



Cartes géochimiques nivelées des sédiments de fond de lac du Québec

RP 2024-04

Fabien Solgadi

Québec 

DOCUMENT PUBLIÉ PAR LA DIRECTION GÉNÉRALE DE GÉOLOGIE QUÉBEC

Direction générale

Marc Leblanc

Direction de l'acquisition des connaissances géoscientifiques

Andrea Amortegui

Service de cartographie géologique

James Moorhead, géo.

Direction de l'information géologique et de la promotion

Patrice Roy

Direction du soutien administratif, logistique et matériel

Robert Thériault

Lecture critique

Olivier Lamarche, géo.

Auteur

Fabien Solgadi, géo.

Édition

Claude Dion, ing.

Graphisme

André Tremblay

Cartes géochimiques nivelées des sédiments de fond de lac du Québec

Fabien Solgadi

RP 2024-04

Résumé

Ce rapport présente les résultats d'une compilation qui vise à regrouper les résultats de plusieurs levés géochimiques de sédiments de fond de lac afin de créer des cartes nivelées pour divers éléments métalliques (As, Cu, Ni et Zn) couvrant une bonne partie du Bouclier canadien au Québec. Les échantillons utilisés pour cet exercice ont été collectés entre 1973 et 2022 lors de campagnes d'échantillonnage caractérisées par des densités variables, allant d'un échantillon par 1,5 km² à un échantillon par 14 km². Les suites analytiques utilisées pour mesurer les concentrations élémentaires des échantillons utilisés pour le nivellement sont comparables ou identiques, selon le cas.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	5
DONNÉES UTILISÉES	5
Méthodes d'échantillonnage	5
Méthodes d'analyse.....	5
Analyses utilisées	5
TRAITEMENT DES DONNÉES	5
Subdivision de levés	5
Regroupements de certains levés	6
Nivellements préalables.....	6
Traitement de nivellement	6
Création des cartes nivelées.....	7
MISE EN GARDE	7
CONCLUSION	7
RÉFÉRENCES	8

INTRODUCTION

Le ministère des Ressources naturelles et des Forêts et la Société de développement de la Baie-James (SDBJ) ont réalisé depuