnées géographiques de longitude et de latitude, la superficie drainée ainsi que les proportions des bassins versants compris dans les provinces naturelles ici visées ont été obtenues pour chaque station étudiée (annexe 2). Puisque la province naturelle des basses-terres de l'Abitibi et de la baie James ne représente que 14 % des superficies drainées aux stations 4320069 et 4330017 uniquement, ces superficies ont été intégrées à la province naturelle des Laurentides méridionales. Les superficies des bassins versants à l'étude varient de 67,3 km² à 42 691,3 km². Plusieurs bassins versants drainent des territoires appartenant à plus d'une province naturelle. Aucun bassin versant n'est compris entièrement dans la province des Appalaches alors que six bassins versants appartiennent entièrement à la province des basses-terres du Saint-Laurent et trois, à la province des Laurentides méridionales.

2.3 Échantillonnage

Un échantillonnage mensuel des eaux de surface a été réalisé des mois de mai à octobre de 2008 à 2011. La figure 2 présente la distribution interannuelle des prélèvements aux 41 stations échantillonnées. Chaque point du graphique représente une saison d'échantillonnage, soit six prélèvements d'eau. Il est à noter que les stations étaient généralement échantillonnées par région afin de minimiser les coûts associés aux déplacements (par exemple, échantillonnage dans la région de Québec en 2008).

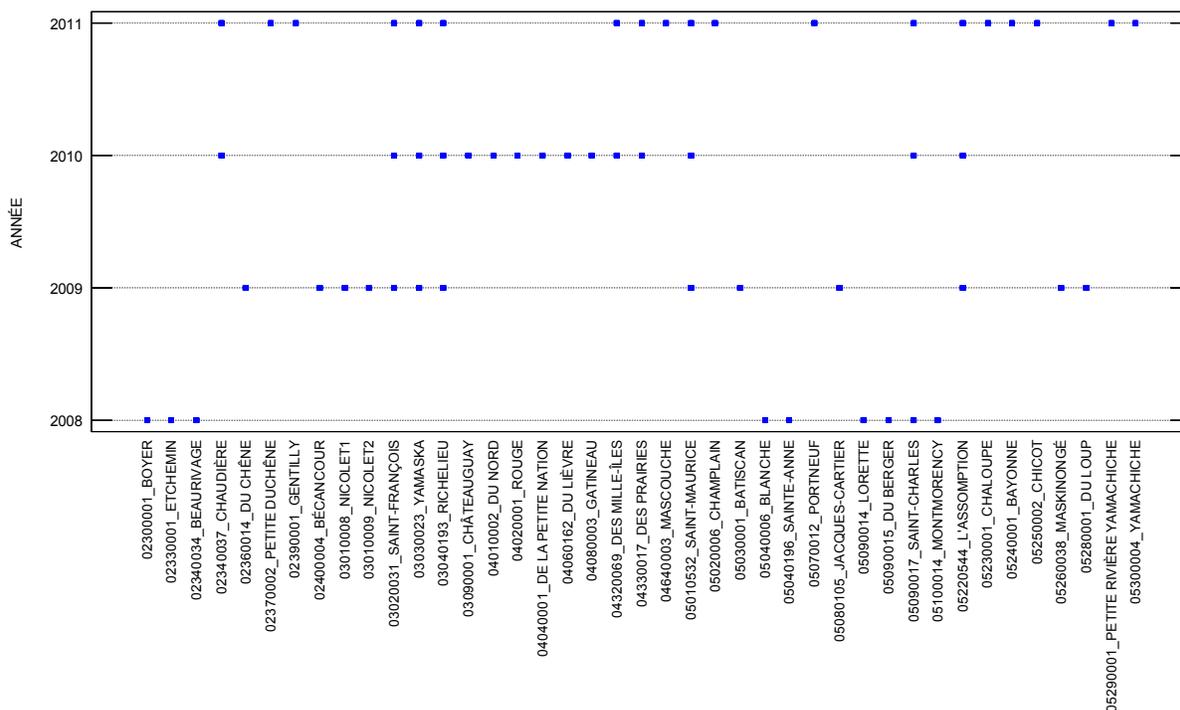


Figure 2 Distribution interannuelle des prélèvements aux 41 stations échantillonnées

La décontamination du matériel d'échantillonnage des métaux a été réalisée selon les règles de l'art (CEAEQ, 2014). Les prélèvements d'eau ont été effectués à gué à chaque station selon une variante simplifiée de la technique « mains propres/mains sales » de l'Agence américaine de protection de l'environnement (MDDEFP, 2013b). Un premier prélèvement d'eau a été effectué à une profondeur d'environ 30 cm sous la surface à l'aide d'une bouteille en polyéthylène décontaminée de 500 ml. Un sous-échantillon de 125 ml était extrait, puis acidifié avec du HNO₃ concentré pour l'analyse des métaux extractibles et des ions majeurs. Un second sous-échantillon de 20 ml a été filtré à l'aide d'une seringue décontaminée et d'un filtre en acrylique de 0,45 µm, puis acidifié pour l'analyse des métaux dissous. Un autre prélèvement d'eau a été effectué pour l'analyse des matières en suspension et du carbone organique dissous. Le pH et la conductivité étaient mesurés *in situ* avec une sonde YSI 556 MPS. Les échantillons d'eau étaient conservés sur la glace à environ 4 °C jusqu'à leur arrivée au laboratoire.

2.4 Analyses en laboratoire

Les échantillons d'eaux de surface ont été analysés au 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. 3.2;
- matières en suspension : MA. 104 - S.S. 2.0;
- carbone organique dissous : MA. 300 - C 1.0.

Le site Internet du CEAEQ fournit une description des méthodes analytiques utilisées ainsi que des contrôles de qualité : www.ceaeg.qouv.qc.ca/methodes/methode_index.htm. Les limites de détection des appareils analytiques sont également présentées dans ces méthodes. Le problème associé aux concentrations de métaux se situant sous les limites de détection a été résolu en utilisant une valeur qui équivaut à la moitié de cette valeur.

2.5 Analyses statistiques

Les analyses statistiques utilisées comprenaient des analyses descriptives et multivariées : diagrammes en boîte à moustaches (*box plots*), corrélations, comparaisons multiples, classifications hiérarchiques (*cluster analysis*), analyses discriminantes. Ces analyses ont été effectuées à l'aide des progiciels STATGRAPHICS, version XVI (StatPoint Technologies inc., 2011) et SigmaPlot, version 12 (SysTat Software inc. 2011). L'intervalle de confiance était fixé à 95 %. L'annexe 3 présente quelques renseignements sur l'interprétation des diagrammes en boîte à moustaches et des comparaisons multiples. Les autres méthodes d'analyse seront précisées aux moments opportuns dans le texte.

3 RÉSULTATS

3.1 Statistiques descriptives pour l'ensemble des stations

La base de données utilisée couvre la période 2008-2011 et comprend 336 échantillons d'eau, pour un total de 13 409 mesures de concentrations de métaux extractibles et dissous.

3.1.1 Métaux extractibles

Le tableau 3 présente les statistiques descriptives de chacun des métaux extractibles pour l'ensemble des 41 stations étudiées durant la période 2008-2011.

Tableau 3 Statistiques descriptives (2008-2011) : métaux extractibles (données brutes)

Métal (µg/l)	Nombre	Moyenne	Médiane	Écart-type	Minimum*	Maximum	25 %	75 %
Ag	336	0,007	0,004	0,008	< 0,003	0,085	< 0,003	0,008
Al	336	830	280	1828	33	21000	140	710
As	336	0,65	0,45	0,64	< 0,09	4,0	0,24	0,73
B	336	15,7	11	16,5	2,1	160	6,5	19
Ba	335	36,1	22	56,7	5,5	730	13	38
Be	336	0,033	0,018	0,059	< 0,01	0,65	0,01	0,034
Cd	336	0,019	0,014	0,018	< 0,006	0,18	0,009	0,021
Co	336	0,527	0,27	0,987	0,05	13	0,165	0,53
Cr	336	1,63	0,665	3,39	0,09	43	0,33	1,45
Cu	317	2,23	1,6	2,32	0,22	25	1,1	2,4
Fe	336	1336	700	2327	79	28000	410	1300
Mn	336	54,8	36,5	67,3	6,9	810	22	62
Mo	335	0,418	0,31	0,423	0,029	3,7	0,18	0,5
Ni	336	2,10	1,4	2,92	0,19	32	0,77	2,35
Pb	336	0,583	0,32	0,904	0,04	10	0,185	0,625
Sb	335	0,070	0,059	0,062	0,016	0,82	0,038	0,081
Se	336	< 0,3	< 0,3	0,04	< 0,3	0,5	< 0,3	< 0,3
Sr	336	170	110	196	15	1600	59	210
U	336	0,226	0,16	0,211	0,01	1,2	0,087	0,285
V	330	2,2	1,2	3,8	0,21	43	0,59	2,2
Zn	336	5,0	2,9	7,3	< 0,7	83	1,8	5,3

* Le signe < indique que la concentration était inférieure aux limites de détection pour ce métal.

L'examen des valeurs minimales et des 25^{es} centiles indique que les concentrations des formes extractibles d'argent et de sélénium étaient souvent sous leurs limites de détection. Pour le sélénium, puisque 325 des 336 échantillons analysés présentaient des concentrations en dessous des limites de détection, ce métal a été exclu des analyses subséquentes.

3.1.2 Métaux dissous et dépassement des critères de qualité

Le tableau 4 présente les statistiques descriptives de chacun des métaux dissous pour l'ensemble des 41 stations étudiées durant la période 2008-2011.

Tableau 4 Statistiques descriptives (2008-2011) : métaux dissous (données brutes)

Métal (µg/l)	Nombre	Moyenne	Médiane	Écart-type	Minimum*	Maximum	25 %	75 %
Ag	305	0,002	< 0,001	0,002	< 0,001	0,032	< 0,001	0,002
Al	305	54	42	41	7,9	280	26	70
As	305	0,36	0,34	0,22	0,06	1,1	0,17	0,5
B	305	15,7	11	16,9	2,1	160	6,5	18
Ba	305	27,1	14	57,0	5,1	780	9,7	28
Be	305	0,008	< 0,008	0,006	< 0,008	0,035	< 0,008	0,01
Cd	305	0,009	0,008	0,004	< 0,006	0,027	0,006	0,011
Co	305	0,125	0,11	0,083	0,02	0,78	0,068	0,16
Cr	305	0,205	0,16	0,174	0,05	2,3	0,12	0,24
Cu	304	1,29	1,2	0,682	0,15	3,8	0,82	1,6
Fe	305	243	180	234	5	1700	110	290
Mn	305	25,8	16	34,9	1,6	360	8,8	28
Mo	304	0,429	0,315	0,456	0,045	3,8	0,19	0,51
Ni	305	0,87	0,68	0,62	0,12	4,3	0,4	1,1
Pb	305	0,115	0,1	0,065	< 0,03	0,43	0,07	0,14
Se	305	< 0,3	< 0,3	0,052	< 0,3	0,4	< 0,3	< 0,3
Sb	286	0,067	0,057	0,070	0,014	0,91	0,036	0,073
Sr	303	165	110	199	13	1700	57	210
U	305	0,20	0,13	0,21	0,008	1,2	0,074	0,26
V	305	0,69	0,49	0,57	0,13	4,0	0,29	0,87
Zn	304	0,97	0,8	0,66	0,2	5,1	0,5	1,3

* Le signe < indique que la concentration était inférieure aux limites de détection pour ce métal.

L'examen des valeurs minimales et des 25^{es} centiles indique que les concentrations des formes dissoutes d'argent, de béryllium et de sélénium étaient souvent sous leurs limites de détection. Les concentrations mesurées respectaient toujours les critères de qualité pour la protection de la vie aquatique (effet chronique), sauf dans le cas du fer, pour lequel deux dépassements ont été observés, soit à l'embouchure des rivières Gentilly et Champlain. Ces concentrations respectives de 1 400 µg/l et 1 700 µg/l dépassaient légèrement le critère de qualité de 1 300 µg/l pour le fer.

3.1.3 Paramètres complémentaires

Le tableau 5 présente les statistiques descriptives de chacun des paramètres complémentaires pour l'ensemble des 41 stations étudiées durant la période 2008-2011.

Tableau 5 Statistiques descriptives (2008-2011) : paramètres complémentaires (données brutes)

Paramètre	Nombre	Moyenne	Médiane	Écart-type	Minimum	Maximum	25 %	75 %
Ca (mg/l)	336	20,4	18	14,7	2,1	71	9,4	26,5
Cl (mg/l)	324	18,9	10	25,3	0,6	170	4,8	21
COD (mg/l)	335	7,9	6,7	4,3	3,1	29	5,4	9

COND (µS/cm)	322	187,8	149,5	158,9	7	921	78	242
K (mg/l)	336	2,17	1,5	3,18	0,16	34	0,97	2,4
Mg (mg/l)	336	4,67	3,8	3,99	0,42	24	2,1	5,8
Na (mg/l)	336	14,14	8,85	16,02	1,1	84	4,2	17
pH	320	7,6	7,6	0,5	6,1	9,2	7,3	7,8
SS (mg/l)	335	28,5	9,0	109,7	0,5	1800	4	19
Dureté (mg/l)	336	70,24	61,2	50,36	7,4	235,4	32,6	92,4

3.1.4 Ratios entre les métaux dissous et les métaux extractibles

La répartition des métaux entre les fractions dissoutes et les fractions particulaires joue un rôle important pour leur devenir dans les eaux naturelles (Sigg, Behra et Stumm, 2006). Il est à noter que la fraction particulaire correspond à la concentration en métal extractible (c'est-à-dire totale) moins la concentration en métal dissous. La figure 3 présente la distribution des ratios entre les concentrations des formes dissoute et extractible de chacun des métaux. Ces ratios donnent une mesure relative de la tendance des métaux à demeurer en solution et nous renseignent sur la forme dominante des métaux dans les échantillons d'eau. Ainsi, les métaux ayant un ratio supérieur à 0,50 indiquent la présence d'une forme dominante dissoute alors que les métaux ayant un ratio inférieur à 0,50 indiquent la présence d'une forme dominante particulaire. Les ratios supérieurs à 1 résultent de calculs effectués sur de très faibles concentrations se situant entre les limites de détection et de quantification des méthodes analytiques.

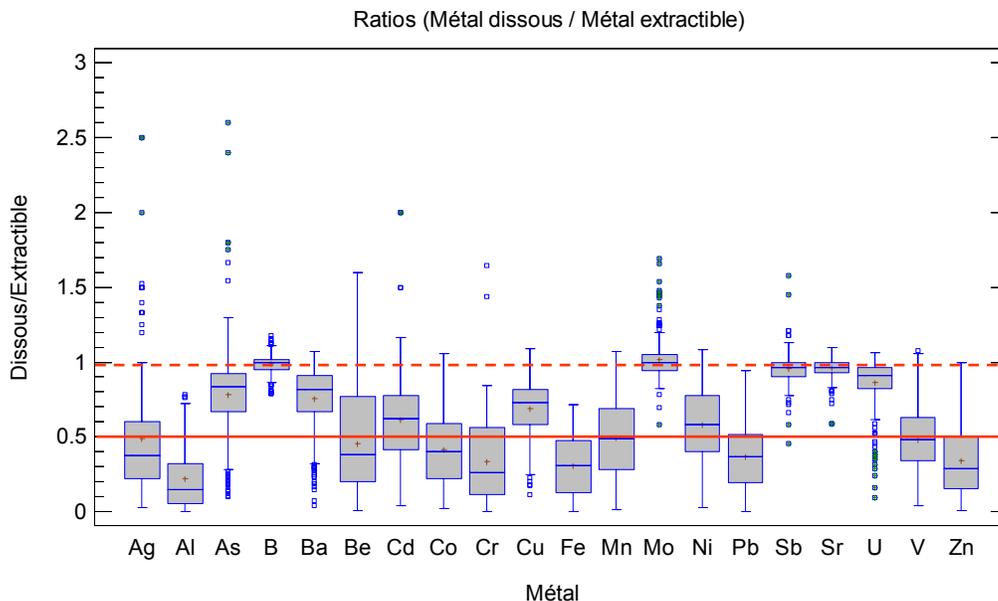


Figure 3 Ratios des concentrations de métaux dissous et extractibles pour les 41 stations durant la période 2008-2011

Les métaux en solution dans les milieux aquatiques interagissent avec les particules selon des processus d'adsorption, d'absorption et de précipitation (Honeyman et Santschi, 1988). En effet, les métaux dissous peuvent s'adsorber sur les particules en suspension et être ensuite désorbés alors que les métaux sous forme particulaire peuvent éventuellement précipiter et se sédimer au fond des cours d'eau. Une fois adsorbés aux particules, les métaux peuvent devenir difficiles à déloger. Par conséquent, l'adsorption peut être considérée comme un processus rapide alors que la désorption est généralement considérée comme un processus plus lent (Mason, 2013). Ces différents processus déterminent en partie la concentration des formes dissoute et particulaire des métaux dans les eaux de surface.

Les métaux présents majoritairement sous forme dissoute étaient l'arsenic, le bore, le baryum, le cadmium, le cuivre, le molybdène, le nickel, l'antimoine, le strontium et l'uranium alors que l'argent, l'aluminium, le béryllium, le cobalt, le chrome, le fer, le plomb et le zinc étaient surtout présents sous forme particulaire. Le manganèse et le vanadium se présentaient autant sous forme dissoute que sous forme particulaire. L'aluminium et le chrome étaient les deux métaux qui se présentaient le plus sous forme particulaire alors que le bore et le molybdène se présentaient majoritairement sous forme dissoute. Toutefois, la présence de plusieurs valeurs atypiques et extrêmes ainsi que l'étendue des interquartiles révèlent une grande variabilité dans la distribution des ratios pour plusieurs métaux. Pour l'aluminium, le fer et le zinc, la fraction particulaire était souvent dominante (75^e centile < 0,5) alors que la fraction dissoute était souvent dominante (25^e centile > 0,5) pour l'arsenic, le baryum, le cuivre et l'uranium. Le bore, le molybdène, l'antimoine et le strontium étaient quant à eux presque toujours sous forme dissoute.

3.1.5 Matrices de corrélation de Spearman

Les tableaux 6 et 7 présentent les coefficients de corrélation de Spearman entre les formes extractible et dissoute des 20 métaux et les paramètres complémentaires pour l'ensemble des échantillons d'eau prélevés aux 41 stations.

Tableau 6 Coefficients de corrélation de Spearman entre les métaux extractibles et les paramètres complémentaires (2008-2011)

Forme extractible (µg/l)	COD (mg/l)	COND (µS/cm)	pH	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)
Ag	0,34	0,42	0,24	0,70	0,39
Al	0,29	0,16	0,02	0,88	0,17
As	0,37	0,51	0,46	0,39	0,63
B	0,14	0,86	0,60	0,38	0,84
Ba	0,31	0,65	0,41	0,45	0,74
Be	0,32	0,03	-0,12	0,75	0,10
Cd	0,45	0,23	0,05	0,65	0,30
Co	0,36	0,39	0,21	0,90	0,43
Cr	0,31	0,31	0,19	0,90	0,32
Cu	0,34	0,53	0,36	0,80	0,55
Fe	0,32	0,23	-0,02	0,76	0,26
Mn	0,42	0,54	0,27	0,59	0,60
Mo	0,07	0,92	0,73	0,25	0,86
Ni	0,42	0,46	0,36	0,72	0,54
Pb	0,34	0,31	0,10	0,86	0,32
Sb	0,32	0,72	0,59	0,40	0,73
Sr	0,19	0,90	0,74	0,23	0,96
U	0,24	0,82	0,68	0,44	0,91
V	0,26	0,40	0,18	0,85	0,39
Zn	0,24	0,16	-0,09	0,78	0,15

Gras : corrélation non significative ($p \geq 0,05$).

Gras : corrélation significative ($p < 0,05$) avec $r \geq 0,5$.

Tous les métaux extractibles montrent des corrélations positives assez fortes ($r \geq 0,5$) avec au moins l'un des paramètres complémentaires. Toutefois, parmi les 193 relations significatives obtenues, seulement 37 présentent un coefficient égal ou supérieur à 0,50. Le COD présente des corrélations généralement plus faibles que les autres paramètres alors que les matières en suspension, la conductivité et la dureté sont fortement corrélées avec au moins neuf métaux. L'annexe 4 présente les coefficients de corrélation impliquant l'ensemble des métaux extractibles et des paramètres complémentaires. On y constate que le pH et le béryllium montrent le plus grand nombre de relations non significatives avec les autres variables.

En ce qui concerne les relations entre les cinq paramètres complémentaires, sept s'avèrent significatives, quoique seulement trois d'entre elles présentent un coefficient égal ou supérieur à 0,50. Comme prévu, la conductivité et la dureté sont fortement corrélées entre elles ($r = 0,94$).

Le tableau 7 montre que plusieurs métaux dissous présentent des relations significatives avec les paramètres complémentaires. Parmi les 89 relations significatives obtenues, 34 présentent un coefficient égal ou supérieur à 0,50. Contrairement à ce que l'on observe pour les métaux extractibles, seuls le cuivre et le vanadium montrent une forte corrélation positive avec les matières en suspension ($r \geq 0,5$).

Tableau 7 Coefficients de corrélation de Spearman entre les métaux dissous et les paramètres complémentaires (2008-2011)

Forme dissoute ($\mu\text{g/l}$)	COD (mg/l)	COND ($\mu\text{S/cm}$)	pH	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)
Ag	0,26	0,18	0,13	0,22	0,19
Al	0,33	-0,53	-0,45	0,00	-0,50
As	0,40	0,56	0,60	0,32	0,66
B	0,12	0,85	0,58	0,38	0,83
Ba	0,18	0,70	0,52	0,05	0,78
Be	0,26	-0,36	-0,35	0,02	-0,25
Cd	0,46	0,24	0,16	0,18	0,33
Co	0,46	0,63	0,46	0,42	0,72
Cr	0,60	-0,04	0,04	0,27	0,06
Cu	0,31	0,65	0,52	0,62	0,66
Fe	0,23	-0,27	-0,36	-0,15	-0,23
Mn	0,35	0,40	0,18	0,17	0,48
Mo	0,05	0,92	0,71	0,29	0,87
Ni	0,46	0,57	0,56	0,37	0,68
Pb	0,45	0,02	-0,03	0,21	0,04
Sb	0,30	0,72	0,61	0,39	0,74
Sr	0,16	0,89	0,74	0,19	0,95
U	0,19	0,88	0,76	0,27	0,94
V	0,29	0,45	0,30	0,65	0,46
Zn	0,15	-0,21	-0,32	-0,01	-0,21

Gras : corrélation non significative ($p \geq 0,05$).

■ : corrélation significative ($p < 0,05$) avec $r \geq 0,5$.

Le chrome dissous, qui correspond essentiellement au CrVI (car le CrIII est très peu soluble), est le seul métal qui présente une forte corrélation avec le COD. Puisque le CrVI est anionique et n'a pas d'affinité avec le COD, il n'est pas complexé avec celui-ci et la corrélation obtenue est probablement fortuite. Plusieurs métaux dissous (Al, Be, Fe et Zn) présentent une corrélation négative avec la conductivité, la dureté et le pH, ceux-ci étant les paramètres les plus fortement corrélés avec le plus grand nombre de métaux dissous. L'annexe 5 présente les coefficients de corrélation impliquant l'ensemble des métaux dissous et des paramètres complémentaires. On y constate que le chrome et le plomb montrent le plus grand nombre de relations non significatives avec les autres variables. Comparativement aux coefficients de corrélation impliquant la forme particulière des métaux (annexe 4), les coefficients obtenus pour la forme dissoute indiquent plusieurs corrélations négatives. Cette observation est particulièrement évidente pour l'aluminium et le fer.

Le tableau 8 présente les coefficients de corrélation de Spearman entre les ratios des formes dissoute et extractible des 20 métaux et les paramètres complémentaires pour l'ensemble des échantillons prélevés aux 41 stations. Parmi les 100 coefficients obtenus, il n'y en a que 16 qui indiquent une corrélation significative ($r \geq 0,50$).

Tableau 8 Coefficients de corrélation de Spearman entre les ratios dissous/extractible et les paramètres complémentaires (2008-2011)

Ratio dissous/extractible	COD (mg/l)	COND ($\mu\text{S/cm}$)	pH	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)
Ag	-0,18	-0,34	-0,22	-0,58	-0,31
Al	-0,02	-0,47	-0,29	-0,79	-0,46
As	-0,17	0,08	0,19	-0,27	0,00
B	0,02	-0,13	-0,11	-0,02	-0,14
Ba	-0,11	0,16	0,22	-0,72	0,17
Be	-0,05	-0,25	-0,12	-0,72	-0,27
Cd	-0,09	-0,03	0,06	-0,64	-0,07
Co	0,02	0,16	0,19	-0,73	0,16
Cr	0,01	-0,35	-0,18	-0,79	-0,32
Cu	-0,04	-0,01	0,12	-0,71	-0,04
Fe	0,01	-0,39	-0,25	-0,77	-0,38
Mn	0,01	0,07	-0,05	-0,39	0,08
Mo	-0,09	0,12	0,06	0,31	0,13
Ni	0,02	-0,01	0,12	-0,71	0,00
Pb	-0,03	-0,33	-0,16	-0,80	-0,38
Sb	-0,14	0,05	0,07	0,03	0,02
Sr	-0,05	0,42	0,41	-0,13	0,39
U	0,04	0,53	0,54	-0,36	0,53
V	-0,05	0,04	0,18	-0,69	0,02
Zn	-0,09	-0,34	-0,22	-0,76	-0,34

Gras : corrélation non significative ($p \geq 0,05$).

■ : corrélation significative ($p < 0,05$) avec $r \geq 0,5$.

Le carbone organique dissous ne semble pas avoir d'influence sur le ratio dissous/extractible des métaux. La conductivité et le pH présentent également cette tendance. Ces paramètres agissaient donc peu sur la forme dominante de la plupart des métaux étudiés. Le ratio dissous/extractible de l'uranium présente des relations significatives avec la conductivité, le pH et la dureté. Ainsi, plus élevées étaient les valeurs de ces trois paramètres dans les eaux de surface, plus forte était la prédominance de la forme dissoute de l'uranium. Mais c'est surtout l'influence des matières en suspension qui ressort de cette analyse. En effet, celles-ci se démarquent par les fortes corrélations négatives ($r \leq -0,50$) obtenues avec le ratio dissous/extractible de 13 métaux. Ainsi, plus élevée étaient les concentrations de matières en suspension dans l'eau, moins forte était la prédominance de la forme dissoute de ces 13 métaux. Notons toutefois les faibles relations linéaires entre les matières en suspension et les ratios dissous/extractible du bore et de l'antimoine, lesquels se présentent essentiellement sous forme dissoute (voir figure 3).

Sigg, Behra et Stumm (2006) rappellent que l'importance de la forme particulaire varie en fonction de la concentration des matières en suspension : la concentration en métal extractible augmente en fonction de la concentration de matières en suspension alors que la concentration en métal dissous reste faible. Une analyse des relations entre les ratios des formes dissoute et extractible des métaux et les concentrations de matières en suspension rend compte de la dynamique des métaux dans les eaux de surface. Par exemple, la figure 4 mettant en relation le ratio Ni dissous/Ni extractible et les concentrations de Ni extractible indique que la fraction particulaire du nickel augmente en fonction des concentrations de la forme extractible de ce métal. De la même façon, la figure 5 montre que la forme particulaire du nickel augmente en fonction de la présence des matières en suspension dans l'eau.

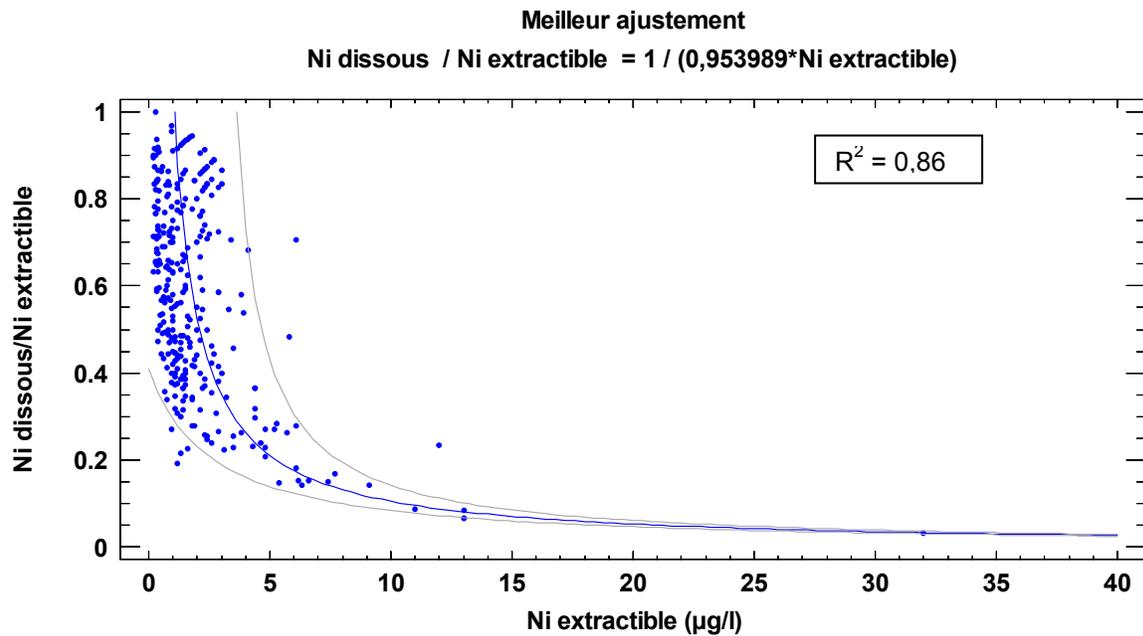


Figure 4 Relation entre les ratios Ni dissous/Ni extractible et le Ni extractible

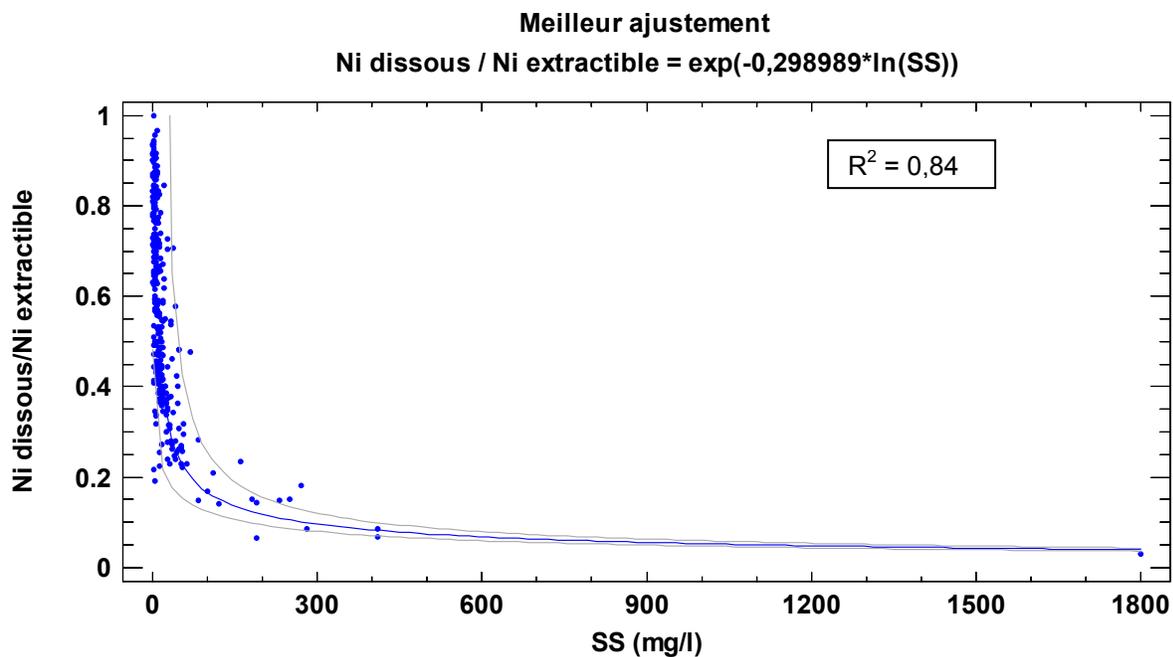


Figure 5 Relation entre les ratios Ni dissous/Ni extractible et les matières en suspension (SS)

3.2 Statistiques descriptives par stations

Les annexes 6 et 8 présentent, respectivement, la distribution des concentrations de métaux extractibles et dissous à chacune des 41 stations étudiées durant la période 2008-2011. Le positionnement des 41 stations le long de l'abscisse des graphiques permet une comparaison rapide de la variabilité des concentrations d'un métal entre les stations. De plus, l'étendue des distributions et les valeurs atypiques y sont aisément visibles. Les annexes 7 et 9 précisent les concentrations médianes de ces métaux pour chacune des stations.

L'annexe 10 présente la distribution des valeurs des paramètres complémentaires à chacune des 41 stations étudiées durant la période 2008-2011 alors que l'annexe 11 précise la valeur médiane de ces paramètres pour chaque station.

L'annexe 12 présente les ratios médians entre les concentrations dissoute et extractible pour chacun des métaux à chacune des 41 stations. Les métaux ayant un ratio supérieur à 0,50 indiquent une forme dominante dissoute alors que les métaux ayant un ratio inférieur à 0,50 indiquent une forme dominante particulaire. Le bore, le molybdène, l'antimoine, le strontium et l'uranium présentent des ratios médians indiquant une forme dominante dissoute (c'est-à-dire > 0,50) pour l'ensemble des 41 cours d'eau. Quant au cuivre et au baryum, ils se présentent surtout sous forme dissoute pour respectivement 38 et 37 des cours d'eau étudiés. À l'opposé, aucun métal ne présente un ratio médian indiquant une forme particulaire dominante (c'est-à-dire < 0,50) pour les 41 cours d'eau. Toutefois, cette forme est dominante pour l'aluminium, le fer, le zinc, l'argent et le plomb à au moins 33 des 41 stations étudiées.

Les ratios dissous/extractible médians présentent souvent une grande variabilité entre les stations, comme le montre le cas du nickel à la figure 6. L'annexe 13 illustre cette variabilité pour les autres métaux. De plus, la forme dominante d'un métal à une station peut aussi varier dans le temps (figure 7).

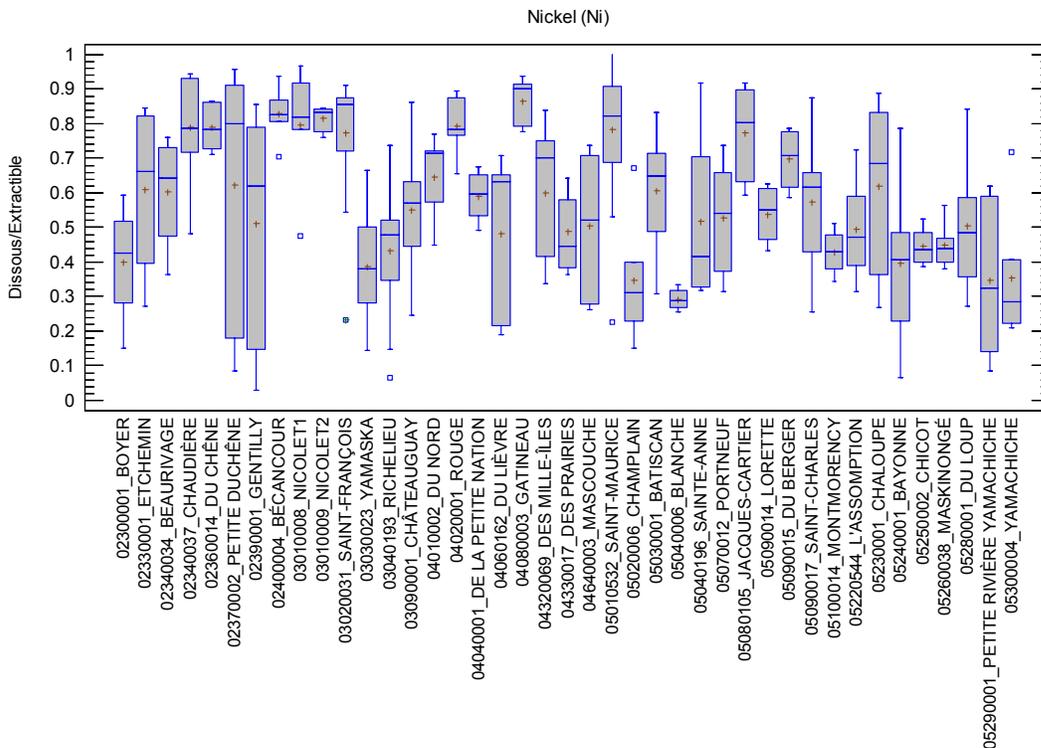


Figure 6 Variabilité spatiale des ratios entre les concentrations dissoute et extractible aux 41 stations : le cas du nickel

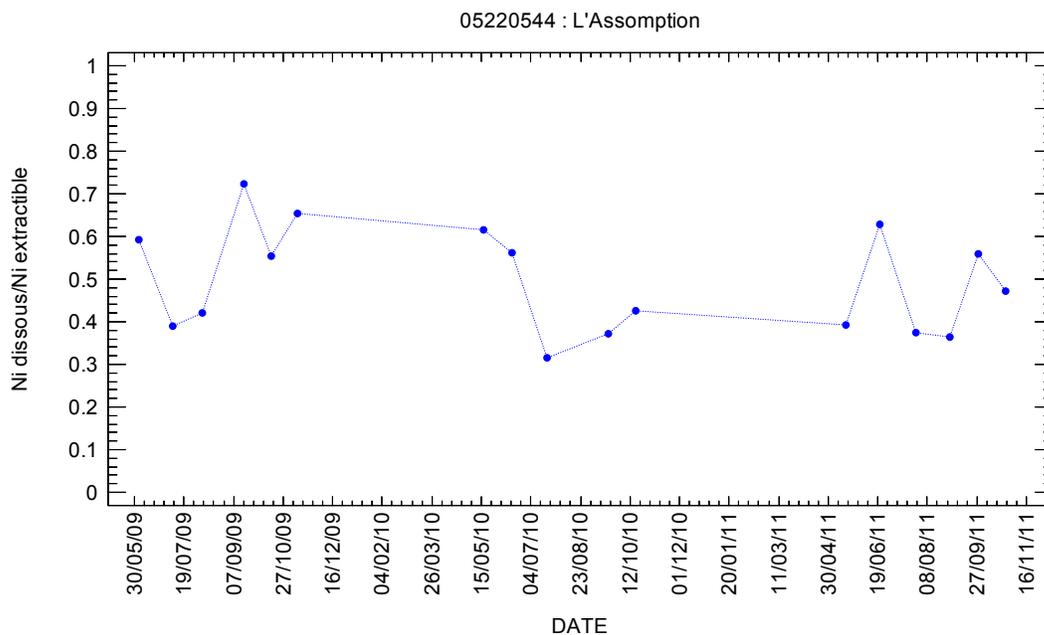


Figure 7 Variabilité temporelle des ratios entre les concentrations dissoute et extractible : le cas du nickel à la station 05220544 (L'Assomption)

Une analyse statistique a été effectuée entre les ratios dissous et extractible du nickel, les débits moyens journaliers, les précipitations totales journalières, la conductivité et les matières en suspension. Les ratios étaient corrélés négativement aux matières en suspension (coefficient de Spearman = -0,81) et aux précipitations cumulées sur les cinq jours précédant l'échantillonnage (coefficient de Spearman = -0,51). Les débits présentaient une corrélation négative avec la conductivité (coefficient de Spearman = -0,71), mais positive avec les matières en suspension (coefficient de Spearman = 0,54). Les causes des fluctuations des ratios dissous/extractible n'ont pas été examinées, mais les caractéristiques géologiques, pédologiques et hydroclimatiques, de même que l'occupation du territoire peuvent être déterminantes. De plus, la variabilité spatiale et saisonnière de certaines caractéristiques physico-chimiques des eaux peut aussi influencer les ratios dissous/extractible des métaux durant l'année (par exemple, la température, la conductivité, le pH, la matière organique).

3.3 Régionalisation des stations

3.3.1 Regroupement des stations

Une classification (ou regroupement) des 41 stations a été réalisée à partir des concentrations médianes de 7 métaux extractibles (voir annexe 7). La forme extractible des métaux a été choisie, car elle s'approche de la concentration totale pouvant exister dans un cours d'eau et s'inscrit dans les préoccupations de détermination des objectifs environnementaux de rejets du MDDELCC. L'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc ont été sélectionnés pour cette analyse, car ils comptent parmi les métaux les plus susceptibles de contaminer les milieux aquatiques à la suite des activités humaines (Mason, 2013). Pour créer les groupes de stations, la distance euclidienne au carré a été choisie comme mesure de « proximité » entre les stations alors que la méthode de Ward a été sélectionnée comme algorithme d'agglomération. Un choix logique et intuitif s'est finalement porté sur une classification en cinq groupes de stations. La figure 8 présente l'arborescence (dendrogramme) obtenue suite à la classification hiérarchique des 41 stations.

3.3.2 Validation des regroupements de stations

Pour valider les regroupements de stations obtenus par l'analyse de classification, deux analyses discriminantes ont été effectuées. Une première analyse a été effectuée avec les valeurs médianes des métaux extractibles As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn. Cette analyse avait pour but de s'assurer de l'exactitude des regroupements à partir du même ensemble de variables utilisées dans l'analyse de classification. Le tableau 10 présente la table de classification obtenue par cette première analyse discriminante.

Tableau 10 Résultats de la première analyse discriminante

Groupe actuel	Nombre de stations	Groupe prédit par l'analyse discriminante				
		1	2	3	4	5
1	5	5 (100,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
2	8	0 (0,0 %)	8 (100,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
3	12	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	10 (83,3 %)	1 (8,3 %)	1 (8,3 %)
4	10	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	10 (100,0 %)	0 (0,0 %)
5	6	0 (0,00 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	6 (100,0 %)

Pourcentage de stations correctement classifiées : 95,1 %.

L'analyse discriminante a permis de classer 95,1 % des 41 stations dans les mêmes groupes que ceux obtenus par l'analyse de classification hiérarchique (voir tableau 9). Seulement deux stations du groupe 3 ont été classifiées différemment : la station 4320069 (des Mille-Îles) a été classée dans le groupe 4 et la station 5260038 (Maskinongé) a été classée dans le groupe 5. La seconde analyse discriminante a été effectuée avec les valeurs médianes des métaux extractibles Ag, Al, B, Ba, Be, Co, Fe, Mn, Mo, Sb, Sr, U et V ainsi qu'avec les paramètres complémentaires Ca, Cl, COD, COND, K, Mg, Na, pH, SS et la dureté. Cette analyse discriminante avait pour but de s'assurer de l'exactitude des regroupements à partir d'un ensemble de variables différentes de celles qui avaient été utilisées dans l'analyse de classification. Le tableau 11 présente la table de classification obtenue par cette deuxième analyse discriminante.

Tableau 11 Résultats de la deuxième analyse discriminante

Groupe actuel	Nombre de stations	Groupe prédit par l'analyse discriminante				
		1	2	3	4	5
1	5	5 (100,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
2	8	0 (0,0 %)	8 (100,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
3	12	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	12 (100,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
4	10	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	9 (90,0 %)	1 (10,0 %)
5	6	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	6 (100,0 %)

Pourcentage de stations correctement classifiées : 97,6 %.

Comme l'indiquent les résultats du tableau 11, l'analyse discriminante a permis de classer 97,6 % des 41 stations dans les mêmes groupes que ceux qui avaient été obtenus par l'analyse de classification hiérarchique. Seule la station 5030001 (Batiscan) n'a pu être classifiée correctement dans le groupe 4, cette station ayant plutôt été classée dans le groupe 5.

3.3.3 Caractérisation des groupes de stations

Le groupe 1 comprend des stations situées à l'est, dans la région de Québec, alors que le groupe 5 comprend des stations situées à l'ouest, dans la région de l'Outaouais; les stations des groupes 3 et 4 se trouvent, respectivement, à l'ouest et à l'est de Trois-Rivières; les stations du groupe 2 drainent des bassins versants agricoles situés dans les basses-terres du Saint-Laurent (figure 9). Une analyse statistique a été effectuée pour caractériser les teneurs en métaux des cinq groupes de stations.

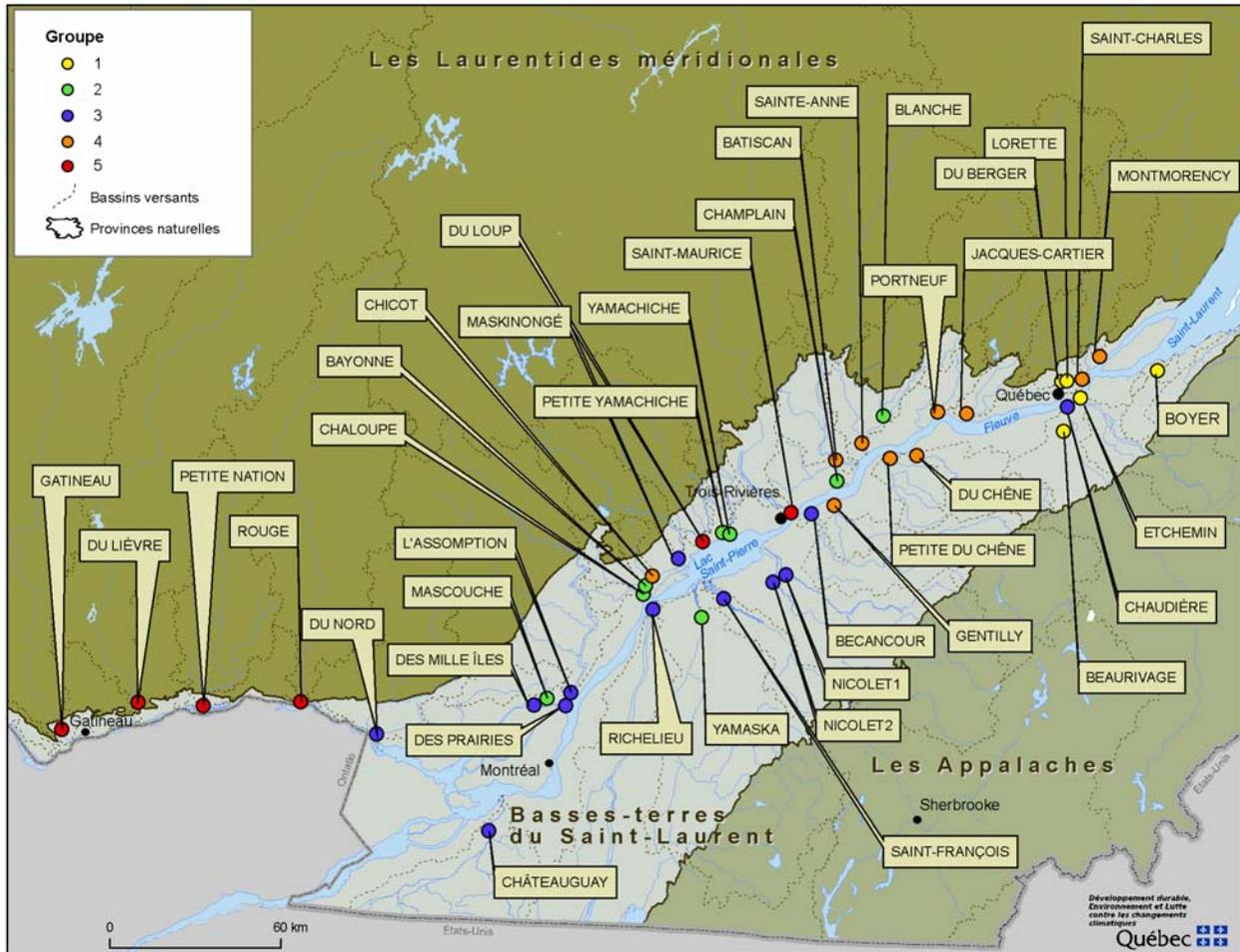


Figure 9 Localisation des cinq groupes de stations obtenus par classification

3.3.3.1 Comparaison entre les médianes

Le tableau 12 présente la valeur médiane des sept métaux extractibles (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) et des principaux paramètres complémentaires (COD, COND, pH, SS et dureté) pour chacun des cinq groupes de stations. Les annexes 14 et 15 présentent, pour chacun des 5 groupes de stations, les statistiques descriptives pour les 20 métaux extractibles et l'ensemble des paramètres complémentaires. Le groupe 5 est caractérisé par les plus faibles valeurs médianes pour tous les métaux extractibles et tous les paramètres complémentaires. Le groupe 1 présente les concentrations médianes d'arsenic, de cadmium et de carbone organique dissous les plus élevées. Le groupe 2 domine en ce qui a trait aux concentrations médianes de chrome, de cuivre, de nickel, de plomb et de zinc ainsi qu'à la conductivité, aux matières en suspension et à la dureté. Les concentrations médianes des groupes 3 et 4 sont par contre assez semblables. On constate une diminution d'est en ouest de la valeur médiane de la plupart des métaux et des paramètres complémentaires ainsi que l'influence des basses-terres du Saint-Laurent et du territoire agricole sur les concentrations observées (groupe 2).

Tableau 12 Valeurs médianes des sept métaux extractibles et des cinq paramètres complémentaires pour chacun des cinq groupes de stations

Variable	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
As (µg/l)	2,20	0,57	0,49	0,36	0,13
Cd (µg/l)	0,030	0,021	0,011	0,018	0,007
Cr (µg/l)	0,67	2,75	0,70	0,46	0,25
Cu (µg/l)	2,2	3,5	1,6	1,4	0,7
Ni (µg/l)	2,5	2,9	1,3	1,1	0,4
Pb (µg/l)	0,50	0,68	0,31	0,33	0,10
Zn (µg/l)	3,9	6,3	2,1	3,9	1,5
COD (mg/l)	8,1	7,2	6,7	7,5	5,6
COND (µS/cm)	221	272	166	124	52
pH	7,8	7,8	7,7	7,5	7,1
SS (mg/l)	10	32	9	6	2
Dureté (mg/l)	105,5	116,4	63,9	51,1	18,7

Une analyse comparative de la distribution des valeurs médianes des sept métaux extractibles (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) et des cinq principaux paramètres complémentaires a été effectuée afin de déterminer l'existence de différences significatives entre les cinq groupes de stations. L'annexe 16 illustre les résultats de cette comparaison multiple. Chaque boîte à moustaches est accompagnée d'une encoche qui délimite un intervalle de confiance de 95 % de part et d'autre de la médiane. Le tableau 13 résume l'essentiel des résultats de cette analyse par comparaisons multiples.

Tableau 13 Résumé de l'analyse par comparaisons multiples entre les médianes des métaux extractibles et des paramètres complémentaires des cinq groupes de stations

Comparaison des groupes	As (µg/l)	Cd (µg/l)	Cr (µg/l)	Cu (µg/l)	Ni (µg/l)	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	COD (mg/l)	COND (µS/cm)	pH	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)	TOTAL
1 et 2													4
1 et 3													5
1 et 4													4
1 et 5													12
2 et 3													9
2 et 4													10
2 et 5													12
3 et 4													5
3 et 5													12
4 et 5													12
TOTAL	8	7	7	7	8	6	8	4	7	7	8	8	

 Différence significative entre les médianes selon l'intervalle de confiance de 95 %.

Le groupe 5 se différencie significativement des autres groupes pour chacune des 12 variables. Le groupe 2 est comparable au groupe 4 en ce qui a trait aux valeurs médianes de cadmium et de carbone organique dissous alors qu'il est comparable au groupe 3 en ce qui concerne les valeurs médianes d'arsenic, de carbone organique dissous et de pH. Le groupe 1 présente le moins de différence significative avec les autres groupes. Les variables qui présentent le plus de différence significative entre les groupes sont l'arsenic, le nickel, le zinc, les matières en suspension et la dureté. Le carbone organique dissous est la variable qui présente le moins de différence significative entre les groupes.

3.3.3.2 Comparaison entre les ratios des métaux dissous et extractibles

Le tableau 14 présente les valeurs médianes des ratios entre les concentrations dissoutes et les concentrations extractibles des métaux As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn pour les cinq groupes de stations obtenus par classification hiérarchique.

Tableau 14 Ratios médians entre les concentrations dissoutes et les concentrations extractibles

Métal	Ratio dissous/extractible				
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
As	0,21	0,72	0,87	0,79	0,91
Cd	0,57	0,50	0,63	0,66	0,75
Cr	0,40	0,08	0,26	0,36	0,58
Cu	0,75	0,57	0,75	0,73	0,79
Ni	0,59	0,36	0,60	0,61	0,71
Pb	0,33	0,14	0,37	0,46	0,50
Zn	0,34	0,12	0,27	0,49	0,50

Note : > **0,50** : forme dominante dissoute; < 0,50 : forme dominante particulaire.

La plupart des métaux du groupe 2 se présentent le plus souvent sous forme particulaire alors que la forme dissoute est dominante dans le groupe 5. Dans les groupes 1, 2 et 3, le plomb et le zinc sont surtout sous forme particulaire alors que les deux formes de ces métaux sont présentes à concentrations à peu près égales dans les groupes 4 et 5. Dans le cas de l'arsenic, du cadmium, du cuivre et du nickel, la forme dissoute est celle qui domine dans la majorité des groupes.

Une analyse comparative de la distribution des ratios dissous/extractible médians a été effectuée pour déterminer l'existence de différences significatives dans la forme prédominante des métaux entre les cinq groupes de stations. L'annexe 17 illustre les résultats de ces comparaisons multiples alors que le tableau 15 résume l'essentiel de cette analyse.

Tableau 15 Résumé de l'analyse par comparaisons multiples entre les ratios médians des métaux dissous et extractibles pour les cinq groupes de stations

Comparaison des groupes	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Total
1 et 2								6
1 et 3								2
1 et 4								3
1 et 5								3
2 et 3								7
2 et 4								6
2 et 5								7
3 et 4								2
3 et 5								3
4 et 5								1
Total	7	3	6	4	4	8	8	

Différence significative selon l'intervalle de confiance.

Le groupe 2 se distingue le plus des autres groupes quant aux ratios médians des métaux dissous et extractibles. Le groupe 4 se distingue du groupe 5 en ce qui a trait uniquement au ratio médian de l'arsenic. Les ratios médians du zinc et du plomb sont ceux qui présentent le plus de différence significative entre les groupes alors que le ratio médian du cadmium est celui qui en présente le moins.

3.3.3.3 Caractérisation de la qualité de l'eau des groupes de stations

Un portrait de la qualité de l'eau de chacun des cinq groupes de stations a été effectué à partir des tableaux 12 à 15 et des annexes 16 et 17.

Le **groupe 1**, composé des stations situées dans la région de Québec (voir figure 9), se distingue des autres groupes par une concentration médiane en arsenic extractible plus élevée et par le fait que la forme dominante de ce métal soit la forme particulaire. Il se distingue du groupe 2 en ce qui a trait aux concentrations médianes de chrome extractible, de cuivre extractible et de matières en suspension. Le groupe 1 se différencie des groupes 3, 4 et 5 pour ce qui est du nickel extractible et de la dureté. Les bassins versants du groupe 1 drainent un territoire appartenant à la province naturelle des basses-terres du Saint-Laurent, mais aussi aux Appalaches ou aux Laurentides méridionales. Des études ont signalé une concentration élevée d'arsenic dans les sédiments d'anciens fonds marins et dans les eaux souterraines de la région de la Chaudière-Appalaches (Michel Ouellet, MDDELCC, communication personnelle).

Les stations du **groupe 2** drainent principalement de petits bassins versants agricoles situés dans la province naturelle des basses-terres du Saint-Laurent. Ce groupe se distingue des autres groupes par des concentrations médianes plus élevées de la plupart des métaux (en particulier le chrome et le cuivre extractibles) et des matières en suspension. La forme dominante de plusieurs métaux est la fraction particulaire. Il est probable que les caractéristiques géologiques, notamment l'importance des dépôts sédimentaires, combinées à une importante utilisation agricole du territoire, expliquent en partie ces différences. Le chrome est utilisé dans la fabrication de certains engrais et pesticides alors que certains sels de cuivre sont utilisés comme fongicide et pesticide. Quant aux fortes concentrations de matières en suspension et à la forme particulaire prédominante de plusieurs métaux, elles résulteraient principalement de la vulnérabilité des sols agricoles à l'érosion hydrique.

Les stations des **groupes 3 et 4** se trouvent dans les basses-terres du Saint-Laurent, respectivement à l'ouest et à l'est de Trois-Rivières. Le territoire drainé comprend également des superficies appartenant aux provinces naturelles des Appalaches ou des Laurentides méridionales. Le groupe 3 se différencie du groupe 4 par des concentrations médianes de cadmium et de zinc extractibles plus faibles et par des valeurs médianes de conductivité, de pH et de matières en suspension plus élevées. Les ratios métal dissous/métal extractible sont semblables dans les deux groupes, l'arsenic, le cadmium, le cuivre et le nickel étant surtout présents sous forme dissoute et le chrome sous forme particulaire. Le plomb et le zinc sont surtout présents sous forme particulaire aux stations du groupe 3 alors que ces métaux apparaissent aussi souvent sous forme dissoute que sous forme particulaire aux stations du groupe 4.

La plupart des stations du **groupe 5** sont situées dans les basses-terres du Saint-Laurent, le long de la rive nord du fleuve et du tronçon aval de la rivière des Outaouais. Le territoire drainé appartient majoritairement à la province naturelle des Laurentides méridionales. Les stations du groupe 5 se distinguent des autres quant à l'ensemble de leurs caractéristiques physico-chimiques. Les médianes des métaux As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn et des paramètres complémentaires COD, COND, pH, SS et dureté s'avèrent significativement inférieures à celles des autres groupes. Les faibles concentrations de matières en suspension témoignent de l'érosion hydrique peu importante qui caractérise les bassins versants forestiers drainant les Laurentides. L'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre et le nickel étaient surtout présents sous forme dissoute alors que le plomb et le zinc apparaissaient aussi souvent sous forme dissoute que sous forme particulaire. La qualité physico-chimique des eaux drainées aux stations du groupe 5 est influencée par l'assise géologique de la province naturelle des Laurentides méridionales, composée de roches cristallines difficilement érodables.

4 CONCLUSION

Les concentrations de métaux ne sont pas préoccupantes à l'embouchure des rivières étudiées. Entre 2008 et 2011, aucun dépassement des critères de qualité pour la protection de la vie aquatique (effet chronique) n'a été observé, sauf dans le cas du fer, pour lequel deux dépassements ont été notés, soit à l'embouchure des rivières Gentilly et Champlain.

La forme dominante de l'aluminium et du chrome était le plus souvent la forme particulaire alors que le bore et le molybdène se présentaient le plus souvent sous forme dissoute. Les métaux As, Ba, Cd, Cu, Ni, Sb, Sr et U étaient surtout présents sous forme dissoute alors que les métaux Ag, Be, Co, Fe, Pb et

Zn étaient surtout présents sous forme particulière. Il faut toutefois noter que les ratios dissous/extractible présentaient une grande variabilité entre les stations et dans le temps.

Pour la plupart des métaux, la fraction particulière augmente avec la concentration des matières en suspension et avec la concentration de la forme extractible du métal. La forme extractible de plusieurs métaux montre en effet de fortes corrélations avec les matières en suspension et des corrélations généralement faibles avec le carbone organique dissous. Pour ce qui est des métaux dissous, seuls le cuivre et le vanadium montrent une forte corrélation positive avec les matières en suspension et seul le chrome présente une forte corrélation avec le carbone organique dissous. Le carbone organique dissous, et, dans une moindre mesure, la conductivité et le pH semblent avoir peu d'influence sur la forme dominante des métaux (c'est-à-dire sur le ratio dissous/extractible).

Une analyse de classification (*cluster analysis*) effectuée à partir des concentrations médianes de la forme extractible de sept métaux (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) a permis de répartir les 41 stations en 5 groupes distincts. Les stations du groupe 1 se concentrent à l'est, dans la région de Québec alors que celles du groupe 5 se concentrent à l'ouest, dans la région de l'Outaouais où elles drainent un territoire appartenant à la province naturelle des Laurentides méridionales. Les stations des groupes 3 et 4 se trouvent respectivement à l'ouest et à l'est de Trois-Rivières et le territoire qu'elles drainent appartient en partie aux basses-terres du Saint-Laurent et en partie aux Appalaches ou aux Laurentides méridionales. Quant aux stations du groupe 2, elles se retrouvent à l'embouchure de petits bassins versants agricoles drainant essentiellement les basses-terres du Saint-Laurent.

Les concentrations de métaux dans les cours d'eau qui s'écoulent sur les roches cristallines des Laurentides méridionales étaient plus faibles comparativement à celles des cours d'eau qui s'écoulent sur les dépôts sédimentaires des basses-terres du Saint-Laurent. Ainsi, les résultats obtenus font ressortir 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 semble plutôt faible et est surtout perceptible aux stations qui drainent des bassins versants à vocation agricole. La présence de métaux à l'embouchure des cours d'eau étudiés résulterait donc principalement de la vulnérabilité des bassins versants aux processus d'altération de la roche mère et d'érosion des sols.

5 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*, 103 (1-4) : 179-190.

Berryman, D., J. St-Onge, A. Gendron et C. Brochu, 2003. *L'impact d'anciens parcs à résidus miniers sur la qualité de l'eau et les communautés benthiques de la rivière Massawippi et des ruisseaux Eustis et Capel*, Québec, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Envirodoq n° ENV/2003/0043, 47 pages et 4 annexes.

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, Envirodoq n° ENV/2004/0109, collection n° QE/140, 37 pages et 4 annexes.

Berryman, D., I. Guay et J. Beaudoin, 2012. *Concentrations de métaux et toxicité de l'eau de la rivière Charest en aval de l'ancien site de Notre-Dame-de-Montauban*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-63953-4 (PDF), 40 pages.

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 pages.

Croteau, G., M. Goulet et D. Laliberté, 1983. *Contamination du milieu aquatique au Québec méridional en 1980 : arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc*, Québec, ministère de l'Environnement, Service de la qualité des eaux, ministère de l'Environnement, Envirodoq n° 840524, rapport n° 83-08, 197 pages.

Dupont, N. et M. Goulet, 1979. *Élaboration d'un réseau d'acquisition de données environnementales en milieu aquatique sur les substances toxiques au Québec : une première au Canada*, Québec, ministère des Richesses naturelles, Service de la qualité des eaux, rapport n° 79-03, 29 pages.

Gauthier, J.P., N. Dupont, J. Dubé, M. Goulet, H. Levasseur, C. Paré, L. Talbot, H. Sloterdijk, 1978. *Programme de mise en opération du réseau-toxiques en 1978*, Bureau d'étude sur les substances toxiques. B.E.S.T. projet n° 6, Réseau toxiques, document n° 2, rapport 78-27, 21 pages.

Hébert, S., S. Cloutier, F. D'Auteuil-Potvin, N. Dassylva, S. Roberge et M. Rondeau, 2009. Suivi des métaux à l'état de trace dans les rivières du Québec. Conférence présentée à La Malbaie (Québec) le 30 septembre 2009 dans le cadre du 36^e Atelier de toxicologie aquatique.

Honeyman, B.D. et P.H. Santschi, 2008. « Metals in aquatic systems », *Environmental Science & Technology*, 22(8) : 862-871.

Lachance, M., M. Duchemin et P.G.C. Campbell, 1993. *Validation des données relatives aux concentrations des métaux dans l'eau des rivières du Québec*, INRS-Eau, rapport scientifique n° 387, 73 pages et 3 annexes.

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 pages et 11 annexes.

Laliberté, D., 2013. *Teneurs en métaux dans l'eau et les poissons des lacs de la région de Chibougamau et d'Oujé-Bougoumou (1998-2010)*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-69020-7 (PDF), 40 pages et 23 annexes.

Li, T. et J.P. Ducruc, 1999. *Les provinces naturelles. Niveau I du cadre écologique de référence du Québec*, Québec, ministère de l'Environnement, 90 pages.

Mason, R.P., 2013. *Trace Metals in Aquatic Systems*, première édition, Royaume-Uni, Wiley-Blackwell, 431 pages.

MDDEP, 2012. *Portrait de la qualité des eaux de surface au Québec 1999-2008*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-63649-6 (PDF), 97 pages.

MDDEFP, 2013a. *Critères de qualité de l'eau de surface*, troisième 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 pages et 16 annexes.

MDDEFP, 2013b. *Protocole d'échantillonnage de l'eau de surface pour l'analyse des métaux en traces*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-69205-8 (PDF), 16 pages.

Paul, M. et D. Laliberté, 1985. *Réseau de surveillance des substances toxiques 1981. Détection dans le milieu aquatique de cinq métaux : baryum, cobalt, molybdène, manganèse, vanadium*, Québec, ministère de l'Environnement, Direction des relevés aquatiques, rapport n° 85-06, 45 pages.

Sigg, L., P. Behra et W. Stumm, 2006. *Chimie des milieux aquatiques : chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement*, quatrième édition, Paris, Dunod, 564 pages.

StatPoint Technologies inc., 2011. STATGRAPHICS Centurion XVI, version 16.1.17 (32-bit).

SysTat Software inc., 2011. SigmaPlot for Windows, version 12.0.

Windom, H.L., J.T. Byrd, R.G. Smith et F. Huan, 1991. « Inadequacy of NASQUAN data for assessing metal trends in the nations rivers », *Environmental Science & Technology*, 25(6) : 1137-1142.

Annexe 1 Description des provinces naturelles du Cadre écologique de référence

Province naturelle	Géologie	Dépôts de surface
Appalaches	<p>Cette province naturelle correspond, en grande partie, à la chaîne de montagnes des Appalaches, dont la mise en place s'est échelonnée sur plus de 150 millions d'années (de 450 à 290 millions d'années avant aujourd'hui), en deux épisodes successifs majeurs au Québec. L'assise géologique est principalement composée de roches sédimentaires (grès, calcaire, <i>mudrock</i> et schiste) ou volcaniques (basalte) fortement plissées et déformées.</p> <p>Roches siliceuses, carbonatées et argileuses</p>	<p>Les dépôts glaciaires souvent profonds, plus ou moins pierreux et de texture fine recouvrent la majorité des reliefs. Des sables et graviers, parfois très épais, comblent les fonds de vallées où ils peuvent être associés à des dépôts fins d'origine lacustre.</p> <p>Till loameux, sable et gravier</p>
Basses-terres du Saint-Laurent	<p>Cette province naturelle correspond, en grande partie, à la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent; elle incorpore aussi, sur la rive sud, la partie la moins accidentée de la province géologique des Appalaches. L'assise géologique est constituée de roches sédimentaires (calcaire, <i>mudrock</i> et grès) d'âge paléozoïque (principalement de 570 à 440 millions d'années avant aujourd'hui) déposées en strates horizontales à subhorizontales.</p> <p>Roches carbonatées, argileuses et siliceuses</p>	<p>Les dépôts d'argiles et de limons marins de la mer de Champlain dominent dans la partie sud-ouest de la province naturelle et ils deviennent plus sableux dans la partie nord-est. Ils sont associés à des sables et à des graviers littoraux. Les dépôts glaciaires pierreux remaniés par les eaux de la mer de Champlain prennent de l'importance en s'éloignant du Saint-Laurent. Il existe un bon nombre de tourbières, principalement sur la rive sud.</p> <p>Argile et sable</p>
Laurentides méridionales	<p>La province naturelle des Laurentides méridionales est entièrement comprise dans la province géologique de Grenville; elle correspond aux racines d'un puissant massif de montagnes mis en place il y a près de 1 milliard d'années, mais fortement érodé depuis. L'assise géologique est constituée de roches intrusives très métamorphisées (gneiss).</p> <p>Gneiss et paragneiss, roches felsiques</p>	<p>Les dépôts glaciaires, souvent minces, recouvrent la plus grande partie du territoire; ils sont associés à des affleurements rocheux sur bien des sommets des collines et des massifs. La majorité des fonds de vallées sont comblés par des dépôts de sable et de gravier, parfois épais. On retrouve aussi de nombreuses tourbières, souvent de petite taille.</p> <p>Till sableux, roc, sable et gravier</p>

Source : www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/provinces/index.htm.

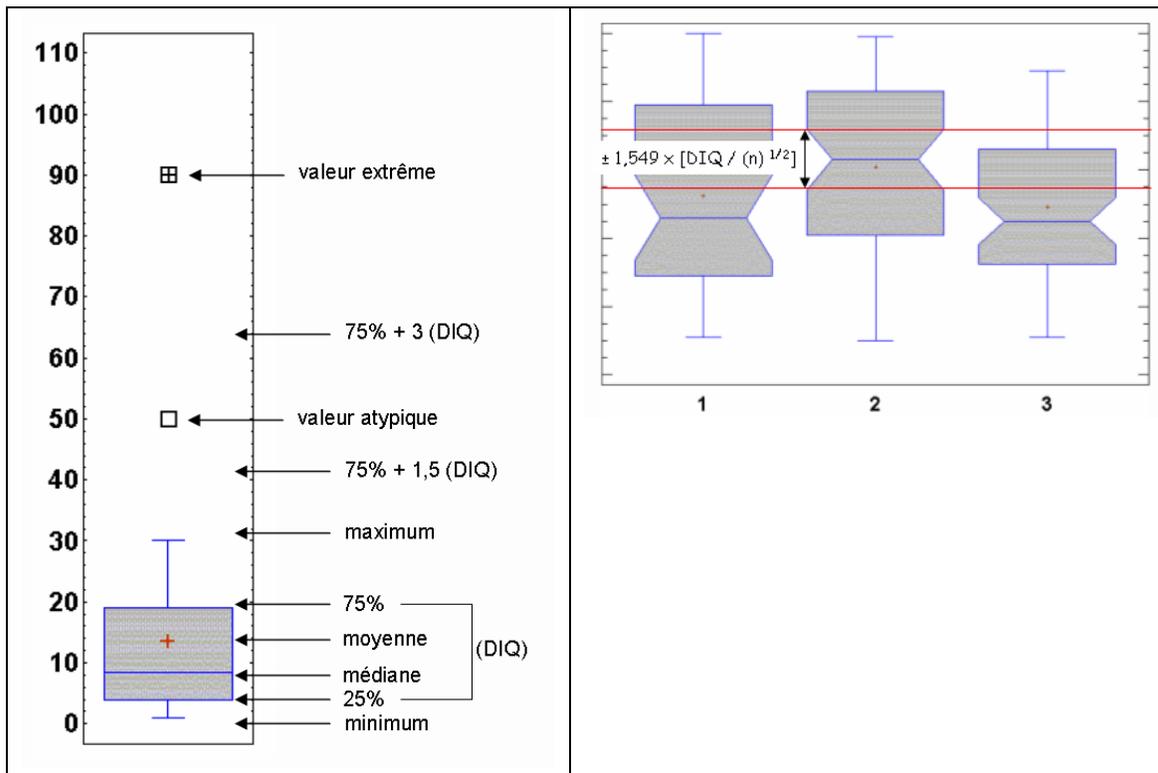
Annexe 2 Liste des stations étudiées (localisation)

Station BQMA	Latitude	Longitude	Bassin versant km ²	% Appalaches	% Basses-terres du Saint-Laurent	% Laurentides méridionales ¹
2300001	46,854	-70,878	201,10	0,03	0,97	0,00
2330001	46,760	-71,228	1460,02	0,60	0,40	0,00
2340034	46,651	-71,301	697,12	0,26	0,74	0,00
2340037	46,729	-71,288	7888,49	0,82	0,18	0,00
2360014	46,555	-71,969	783,88	0,02	0,98	0,00
2370002	46,541	-72,092	380,83	0,00	1,00	0,00
2390001	46,383	-72,336	312,04	0,00	1,00	0,00
2400004	46,353	-72,439	2587,76	0,41	0,59	0,00
3010008	46,154	-72,538	1666,06	0,46	0,54	0,00
3010009	46,130	-72,595	1579,73	0,43	0,57	0,00
3020031	46,068	-72,816	8820,17	0,90	0,10	0,00
3030023	46,005	-72,911	4462,79	0,39	0,61	0,00
3040193	46,019	-73,132	21920,87	0,57	0,43	0,00
3090001	45,286	-73,802	2471,02	0,29	0,71	0,00
4010002	45,563	-74,337	2081,54	0,00	0,11	0,89
4020001	45,644	-74,690	5547,44	0,00	0,00	1,00
4040001	45,605	-75,127	2249,14	0,00	0,01	0,99
4060162	45,596	-75,420	9454,06	0,00	0,00	1,00
4080003	45,487	-75,749	23732,63	0,00	0,00	1,00
4320069	45,692	-73,641	1359,61	0,00	0,03	0,97
4330017	45,698	-73,498	2230,11	0,00	0,03	0,97
4640003	45,716	-73,584	386,98	0,00	1,00	0,00
5010532	46,352	-72,531	42691,26	0,00	0,01	0,99
5020006	46,461	-72,329	299,15	0,00	1,00	0,00
5030001	46,527	-72,339	4595,41	0,00	0,14	0,86
5040006	46,674	-72,132	217,74	0,00	0,44	0,56
5040196	46,584	-72,225	2694,50	0,00	0,26	0,74
5070012	46,695	-71,884	362,21	0,00	0,68	0,32
5080105	46,694	-71,749	2456,80	0,00	0,09	0,91
5090014	46,809	-71,319	70,70	0,00	0,67	0,33
5090015	46,812	-71,294	67,29	0,00	0,40	0,60
5090017	46,819	-71,223	534,32	0,00	0,19	0,81
5100014	46,892	-71,148	1142,97	0,00	0,03	0,97
5220544	45,740	-73,479	4281,82	0,00	0,23	0,77
5230001	46,067	-73,181	150,00	0,00	1,00	0,00
5240001	46,094	-73,173	361,81	0,00	0,73	0,27
5250002	46,126	-73,145	165,53	0,00	0,32	0,68
5260038	46,187	-73,033	1090,93	0,00	0,05	0,95
5280001	46,245	-72,925	1498,49	0,00	0,13	0,87
5290001	46,276	-72,838	107,84	0,00	1,00	0,00
5300004	46,273	-72,806	266,04	0,00	0,52	0,48

¹ Les superficies des bassins versants des stations 4320069 et 4330017 appartenant à la province naturelle des basses-terres de l'Abitibi et de la baie James ont été intégrées à la province naturelle des Laurentides méridionales.

Annexe 3 Interprétation des diagrammes en boîte à moustaches et des comparaisons multiples

Le diagramme en boîte à moustaches (*box plot*) résume graphiquement les statistiques descriptives d'une série de données ayant une distribution qui n'épouse pas la loi normale. Cette analyse a été produite par la fonction *Box-and-Whisker Plot* du logiciel Statgraphics XVI. La procédure fournit la valeur minimale, le premier quartile à 25 %, la médiane à 50 %, le troisième quartile à 75 % et la valeur maximale d'une série de données. Elle peut également indiquer la présence de valeurs extrêmes.



a) Boîte à moustaches

b) Comparaison multiple de médianes

Les moustaches sont tracées à partir des bords de la boîte pour rejoindre la plus grande valeur des données et la plus petite valeur des données, à moins que des valeurs inhabituelles très éloignées de la boîte ne soient présentes (valeurs atypiques). Les valeurs atypiques, qui sont des points à plus de 1,5 fois la distance interquartile (la largeur de la boîte) en haut ou en bas de la boîte, sont indiquées par un symbole de point. Tout point à plus de trois fois la distance interquartile en haut ou en bas de la boîte est appelé « valeur extrême » et est indiqué par un symbole de point contenant un signe +. Si des valeurs extrêmes sont présentes, les moustaches sont tracées jusqu'à la plus grande valeur et à la plus petite valeur non atypiques.

Pour déterminer l'existence de différences significatives entre les médianes de plusieurs individus, les diagrammes en boîte à moustaches peuvent être accompagnés d'une encoche (*notch*) qui délimite un intervalle de confiance de 95 % de part et d'autre de la médiane, tel qu'il est fourni par la fonction *Multiple-Sample Comparison* du logiciel Statgraphics XVI. Cet intervalle correspond à :

$$\pm 1,549 \times \text{DIQ} / (n)^{1/2} \text{ où DIQ : distance interquartile et } n : \text{ nombre d'échantillons}$$

Le chevauchement des intervalles de deux individus indique une absence de différence significative à 95 % pour ces individus.

Annexe 5 Coefficients de corrélation de Spearman : métaux dissous

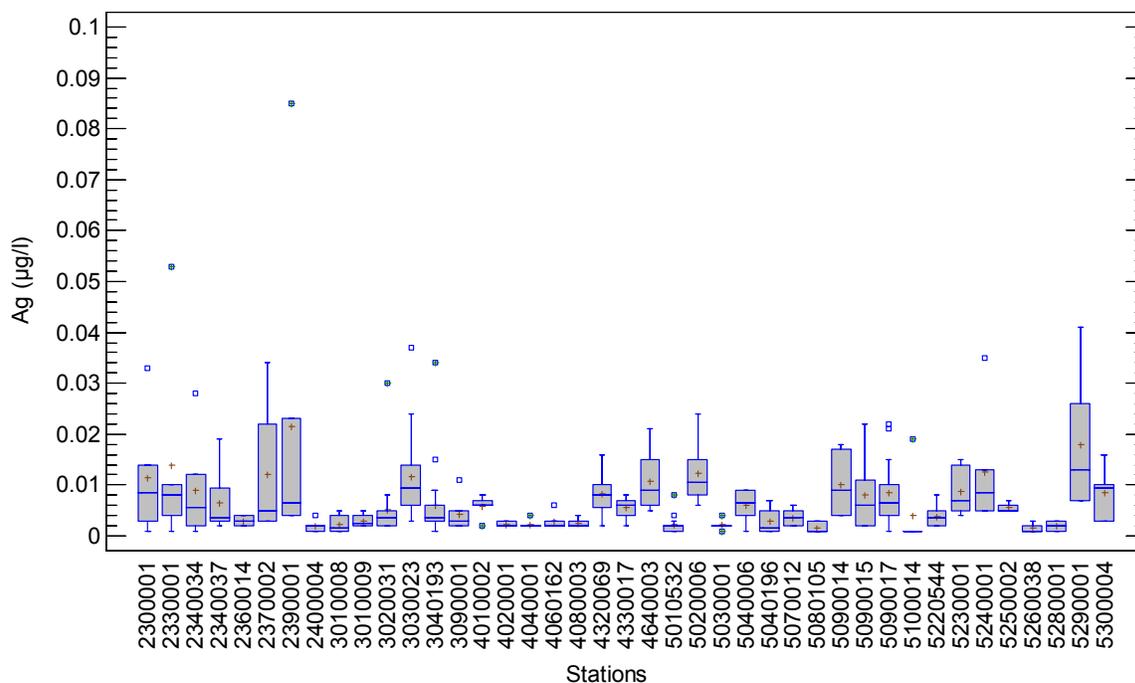
	Ag												
Al	0,07	Al											
As	0,13	-0,20	As										
Ba	0,19	-0,25	0,45	Ba									
B	0,21	-0,40	0,46	0,67	B								
Be	0,06	0,64	-0,13	0,04	-0,23	Be							
Cd	0,20	0,30	0,33	0,40	0,30	0,34	Cd						
Co	0,35	-0,08	0,56	0,62	0,72	0,08	0,62	Co					
Cr	0,25	0,42	0,45	0,04	0,07	0,20	0,41	0,34	Cr				
Cu	0,31	-0,23	0,68	0,46	0,64	-0,16	0,37	0,65	0,38	Cu			
Fe	0,11	0,54	-0,27	0,05	-0,07	0,56	0,26	0,18	0,18	-0,28	Fe		
Mn	0,32	0,04	0,24	0,56	0,53	0,24	0,46	0,76	0,24	0,34	0,48	Mn	
Mo	0,20	-0,55	0,57	0,67	0,84	-0,38	0,23	0,60	-0,02	0,66	-0,33	0,38	
Ni	0,28	-0,15	0,83	0,46	0,52	-0,06	0,46	0,73	0,58	0,76	-0,11	0,46	
Pb	0,17	0,47	0,25	0,13	0,10	0,33	0,34	0,25	0,38	0,18	0,48	0,31	
Sb	0,26	-0,30	0,80	0,53	0,61	-0,16	0,37	0,60	0,27	0,78	-0,29	0,32	
Sr	0,19	-0,43	0,64	0,83	0,78	-0,17	0,36	0,70	0,04	0,62	-0,14	0,51	
U	0,17	-0,43	0,62	0,72	0,76	-0,21	0,33	0,66	0,06	0,64	-0,27	0,43	
V	0,21	0,01	0,41	0,34	0,65	-0,05	0,35	0,56	0,34	0,58	-0,04	0,30	
Zn	0,13	0,55	-0,31	-0,02	-0,08	0,46	0,47	0,17	0,20	-0,10	0,56	0,30	
COD	0,26	0,33	0,40	0,18	0,12	0,26	0,46	0,46	0,60	0,31	0,23	0,35	
COND	0,18	-0,53	0,56	0,70	0,85	-0,36	0,24	0,63	-0,04	0,65	-0,27	0,40	
pH	0,13	-0,45	0,60	0,52	0,58	-0,35	0,16	0,46	0,04	0,52	-0,36	0,18	
SS	0,22	0,00	0,32	0,05	0,38	0,02	0,18	0,42	0,27	0,62	-0,15	0,17	
Dureté	0,19	-0,50	0,66	0,78	0,83	-0,25	0,33	0,72	0,06	0,66	-0,23	0,48	

Gras : corrélation non significative (p ≥ 0,05).

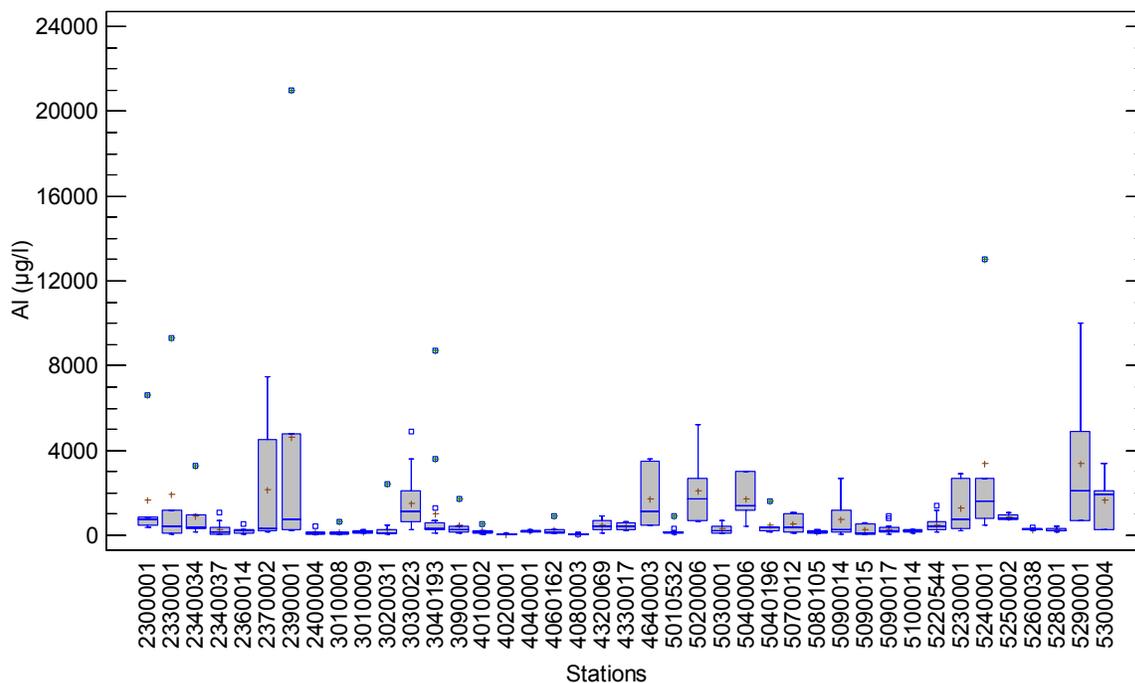
	Mo												
Ni	0,56	Ni											
Pb	0,03	0,19	Pb										
Sb	0,76	0,75	0,28	Sb									
Sr	0,82	0,65	0,08	0,72	Sr								
U	0,81	0,62	0,04	0,71	0,89	U							
V	0,49	0,37	0,29	0,42	0,39	0,42	V						
Zn	-0,27	-0,12	0,30	-0,15	-0,17	-0,20	0,01	Zn					
COD	0,05	0,46	0,45	0,30	0,16	0,19	0,29	0,15	COD				
COND	0,92	0,57	0,02	0,72	0,89	0,88	0,45	-0,21	0,07	COND			
pH	0,71	0,56	-0,03	0,61	0,74	0,76	0,30	-0,32	0,09	0,79	pH		
SS	0,29	0,37	0,21	0,39	0,19	0,27	0,65	-0,01	0,29	0,26	0,08	SS	
Dureté	0,87	0,68	0,04	0,74	0,95	0,94	0,46	-0,21	0,19	0,94	0,78	0,27	

Gras : corrélation non significative (p ≥ 0,05).

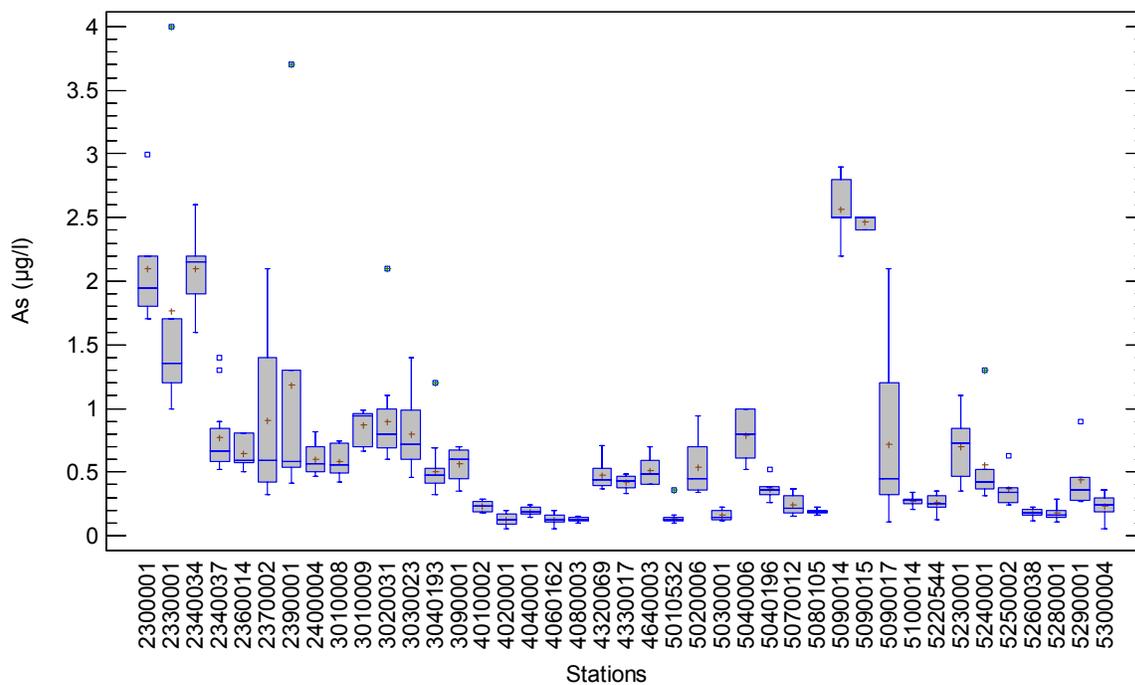
Annexe 6 Distribution des concentrations de métaux extractibles à chacune des 41 stations étudiées (2008-2011) : (a) argent, (b) aluminium, (c) arsenic, (d) bore, (e) baryum, (f) béryllium, (g) cadmium, (h) cobalt, (i) chrome, (j) cuivre, (k) fer, (l) manganèse, (m) molybdène, (n) nickel, (o) plomb, (p) antimoine, (q) strontium, (r) uranium, (s) vanadium et (t) zinc



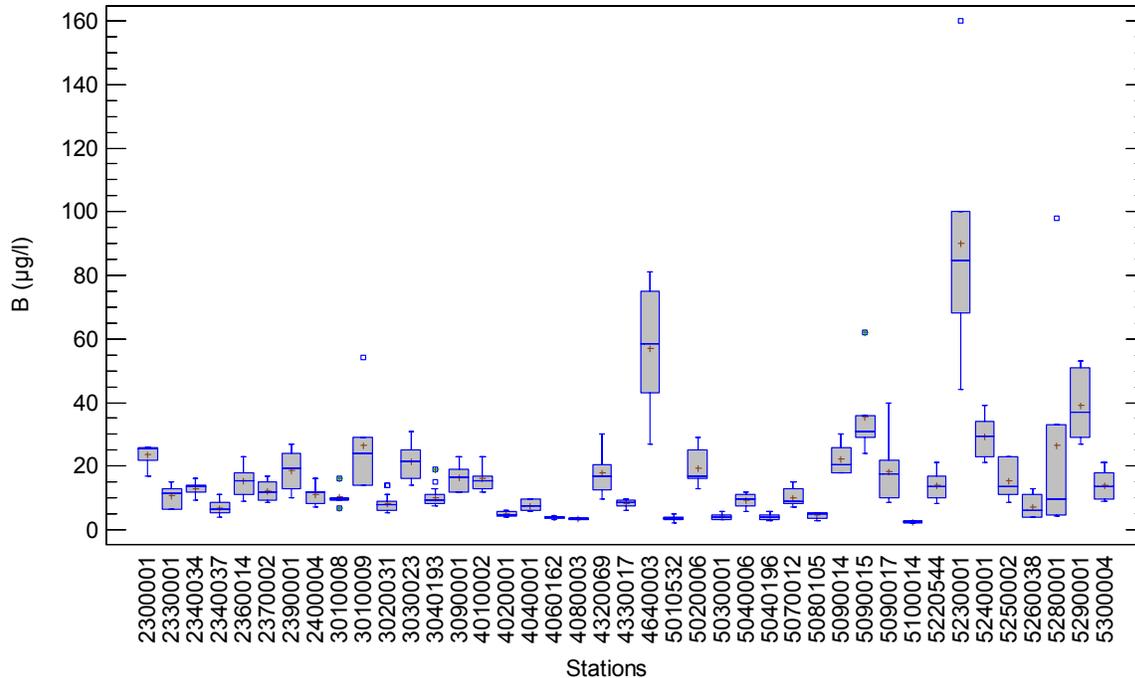
(a) Distribution des concentrations d'argent extractible à chacune des 41 stations



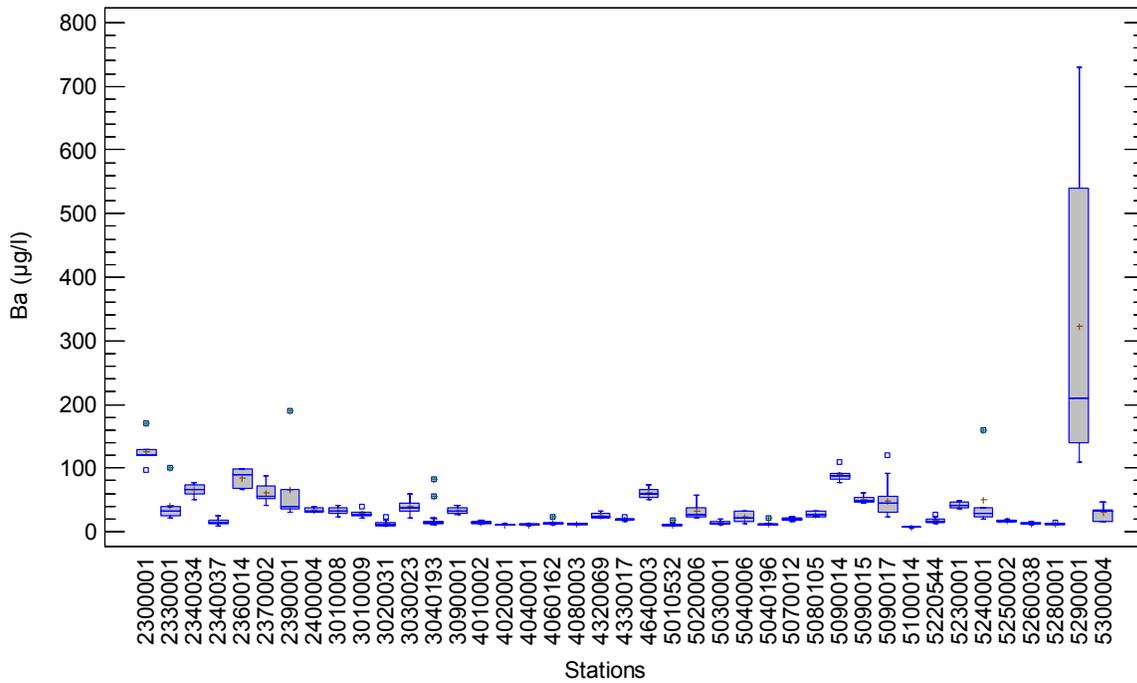
(b) Distribution des concentrations d'aluminium extractible à chacune des 41 stations



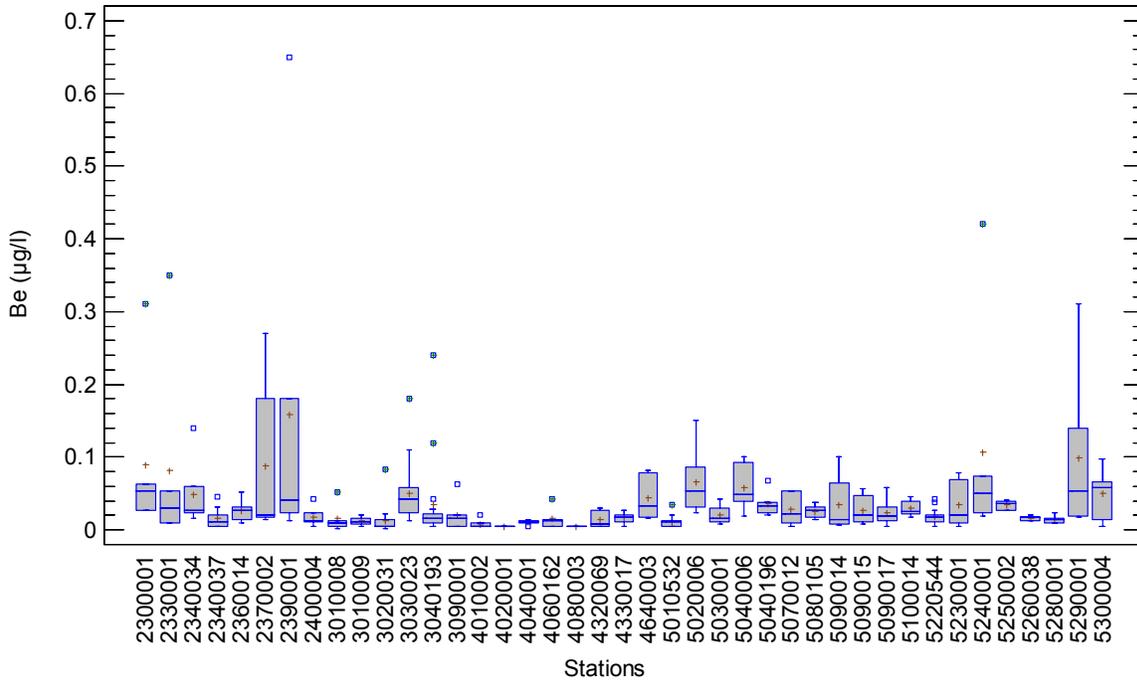
(c) Distribution des concentrations d'arsenic extractible à chacune des 41 stations



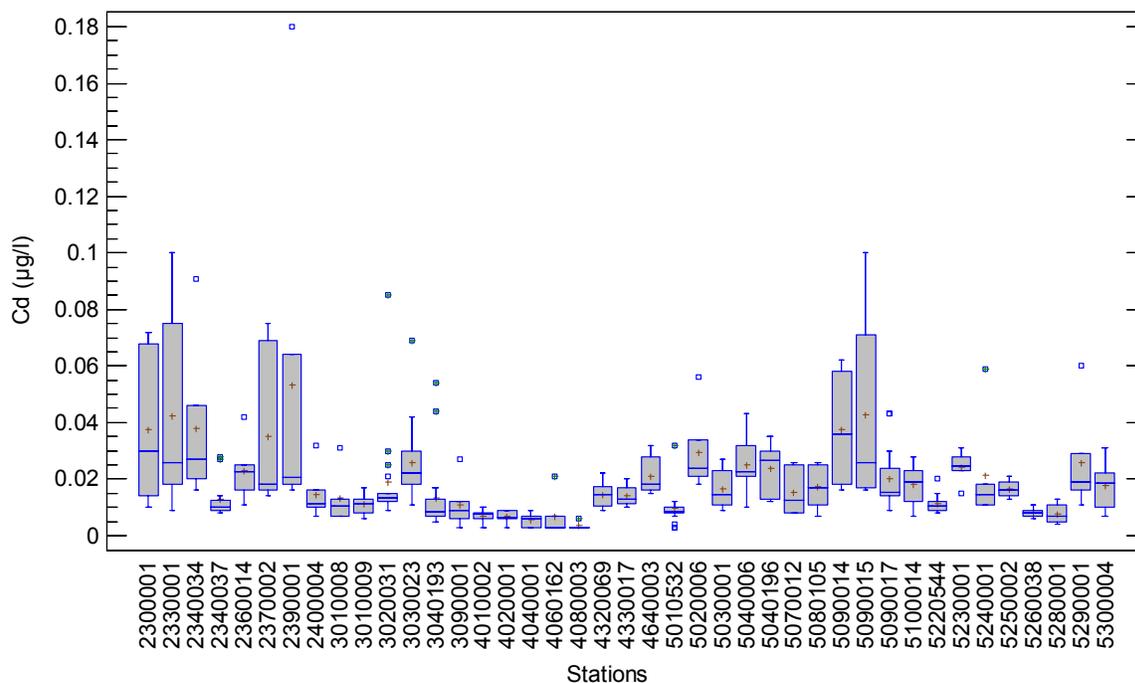
(d) Distribution des concentrations de bore extractible à chacune des 41 stations



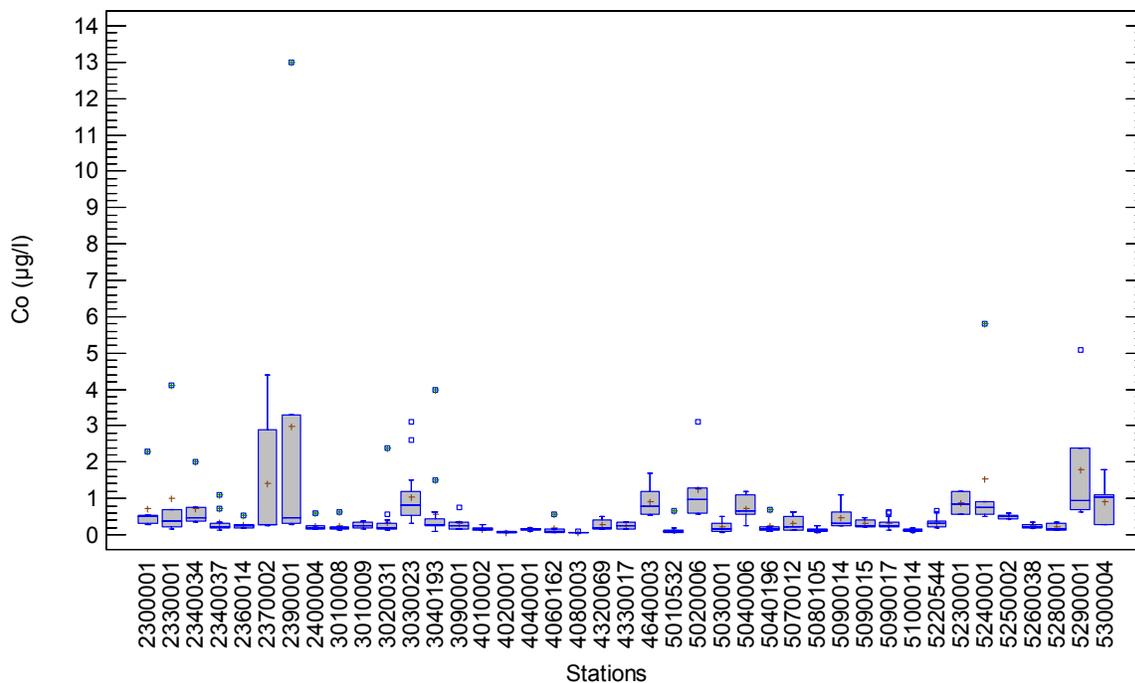
(e) Distribution des concentrations de baryum extractible à chacune des 41 stations



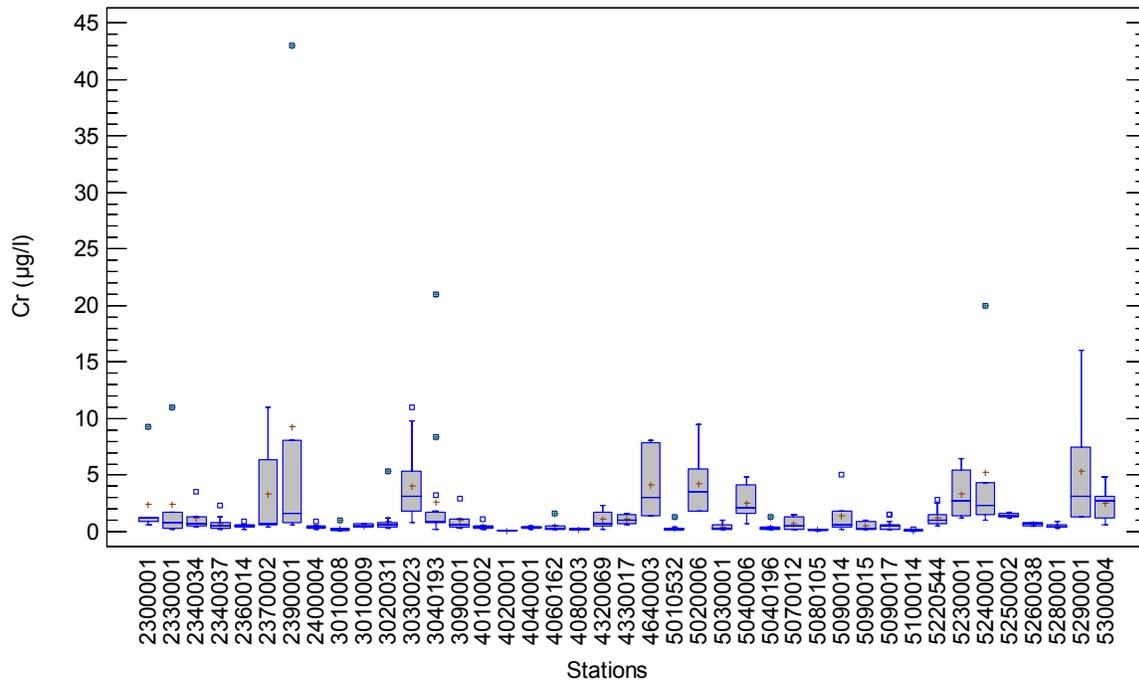
(f) Distribution des concentrations de béryllium extractible à chacune des 41 stations



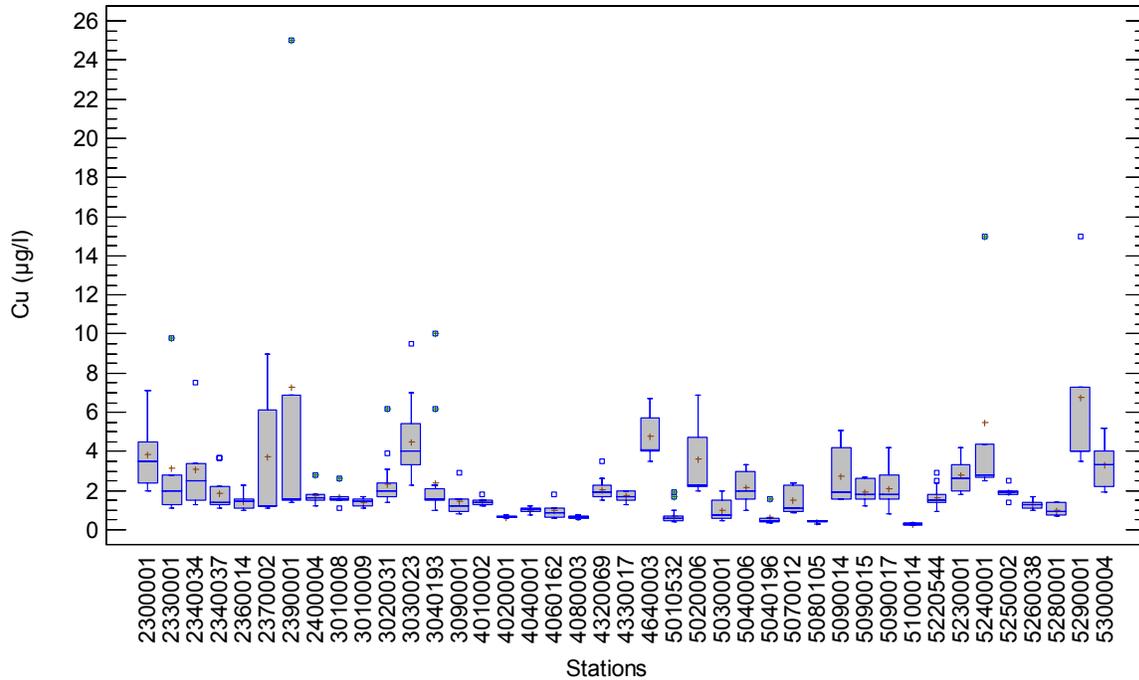
(g) Distribution des concentrations de cadmium extractible à chacune des 41 stations



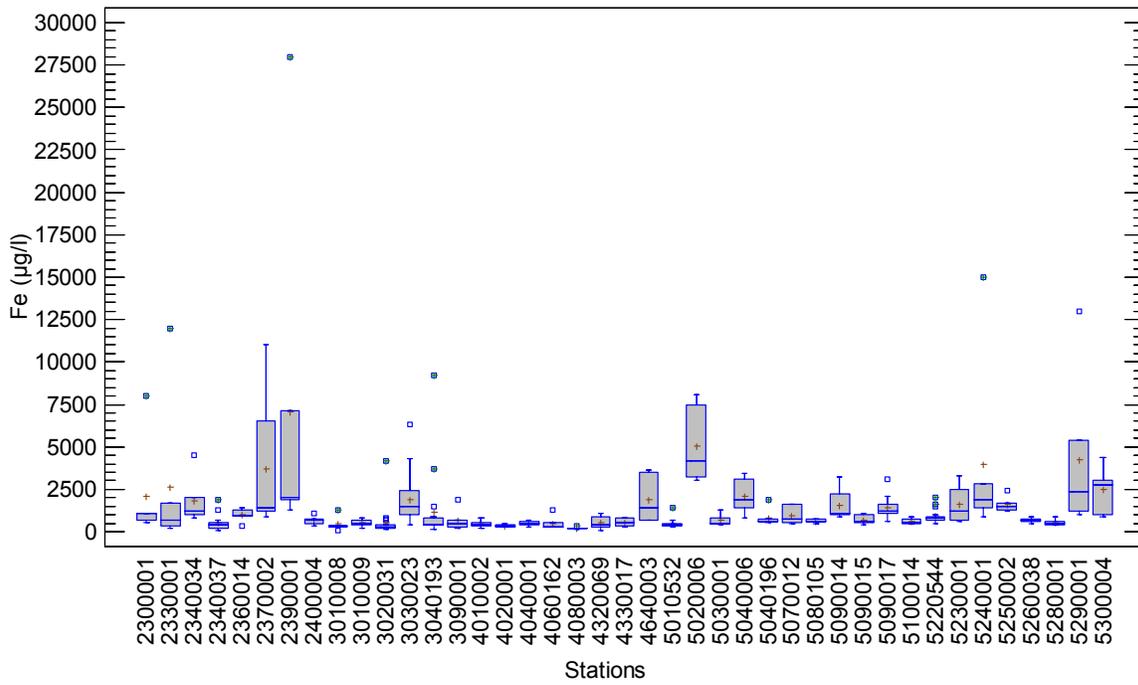
(h) Distribution des concentrations de cobalt extractible à chacune des 41 stations



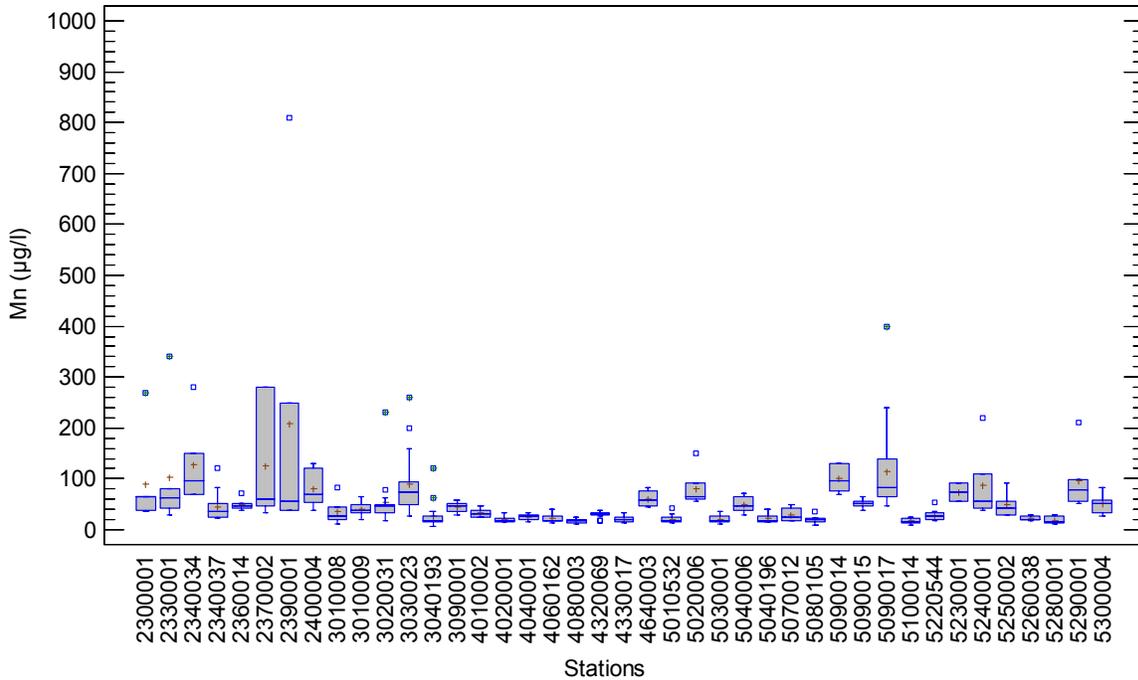
(i) Distribution des concentrations de chrome extractible à chacune des 41 stations



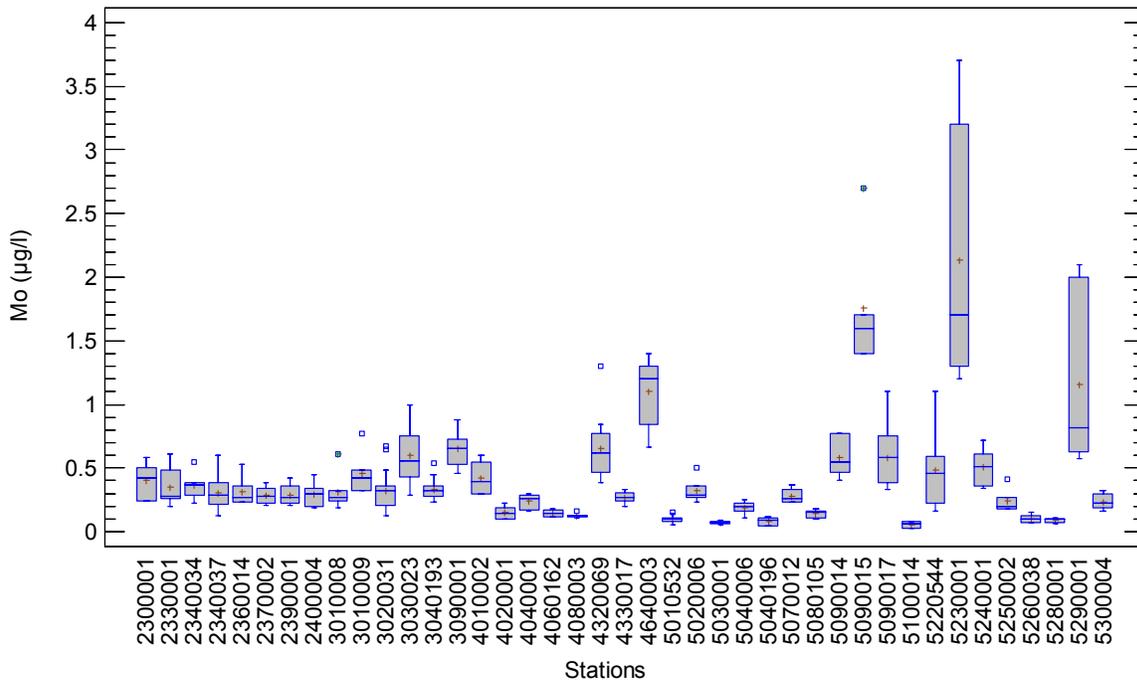
(j) Distribution des concentrations de cuivre extractible à chacune des 41 stations



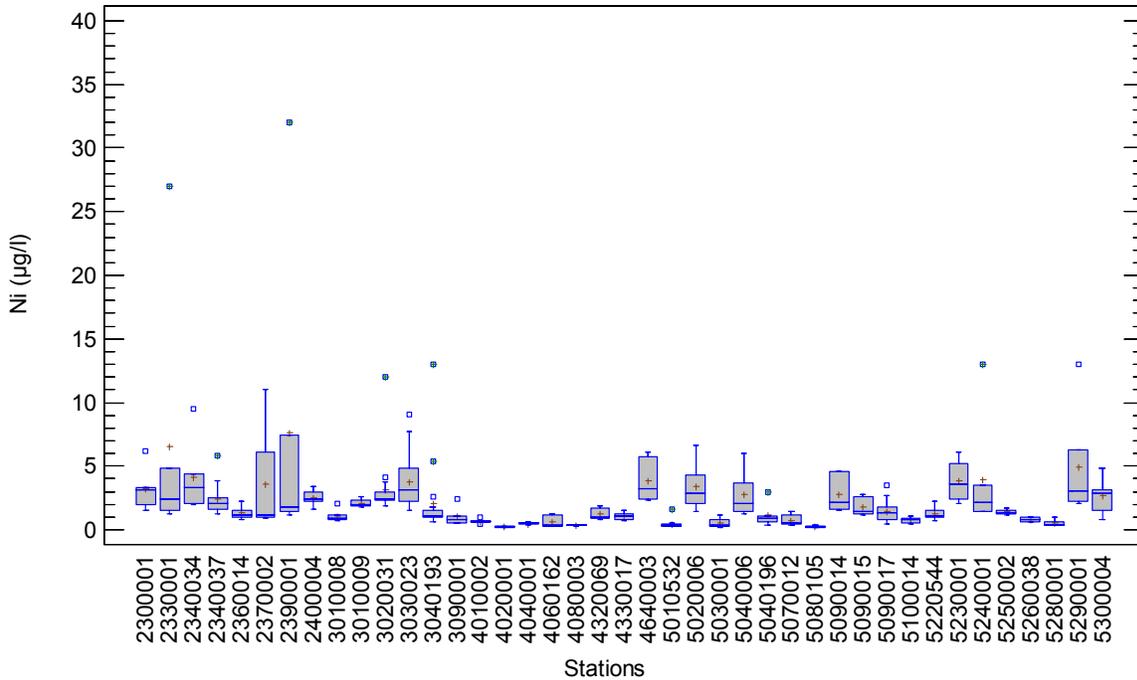
(k) Distribution des concentrations de fer extractible à chacune des 41 stations



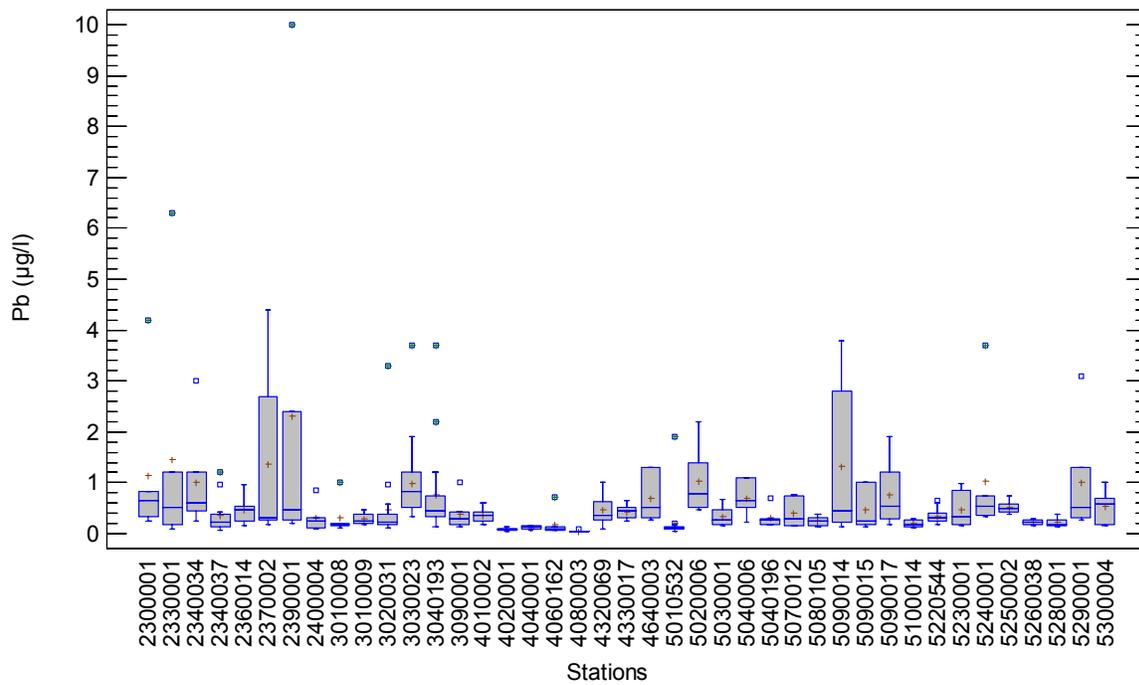
(l) Distribution des concentrations de manganèse extractible à chacune des 41 stations



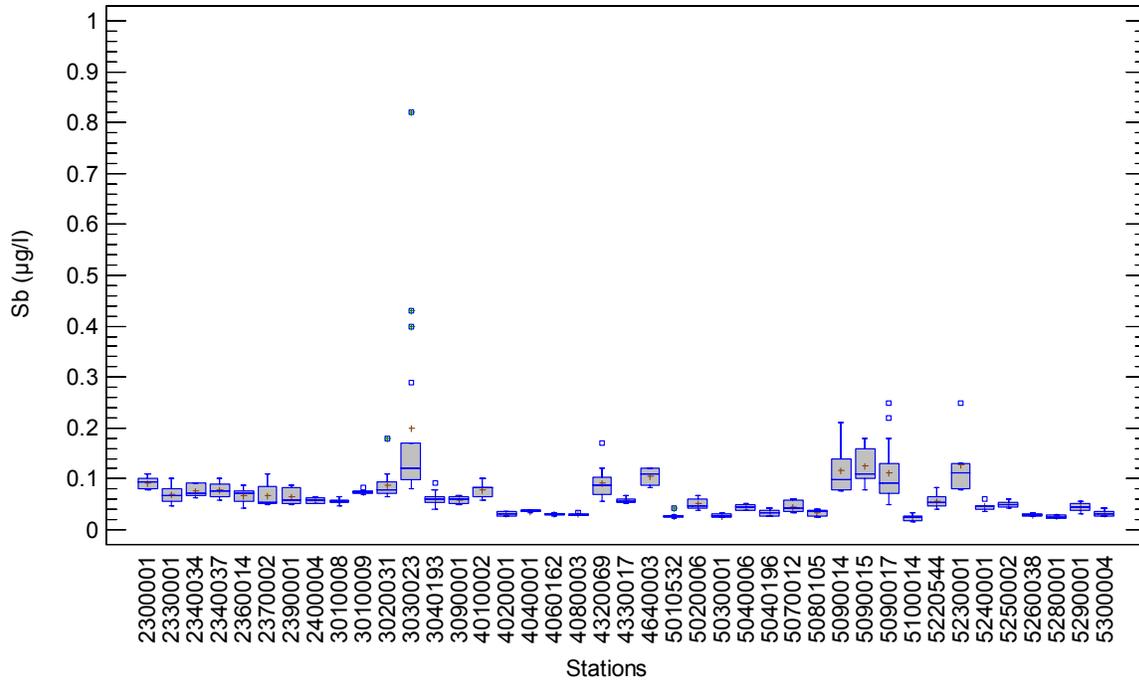
(m) Distribution des concentrations de molybdène extractible à chacune des 41 stations



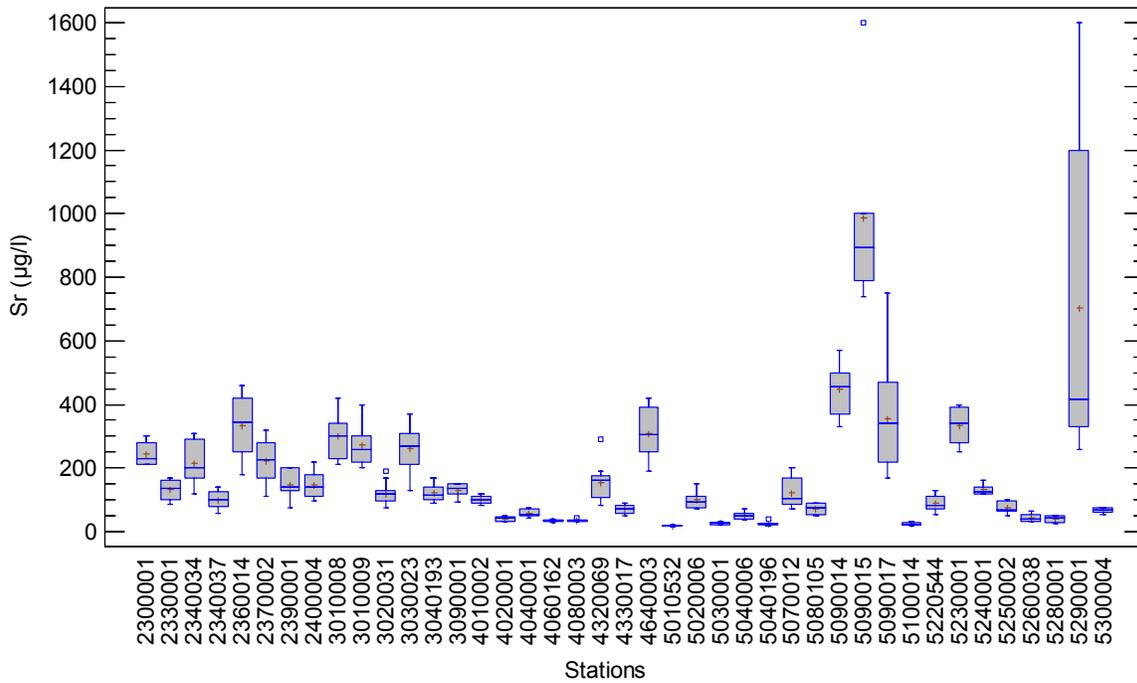
(n) Distribution des concentrations de nickel extractible à chacune des 41 stations



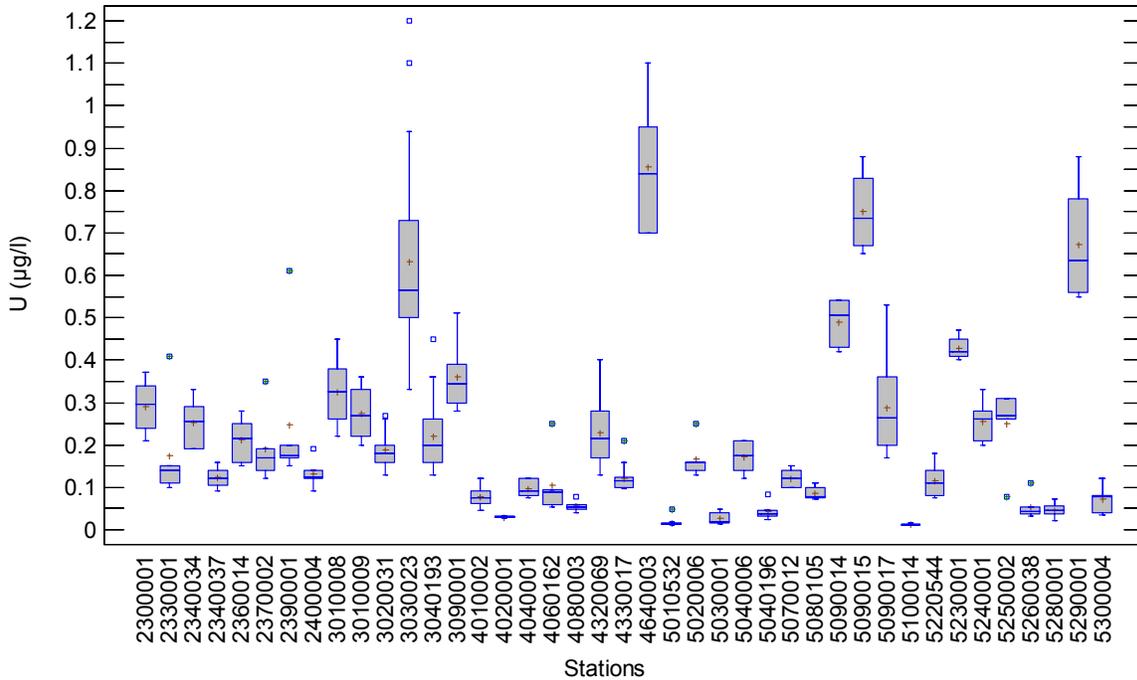
(o) Distribution des concentrations de plomb extractible à chacune des 41 stations



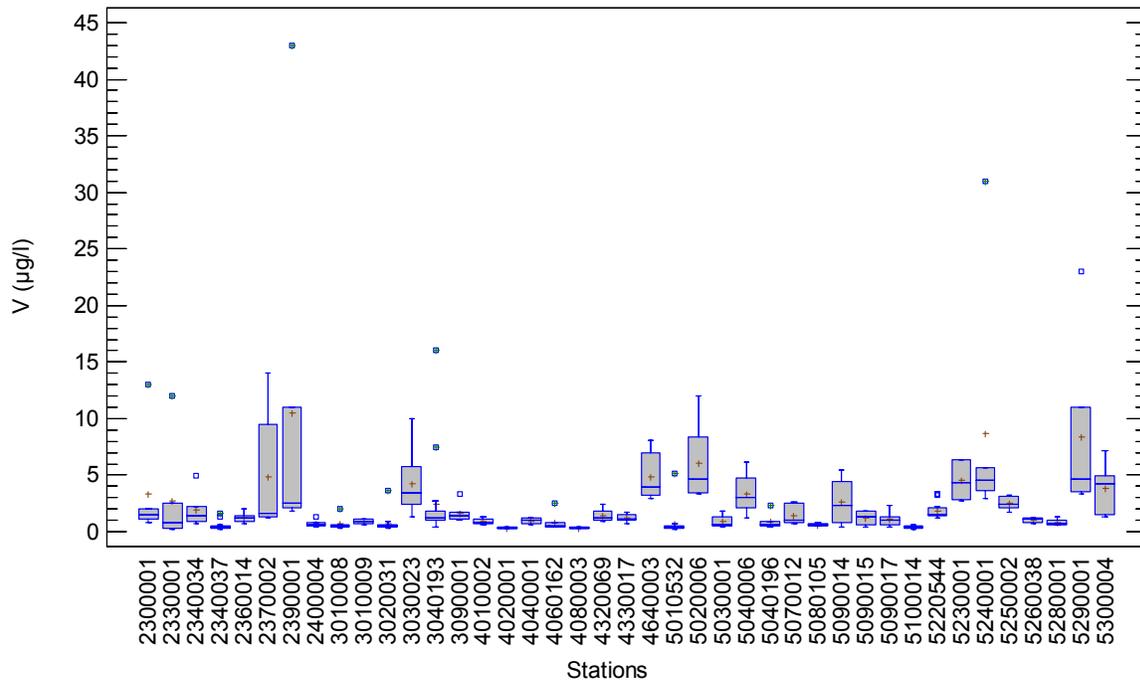
(p) Distribution des concentrations d'antimoine extractible à chacune des 41 stations



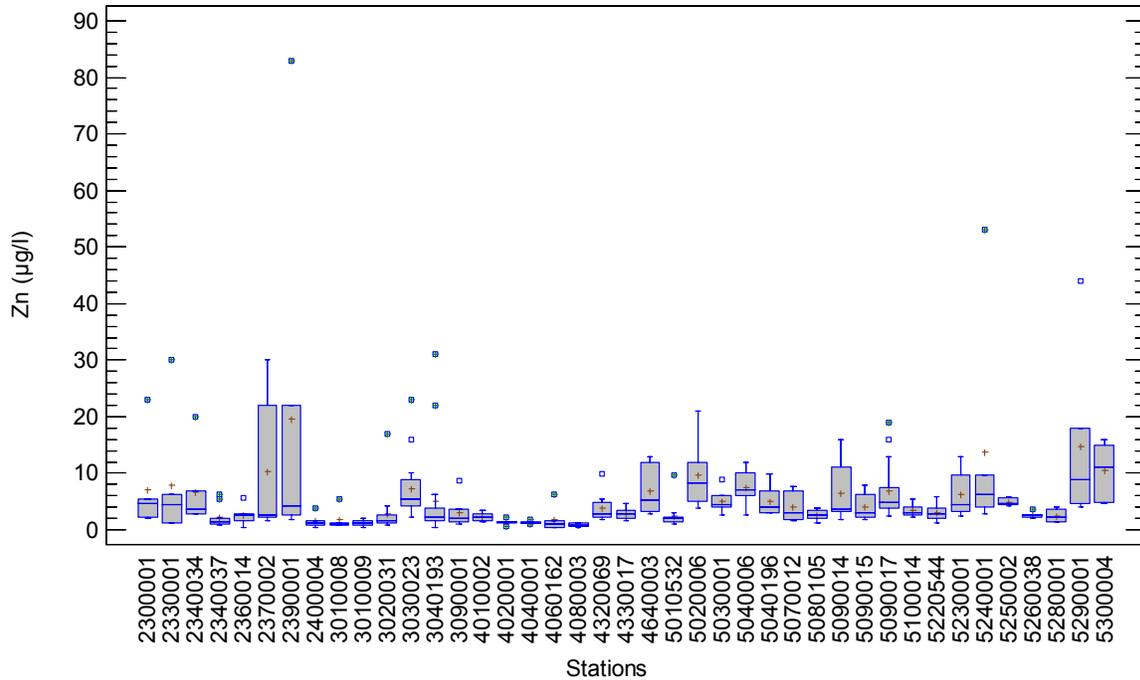
(q) Distribution des concentrations de strontium extractible à chacune des 41 stations



(r) Distribution des concentrations d'uranium extractible à chacune des 41 stations



(s) Distribution des concentrations de vanadium extractible à chacune des 41 stations

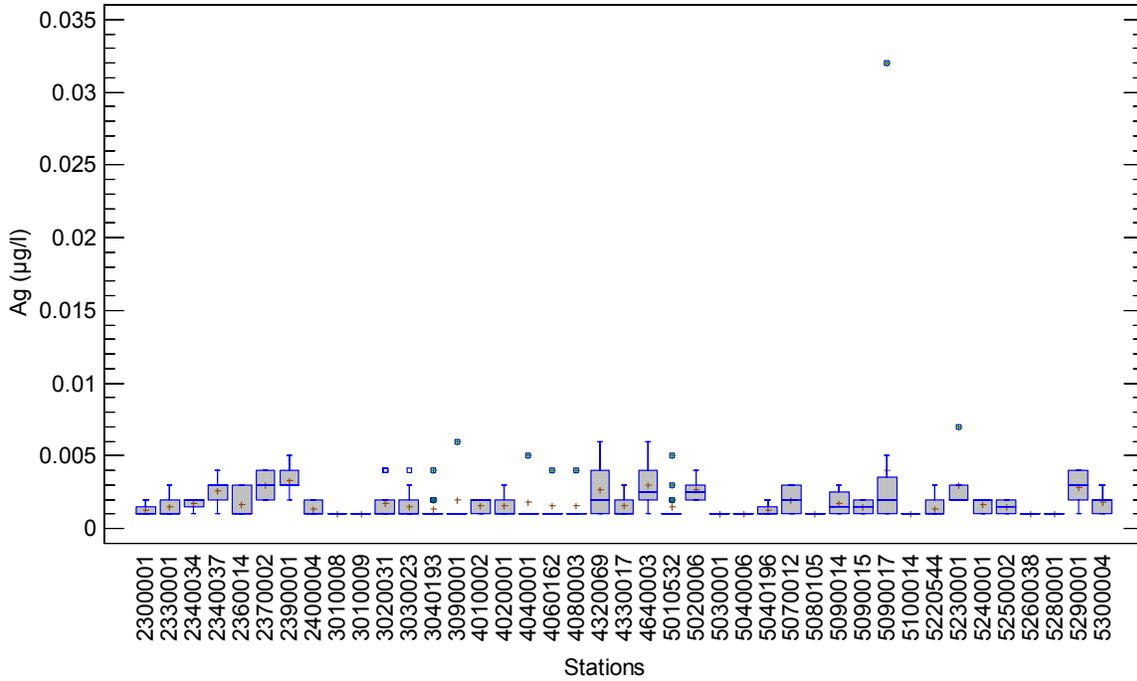


(t) Distribution des concentrations de zinc extractible à chacune des 41 stations

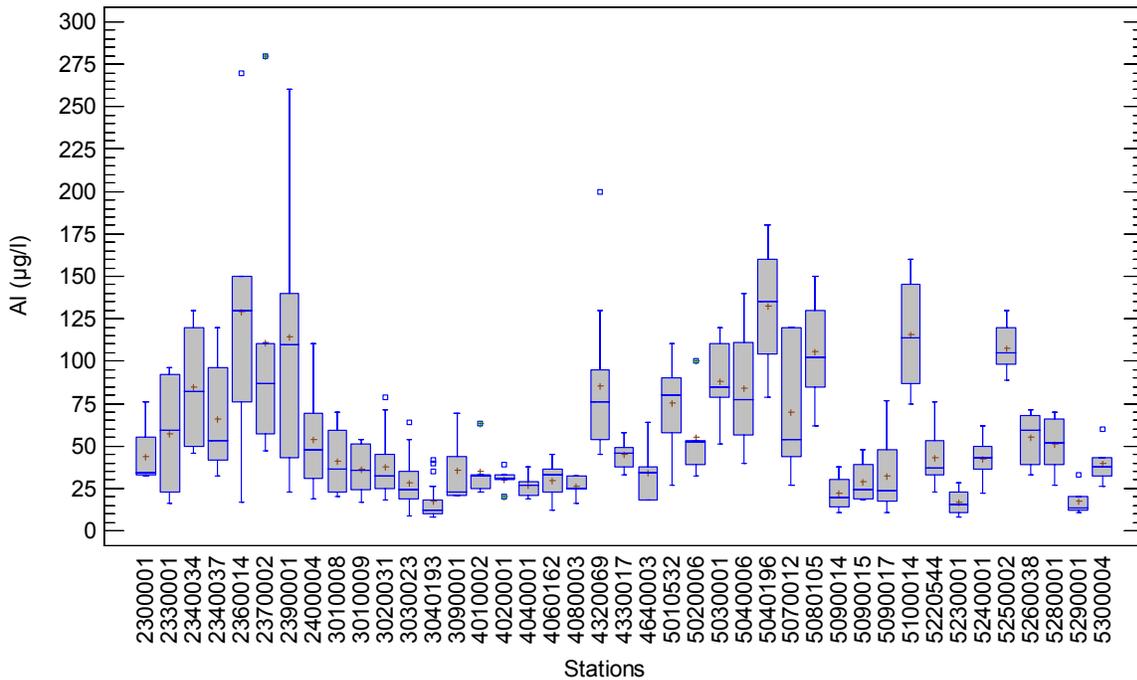
Annexe 7 Concentrations médianes de métaux extractibles par stations (2008-2011)

Station	N	Ag (µg/l)	Al (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	B (µg/l)	Be (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)	Sr (µg/l)	U (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
2300001	6	0,009	760	1,950	120,0	25,50	0,054	0,030	0,495	1,200	3,50	1050	64	0,425	3,100	0,655	0,094	230,0	0,295	1,550	4,70
2330001	6	0,008	420	1,350	32,5	11,50	0,031	0,026	0,380	0,760	2,00	705	62	0,280	2,400	0,525	0,067	135,0	0,140	0,770	4,35
2340034	6	0,006	350	2,150	67,0	13,50	0,027	0,027	0,465	0,670	2,50	1200	96	0,365	3,350	0,600	0,073	200,0	0,255	1,450	3,65
2340037	12	0,004	150	0,665	14,0	6,30	0,012	0,010	0,230	0,455	1,40	390	36,5	0,290	2,050	0,235	0,077	100,0	0,120	0,375	1,40
2360014	6	0,003	205	0,595	89,5	15,50	0,027	0,023	0,240	0,550	1,45	975	46,5	0,265	1,200	0,460	0,071	345,0	0,215	1,200	2,55
2370002	6	0,005	305	0,590	56,0	12,00	0,021	0,018	0,290	0,695	1,20	1400	60	0,280	1,200	0,325	0,055	225,0	0,170	1,600	2,70
2390001	6	0,007	760	0,585	40,0	19,50	0,041	0,021	0,485	1,600	1,60	2000	56	0,265	1,800	0,460	0,058	140,0	0,175	2,550	4,25
2400004	6	0,002	120	0,565	33,0	12,00	0,013	0,012	0,195	0,440	1,65	655	70,5	0,295	2,450	0,240	0,059	140,0	0,125	0,635	1,25
3010008	6	0,002	95,5	0,555	32,5	9,75	0,010	0,011	0,175	0,225	1,60	320	26,5	0,265	0,925	0,185	0,056	300,0	0,325	0,460	1,00
3010009	6	0,003	155	0,945	26,5	24,00	0,011	0,012	0,260	0,470	1,45	460	38,5	0,425	2,000	0,250	0,074	260,0	0,270	0,910	1,20
3020031	18	0,004	130	0,795	11,0	7,75	0,005	0,014	0,185	0,565	2,00	285	46	0,320	2,450	0,230	0,079	120,0	0,180	0,460	1,60
3030023	18	0,010	1150	0,720	37,0	21,50	0,042	0,022	0,810	3,100	4,00	1450	73,5	0,555	3,100	0,830	0,120	270,0	0,565	3,450	5,50
3040193	18	0,004	330	0,475	14,5	9,50	0,015	0,009	0,270	0,925	1,60	435	19	0,320	1,050	0,445	0,062	115,0	0,200	1,200	2,30
3090001	6	0,003	290	0,605	32,0	16,50	0,016	0,009	0,265	0,655	1,25	495	48	0,655	0,850	0,290	0,060	135,0	0,345	1,450	2,00
4010002	6	0,006	135	0,230	14,5	15,50	0,005	0,008	0,160	0,365	1,40	380	31	0,395	0,630	0,355	0,082	99,0	0,074	0,810	2,15
4020001	6	0,002	72	0,130	11,0	4,70	0,005	0,007	0,076	0,130	0,67	345	18	0,140	0,235	0,085	0,031	42,0	0,030	0,285	1,35
4040001	6	0,002	205	0,185	11,0	7,60	0,011	0,006	0,150	0,375	1,04	465	26,5	0,260	0,505	0,125	0,037	55,5	0,092	0,960	1,30
4060162	6	0,002	145	0,125	12,0	3,85	0,012	0,003	0,091	0,270	0,85	270	19	0,145	0,345	0,085	0,031	35,0	0,088	0,525	1,05
4080003	6	0,002	73	0,130	12,0	3,45	0,005	0,003	0,060	0,235	0,63	185	18,5	0,125	0,340	0,040	0,030	34,5	0,055	0,350	0,85
4320069	12	0,008	440	0,435	24,0	17,00	0,008	0,015	0,185	0,680	1,90	380	32,5	0,620	1,000	0,360	0,087	160,0	0,215	1,250	2,90
4330017	12	0,006	415	0,430	19,0	8,45	0,018	0,013	0,245	1,000	1,70	530	20,5	0,270	1,050	0,445	0,057	70,0	0,115	1,150	2,85
4640003	6	0,009	1130	0,485	60,0	58,50	0,034	0,018	0,770	3,000	4,10	1430	59	1,200	3,200	0,510	0,110	305,0	0,840	3,950	5,15
5010532	18	0,002	135	0,130	10,0	3,45	0,011	0,009	0,099	0,235	0,58	385	19	0,100	0,365	0,110	0,026	18,0	0,014	0,410	2,00
5020006	6	0,011	1700	0,450	27,0	17,00	0,053	0,024	0,970	3,550	2,30	4200	65	0,290	2,900	0,780	0,048	94,5	0,160	4,650	8,35
5030001	6	0,002	200	0,145	12,5	4,10	0,016	0,015	0,145	0,290	0,75	480	18	0,076	0,355	0,260	0,026	28,5	0,020	0,620	4,45
5040006	6	0,007	1400	0,795	21,5	9,70	0,048	0,023	0,650	2,100	2,00	1850	48	0,195	2,100	0,640	0,045	50,5	0,175	3,000	7,15
5040196	6	0,002	350	0,355	11,5	3,80	0,033	0,027	0,165	0,290	0,46	610	18	0,086	0,885	0,275	0,034	25,0	0,038	0,625	3,95
5070012	6	0,004	360	0,215	20,5	8,90	0,022	0,013	0,225	0,500	1,10	750	25,5	0,260	0,575	0,285	0,042	103,5	0,120	1,035	3,10
5080105	6	0,001	165	0,190	27,5	4,85	0,026	0,017	0,130	0,170	0,44	620	20,5	0,150	0,270	0,255	0,036	74,5	0,079	0,640	2,65
5090014	6	0,009	265	2,500	87,0	20,50	0,014	0,036	0,315	0,555	1,90	1100	97,5	0,550	2,150	0,450	0,099	455,0	0,505	2,350	3,60
5090015	6	0,006	127	2,500	49,0	31,00	0,020	0,026	0,240	0,255	1,80	575	50,5	1,600	1,400	0,250	0,110	895,0	0,735	1,265	2,95
5090017	18	0,007	210	0,450	45,5	17,50	0,019	0,016	0,240	0,455	1,80	1200	82,5	0,580	1,350	0,530	0,093	340,0	0,265	1,015	4,85
5100014	6	0,001	195	0,275	6,9	2,60	0,026	0,019	0,125	0,140	0,29	570	16,5	0,062	0,795	0,175	0,026	22,0	0,012	0,405	3,05
5220544	18	0,004	405	0,250	16,5	13,50	0,018	0,011	0,315	1,050	1,50	795	27	0,460	1,100	0,320	0,054	83,5	0,110	1,500	2,80
5230001	6	0,007	750	0,725	42,0	84,50	0,021	0,025	0,840	2,700	2,60	1240	73,5	1,700	3,550	0,345	0,113	340,0	0,420	4,350	4,45
5240001	6	0,009	1595	0,420	29,5	29,50	0,050	0,015	0,755	2,350	2,80	1900	56,5	0,515	2,150	0,535	0,047	125,0	0,260	4,550	6,25
5250002	6	0,005	830	0,345	17,0	13,50	0,036	0,016	0,490	1,400	1,90	1450	42	0,195	1,350	0,500	0,049	68,5	0,270	2,450	4,60
5260038	6	0,001	290	0,180	13,0	5,95	0,017	0,008	0,225	0,730	1,30	660	20	0,097	0,820	0,215	0,030	39,5	0,044	1,100	2,55
5280001	6	0,002	220	0,160	12,0	9,65	0,014	0,007	0,155	0,400	0,91	465	15	0,096	0,380	0,185	0,026	41,5	0,046	0,685	2,25
5290001	6	0,013	2100	0,355	210,0	37,00	0,054	0,019	0,950	3,100	4,00	2350	79,5	0,820	3,050	0,525	0,044	415,0	0,635	4,650	8,85
5300004	6	0,010	1950	0,240	32,0	13,50	0,059	0,019	1,035	2,750	3,30	2750	50,5	0,225	2,850	0,590	0,032	69,5	0,079	4,200	11,00

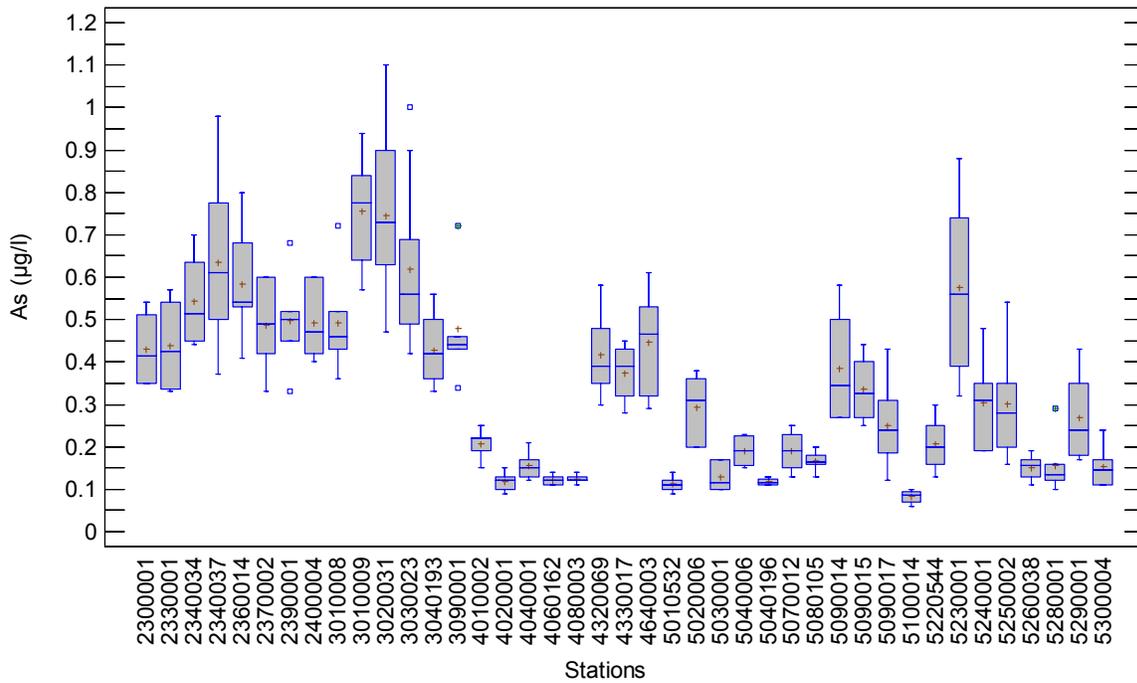
Annexe 8 Distribution des concentrations de métaux dissous à chacune des 41 stations étudiées (2008-2011) : (a) argent, (b) aluminium, (c) arsenic, (d) bore, (e) baryum, (f) béryllium, (g) cadmium, (h) cobalt, (i) chrome, (j) cuivre, (k) fer, (l) manganèse, (m) molybdène, (n) nickel, (o) plomb, (p) antimoine, (q) strontium, (r) uranium, (s) vanadium et (t) zinc



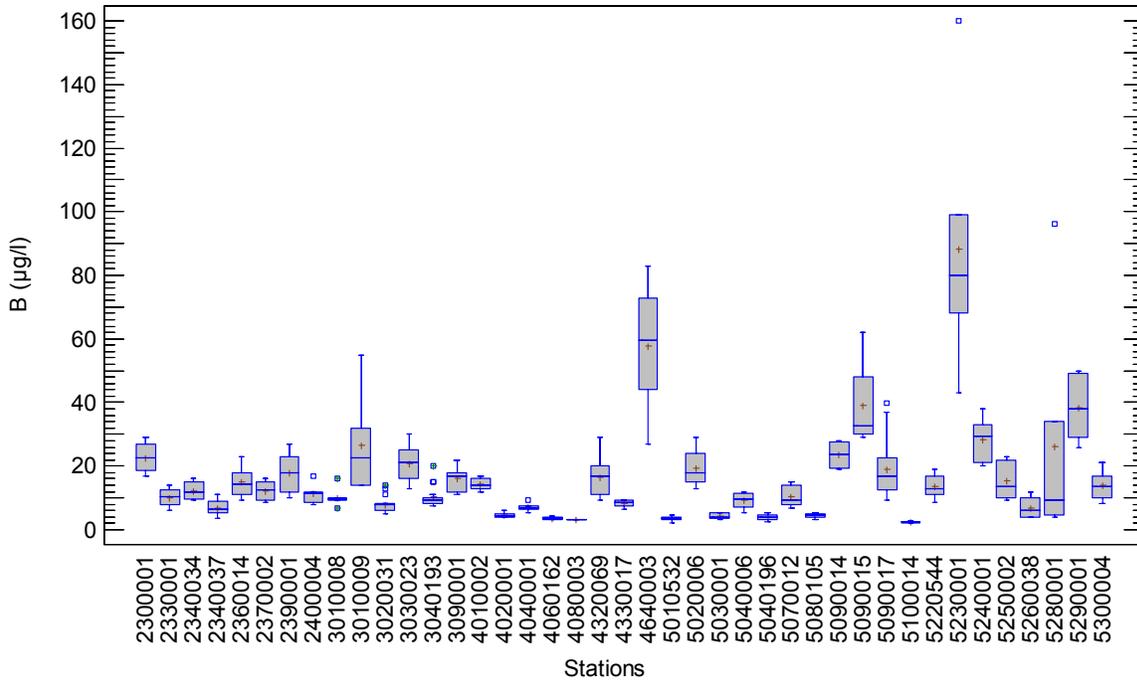
(a) Distribution des concentrations d'argent dissous à chacune des 41 stations



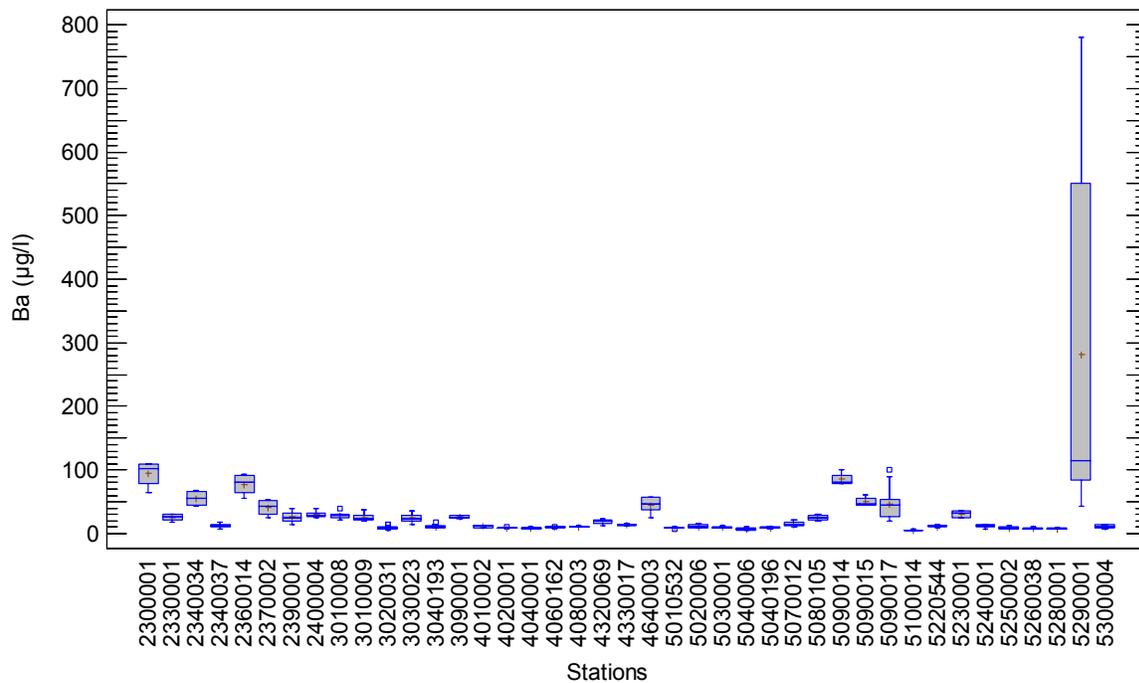
(b) Distribution des concentrations d'aluminium dissous à chacune des 41 stations



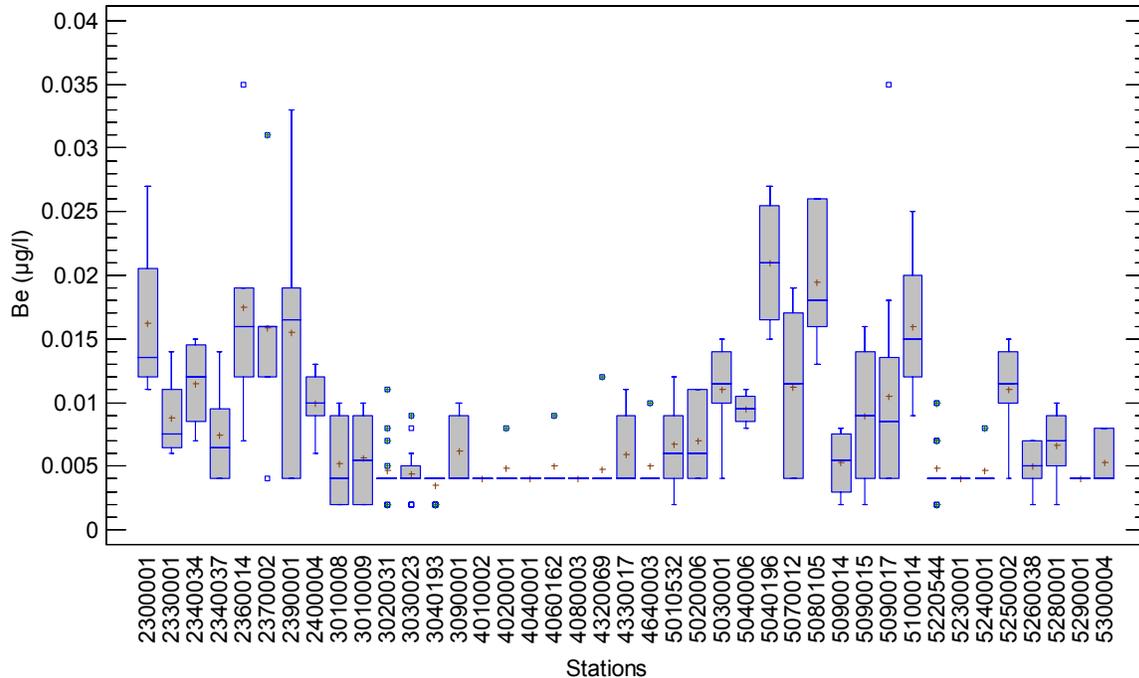
(c) Distribution des concentrations d'arsenic dissous à chacune des 41 stations



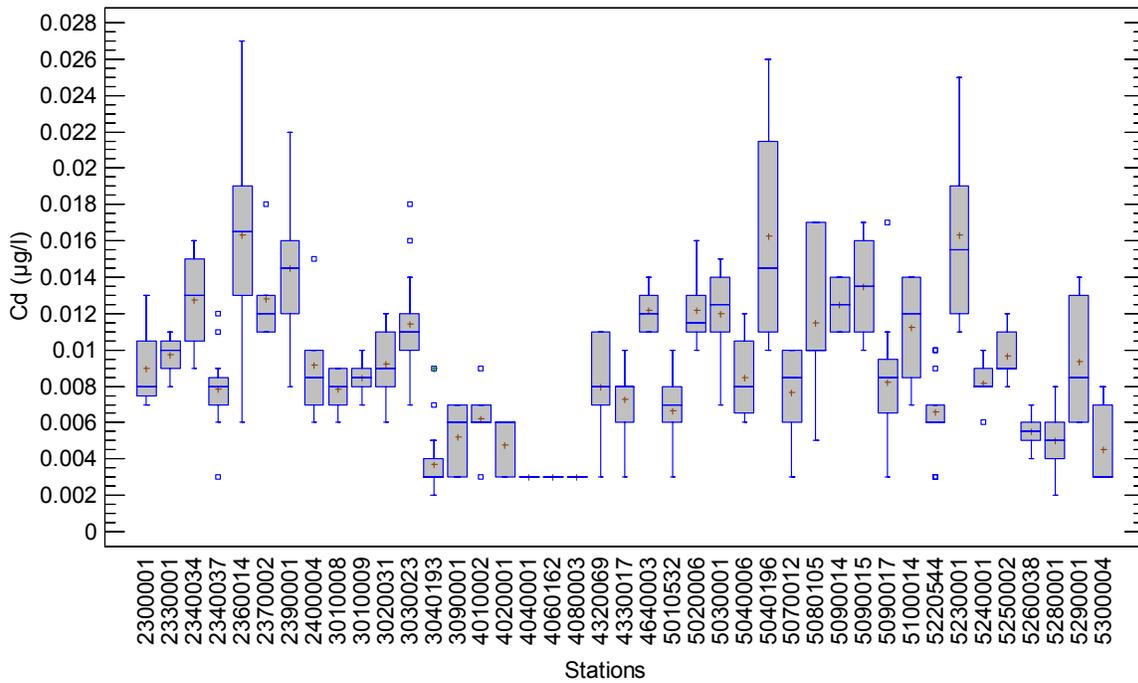
(d) Distribution des concentrations de bore dissous à chacune des 41 stations



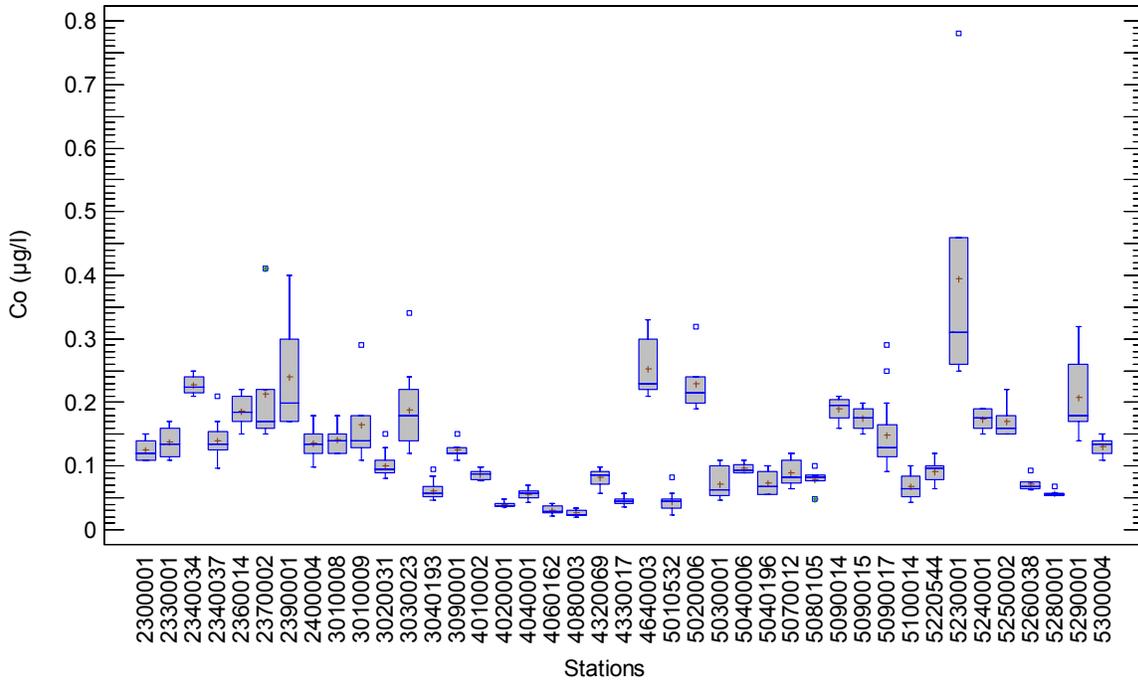
(e) Distribution des concentrations de baryum dissous à chacune des 41 stations



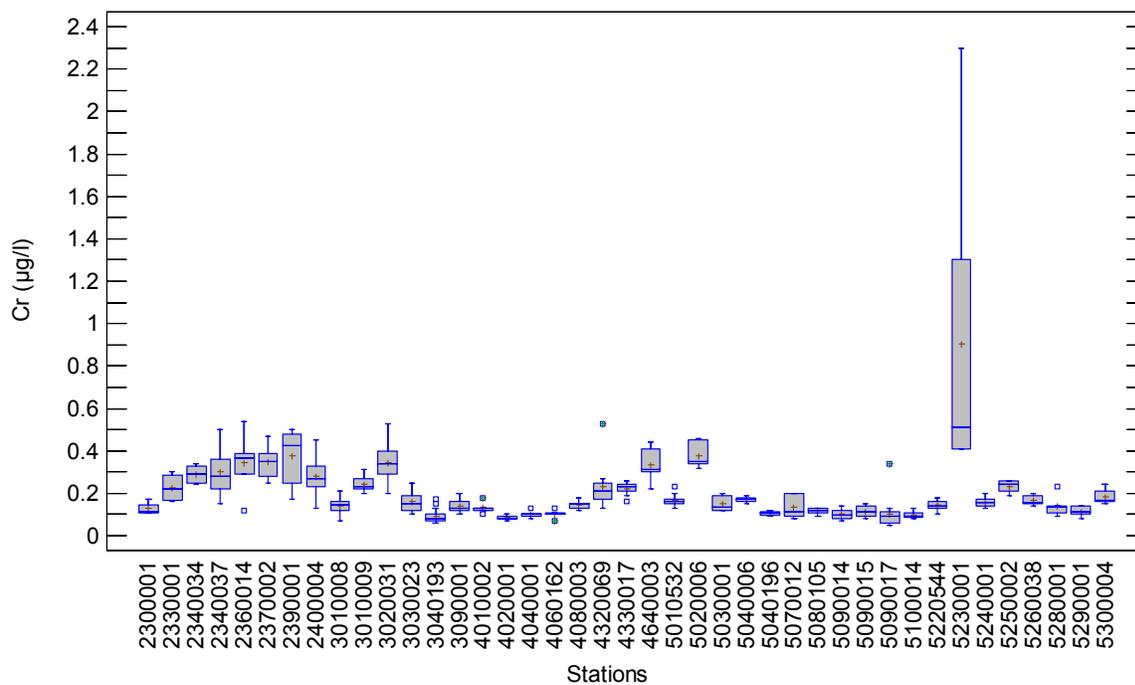
(f) Distribution des concentrations de béryllium dissous à chacune des 41 stations



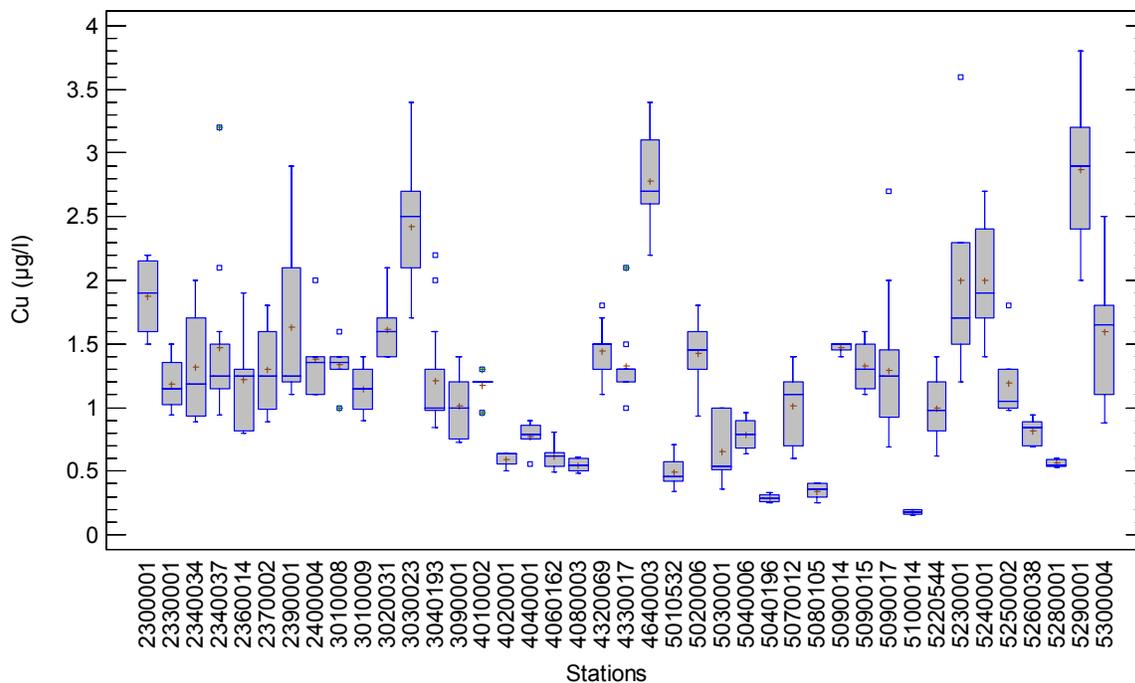
(g) Distribution des concentrations de cadmium dissous à chacune des 41 stations



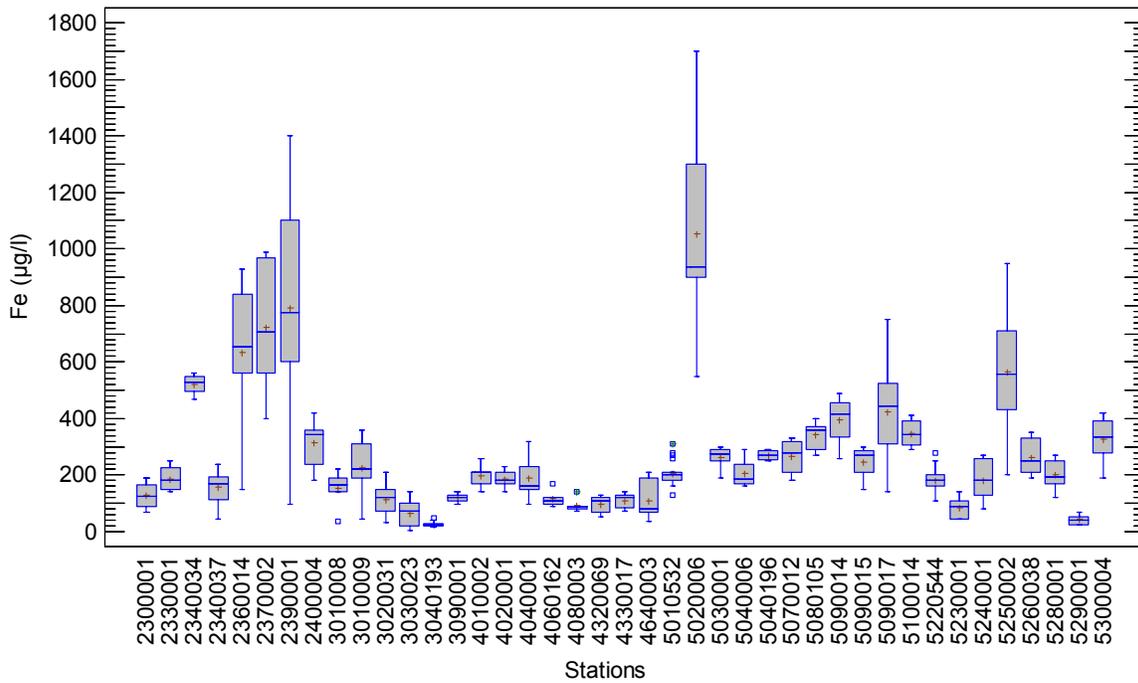
(h) Distribution des concentrations de cobalt dissous à chacune des 41 stations



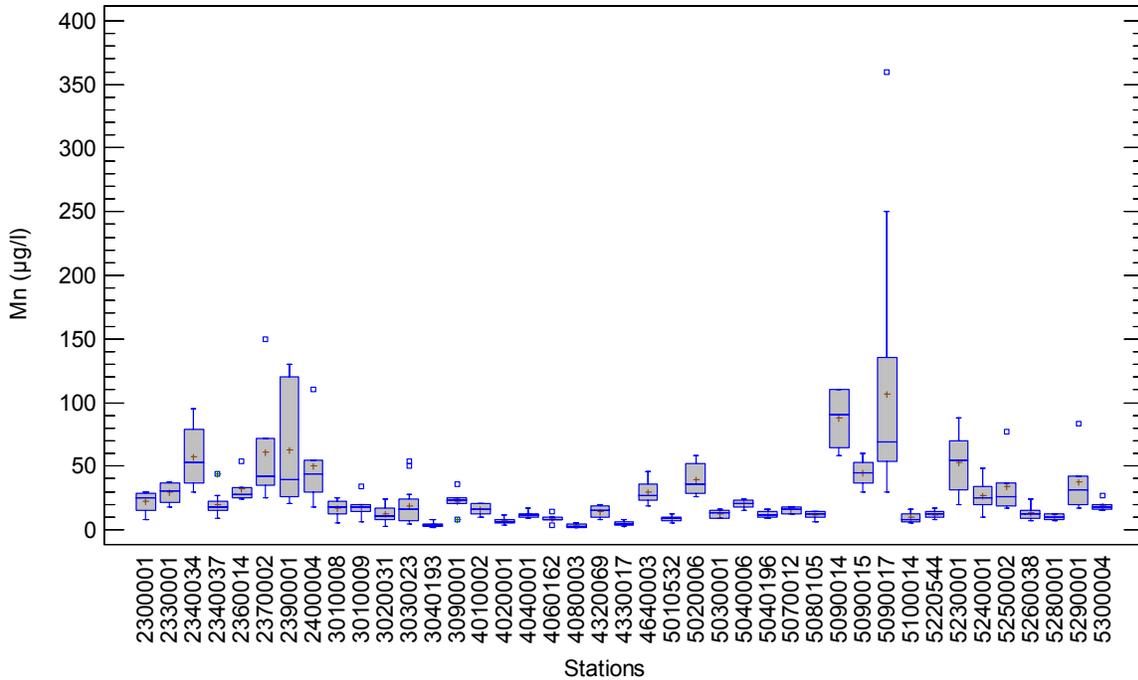
(i) Distribution des concentrations de chrome dissous à chacune des 41 stations



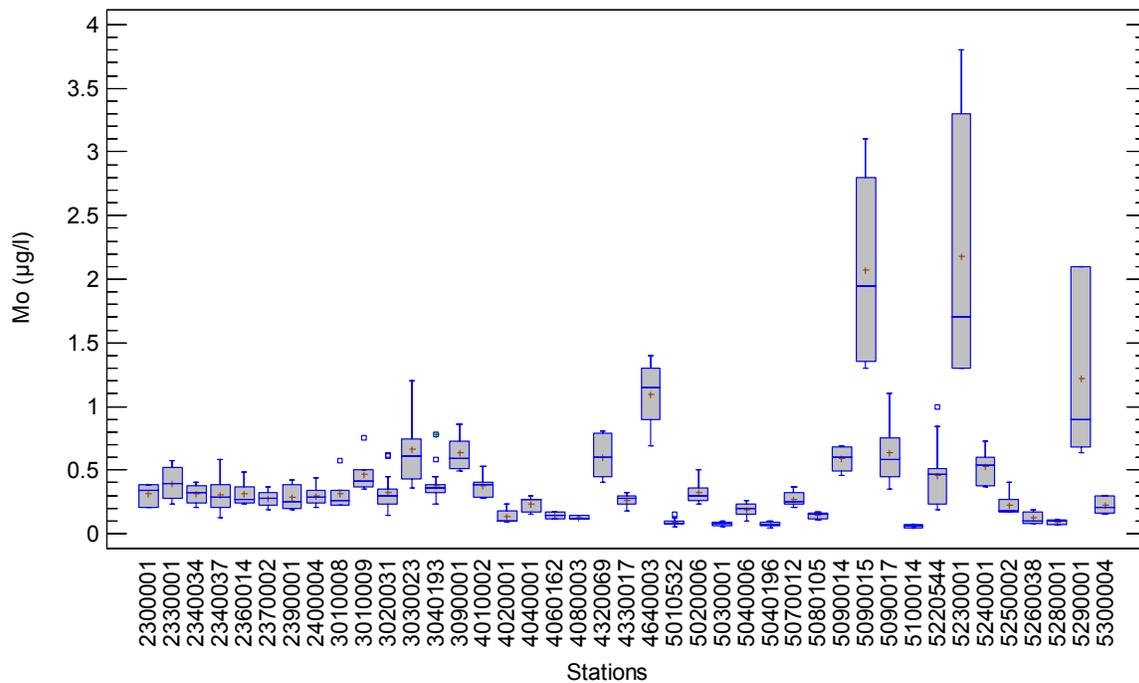
(j) Distribution des concentrations de cuivre dissous à chacune des 41 stations



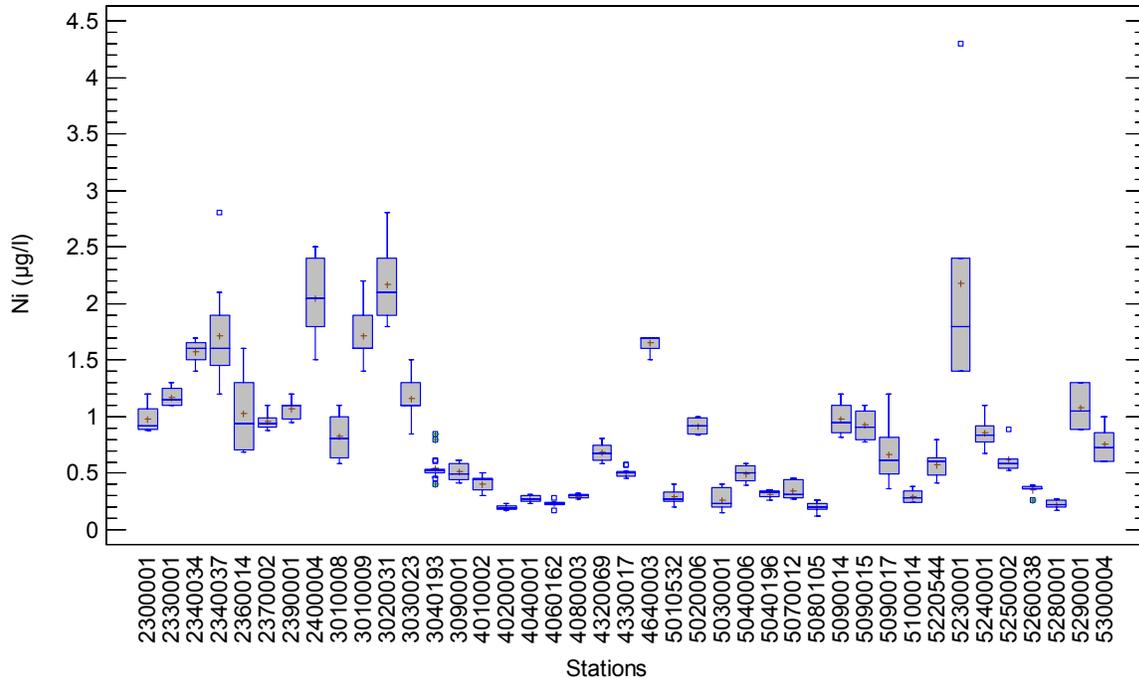
(k) Distribution des concentrations de fer dissous à chacune des 41 stations



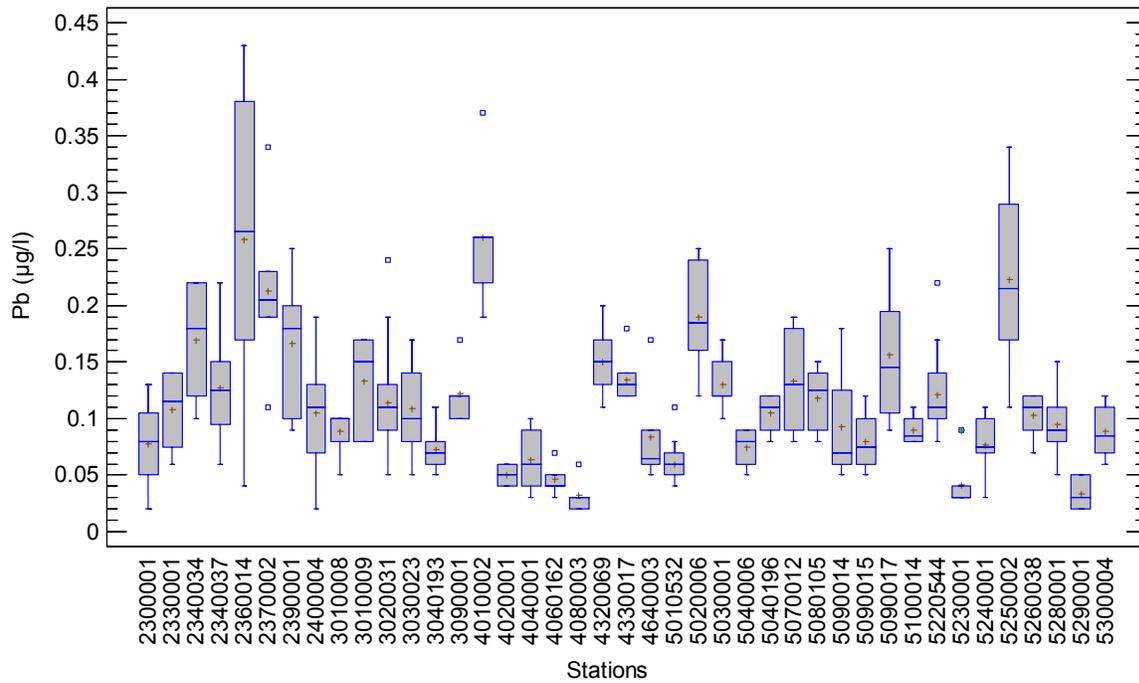
(l) Distribution des concentrations de manganèse dissous à chacune des 41 stations



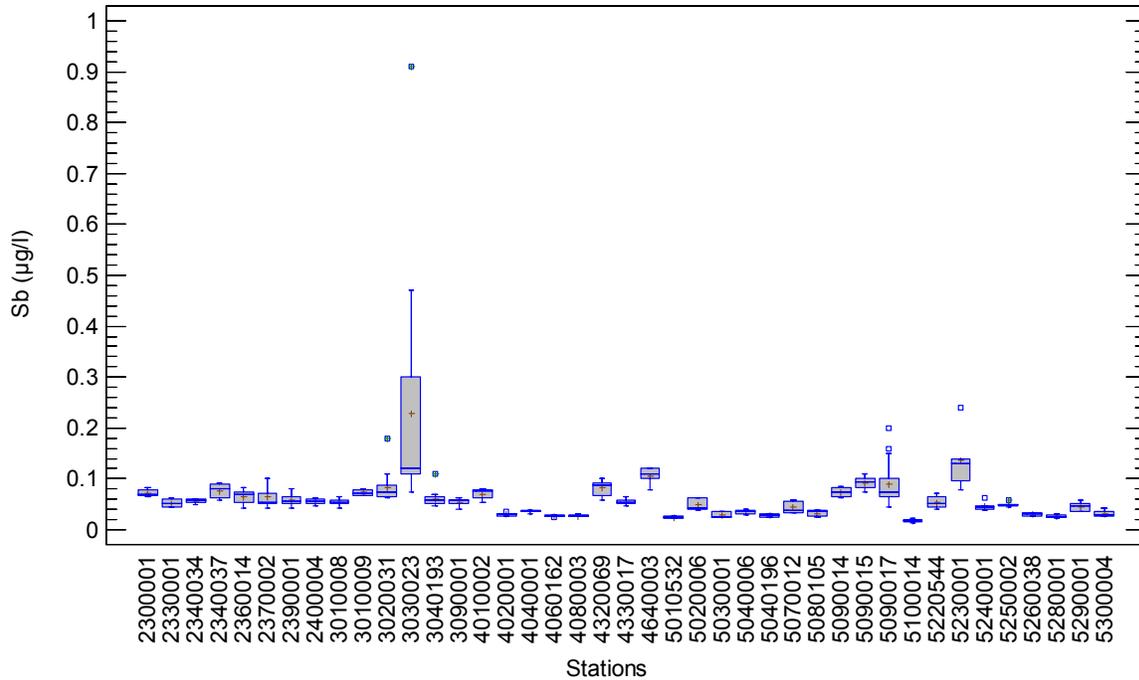
(m) Distribution des concentrations de molybdène dissous à chacune des 41 stations



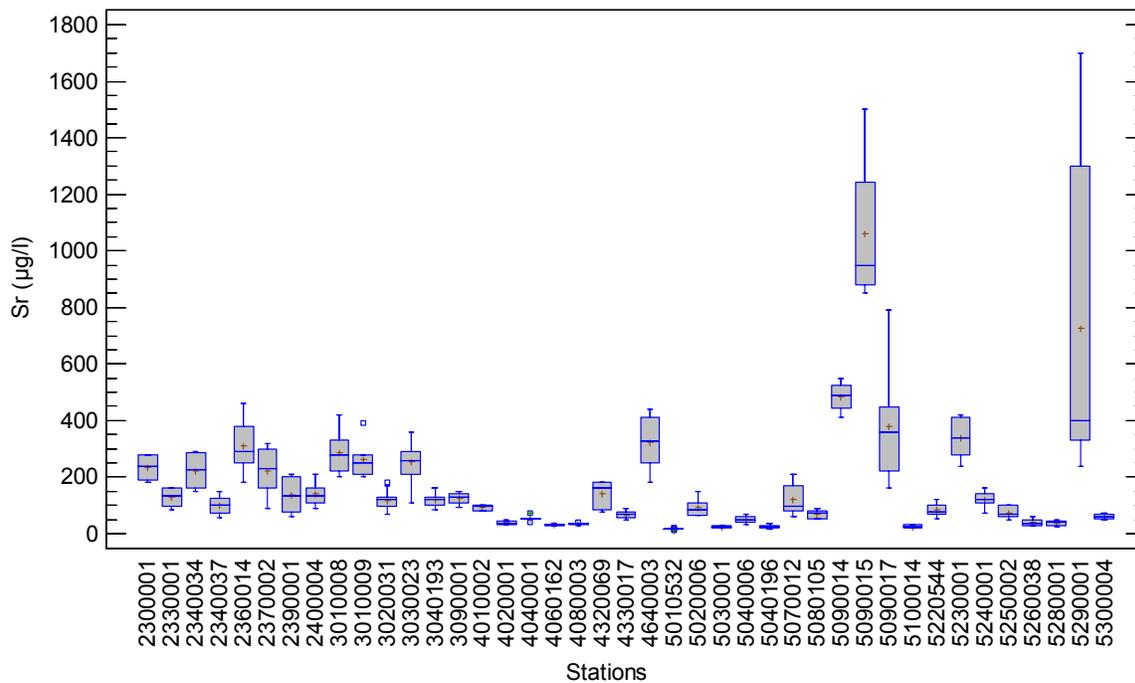
(n) Distribution des concentrations de nickel dissous à chacune des 41 stations



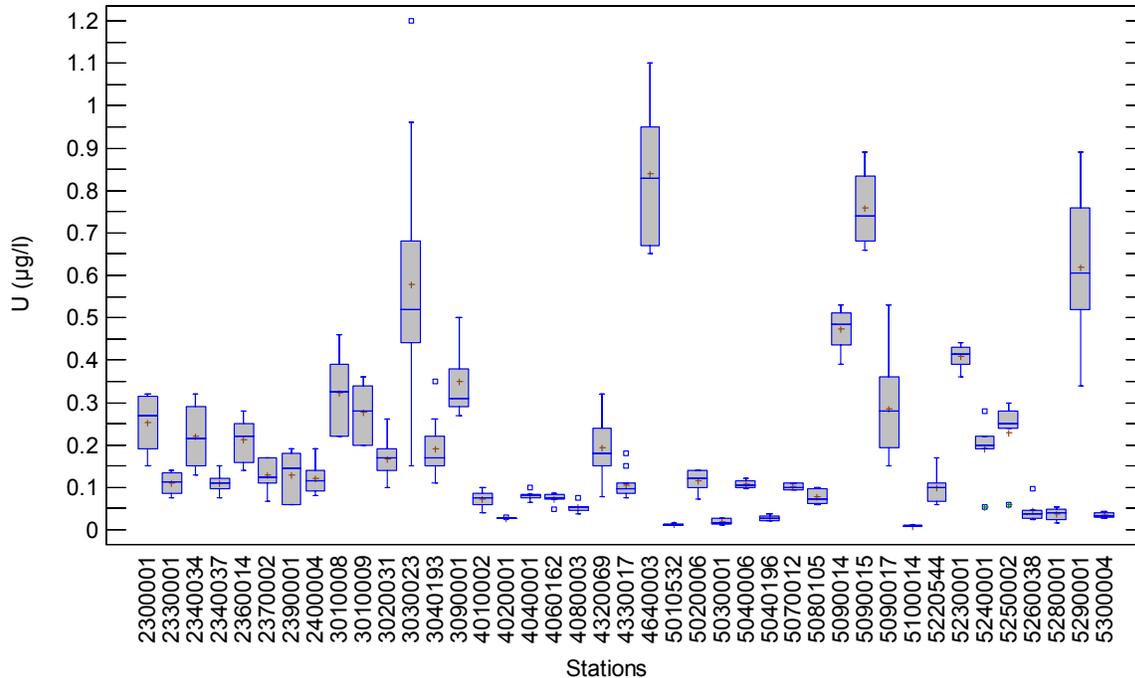
(o) Distribution des concentrations de plomb dissous à chacune des 41 stations



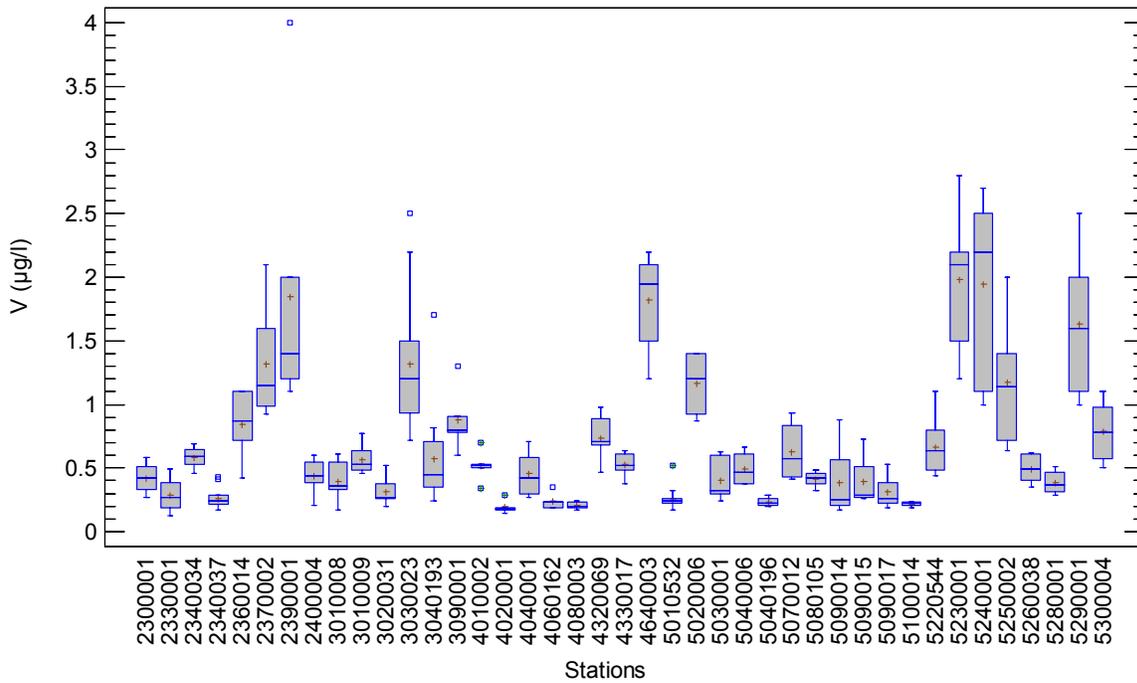
(p) Distribution des concentrations d'antimoine dissous à chacune des 41 stations



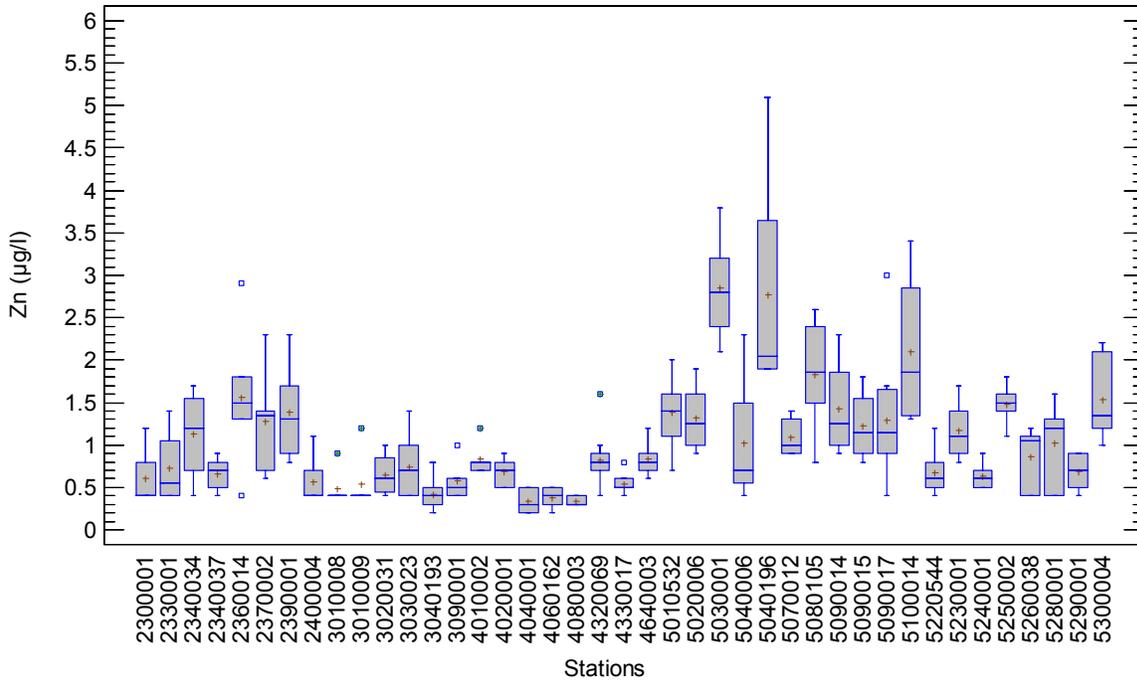
(q) Distribution des concentrations de strontium dissous à chacune des 41 stations



(r) Distribution des concentrations d'uranium dissous à chacune des 41 stations



(s) Distribution des concentrations de vanadium dissous à chacune des 41 stations

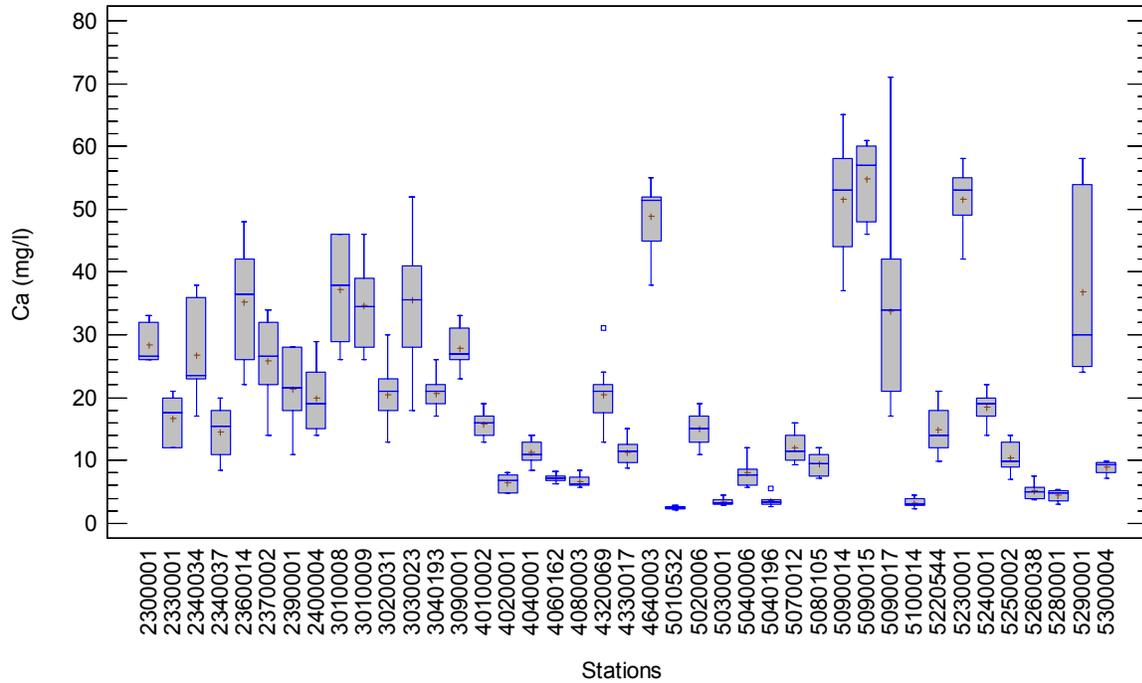


(t) Distribution des concentrations de zinc dissous à chacune des 41 stations

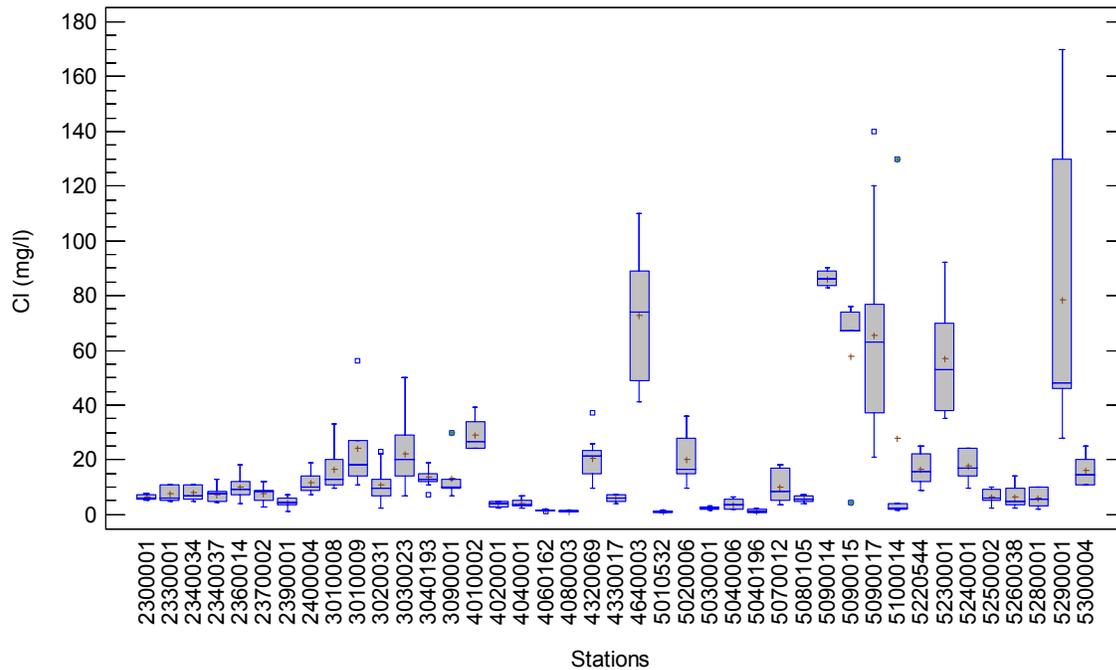
Annexe 9 Concentrations médianes de métaux dissous par stations (2008-2011)

Station	N	Ag (µg/l)	Al (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	B (µg/l)	Be (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)	Sr (µg/l)	U (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
2300001	4	0,001	34	0,415	101,5	22,50	0,014	0,008	0,120	0,115	1,90	125	25,0	0,340	0,915	0,080	0,071	240,0	0,270	0,420	0,40
2330001	4	0,001	59	0,425	27,0	10,30	0,008	0,010	0,135	0,220	1,15	180	30,5	0,395	1,150	0,115	0,051	135,0	0,112	0,270	0,55
2340034	4	0,002	82	0,515	56,5	12,00	0,012	0,013	0,225	0,290	1,19	530	53,0	0,320	1,600	0,180	0,059	225,0	0,215	0,595	1,20
2340037	12	0,003	53	0,610	12,0	6,35	0,007	0,008	0,135	0,280	1,25	170	18,0	0,285	1,600	0,125	0,080	99,5	0,110	0,240	0,70
2360014	6	0,001	130	0,540	80,5	14,50	0,016	0,017	0,185	0,365	1,25	655	28,0	0,270	0,940	0,265	0,070	290,0	0,220	0,870	1,50
2370002	6	0,003	87	0,490	43,5	12,50	0,016	0,012	0,170	0,350	1,25	705	42,0	0,275	0,940	0,205	0,054	230,0	0,125	1,150	1,35
2390001	6	0,003	110	0,500	26,0	18,00	0,017	0,015	0,200	0,425	1,25	775	39,5	0,255	1,100	0,180	0,056	135,0	0,145	1,400	1,30
2400004	6	0,001	48	0,470	28,5	11,50	0,010	0,009	0,135	0,270	1,35	345	44,0	0,285	2,050	0,110	0,055	135,0	0,115	0,440	0,40
3010008	6	0,001	37	0,460	28,0	9,60	0,004	0,008	0,140	0,145	1,35	165	18,0	0,260	0,810	0,100	0,054	280,0	0,325	0,360	0,40
3010009	6	0,001	36	0,775	23,5	22,50	0,006	0,009	0,140	0,230	1,15	220	17,5	0,415	1,600	0,150	0,073	250,0	0,280	0,530	0,40
3020031	17	0,001	32	0,730	9,7	7,80	0,004	0,009	0,095	0,340	1,60	120	11,0	0,300	2,100	0,110	0,075	120,0	0,170	0,270	0,60
3030023	17	0,001	24	0,560	24,0	21,00	0,004	0,011	0,180	0,150	2,50	72	16,0	0,610	1,100	0,100	0,120	260,0	0,520	1,200	0,70
3040193	17	0,001	12	0,420	11,0	9,50	0,004	0,003	0,057	0,080	1,00	23	3,8	0,360	0,520	0,070	0,059	120,0	0,170	0,450	0,40
3090001	5	0,001	23	0,440	26,0	17,00	0,004	0,006	0,120	0,130	1,00	120	23,0	0,590	0,490	0,120	0,058	130,0	0,310	0,800	0,50
4010002	5	0,002	32	0,220	13,0	14,00	0,004	0,006	0,087	0,130	1,20	210	16,0	0,390	0,440	0,260	0,076	96,0	0,075	0,520	0,80
4020001	5	0,001	31	0,120	9,6	4,30	0,004	0,006	0,037	0,080	0,64	180	6,7	0,096	0,190	0,050	0,031	37,0	0,027	0,180	0,70
4040001	5	0,001	27	0,150	8,3	6,90	0,004	0,003	0,057	0,100	0,79	160	12,0	0,270	0,270	0,060	0,036	52,0	0,082	0,420	0,30
4060162	5	0,001	33	0,120	9,9	3,60	0,004	0,003	0,029	0,100	0,62	110	8,0	0,140	0,230	0,040	0,028	33,0	0,075	0,230	0,40
4080003	5	0,001	25	0,120	10,0	3,20	0,004	0,003	0,024	0,150	0,55	90	2,8	0,120	0,300	0,030	0,028	35,0	0,054	0,200	0,30
4320069	11	0,002	76	0,390	20,0	17,00	0,004	0,008	0,086	0,210	1,50	110	15,0	0,600	0,680	0,150	0,089	160,0	0,180	0,710	0,80
4330017	11	0,001	46	0,390	14,0	8,50	0,004	0,008	0,045	0,230	1,30	120	4,2	0,280	0,500	0,130	0,054	67,0	0,096	0,520	0,50
4640003	6	0,003	35	0,465	46,0	59,50	0,004	0,012	0,230	0,310	2,70	79	27,0	1,150	1,700	0,065	0,110	325,0	0,830	1,950	0,80
5010532	17	0,001	80	0,110	8,9	3,50	0,006	0,007	0,044	0,160	0,46	200	8,6	0,082	0,270	0,060	0,025	17,0	0,012	0,240	1,40
5020006	6	0,003	53	0,310	10,9	18,00	0,006	0,012	0,215	0,350	1,45	935	36,0	0,295	0,915	0,185	0,042	83,0	0,120	1,200	1,25
5030001	6	0,001	85	0,115	9,6	4,10	0,012	0,013	0,062	0,135	0,54	275	13,5	0,081	0,230	0,120	0,026	25,5	0,017	0,320	2,80
5040006	4	0,001	78	0,190	7,9	9,85	0,010	0,008	0,093	0,170	0,79	185	21,0	0,200	0,500	0,080	0,035	49,0	0,105	0,470	0,70
5040196	4	0,001	135	0,115	9,2	3,90	0,021	0,015	0,069	0,105	0,29	270	11,5	0,076	0,330	0,110	0,029	24,0	0,027	0,220	2,05
5070012	6	0,002	54	0,190	14,5	9,35	0,012	0,009	0,083	0,115	1,10	280	16,5	0,255	0,310	0,130	0,037	97,5	0,100	0,570	1,00
5080105	6	0,001	103	0,165	26,0	4,75	0,018	0,010	0,083	0,120	0,36	360	12,5	0,155	0,205	0,125	0,035	71,5	0,074	0,420	1,85
5090014	4	0,002	20	0,345	81,0	23,50	0,006	0,013	0,195	0,095	1,50	415	91,0	0,600	0,950	0,070	0,075	490,0	0,485	0,250	1,25
5090015	4	0,002	25	0,325	47,5	32,50	0,009	0,014	0,175	0,115	1,30	270	44,5	1,950	0,910	0,075	0,094	950,0	0,740	0,290	1,15
5090017	16	0,002	24	0,240	44,5	17,00	0,009	0,009	0,130	0,090	1,25	445	69,0	0,580	0,615	0,145	0,073	360,0	0,280	0,260	1,15
5100014	4	0,001	114	0,085	5,9	2,40	0,015	0,012	0,065	0,090	0,18	345	8,4	0,061	0,280	0,085	0,018	24,5	0,009	0,225	1,85
5220544	17	0,001	37	0,200	12,0	13,00	0,004	0,006	0,096	0,140	0,98	180	13,0	0,470	0,610	0,110	0,052	77,0	0,100	0,640	0,60
5230001	6	0,002	16	0,560	32,0	80,00	0,004	0,016	0,310	0,510	1,70	89	55,0	1,700	1,800	0,030	0,130	340,0	0,415	2,100	1,10
5240001	6	0,002	43	0,310	12,0	29,50	0,004	0,008	0,175	0,155	1,90	180	25,5	0,535	0,835	0,075	0,044	120,0	0,200	2,200	0,60
5250002	6	0,002	105	0,280	9,2	13,50	0,012	0,009	0,160	0,240	1,05	555	26,0	0,175	0,585	0,215	0,049	67,0	0,250	1,140	1,50
5260038	6	0,001	59	0,155	7,9	5,95	0,005	0,006	0,069	0,155	0,84	250	12,5	0,103	0,360	0,110	0,032	37,0	0,037	0,490	1,05
5280001	6	0,001	52	0,135	7,9	9,25	0,007	0,005	0,055	0,135	0,55	195	9,9	0,101	0,220	0,090	0,026	38,5	0,041	0,370	1,20
5290001	6	0,003	14	0,240	114,0	38,00	0,004	0,009	0,180	0,115	2,90	41	31,5	0,895	1,050	0,030	0,047	400,0	0,605	1,600	0,70
5300004	6	0,002	38	0,145	9,9	13,50	0,004	0,003	0,135	0,165	1,65	335	18	0,205	0,730	0,085	0,030	60,5	0,033	0,78	1,35

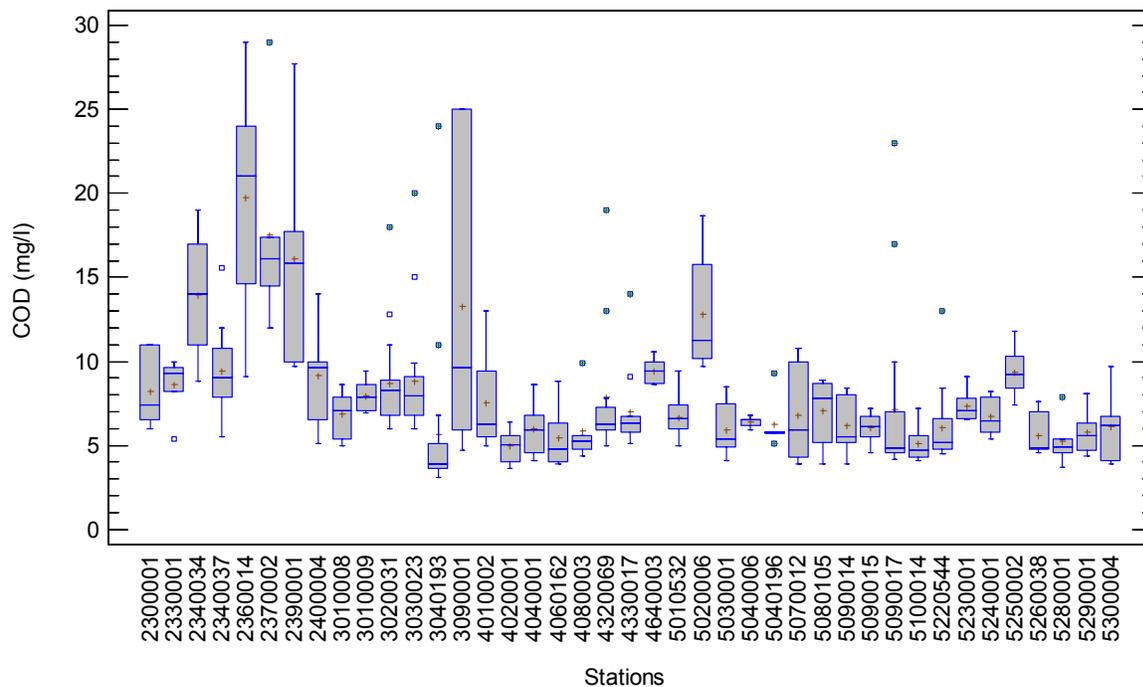
Annexe 10 Distribution des paramètres complémentaires à chacune des 41 stations étudiées (2008-2011) : (a) calcium, (b) chlore, (c) carbone organique dissous, (d) conductivité, (e) potassium, (f) magnésium, (g) sodium, (h) pH, (i) matières en suspension et (j) dureté



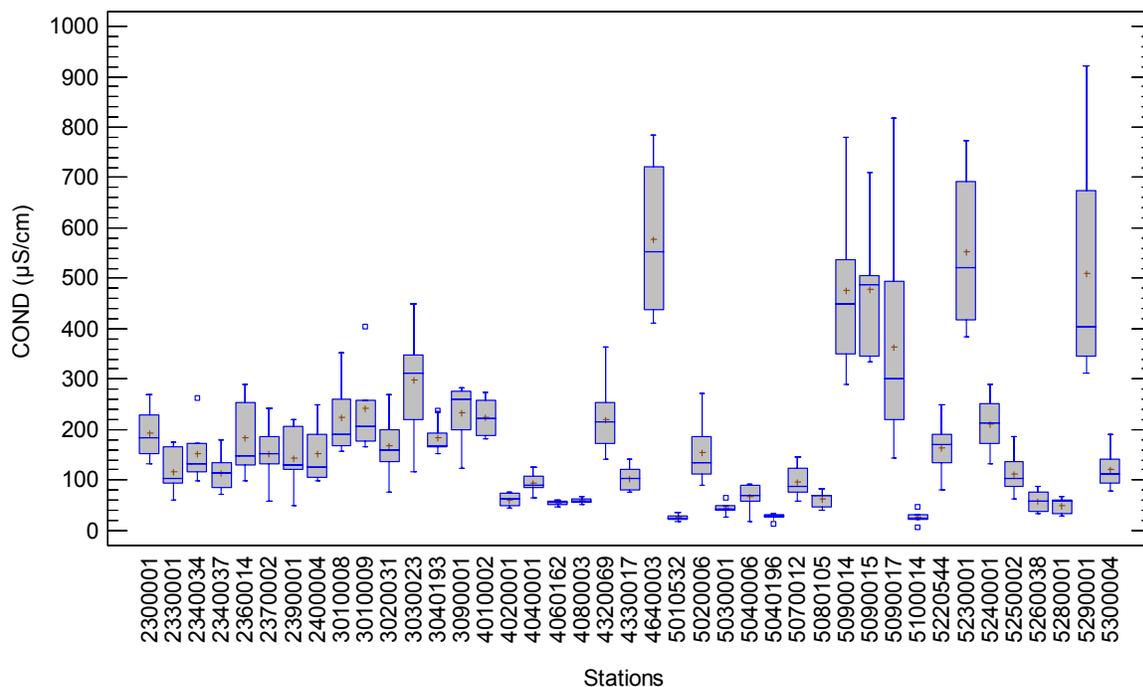
(a) Distribution des concentrations de calcium à chacune des 41 stations



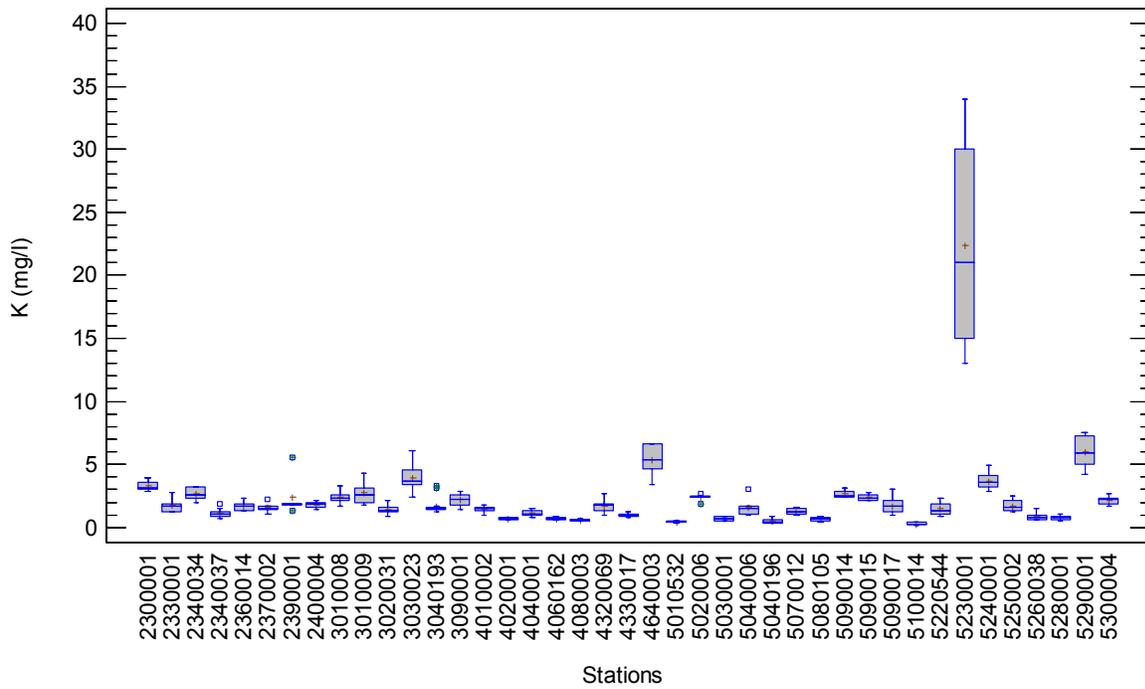
(b) Distribution des concentrations de chlorure à chacune des 41 stations



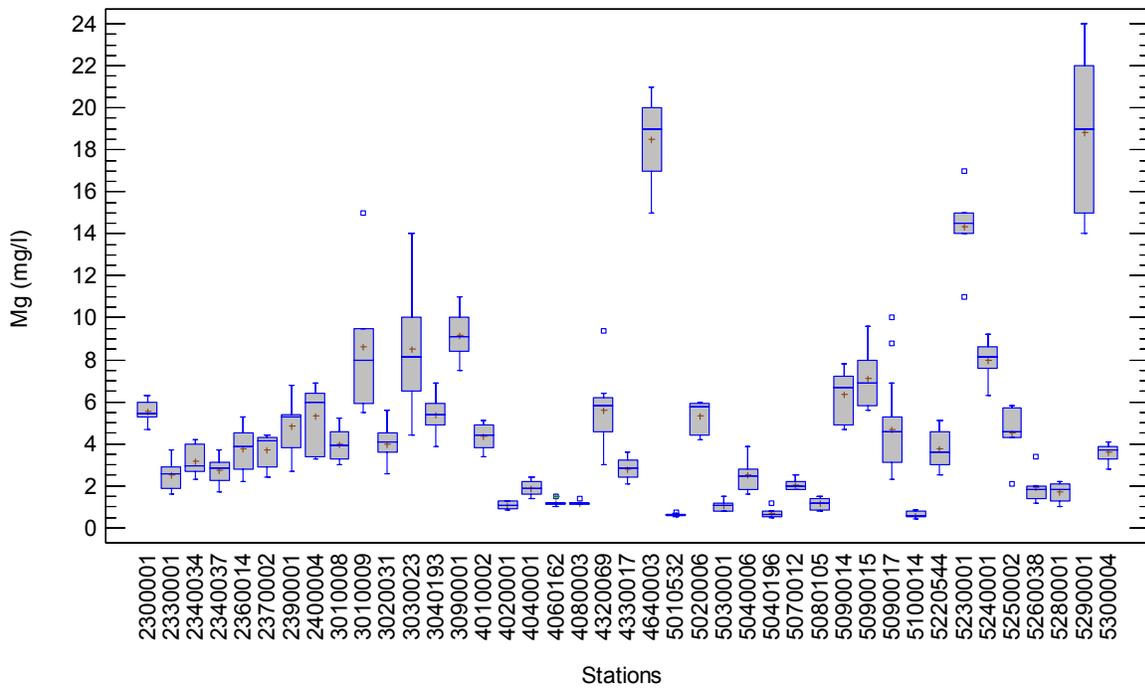
(c) Distribution des concentrations de carbone organique dissous à chacune des 41 stations



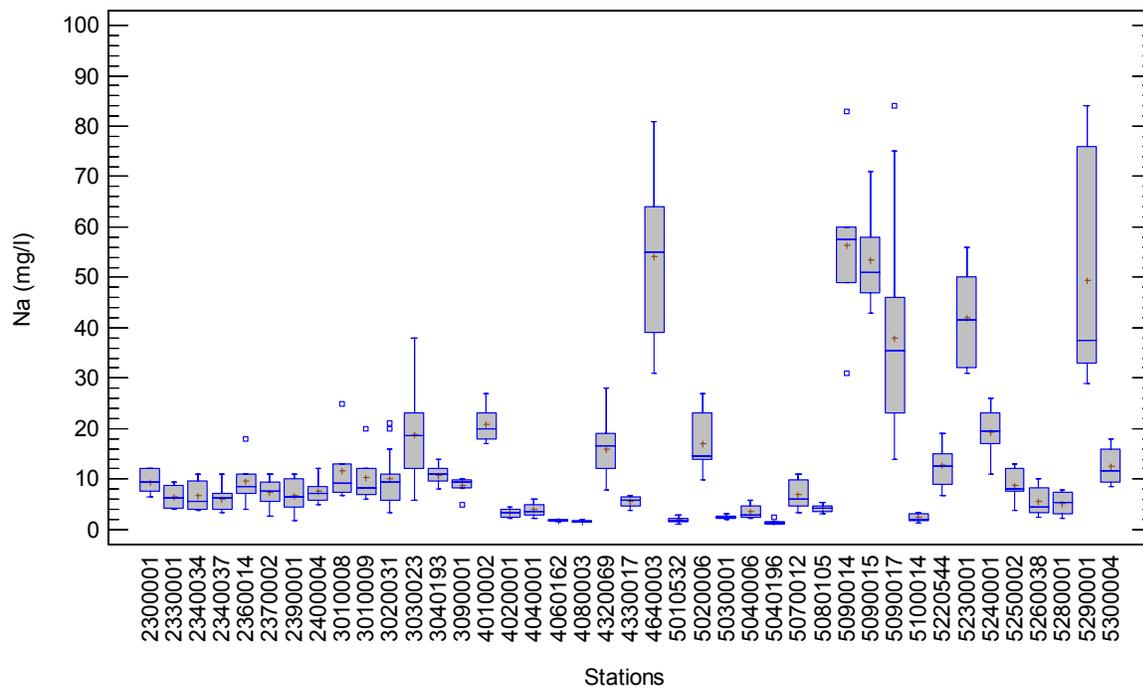
(d) Distribution des valeurs de conductivité à chacune des 41 stations



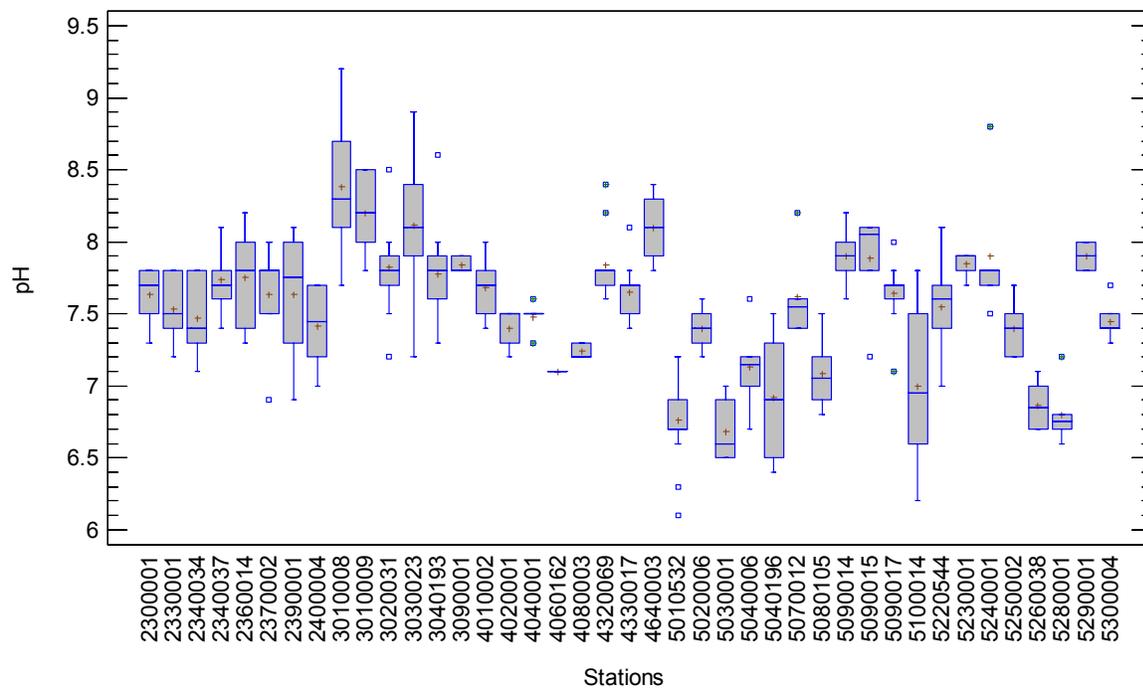
(e) Distribution des concentrations de potassium à chacune des 41 stations



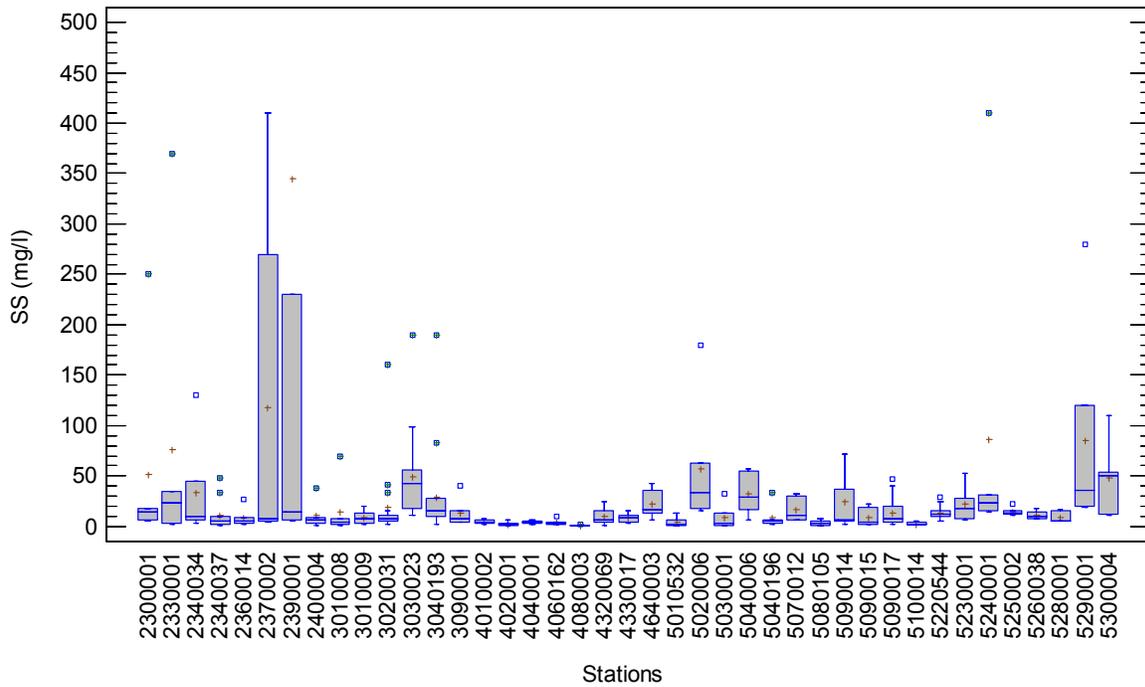
(f) Distribution des concentrations de magnésium à chacune des 41 stations



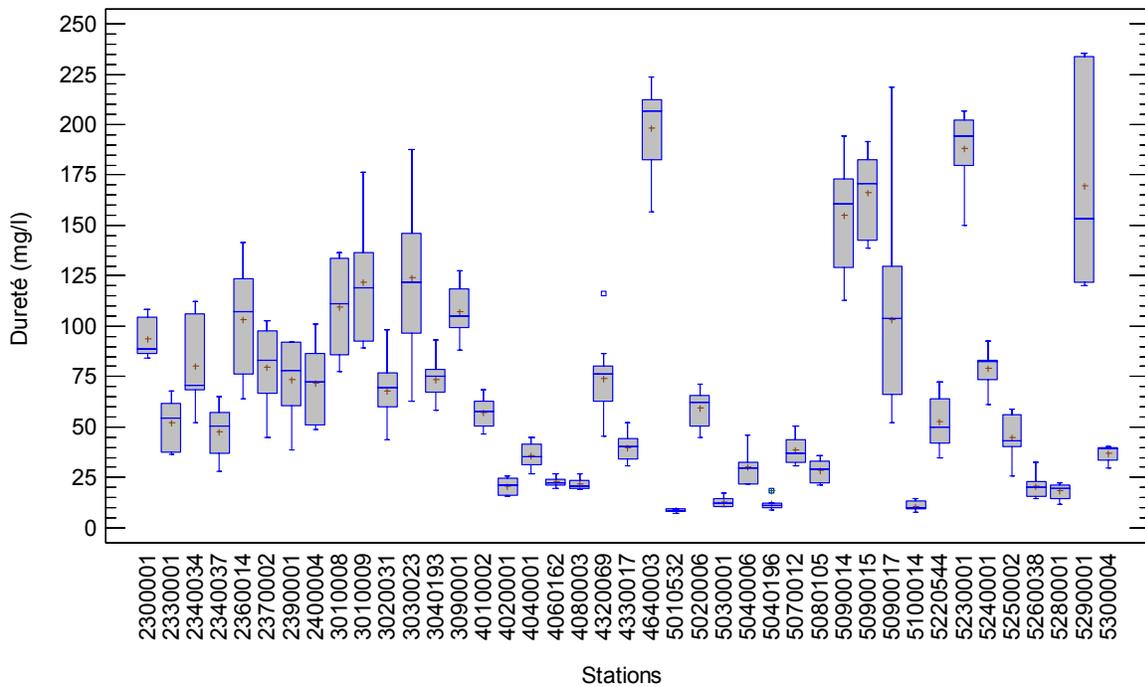
(g) Distribution des concentrations de sodium à chacune des 41 stations



(h) Distribution des valeurs de pH à chacune des 41 stations



(i) Distribution des concentrations de matières en suspension à chacune des 41 stations



(j) Distribution des valeurs de dureté à chacune des 41 stations

Annexe 11 Valeurs médianes de paramètres complémentaires par stations (2008-2011)

Station	N	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	COD (mg/l)	COND (µS/cm)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	pH (pH)	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)
2300001	6	26,5	5,8	7,4	183,5	3,15	5,45	9,45	7,7	14,0	88,65
2330001	6	17,5	6,1	9,3	103,5	1,65	2,60	6,25	7,5	23,5	54,40
2340034	6	23,5	6,9	14,0	132,5	2,55	2,95	5,65	7,4	9,5	70,85
2340037	12	15,5	7,6	9,1	113,5	1,05	2,85	6,30	7,7	5,0	50,65
2360014	6	36,5	9,1	21,0	147,0	1,70	3,90	8,55	7,8	5,0	107,20
2370002	6	26,5	8,4	16,1	151,5	1,55	4,15	7,70	7,8	7,5	83,25
2390001	6	21,5	4,5	15,9	130,0	1,85	5,25	6,40	7,8	14,5	78,15
2400004	6	19,0	9,9	9,6	125,0	1,90	6,00	7,15	7,5	6,5	72,15
3010008	6	38,0	13,0	7,1	190,0	2,35	3,95	9,20	8,3	4,0	111,15
3010009	6	34,5	18,0	7,9	206,0	2,60	7,95	8,25	8,2	8,0	118,90
3020031	18	21,0	9,8	8,3	159,0	1,30	4,10	9,50	7,8	7,5	69,30
3030023	18	35,5	20,0	8,0	312,0	3,70	8,15	18,50	8,1	43,0	121,60
3040193	18	21,0	13,0	3,9	168,0	1,50	5,40	11,00	7,8	16,0	75,10
3090001	6	27,0	10,0	9,6	260,0	2,25	9,10	9,35	7,8	7,5	104,90
4010002	6	16,0	26,5	6,3	223,0	1,50	4,40	20,00	7,7	4,5	58,05
4020001	6	6,8	4,1	5,1	62,5	0,70	1,08	3,40	7,5	2,0	21,25
4040001	6	11,0	3,5	5,9	90,0	1,05	1,85	3,65	7,5	4,0	35,10
4060162	6	7,1	1,6	4,8	55,0	0,72	1,15	1,75	7,1	3,0	22,45
4080003	6	6,3	1,2	5,3	59,0	0,58	1,15	1,55	7,2	1,0	20,50
4320069	12	21,0	21,5	6,3	215,5	1,75	5,80	16,50	7,8	6,5	76,30
4330017	12	11,5	6,1	6,4	103,0	0,96	2,85	5,70	7,7	9,0	40,25
4640003	6	51,5	74,0	9,4	552,0	5,40	19,00	55,00	8,1	16,5	206,85
5010532	18	2,4	1,1	6,6	25,0	0,41	0,61	1,80	6,7	2,0	8,45
5020006	6	15,0	16,5	11,3	134,0	2,40	5,75	14,50	7,4	33,5	62,00
5030001	6	3,3	2,3	5,4	42,0	0,68	1,06	2,45	6,6	3,5	12,50
5040006	6	7,7	3,5	6,5	69,5	1,50	2,45	2,90	7,2	29,5	29,60
5040196	6	3,4	1,0	5,8	28,5	0,46	0,64	1,40	6,9	5,5	11,15
5070012	6	11,5	8,6	6,0	86,5	1,20	2,00	6,05	7,6	11,0	36,95
5080105	6	9,6	5,5	7,8	69,0	0,70	1,20	4,15	7,1	3,5	28,95
5090014	6	53,0	86,0	5,5	450,0	2,50	6,70	57,50	7,9	6,0	160,55
5090015	6	57,0	67,0	6,2	486,5	2,30	6,90	51,00	8,1	4,5	170,75
5090017	18	34,0	63,0	4,9	301,5	1,65	4,60	35,50	7,7	8,0	103,80
5100014	6	3,0	2,2	4,7	24,0	0,25	0,56	2,05	7,0	1,5	9,75
5220544	18	14,0	15,5	5,2	170,0	1,30	3,60	12,50	7,6	12,5	49,80
5230001	6	53,0	53,0	7,1	521,5	21,00	14,50	41,50	7,9	17,5	194,55
5240001	6	19,0	17,0	6,5	213,0	3,55	8,15	19,50	7,8	23,0	82,25
5250002	6	9,9	5,9	9,2	102,0	1,60	4,60	8,05	7,4	13,5	43,30
5260038	6	5,0	4,9	4,9	57,0	0,78	1,80	4,50	6,9	9,5	19,90
5280001	6	4,8	5,7	4,9	58,0	0,79	1,80	5,30	6,8	5,5	19,40
5290001	6	30,0	48,0	5,6	405,0	5,95	19,00	37,50	7,9	35,5	153,15
5300004	6	9,4	14,5	6,2	111,5	2,20	3,70	11,70	7,4	50,5	39,30

Annexe 12 Ratios médians entre les concentrations dissoute et extractible (par stations)

Station	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu
2300001 – Boyer	0,33	0,08	0,20	0,98	0,81	0,46	0,38	0,33	0,13	0,69
2330001 – Etchemin	0,43	0,24	0,33	0,96	0,86	0,45	0,57	0,52	0,51	0,78
2340034 – Beaurivage	0,75	0,23	0,27	0,99	0,93	0,42	0,57	0,58	0,50	0,67
2340037 – Chaudière	0,50	0,40	0,85	1,00	0,92	0,58	0,74	0,59	0,63	0,86
2360014 – du Chêne	0,50	0,58	0,90	1,00	0,92	0,70	0,72	0,78	0,62	0,82
2370002 – Petite du Chêne	0,63	0,30	0,83	1,00	0,93	0,51	0,64	0,55	0,51	0,81
2390001 – Gentilly	0,44	0,17	0,78	0,98	0,76	0,35	0,69	0,40	0,31	0,69
2400004 – Bécancour	0,75	0,40	0,85	1,00	0,90	0,73	0,65	0,59	0,62	0,80
3010008 – Nicolet	0,75	0,42	0,84	0,99	0,91	0,45	0,79	0,82	0,64	0,85
3010009 – Nicolet	0,42	0,21	0,87	1,00	0,89	0,46	0,78	0,67	0,46	0,82
3020031 – Saint-François	0,50	0,23	0,93	1,00	0,90	0,80	0,64	0,46	0,58	0,82
3030023 – Yamaska	0,14	0,03	0,87	0,96	0,69	0,10	0,50	0,20	0,05	0,61
3040193 – Richelieu	0,25	0,04	0,89	1,00	0,79	0,22	0,33	0,20	0,08	0,64
3090001 – Châteauguay	0,33	0,07	0,97	0,96	0,82	0,20	0,67	0,43	0,15	0,73
4010002 – du Nord	0,29	0,16	0,81	1,00	0,82	0,80	0,86	0,55	0,31	0,80
4020001 – Rouge	0,50	0,44	0,93	0,98	0,89	0,80	0,67	0,49	0,64	0,86
4040001 – Petite Nation	0,50	0,15	0,71	0,97	0,81	0,33	0,50	0,43	0,29	0,77
4060162 – du Lièvre	0,50	0,13	0,92	0,97	0,79	0,40	1,00	0,27	0,35	0,74
4080003 – Gatineau	0,50	0,37	0,92	0,94	0,91	0,80	1,00	0,39	0,63	0,87
4320069 – des Mille-Îles	0,22	0,24	0,93	1,00	0,80	0,40	0,65	0,43	0,27	0,77
4330017 – des Prairies	0,25	0,11	0,90	1,00	0,75	0,31	0,53	0,17	0,20	0,74
4640003 – Mascouche	0,31	0,02	0,84	1,00	0,80	0,16	0,70	0,34	0,10	0,55
5010532 – Saint-Maurice	0,50	0,62	0,91	1,00	0,90	0,80	0,75	0,44	0,73	0,83
5020006 – Champlain	0,23	0,04	0,53	1,00	0,42	0,12	0,48	0,23	0,12	0,47
5030001 – Batiscan	0,50	0,44	0,80	1,00	0,80	0,53	0,83	0,45	0,48	0,71
5040006 – Blanche	0,25	0,07	0,26	0,97	0,38	0,21	0,44	0,17	0,09	0,40
5040196 – Sainte-Anne	1,00	0,45	0,34	0,95	0,82	0,76	0,85	0,47	0,38	0,69
5070012 – Portneuf	0,45	0,16	0,77	1,00	0,84	0,43	0,52	0,37	0,24	0,71
5080105 – Jacques-Cartier	1,00	0,67	0,87	1,00	0,92	0,79	0,67	0,65	0,72	0,82
5090014 – Lorette	0,25	0,12	0,13	0,98	0,94	0,49	0,59	0,66	0,24	0,85
5090015 – du Berger	0,42	0,30	0,13	0,97	0,98	0,56	0,67	0,75	0,51	0,84
5090017 – Saint-Charles	0,33	0,15	0,67	0,97	0,91	0,61	0,53	0,61	0,23	0,73
5100014 – Montmorency	1,00	0,67	0,29	0,95	0,91	0,62	0,79	0,60	0,75	0,67
5220544 – L'Assomption	0,38	0,10	0,81	1,00	0,70	0,27	0,64	0,27	0,16	0,61
5230001 – Chaloupe	0,31	0,02	0,81	0,98	0,79	0,23	0,72	0,55	0,30	0,70
5240001 – Bayonne	0,19	0,03	0,63	0,97	0,44	0,12	0,52	0,24	0,08	0,55
5250002 – Chicot	0,24	0,12	0,81	0,98	0,58	0,33	0,60	0,34	0,17	0,65
5260038 – Maskinongé	1,00	0,19	0,89	0,97	0,62	0,28	0,65	0,31	0,26	0,65
5280001 – du Loup	0,50	0,19	0,86	0,98	0,73	0,45	0,74	0,36	0,28	0,70
5290001 – Petite Yamachiche	0,28	0,01	0,59	0,98	0,78	0,09	0,46	0,19	0,04	0,57
5300004 – Yamachiche	0,26	0,02	0,68	1,00	0,29	0,10	0,26	0,13	0,07	0,45

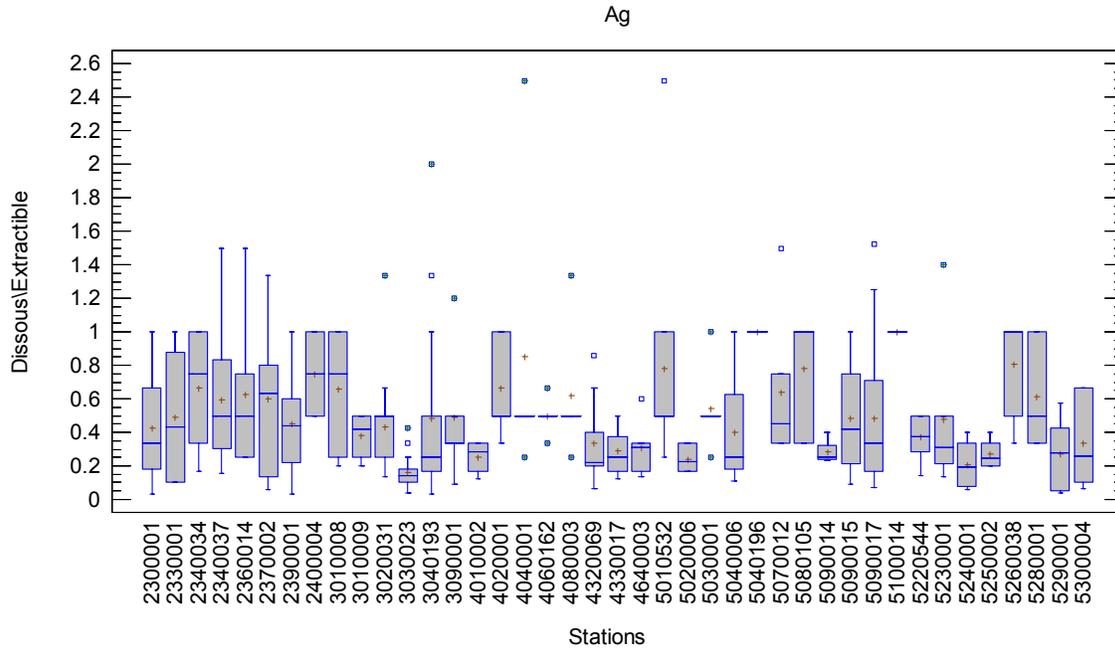
Note : > **0,50** : forme dominante dissoute; < 0,50 : forme dominante particulaire.

Annexe 12 Ratios médians entre les concentrations dissoute et extractible (par stations) suite

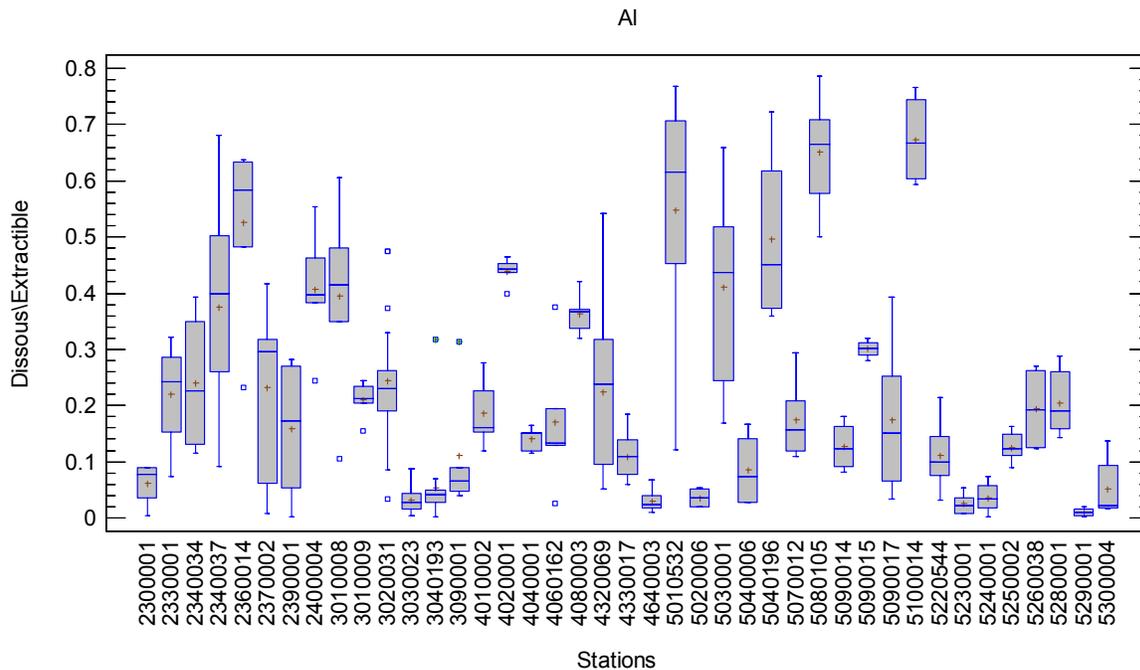
Station	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Sr	U	V	Zn
2300001 – Boyer	0,17	0,53	0,88	0,43	0,22	0,86	0,90	0,91	0,30	0,18
2330001 – Etchemin	0,40	0,66	0,96	0,66	0,43	0,85	0,95	0,81	0,51	0,31
2340034 – Beurivage	0,47	0,71	0,96	0,64	0,36	0,82	0,92	0,90	0,56	0,27
2340037 – Chaudière	0,46	0,55	0,99	0,79	0,56	0,98	1,00	0,93	0,66	0,39
2360014 – du Chêne	0,63	0,66	0,98	0,78	0,58	0,95	1,00	1,00	0,70	0,67
2370002 – Petite du Chêne	0,61	0,70	0,94	0,80	0,60	0,91	1,00	0,94	0,72	0,43
2390001 – Gentilly	0,45	0,61	0,95	0,62	0,43	0,91	0,92	0,90	0,48	0,36
2400004 – Bécancour	0,51	0,57	0,99	0,83	0,43	0,95	0,94	0,96	0,66	0,32
3010008 – Nicolet	0,49	0,51	0,98	0,82	0,44	0,95	0,96	1,00	0,76	0,42
3010009 – Nicolet	0,44	0,40	1,00	0,83	0,40	0,97	0,96	1,00	0,64	0,45
3020031 – Saint-François	0,27	0,25	1,00	0,86	0,38	0,96	1,00	0,95	0,59	0,28
3030023 – Yamaska	0,05	0,23	1,00	0,38	0,13	1,00	1,00	0,92	0,37	0,11
3040193 – Richelieu	0,05	0,17	1,00	0,48	0,14	0,96	1,00	0,89	0,36	0,12
3090001 – Châteauguay	0,19	0,43	0,98	0,57	0,37	0,93	1,00	0,96	0,55	0,20
4010002 – du Nord	0,48	0,52	0,97	0,71	0,63	0,94	0,96	0,93	0,59	0,34
4020001 – Rouge	0,47	0,36	0,96	0,78	0,50	0,97	0,97	0,90	0,59	0,47
4040001 – Petite Nation	0,38	0,50	1,00	0,60	0,50	0,97	0,96	0,88	0,51	0,30
4060162 – du Lièvre	0,34	0,42	1,00	0,63	0,50	0,91	0,94	0,89	0,41	0,36
4080003 – Gatineau	0,47	0,15	1,00	0,90	0,60	0,90	0,97	0,94	0,59	0,44
4320069 – des Mille-Îles	0,19	0,48	1,00	0,70	0,42	0,95	1,00	0,91	0,54	0,22
4330017 – des Prairies	0,19	0,22	1,00	0,45	0,31	0,96	0,95	0,86	0,44	0,19
4640003 – Mascouche	0,08	0,54	1,00	0,52	0,15	1,00	1,00	0,99	0,45	0,15
5010532 – Saint-Maurice	0,52	0,42	0,92	0,82	0,56	1,00	0,94	0,86	0,59	0,74
5020006 – Champlain	0,23	0,54	1,00	0,31	0,22	0,97	0,95	0,74	0,22	0,17
5030001 – Batiscan	0,49	0,67	1,00	0,65	0,48	1,00	0,96	0,81	0,55	0,71
5040006 – Blanche	0,10	0,39	0,93	0,29	0,13	0,81	0,89	0,66	0,16	0,18
5040196 – Sainte-Anne	0,42	0,64	0,91	0,41	0,47	0,87	0,93	0,78	0,41	0,62
5070012 – Portneuf	0,33	0,65	0,98	0,54	0,47	0,98	0,96	0,88	0,46	0,38
5080105 – Jacques-Cartier	0,56	0,57	1,00	0,80	0,52	0,98	0,97	0,90	0,70	0,70
5090014 – Lorette	0,41	0,85	0,94	0,55	0,32	0,84	0,96	0,92	0,57	0,46
5090015 – du Berger	0,50	0,85	0,93	0,71	0,39	0,94	0,96	0,94	0,83	0,49
5090017 – Saint-Charles	0,38	0,86	1,00	0,62	0,34	0,86	1,00	0,96	0,36	0,27
5100014 – Montmorency	0,56	0,61	0,87	0,43	0,57	0,83	0,95	0,79	0,64	0,64
5220544 – L'Assomption	0,23	0,43	1,00	0,47	0,33	1,00	0,97	0,84	0,35	0,25
5230001 – Chaloupe	0,08	0,74	1,00	0,69	0,13	1,00	1,00	0,98	0,53	0,28
5240001 – Bayonne	0,13	0,46	1,00	0,41	0,16	1,00	0,96	0,89	0,37	0,12
5250002 – Chicot	0,36	0,66	0,95	0,44	0,44	0,98	0,97	0,91	0,42	0,30
5260038 – Maskinongé	0,39	0,63	1,00	0,44	0,46	1,00	0,93	0,82	0,50	0,35
5280001 – du Loup	0,38	0,68	1,00	0,49	0,45	1,00	0,93	0,81	0,50	0,37
5290001 – Petite Yamachiche	0,02	0,58	1,00	0,33	0,07	1,00	1,00	0,95	0,25	0,10
5300004 – Yamachiche	0,11	0,35	0,94	0,29	0,18	1,00	0,88	0,42	0,18	0,13

Note : > **0,50** : forme dominante dissoute; < 0,50 : forme dominante particulaire.

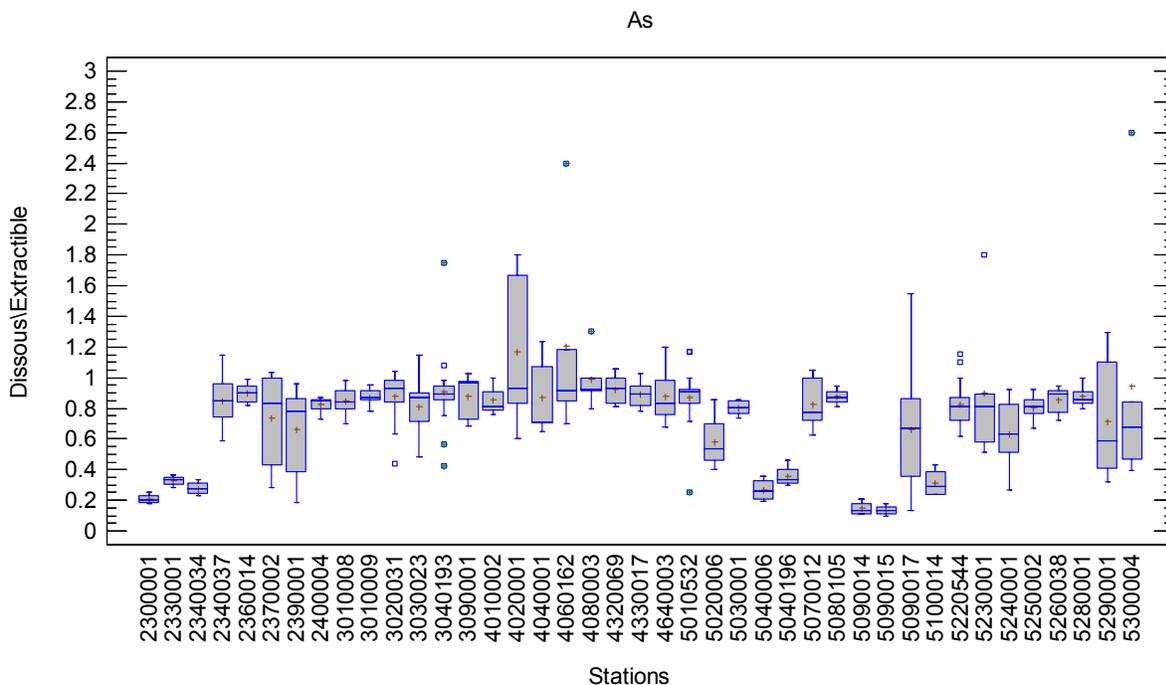
Annexe 13 Distribution des ratios entre les concentrations dissoute et extractible des métaux aux 41 stations (2008-2011) : (a) argent, (b) aluminium, (c) arsenic, (d) bore, (e) baryum, (f) béryllium, (g) cadmium, (h) cobalt, (i) chrome, (j) cuivre, (k) fer, (l) manganèse, (m) molybdène, (n) nickel, (o) plomb, (p) antimoine, (q) strontium, (r) uranium, (s) vanadium et (t) zinc



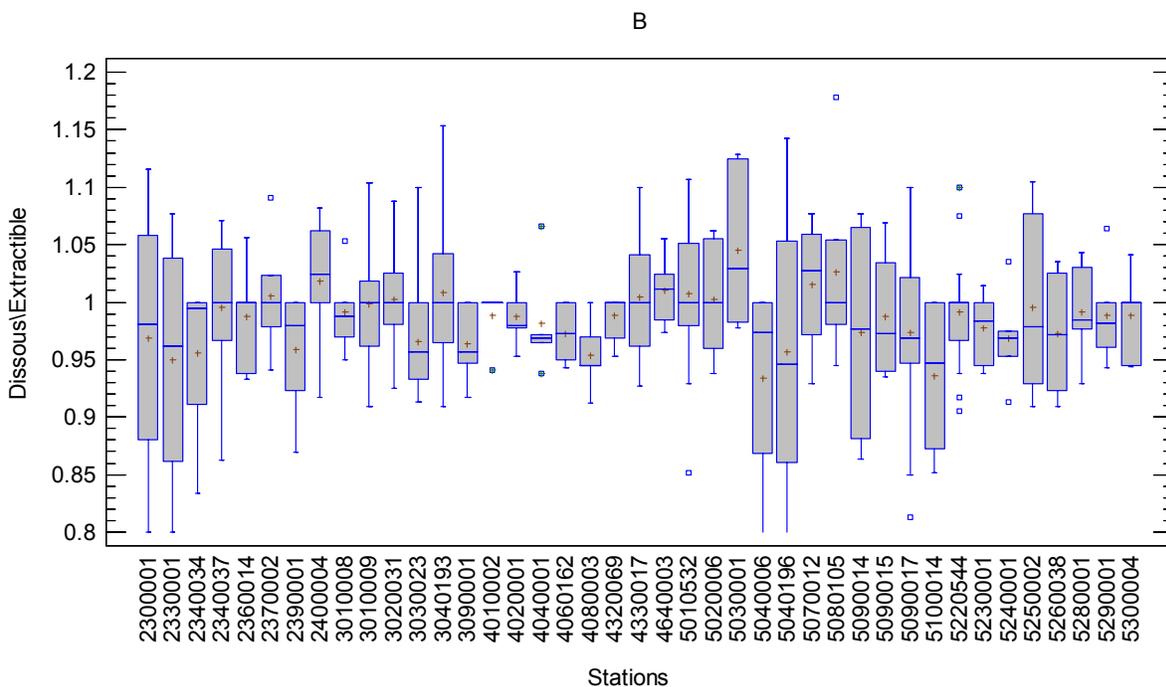
(a) Distribution des ratios dissous/extractible pour l'argent aux 41 stations



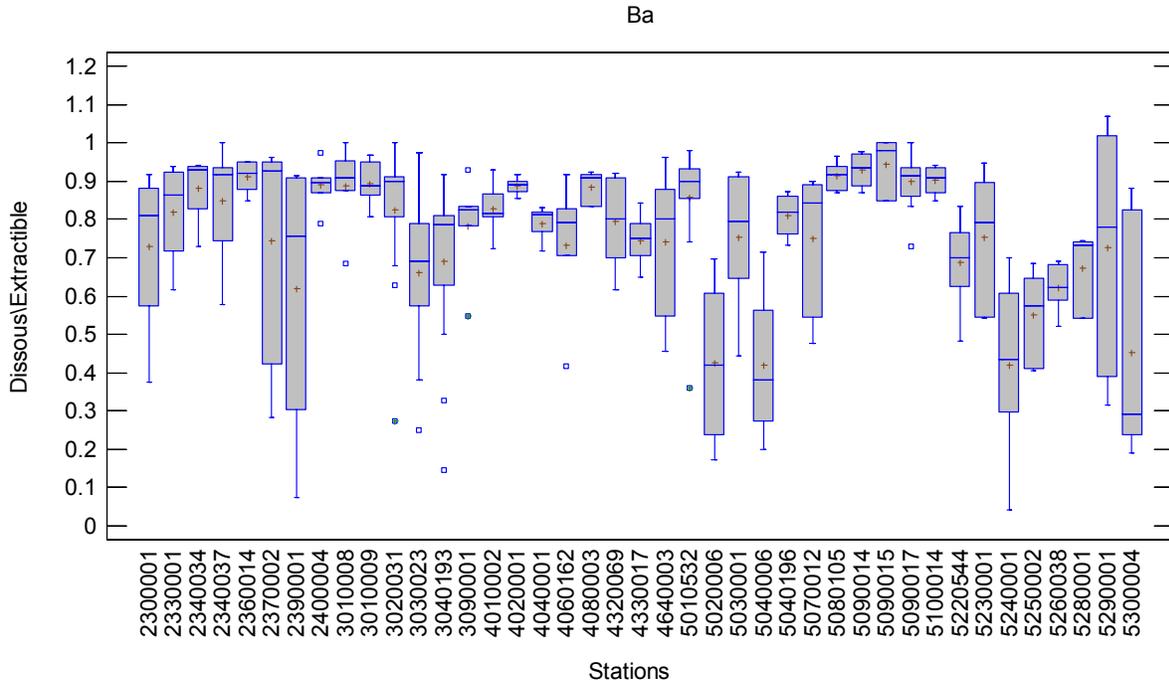
(b) Distribution des ratios dissous/extractible pour l'aluminium aux 41 stations



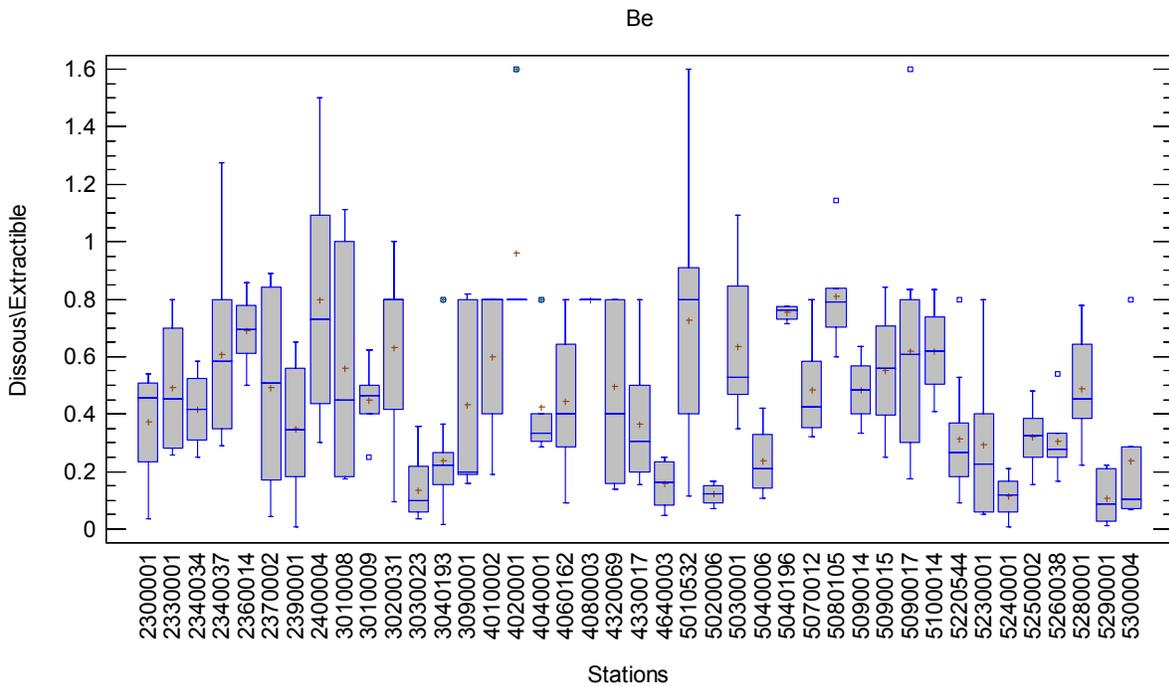
(c) Distribution des ratios dissous/extractible pour l'arsenic aux 41 stations



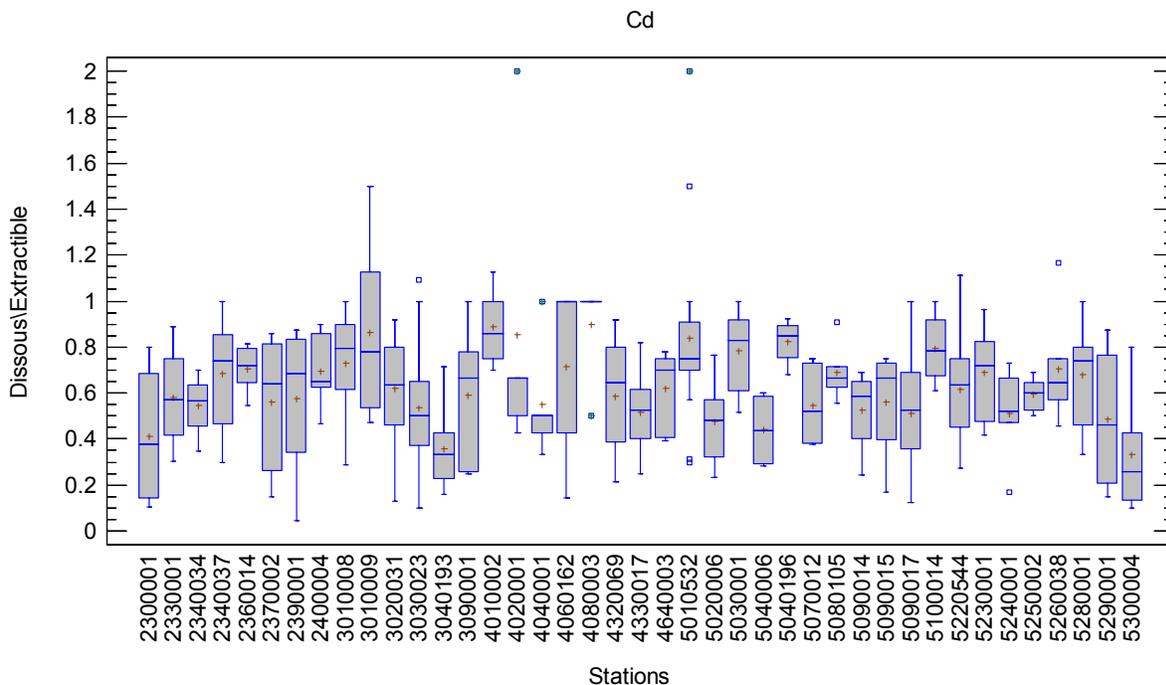
(d) Distribution des ratios dissous/extractible pour le bore aux 41 stations



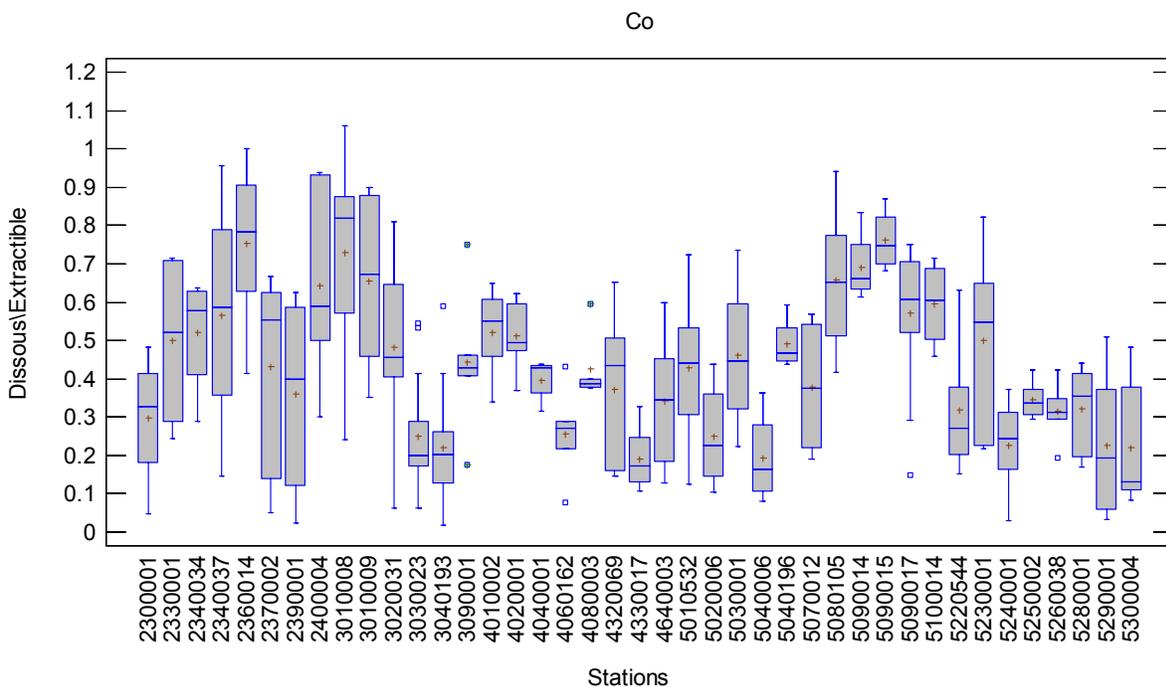
(e) Distribution des ratios dissous/extractible pour le baryum aux 41 stations



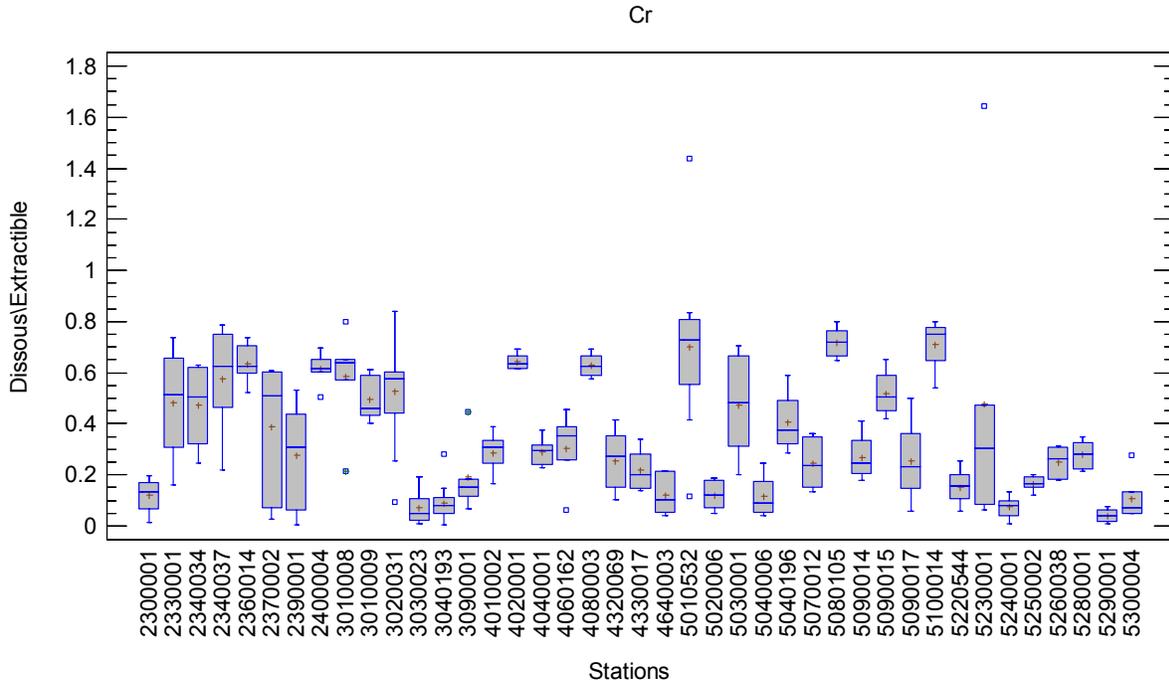
(f) Distribution des ratios dissous/extractible pour le béryllium aux 41 stations



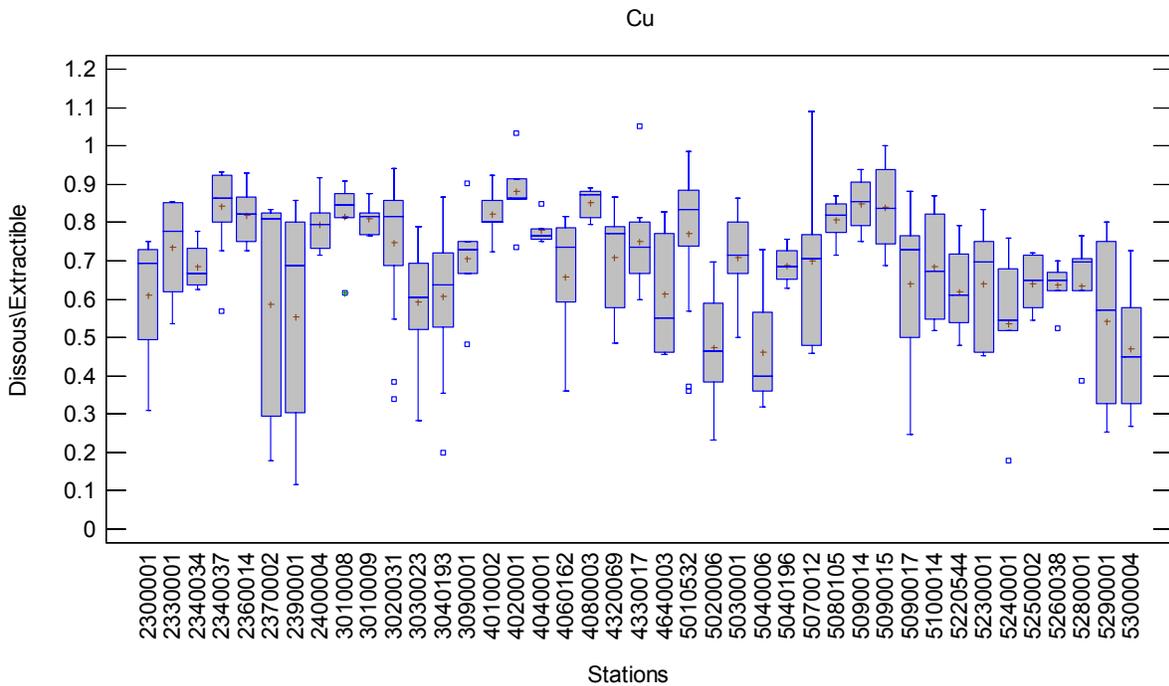
(g) Distribution des ratios dissous/extractible pour le cadmium aux 41 stations



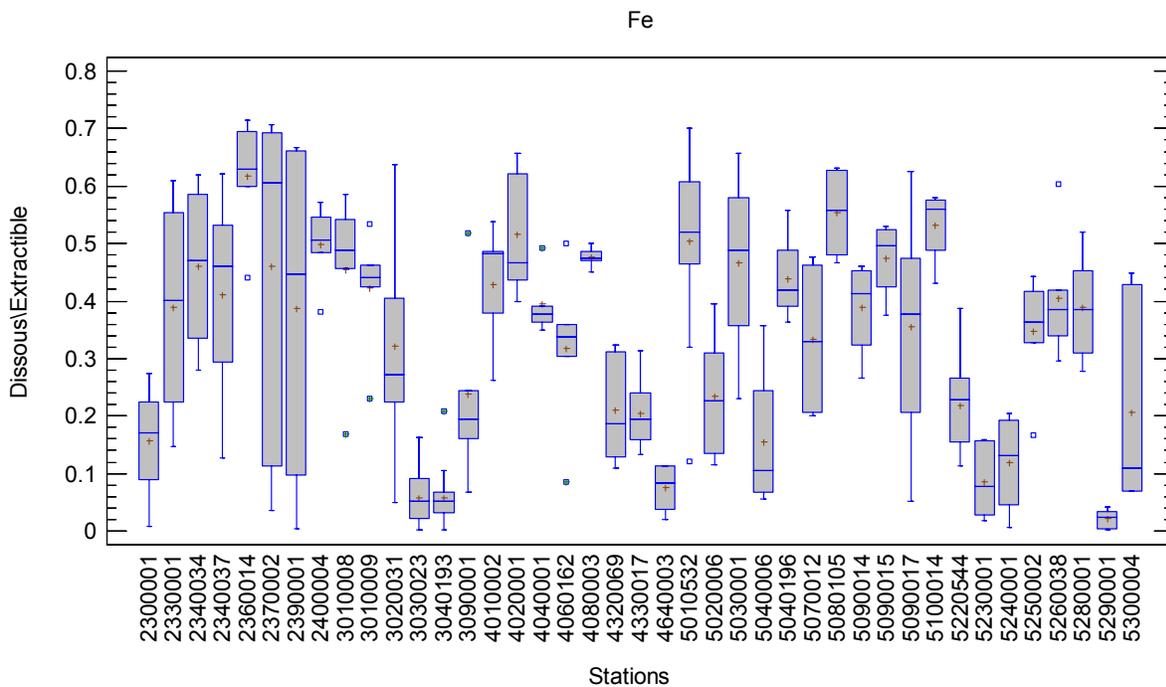
(h) Distribution des ratios dissous/extractible pour le cobalt aux 41 stations



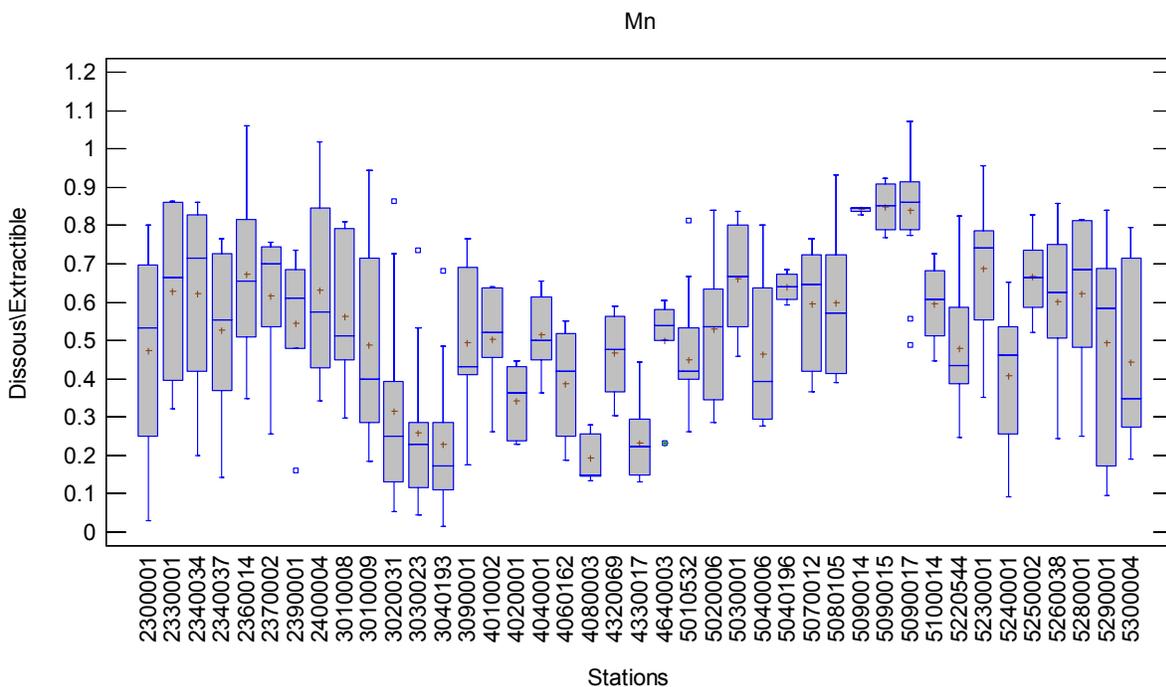
(i) Distribution des ratios dissous/extractible pour le chrome aux 41 stations



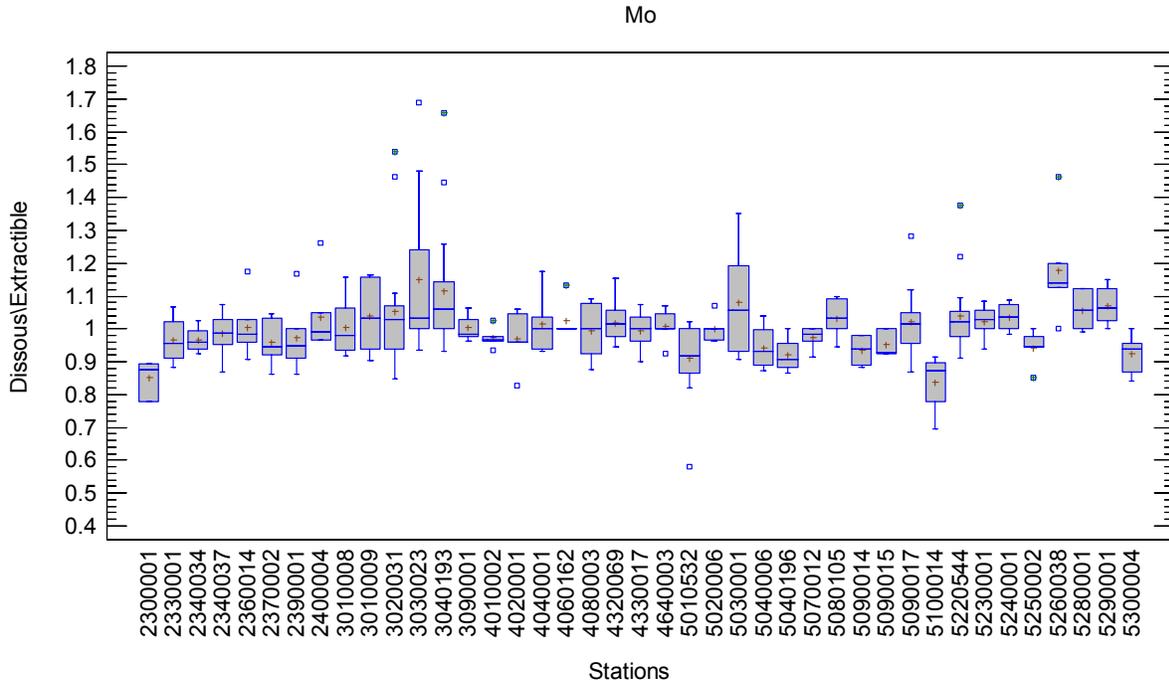
(j) Distribution des ratios dissous/extractible pour le cuivre aux 41 stations



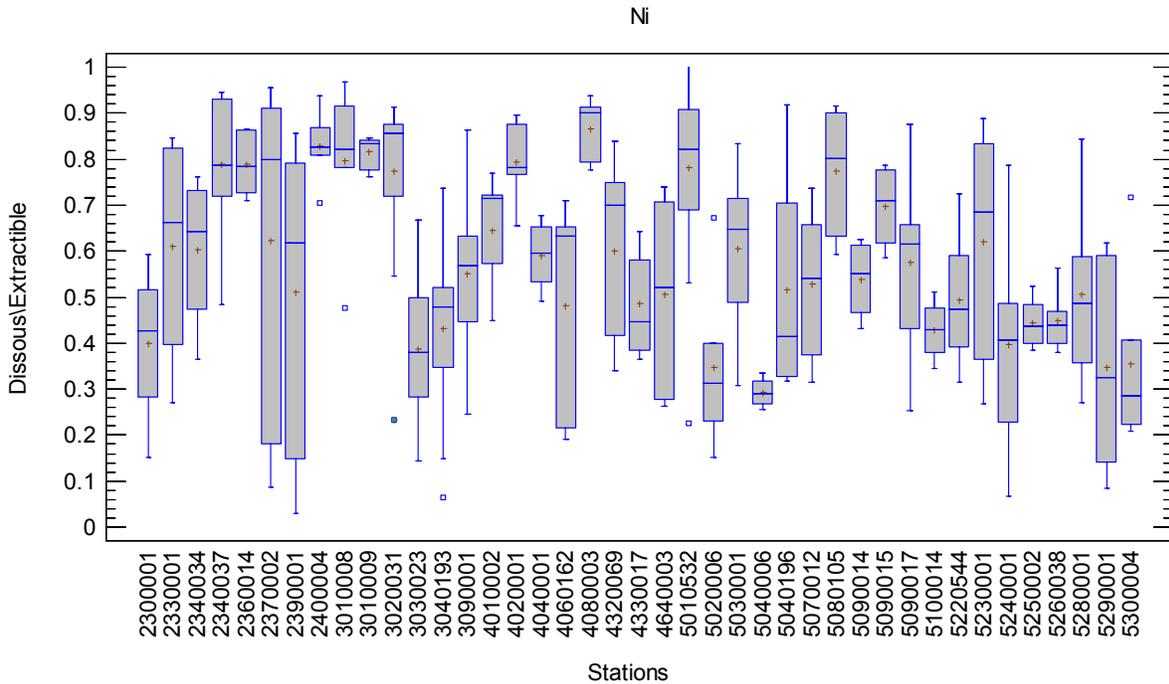
(k) Distribution des ratios dissous/extractible pour le fer aux 41 stations



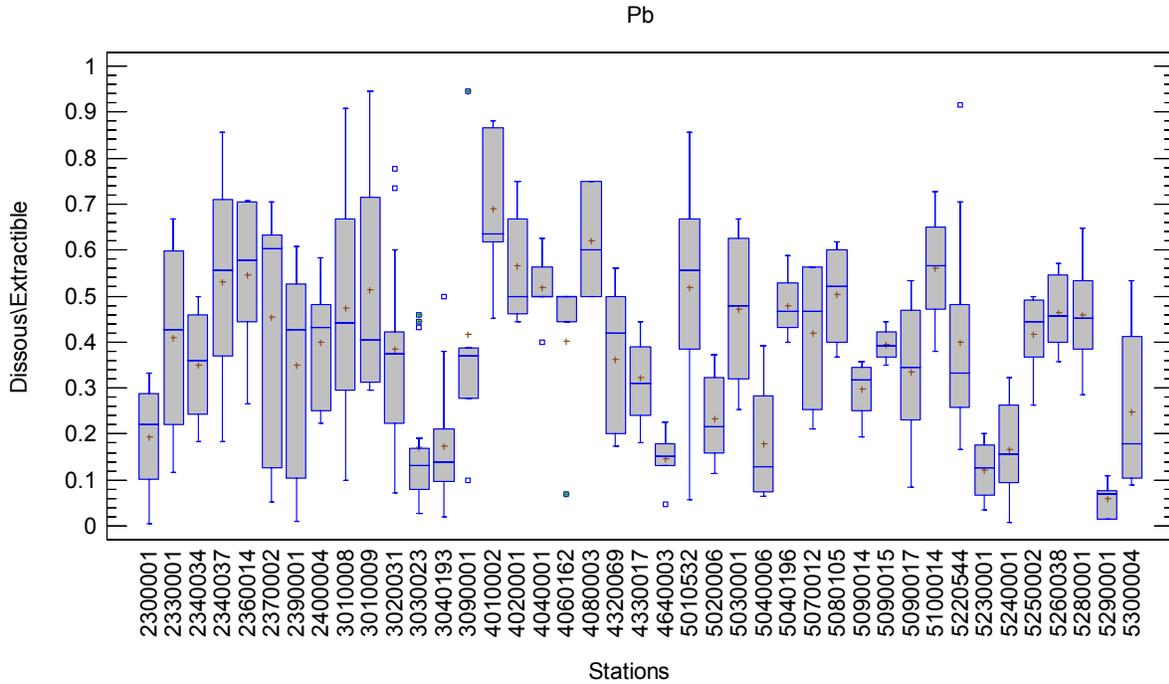
(l) Distribution des ratios dissous/extractible pour le manganèse aux 41 stations



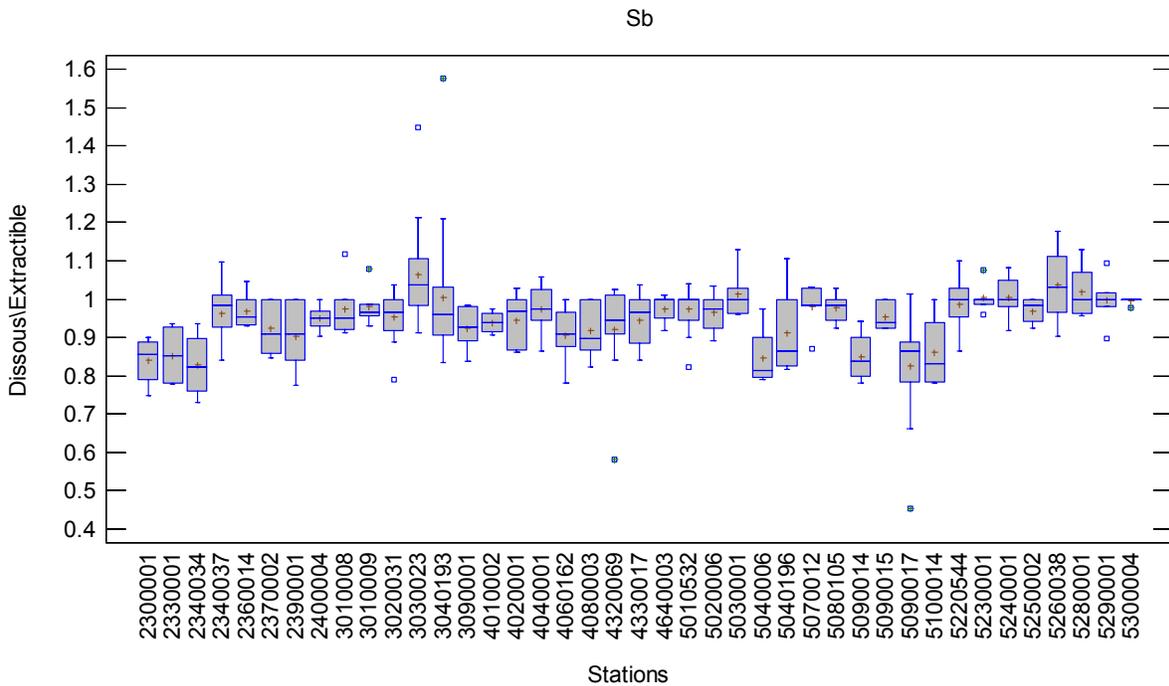
(m) Distribution des ratios dissous/extractible pour le molybdène aux 41 stations



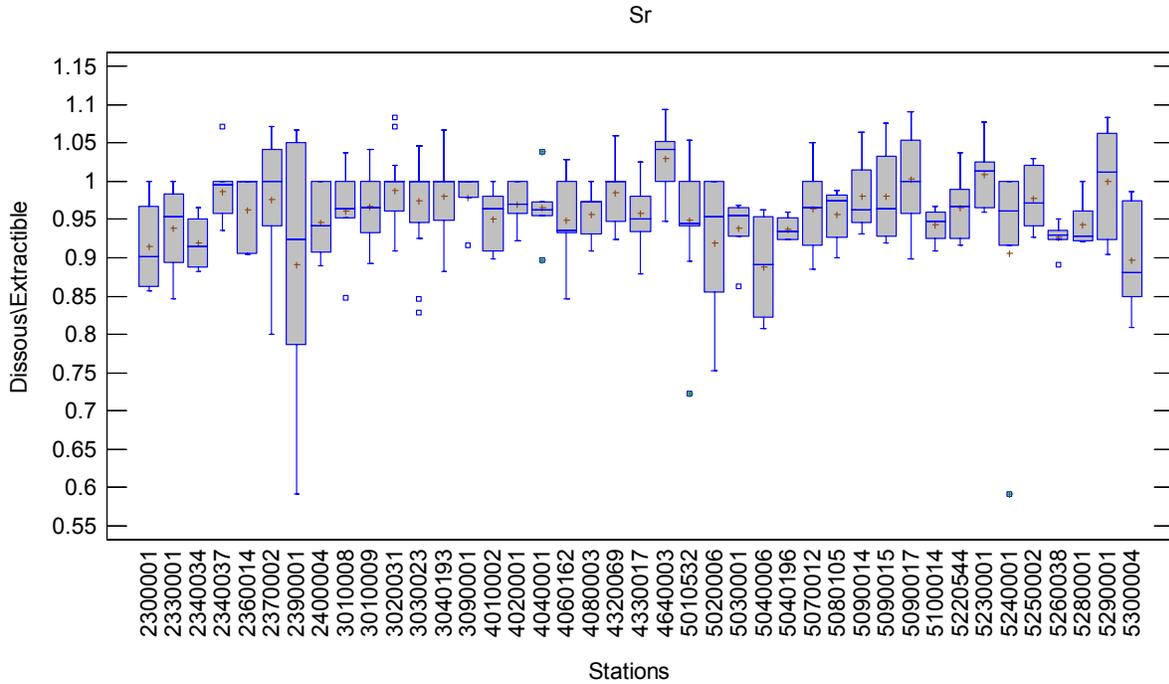
(n) Distribution des ratios dissous/extractible pour le nickel aux 41 stations



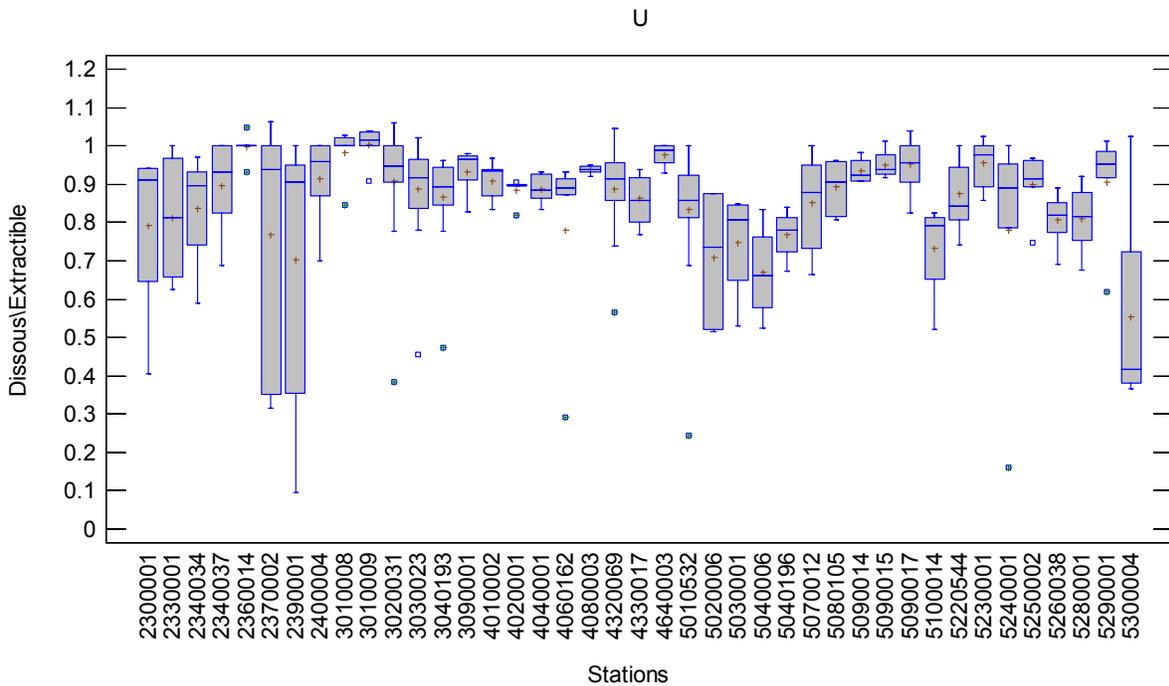
(o) Distribution des ratios dissous/extractible pour le plomb aux 41 stations



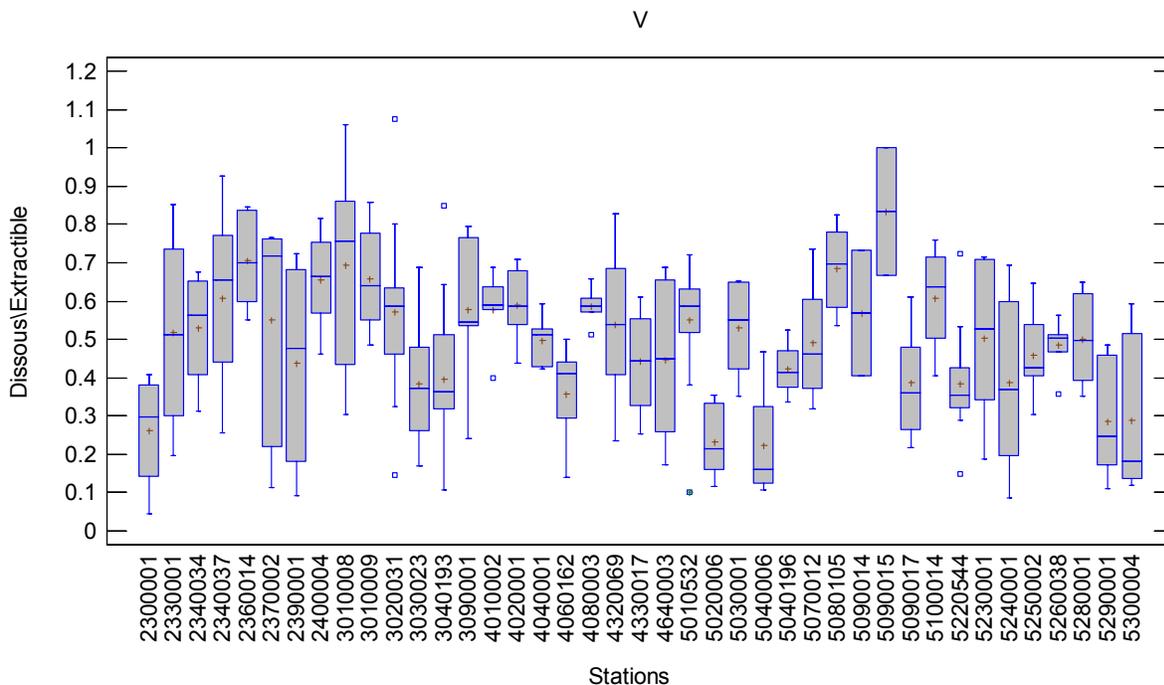
(p) Distribution des ratios dissous/extractible pour l'antimoine aux 41 stations



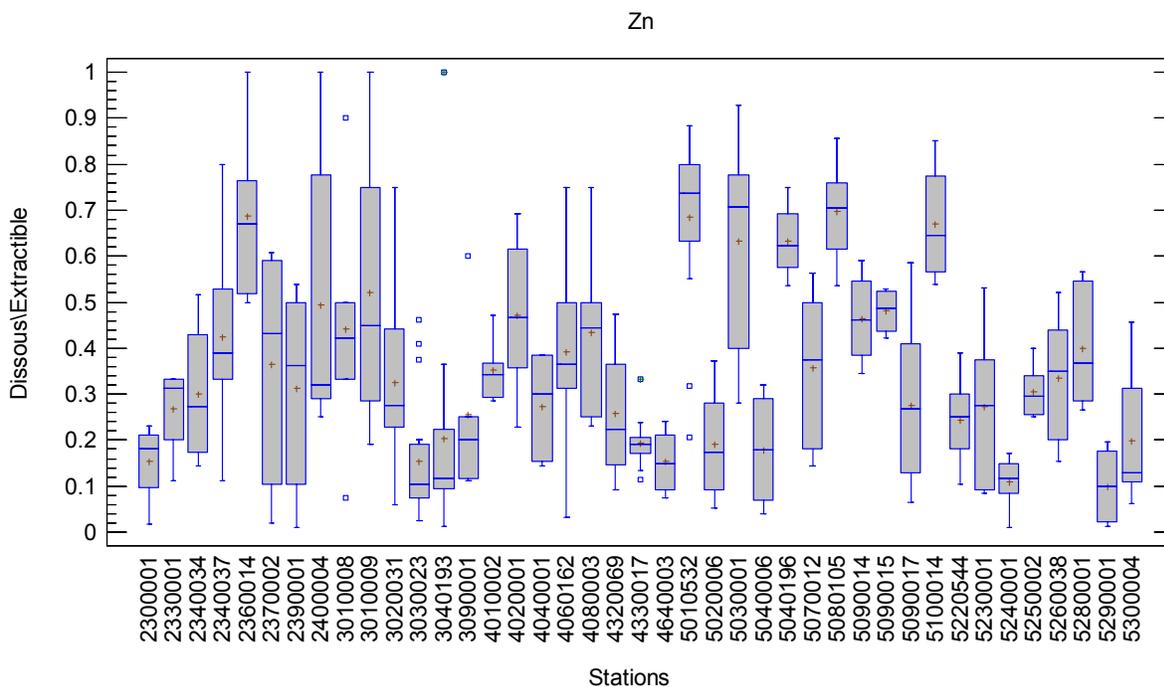
(q) Distribution des ratios dissous/extractible pour le strontium aux 41 stations



(r) Distribution des ratios dissous/extractible pour l'uranium aux 41 stations



(s) Distribution des ratios dissous/extractible pour le vanadium aux 41 stations



(t) Distribution des ratios dissous/extractible pour le zinc aux 41 stations

Annexe 14 Statistiques descriptives (2008-2011) des métaux extractibles par groupes de stations

Statistique Groupe 1	Ag (µg/l)	Al (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	B (µg/l)	Be (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)	Sr (µg/l)	U (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
Nombre	30	30	30	29	30	30	30	30	30	30	30	29	30	30	29	30	30	26	30	30
Moyenne	0,011	1099	2,20	75,55	21,01	0,056	0,040	0,65	1,58	2,96	1746	94	0,66	3,69	1,08	0,095	405	0,392	2,44	6,4
Médiane	0,007	395	2,20	74,00	18,50	0,027	0,030	0,39	0,67	2,15	1000	69	0,47	2,50	0,50	0,087	285	0,335	1,35	3,9
Écart-type	0,011	2031	0,61	35,51	11,02	0,080	0,028	0,81	2,55	2,07	2464	75	0,57	4,75	1,47	0,037	345	0,224	3,23	6,9
Minimum	0,001	59	1,00	22,0	6,5	0,006	0,009	0,17	0,17	1,10	230	29	0,20	1,20	0,09	0,048	87	0,100	0,21	1,2
Maximum	0,053	9300	4,00	170,0	62,0	0,350	0,100	4,10	11,00	9,80	12000	340	2,70	27,00	6,30	0,210	1600	0,880	13,00	30,0
1 %	0,001	59	1,00	22,0	6,5	0,006	0,009	0,17	0,17	1,10	230	29	0,20	1,20	0,09	0,048	87	0,100	0,21	1,2
5 %	0,001	61	1,20	25,0	6,6	0,008	0,010	0,21	0,19	1,20	320	35	0,22	1,30	0,13	0,056	99	0,110	0,34	1,2
10 %	0,002	66	1,35	32,0	10,2	0,009	0,015	0,22	0,20	1,30	455	38	0,24	1,35	0,16	0,062	125	0,140	0,42	1,9
25 %	0,003	160	1,80	49,0	13,0	0,015	0,018	0,25	0,39	1,60	650	52	0,30	1,50	0,24	0,075	170	0,210	0,73	2,5
50 %	0,007	395	2,20	74,0	18,5	0,027	0,030	0,39	0,67	2,15	1000	69	0,47	2,50	0,50	0,087	285	0,335	1,35	3,9
75 %	0,013	860	2,50	96,0	26,0	0,057	0,062	0,52	1,20	3,40	1200	110	0,61	3,80	1,00	0,100	500	0,540	2,20	6,3
90 %	0,025	3000	2,85	120,0	31,0	0,120	0,083	1,55	4,25	6,10	3850	210	1,60	5,50	3,40	0,160	895	0,735	5,40	18,0
95 %	0,033	6600	3,00	130,0	36,0	0,310	0,100	2,30	9,30	7,50	8000	280	1,70	9,50	4,20	0,180	1000	0,830	12,00	23,0
99 %	0,053	9300	4,00	170,0	62,0	0,350	0,100	4,10	11,00	9,80	12000	340	2,70	27,00	6,30	0,210	1600	0,880	13,00	30,0

Statistique Groupe 2	Ag (µg/l)	Al (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	B (µg/l)	Be (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)	Sr (µg/l)	U (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
Nombre	60	60	60	60	60	60	60	60	60	53	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Moyenne	0,011	1972	0,62	67,72	32,32	0,061	0,024	1,12	3,94	4,21	2689	77	0,74	3,67	0,85	0,105	248	0,452	5,24	9,1
Médiane	0,009	1350	0,57	37,00	25,00	0,045	0,021	0,81	2,75	3,50	2000	62	0,55	2,90	0,68	0,073	215	0,430	3,85	6,3
Écart-type	0,008	2195	0,30	115,31	27,36	0,068	0,013	1,01	3,62	2,75	2691	47	0,69	2,47	0,75	0,123	249	0,295	4,77	8,8
Minimum	0,001	220	0,05	13,0	5,6	0,005	0,007	0,25	0,58	1,00	420	28	0,11	0,85	0,15	0,026	37	0,036	1,20	2,2
Maximum	0,041	13000	1,40	730,0	160,0	0,420	0,069	5,80	20,00	15,00	15000	260	3,70	13,00	3,70	0,820	1600	1,200	31,00	53,0
1 %	0,001	220	0,05	13,0	5,6	0,005	0,007	0,25	0,58	1,00	420	28	0,11	0,85	0,15	0,026	37	0,036	1,20	2,2
5 %	0,003	275	0,24	17,0	8,7	0,012	0,011	0,30	0,82	1,80	640	32	0,17	1,40	0,17	0,031	51	0,079	1,40	2,7
10 %	0,004	370	0,29	21,0	11,0	0,014	0,011	0,48	1,20	2,00	685	39	0,22	1,45	0,26	0,036	59	0,120	1,90	3,0
25 %	0,006	640	0,40	31,0	16,0	0,020	0,017	0,56	1,50	2,50	990	49	0,30	2,10	0,37	0,043	95	0,195	2,90	4,1
50 %	0,009	1350	0,57	37,0	25,0	0,045	0,021	0,81	2,75	3,50	2000	62	0,55	2,90	0,68	0,073	215	0,430	3,85	6,3
75 %	0,014	2700	0,80	52,5	36,5	0,073	0,029	1,20	5,00	5,10	3150	88	0,90	4,70	1,00	0,120	315	0,620	5,85	11,0
90 %	0,023	3600	1,00	125,0	70,0	0,105	0,038	2,10	8,00	6,90	4900	130	1,50	6,20	1,40	0,170	395	0,885	8,95	16,0
95 %	0,031	5050	1,20	215,0	89,0	0,165	0,058	3,10	10,40	9,50	7800	205	2,05	8,40	2,65	0,345	420	1,025	11,50	22,0
99 %	0,041	13000	1,40	730,0	160,0	0,420	0,069	5,80	20,00	15,00	15000	260	3,70	13,00	3,70	0,820	1600	1,200	31,00	53,0

Statistique Groupe 3	Ag (µg/l)	Al (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	B (µg/l)	Be (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)	Sr (µg/l)	U (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
Nombre	126	126	126	126	126	126	126	126	126	120	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126
Moyenne	0,005	447	0,54	20,12	11,97	0,018	0,013	0,33	1,10	1,88	695	37	0,39	1,76	0,43	0,068	126	0,179	1,30	3,0
Médiane	0,004	265	0,49	17,00	9,85	0,013	0,011	0,24	0,70	1,60	485	30	0,34	1,30	0,31	0,065	110	0,160	1,05	2,1
Écart-type	0,005	865	0,29	10,32	6,61	0,025	0,010	0,42	2,04	1,10	949	28	0,21	1,66	0,48	0,022	69	0,095	1,59	3,7
Minimum	0,001	33	0,12	8,1	3,9	0,002	0,003	0,09	0,11	0,83	79	7	0,07	0,42	0,07	0,027	31	0,031	0,21	0,4
Maximum	0,034	8700	2,10	82,0	54,0	0,240	0,085	4,00	21,00	10,00	9200	230	1,30	13,00	3,70	0,180	420	0,510	16,00	31,0
1 %	0,001	41	0,13	8,1	4,1	0,002	0,003	0,11	0,15	0,91	87	10	0,07	0,51	0,08	0,028	31	0,039	0,27	0,4
5 %	0,001	61	0,19	10,0	5,7	0,005	0,006	0,14	0,25	1,05	190	15	0,13	0,61	0,12	0,040	55	0,061	0,34	0,9
10 %	0,002	81	0,22	11,0	6,0	0,005	0,007	0,15	0,28	1,20	210	17	0,18	0,71	0,15	0,046	61	0,080	0,40	1,0
25 %	0,002	130	0,35	13,0	7,9	0,005	0,009	0,18	0,44	1,40	320	21	0,25	0,93	0,22	0,055	83	0,110	0,63	1,4

Les métaux dans les rivières du sud-ouest du Québec (2008-2011)

50 %	0,004	265	0,49	17,0	9,9	0,013	0,011	0,24	0,70	1,60	485	30	0,34	1,30	0,31	0,065	110	0,160	1,05	2,1
75 %	0,006	440	0,69	24,0	14,0	0,020	0,014	0,34	1,10	1,95	770	44	0,48	2,10	0,45	0,077	140	0,220	1,50	3,2
90 %	0,009	710	0,96	33,0	19,0	0,029	0,020	0,51	1,70	2,65	1100	62	0,66	2,90	0,77	0,094	210	0,330	2,00	5,4
95 %	0,014	1200	1,00	38,0	23,0	0,043	0,028	0,66	2,50	3,60	1600	84	0,78	3,80	1,00	0,100	280	0,360	3,20	6,2
99 %	0,030	3600	1,40	55,0	30,0	0,120	0,054	2,40	8,40	6,20	4200	130	1,10	12,00	3,30	0,170	400	0,450	7,50	22,0

Statistique Groupe 4	Ag (µg/l)	Al (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	B (µg/l)	Be (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)	Sr (µg/l)	U (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
Nombre	72	72	72	72	72	72	72	72	72	67	72	72	72	72	72	72	72	72	70	72
Moyenne	0,007	871	0,54	38,23	11,89	0,043	0,023	0,59	1,51	1,96	1765	74	0,29	1,82	0,70	0,062	176	0,171	2,24	6,5
Médiane	0,004	250	0,36	28,00	10,00	0,025	0,018	0,24	0,46	1,40	1100	43	0,23	1,10	0,33	0,052	125	0,160	1,10	3,9
Écart-type	0,011	2659	0,58	32,29	8,31	0,083	0,023	1,63	5,24	3,25	3513	114	0,22	3,96	1,31	0,044	165	0,129	5,44	10,5
Minimum	0,001	64	0,11	5,5	2,1	0,005	0,007	0,06	0,10	0,22	340	9	0,03	0,19	0,11	0,016	18	0,010	0,25	0,4
Maximum	0,085	21000	3,70	190,0	40,0	0,650	0,180	13,00	43,00	25,00	28000	810	1,10	32,00	10,00	0,250	750	0,610	43,00	83,0
1 %	0,001	64	0,11	5,5	2,1	0,005	0,007	0,06	0,10	0,22	340	9	0,03	0,19	0,11	0,016	18	0,010	0,25	0,4
5 %	0,001	98	0,13	7,0	2,7	0,005	0,008	0,08	0,12	0,29	460	13	0,05	0,24	0,15	0,024	21	0,012	0,37	1,7
10 %	0,001	120	0,15	10,0	2,8	0,011	0,011	0,11	0,17	0,33	500	15	0,07	0,32	0,16	0,026	23	0,016	0,42	2,1
25 %	0,002	160	0,22	16,5	4,8	0,018	0,014	0,15	0,23	0,49	610	23	0,11	0,59	0,21	0,035	45	0,074	0,57	2,7
50 %	0,004	250	0,36	28,0	10,0	0,025	0,018	0,24	0,46	1,40	1100	43	0,23	1,10	0,33	0,052	125	0,160	1,10	3,9
75 %	0,006	540	0,58	54,0	16,5	0,039	0,025	0,44	0,97	1,90	1500	71	0,39	1,50	0,68	0,078	245	0,260	2,00	5,7
90 %	0,015	1000	1,30	82,0	23,0	0,054	0,035	0,61	1,50	3,50	2100	150	0,59	2,40	1,20	0,110	370	0,310	2,75	11,0
95 %	0,022	4500	1,60	98,0	24,0	0,180	0,064	2,90	6,40	6,10	6500	280	0,76	6,10	2,40	0,170	480	0,380	9,50	22,0
99 %	0,085	21000	3,70	190,0	40,0	0,650	0,180	13,00	43,00	25,00	28000	810	1,10	32,00	10,00	0,250	750	0,610	43,00	83,0

Statistique Groupe 5	Ag (µg/l)	Al (µg/l)	As (µg/l)	Ba (µg/l)	B (µg/l)	Be (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)	Sr (µg/l)	U (µg/l)	V (µg/l)	Zn (µg/l)
Nombre	48	48	48	48	48	48	48	48	48	47	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Moyenne	0,002	176	0,15	11,41	7,12	0,010	0,007	0,13	0,33	0,81	424	21	0,13	0,44	0,16	0,029	33	0,048	0,67	1,9
Médiane	0,002	135	0,13	11,00	4,00	0,009	0,007	0,10	0,25	0,70	370	19	0,12	0,36	0,10	0,029	32	0,035	0,42	1,5
Écart-type	0,001	175	0,05	2,45	14,14	0,008	0,005	0,12	0,28	0,35	243	7	0,06	0,28	0,28	0,005	15	0,043	0,76	1,5
Minimum	0,001	43	0,05	8,7	2,3	0,005	0,003	0,05	0,09	0,39	150	12	0,06	0,19	0,04	0,022	15	0,010	0,25	0,4
Maximum	0,008	910	0,36	24,0	98,0	0,043	0,032	0,66	1,60	1,90	1400	42	0,30	1,60	1,90	0,043	75	0,250	5,10	9,7
1 %	0,001	43	0,05	8,7	2,3	0,005	0,003	0,05	0,09	0,39	150	12	0,06	0,19	0,04	0,022	15	0,010	0,25	0,4
5 %	0,001	47	0,09	9,1	2,8	0,005	0,003	0,05	0,13	0,43	180	13	0,07	0,23	0,04	0,022	17	0,012	0,27	0,4
10 %	0,001	68	0,10	9,4	3,1	0,005	0,003	0,06	0,13	0,48	190	14	0,08	0,24	0,05	0,023	17	0,013	0,28	0,7
25 %	0,002	78	0,12	10,0	3,4	0,005	0,003	0,07	0,20	0,59	290	16	0,10	0,30	0,07	0,026	19	0,015	0,35	1,3
50 %	0,002	135	0,13	11,0	4,0	0,009	0,007	0,10	0,25	0,70	370	19	0,12	0,36	0,10	0,029	32	0,035	0,42	1,5
75 %	0,003	190	0,17	12,0	5,3	0,013	0,009	0,15	0,38	0,95	490	26	0,16	0,44	0,15	0,032	44	0,067	0,67	2,1
90 %	0,004	310	0,20	13,0	9,6	0,015	0,011	0,19	0,50	1,40	650	32	0,22	0,67	0,20	0,037	52	0,094	1,20	3,0
95 %	0,004	440	0,24	14,0	9,8	0,023	0,013	0,35	0,93	1,70	870	33	0,29	1,20	0,37	0,038	58	0,120	1,30	4,0
99 %	0,008	910	0,36	24,0	98,0	0,043	0,032	0,66	1,60	1,90	1400	42	0,30	1,60	1,90	0,043	75	0,250	5,10	9,7

Annexe 15 Statistiques descriptives (2008-2011) des paramètres complémentaires par groupes de stations

Statistique Groupe 1	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	COD (mg/l)	COND (µS/cm)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	pH (pH)	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)
Nombre	30	24	29	30	30	30	30	29	29	30
Moyenne	35,7	30,9	8,7	283	2,5	4,9	26,5	7,7	39,4	109,4
Médiane	32,5	9,4	8,1	221	2,5	5,1	11,0	7,8	10,0	105,5
Écart-type	16,5	34,9	3,6	191	0,6	2,1	25,1	0,3	81,2	48,9
Minimum	12,0	4,2	3,9	60	1,2	1,6	3,8	7,1	1,5	36,6
Maximum	65,0	90,0	19,0	780	3,9	9,6	83,0	8,2	370,0	194,4
1 %	12,0	4,2	3,9	60	1,2	1,6	3,8	7,1	1,5	36,6
5 %	12,0	4,6	4,6	95	1,2	1,9	4,0	7,2	1,5	37,8
10 %	16,0	4,6	5,2	99	1,7	2,4	4,2	7,2	1,5	49,6
25 %	23,0	5,6	6,0	133	2,1	2,9	6,4	7,5	5,0	68,5
50 %	32,5	9,4	8,1	221	2,5	5,1	11,0	7,8	10,0	105,5
75 %	50,0	70,5	10,0	385	3,0	6,5	49,0	7,8	35,0	151,6
90 %	59,0	84,0	15,0	527	3,3	7,6	60,0	8,1	130,0	178,9
95 %	61,0	88,0	17,0	711	3,6	8,0	71,0	8,1	250,0	191,8
99 %	65,0	90,0	19,0	780	3,9	9,6	83,0	8,2	370,0	194,4

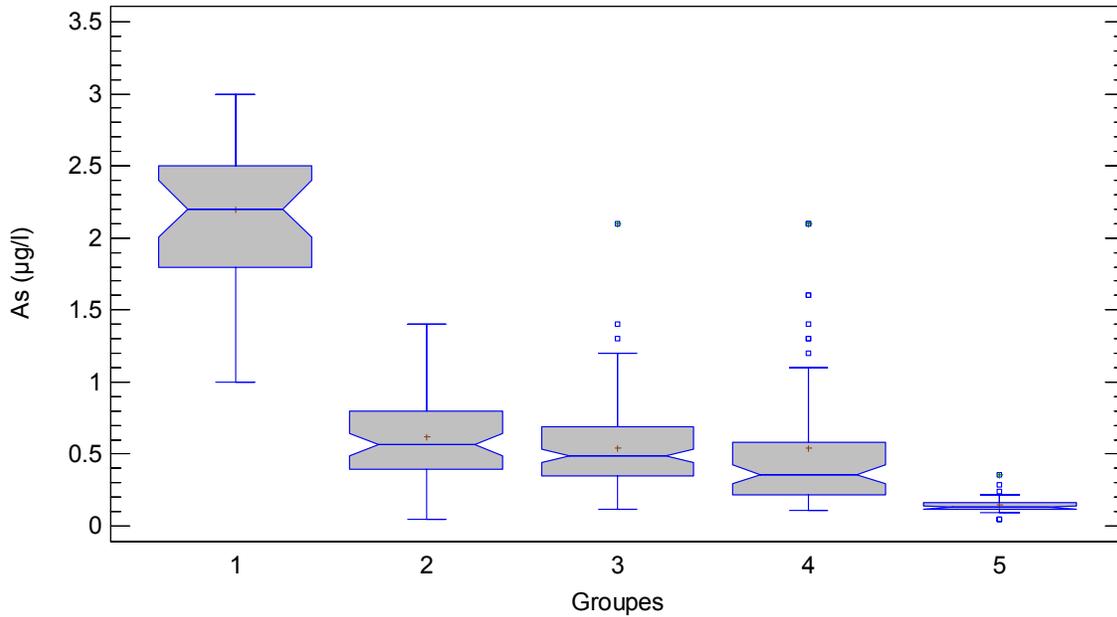
Statistique Groupe 2	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	COD (mg/l)	COND (µS/cm)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	pH (pH)	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)
Nombre	60	58	60	59	60	60	60	59	60	60
Moyenne	29,4	34,3	8,1	309	5,5	9,7	25,5	7,8	50,1	113,3
Médiane	27,5	24,0	7,2	272	3,6	8,2	20,0	7,8	32,0	116,4
Écart-type	16,7	32,6	3,1	208	6,4	5,8	19,4	0,5	67,3	63,2
Minimum	5,8	1,8	3,9	17	1,0	1,6	2,3	6,7	6,0	21,8
Maximum	58,0	170,0	20,0	921	34,0	24,0	84,0	8,9	410,0	235,4
1 %	5,8	1,8	3,9	17	1,0	1,6	2,3	6,7	6,0	21,8
5 %	7,1	4,6	4,6	68	1,5	2,5	2,9	7,1	7,5	28,3
10 %	8,5	9,3	5,6	90	1,8	3,1	5,8	7,2	11,0	33,1
25 %	14,0	14,0	6,4	132	2,5	5,1	11,5	7,5	16,0	60,1
50 %	27,5	24,0	7,2	272	3,6	8,2	20,0	7,8	32,0	116,4
75 %	42,5	43,0	9,1	412	5,0	14,0	33,5	8,0	53,0	160,8
90 %	53,0	85,0	10,6	674	10,3	19,0	53,0	8,4	104,5	205,3
95 %	55,0	110,0	15,4	774	21,0	20,5	70,0	8,8	185,0	218,0
99 %	58,0	170,0	20,0	921	34,0	24,0	84,0	8,9	410,0	235,4

Statistique Groupe 3	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	COD (mg/l)	COND (µS/cm)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	pH (pH)	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)
Nombre	126	126	126	119	126	126	126	118	126	126
Moyenne	19,1	13,9	7,6	169	1,6	4,5	10,5	7,7	14,5	66,4
Médiane	18,0	12,0	6,7	166	1,4	4,2	9,5	7,7	9,0	63,9
Écart-type	8,2	8,5	3,9	68	0,6	2,1	5,3	0,4	23,8	27,6
Minimum	3,8	2,2	3,1	34	0,6	1,2	2,4	6,7	0,5	14,4
Maximum	46,0	56,0	25,0	404	4,3	15,0	28,0	9,2	190,0	176,6
1 %	4,0	2,5	3,2	37	0,6	1,4	3,3	6,7	1,0	15,8
5 %	8,4	4,1	3,8	76	0,8	2,1	3,7	7,0	2,0	31,0
10 %	10,0	5,0	4,4	81	0,9	2,4	4,8	7,2	2,0	36,1
25 %	13,0	8,1	5,1	120	1,1	3,1	6,7	7,5	5,0	46,1
50 %	18,0	12,0	6,7	166	1,4	4,2	9,5	7,7	9,0	63,9
75 %	23,0	19,0	8,8	208	1,8	5,6	13,0	7,9	15,0	78,4
90 %	29,0	25,0	12,0	258	2,4	6,9	19,0	8,2	28,0	102,6
95 %	35,0	27,0	14,0	274	2,8	9,0	20,0	8,5	40,0	119,7
99 %	46,0	39,0	25,0	363	3,3	11,0	27,0	8,7	160,0	136,5

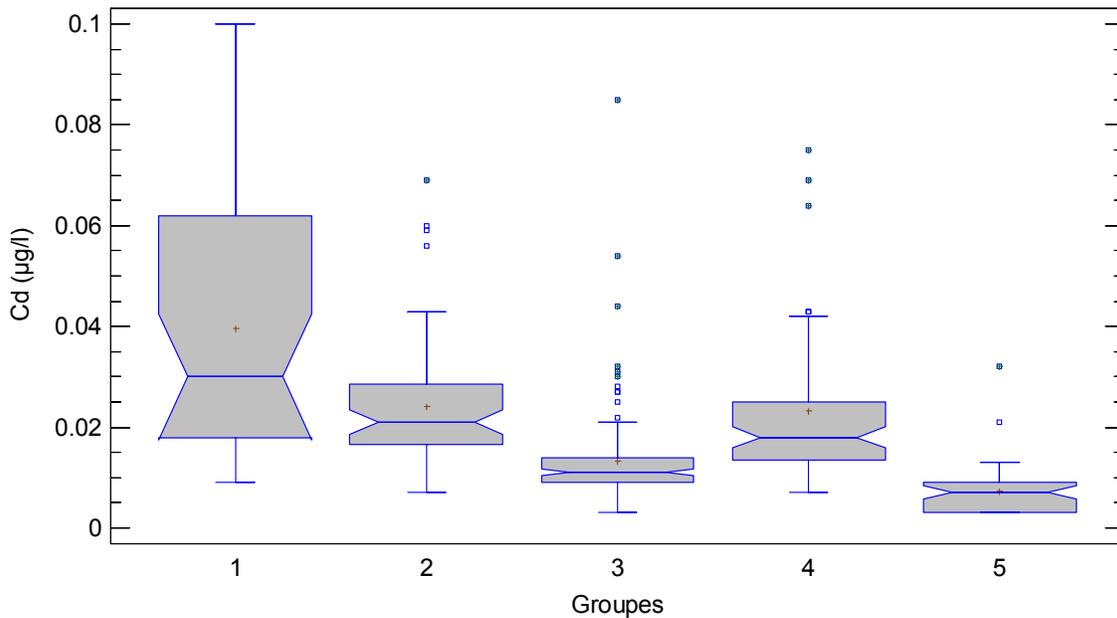
Statistique Groupe 4	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	COD (mg/l)	COND (μ S/cm)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	pH (pH)	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)
Nombre	72	68	72	69	72	72	72	71	72	72
Moyenne	18,8	22,6	9,6	165	1,3	3,0	13,6	7,4	47,2	59,5
Médiane	14,0	7,2	7,5	124	1,3	2,6	7,1	7,5	6,0	51,1
Écart-type	15,1	33,4	6,4	167	0,8	2,1	17,4	0,5	218,4	45,5
Minimum	2,3	0,6	3,9	7	0,2	0,4	1,1	6,2	1,0	7,5
Maximum	71,0	140,0	29,0	817	5,6	10,0	84,0	8,2	1800,0	218,5
1 %	2,3	0,6	3,9	7	0,2	0,4	1,1	6,2	1,0	7,5
5 %	2,8	1,2	4,1	23	0,3	0,5	1,4	6,5	1,0	9,6
10 %	3,0	2,0	4,3	26	0,4	0,7	1,8	6,6	1,5	10,4
25 %	6,2	3,6	5,0	48	0,8	1,2	3,1	7,0	3,5	20,0
50 %	14,0	7,2	7,5	124	1,3	2,6	7,1	7,5	6,0	51,1
75 %	28,0	25,5	11,3	219	1,7	4,6	15,0	7,7	14,5	90,6
90 %	38,0	74,0	17,7	427	2,1	5,4	42,0	8,0	32,0	111,4
95 %	48,0	96,0	24,0	509	2,5	6,8	49,0	8,0	230,0	141,7
99 %	71,0	140,0	29,0	817	5,6	10,0	84,0	8,2	1800,0	218,5

Statistique Groupe 5	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	COD (mg/l)	COND (μ S/cm)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	pH (pH)	SS (mg/l)	Dureté (mg/l)
Nombre	48	48	48	45	48	48	48	43	48	48
Moyenne	5,4	2,5	5,9	50	0,7	1,1	2,7	7,0	4,0	18,1
Médiane	5,0	1,6	5,6	52	0,6	1,1	2,0	7,1	2,0	18,7
Écart-type	3,1	2,3	1,5	25	0,3	0,5	1,6	0,3	3,9	9,5
Minimum	2,1	0,6	3,6	17	0,4	0,5	1,1	6,1	1,0	7,4
Maximum	14,0	10,0	9,9	125	1,5	2,4	7,9	7,6	17,0	44,8
1 %	2,1	0,6	3,6	17	0,4	0,5	1,1	6,1	1,0	7,4
5 %	2,2	0,9	3,9	21	0,4	0,6	1,5	6,6	1,0	7,9
10 %	2,3	0,9	4,0	21	0,4	0,6	1,5	6,7	1,0	8,2
25 %	2,6	1,2	4,9	28	0,5	0,6	1,7	6,7	1,0	9,0
50 %	5,0	1,6	5,6	52	0,6	1,1	2,0	7,1	2,0	18,7
75 %	7,5	3,3	6,9	62	0,8	1,4	3,0	7,3	5,0	23,7
90 %	10,0	5,3	7,9	84	1,0	2,0	5,0	7,5	10,0	31,6
95 %	11,0	7,8	8,8	92	1,1	2,2	6,4	7,5	13,0	35,3
99 %	14,0	10,0	9,9	125	1,5	2,4	7,9	7,6	17,0	44,8

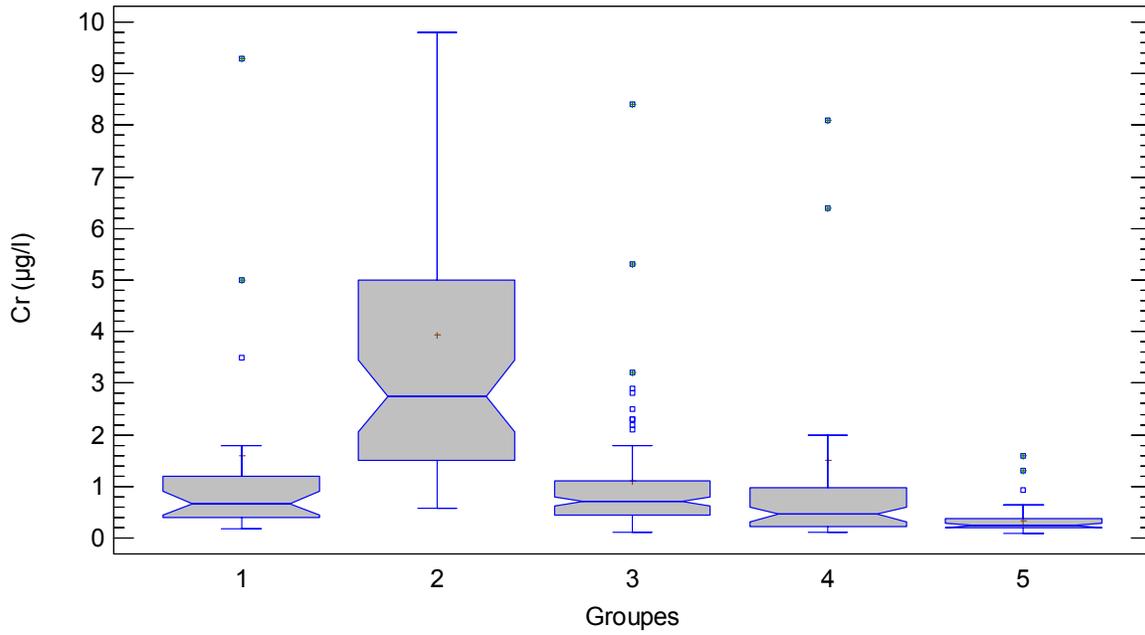
Annexe 16 Comparaison des concentrations de métaux extractibles entre les cinq groupes de stations : (a) arsenic, (b) cadmium, (c) chrome, (d) cuivre, (e) nickel, (f) plomb, (g) zinc et des paramètres complémentaires : (h) carbone organique dissous, (i) conductivité, (j) pH, (k) matières en suspension et (l) dureté



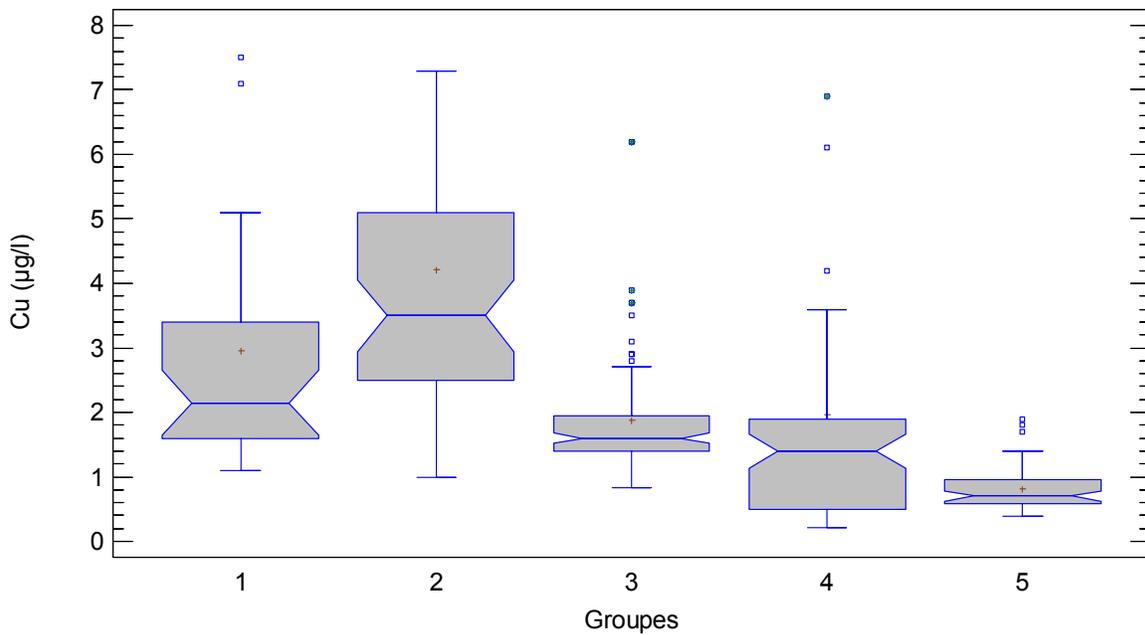
(a) Comparaison des distributions de teneurs en arsenic entre les groupes



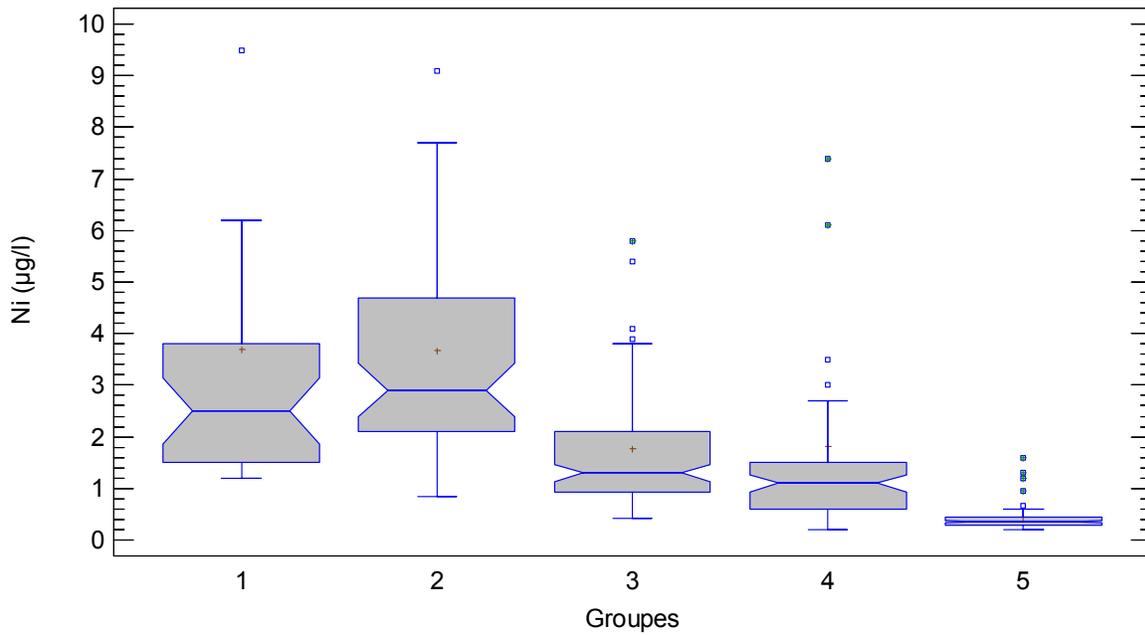
(b) Comparaison des distributions de teneurs en cadmium entre les groupes



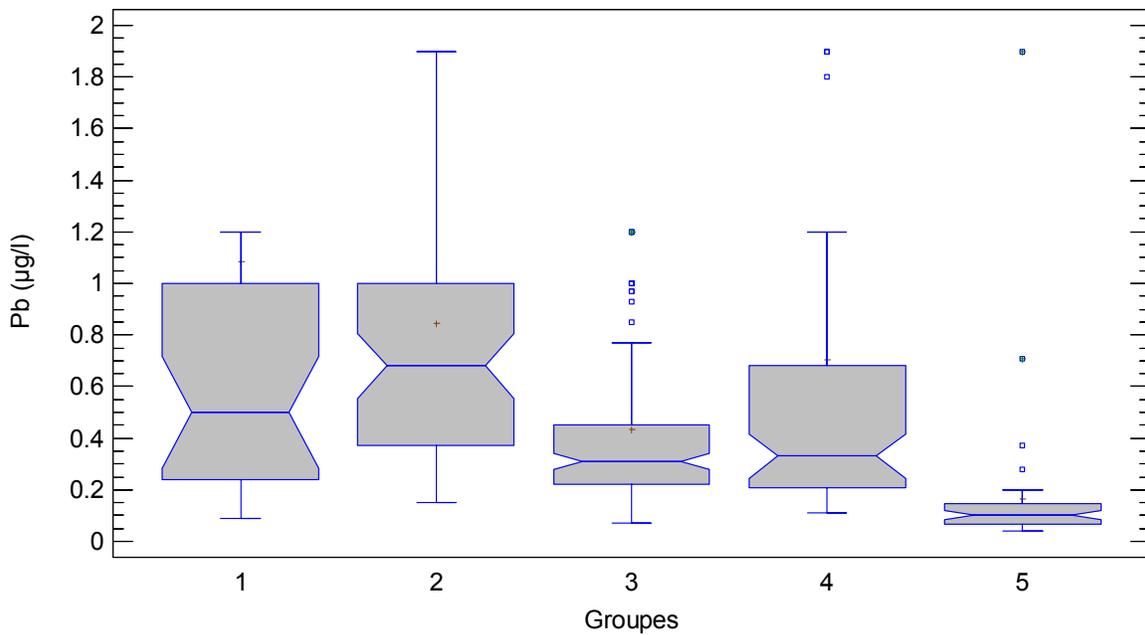
(c) Comparaison des distributions de teneurs en chrome entre les groupes



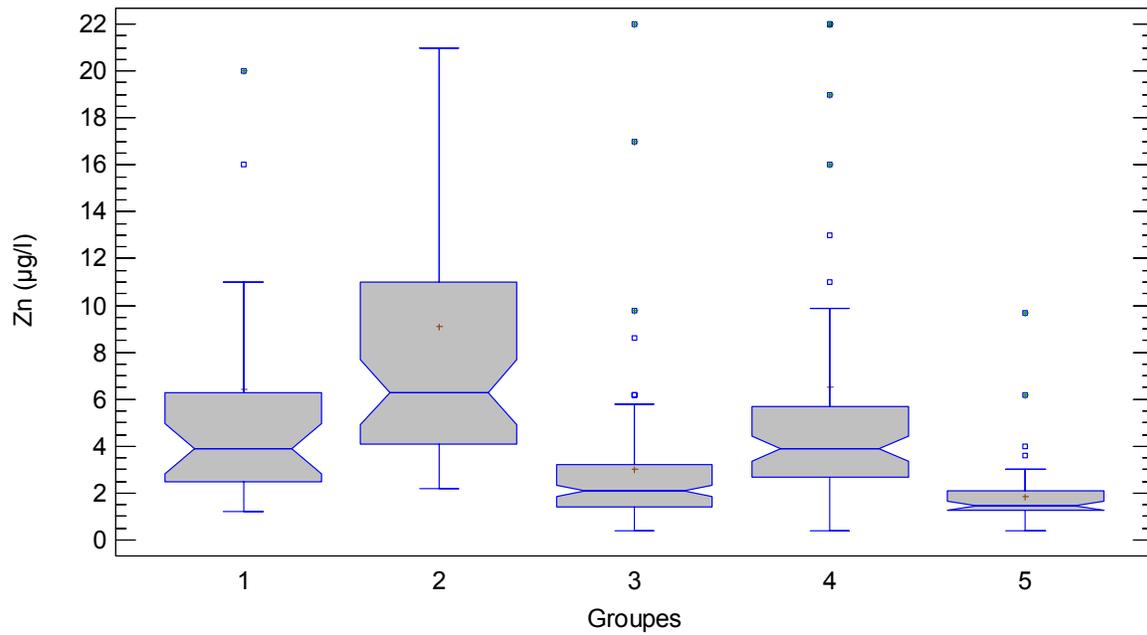
(d) Comparaison des distributions de teneurs en cuivre entre les groupes



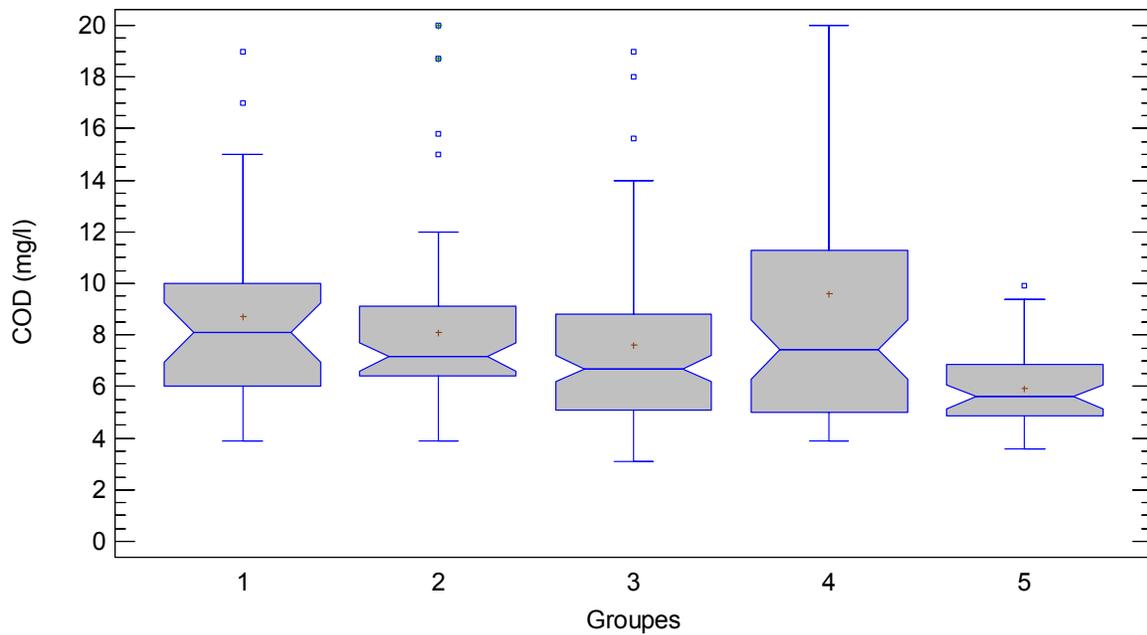
(e) Comparaison des distributions de teneurs en nickel entre les groupes



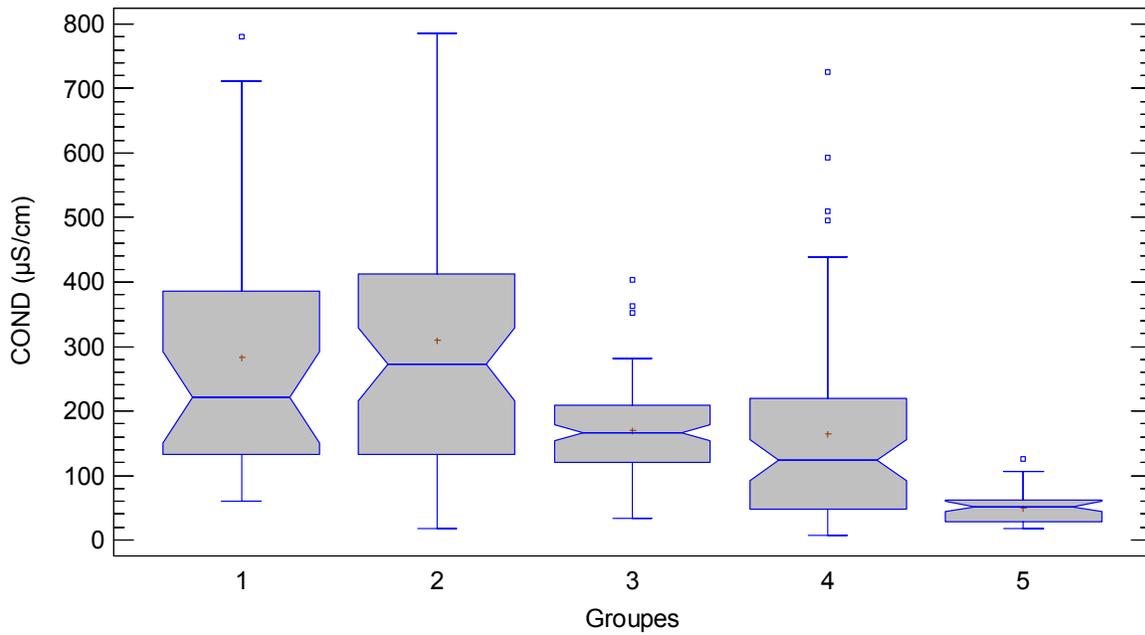
(f) Comparaison des distributions de teneurs en plomb entre les groupes



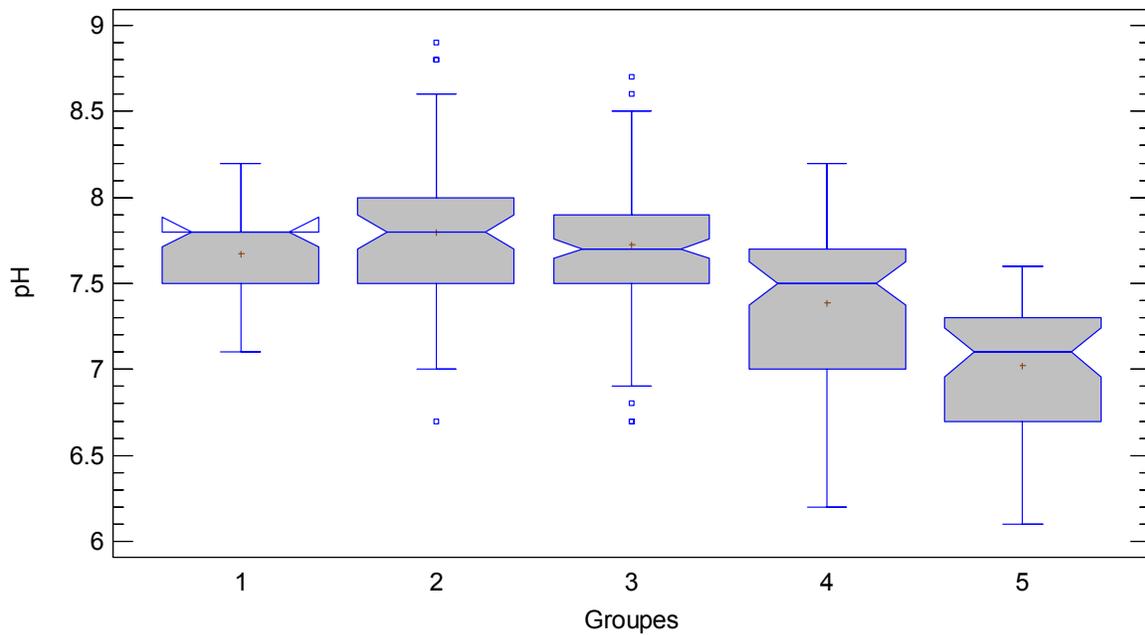
(g) Comparaison des distributions de teneurs en zinc entre les groupes



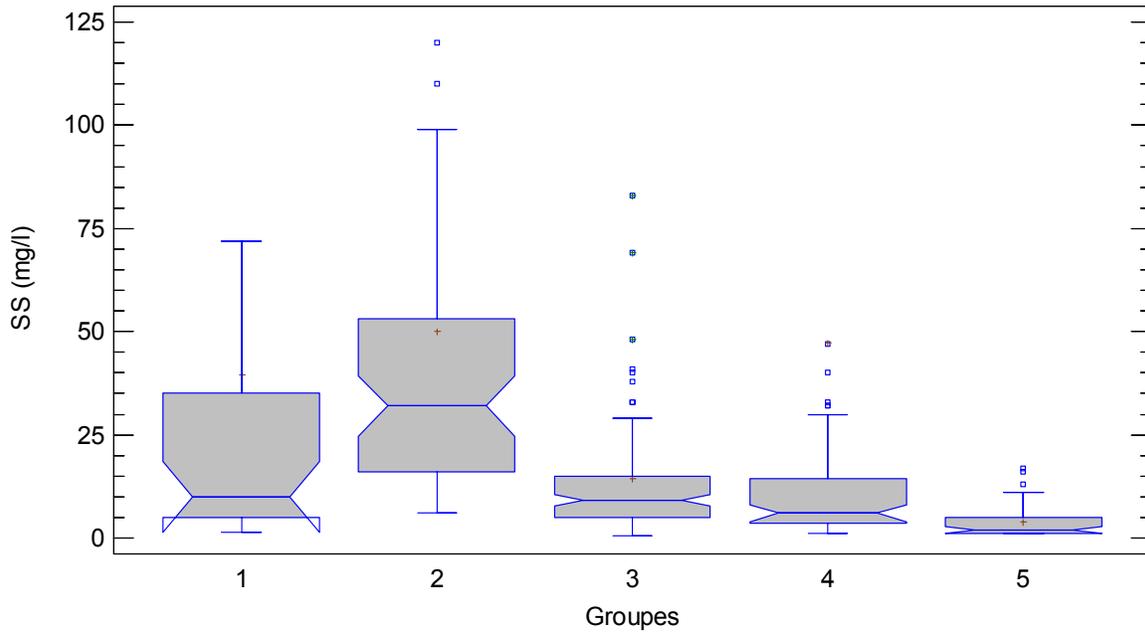
(h) Comparaison des distributions de teneurs en carbone organique dissous entre les groupes



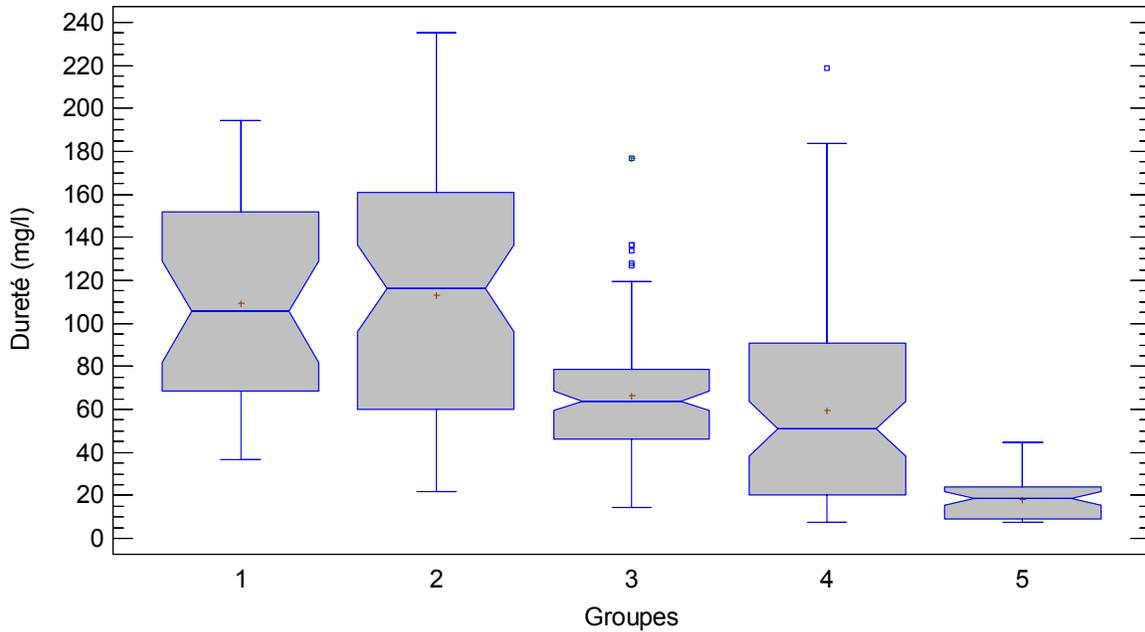
(i) Comparaison des distributions de conductivités entre les groupes



(j) Comparaison des distributions de pH entre les groupes

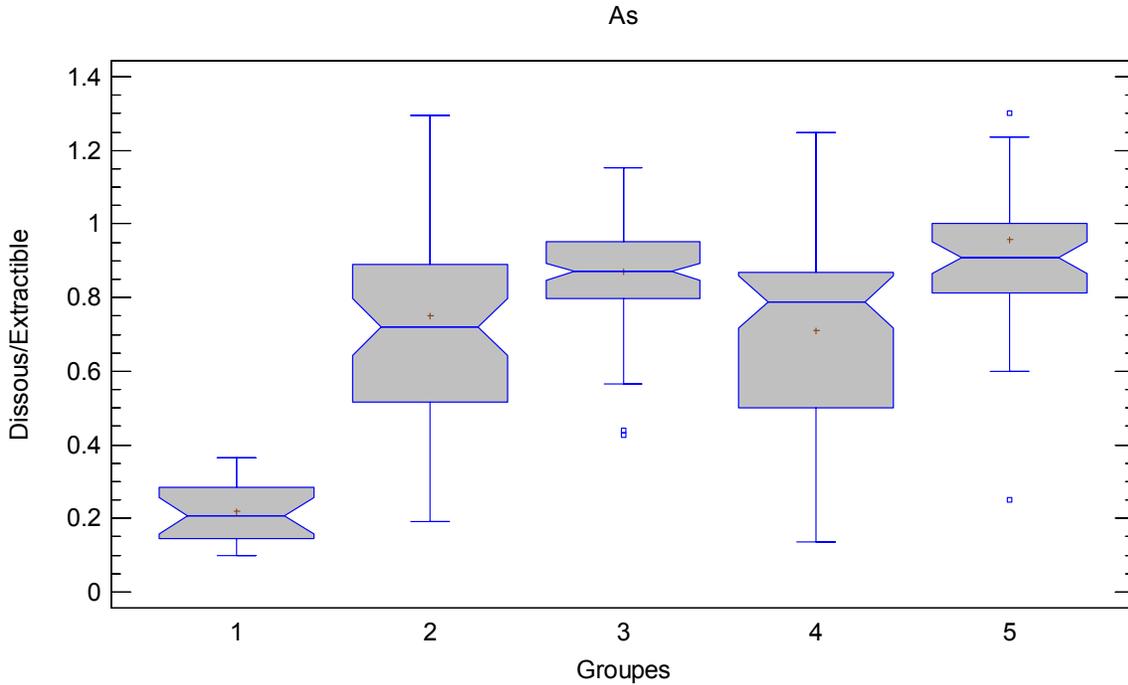


(k) Comparaison des distributions de teneurs en matières en suspension entre les groupes

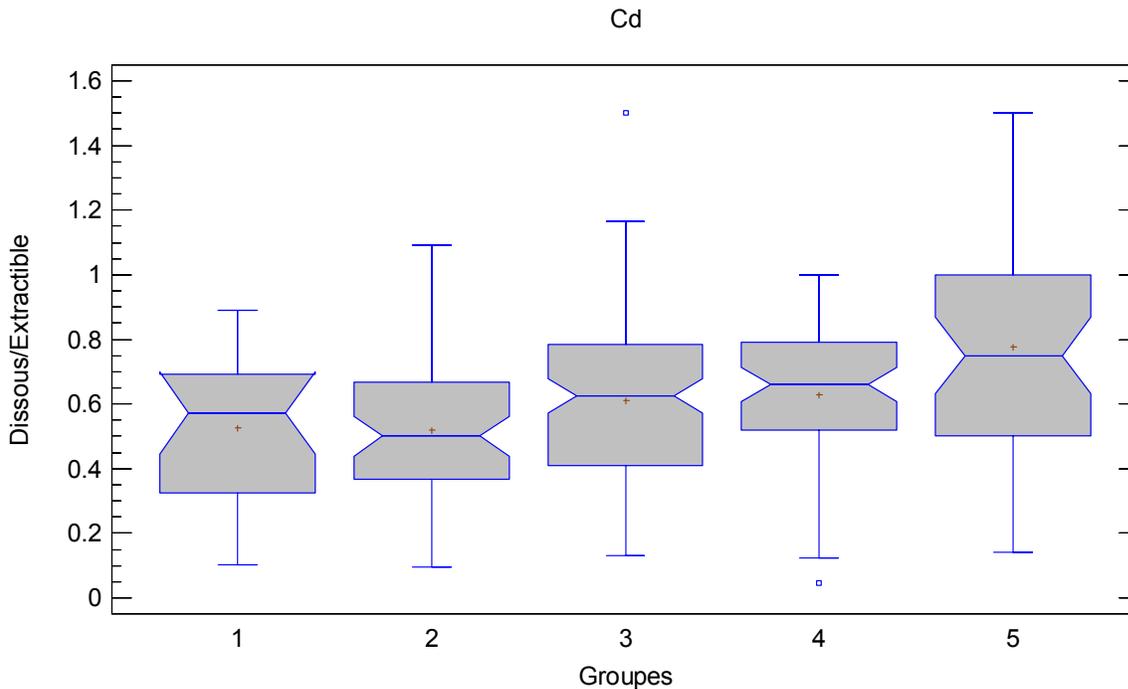


(l) Comparaison des distributions de dureté entre les groupes

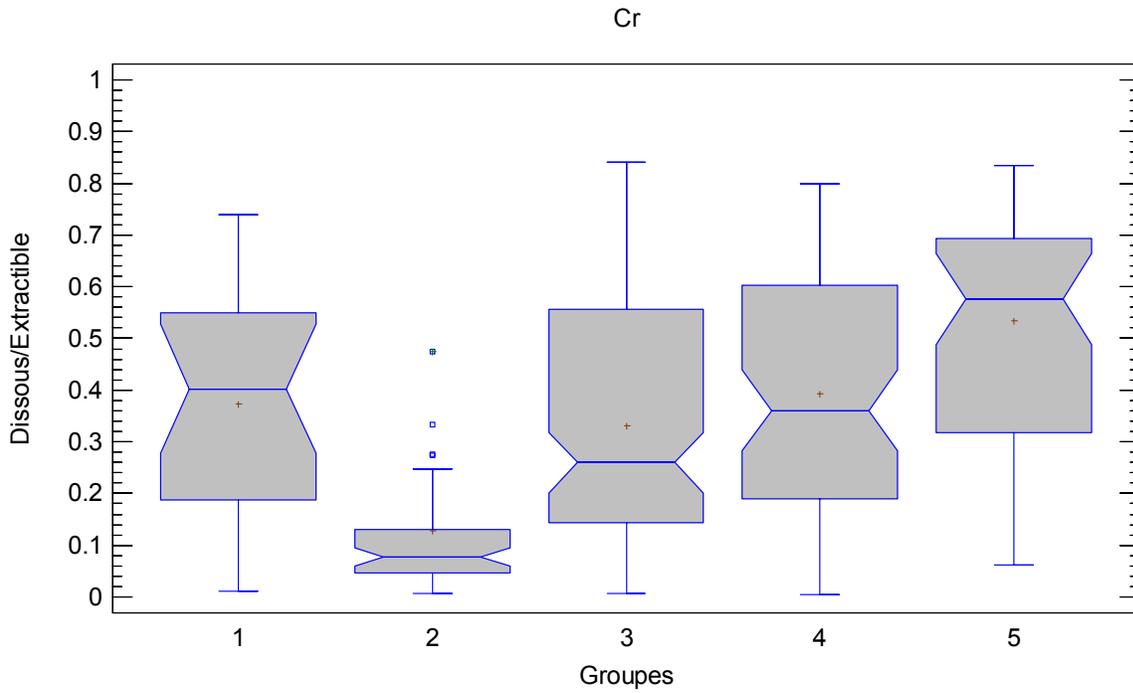
Annexe 17 Comparaison des ratios des concentrations dissoute et extractible des métaux entre les cinq groupes de stations : (a) arsenic, (b) cadmium, (c) chrome, (d) cuivre, (e) nickel, (f) plomb et (g) zinc



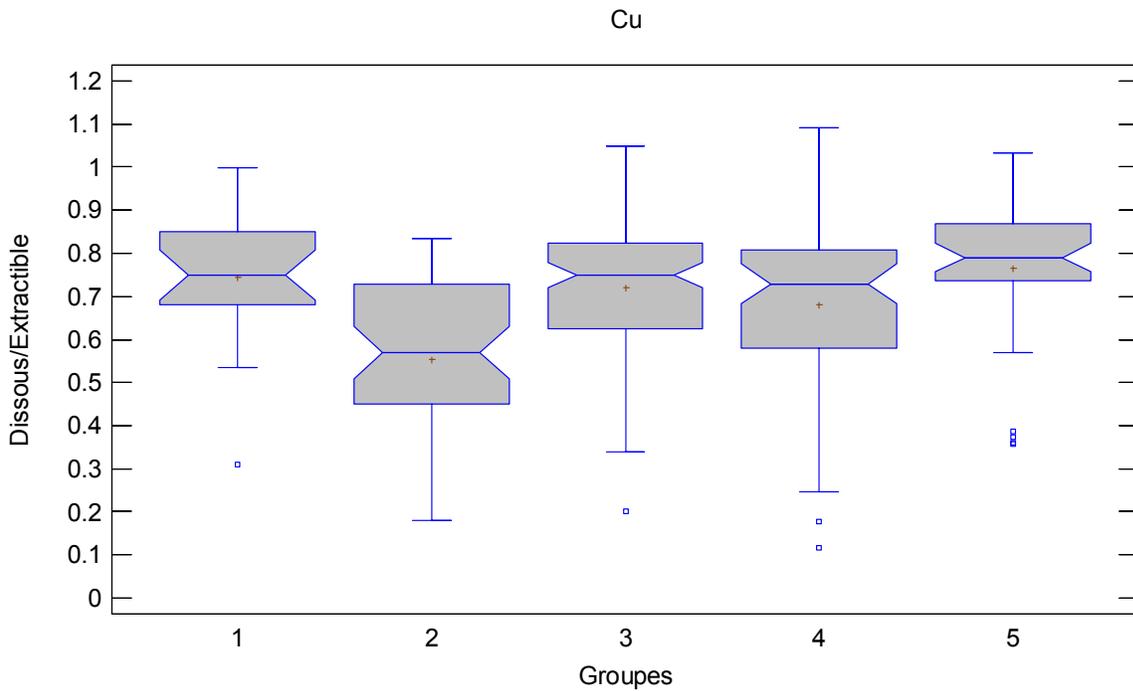
(a) Comparaison des distributions de ratios entre les groupes pour l'arsenic



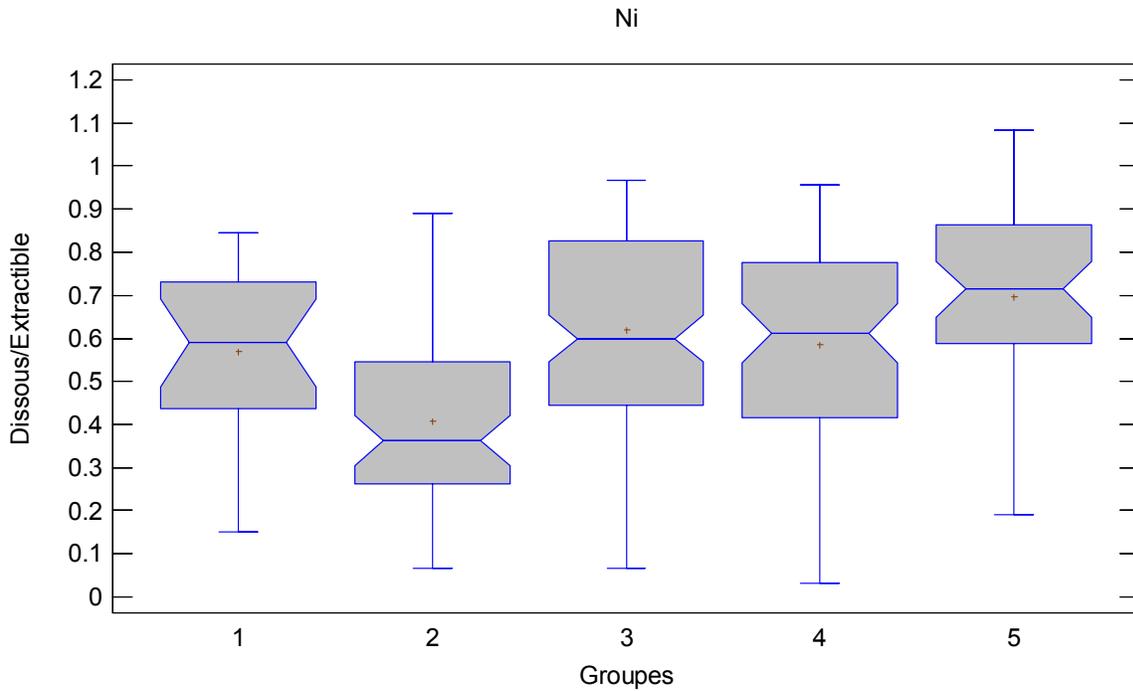
(b) Comparaison des distributions de ratios entre les groupes pour le cadmium



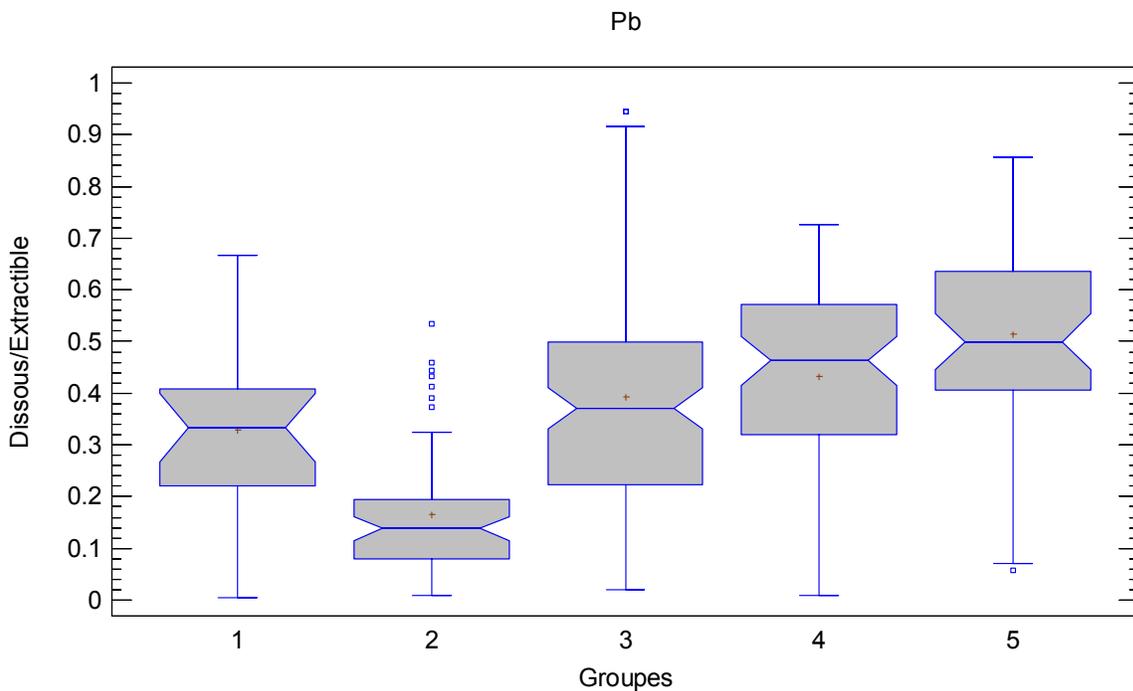
(c) Comparaison des distributions de ratios entre les groupes pour le chrome



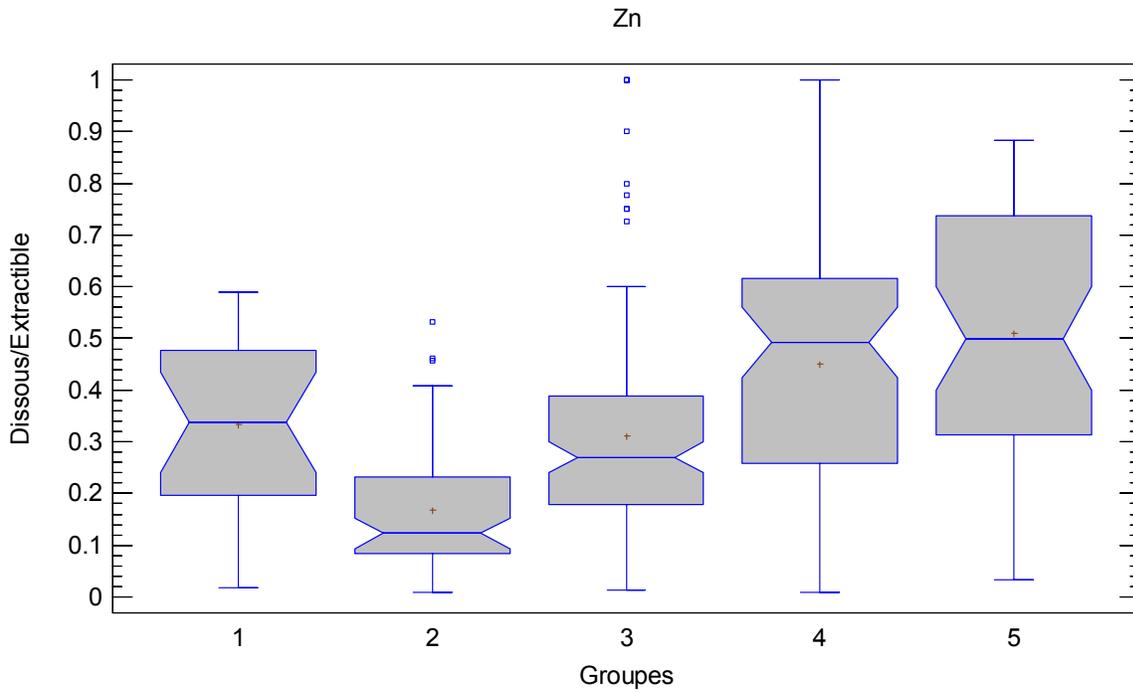
(d) Comparaison des distributions de ratios entre les groupes pour le cuivre



(e) Comparaison des distributions de ratios entre les groupes pour le nickel



(f) Comparaison des distributions de ratios entre les groupes pour le plomb



(g) Comparaison des distributions de ratios entre les groupes pour le zinc
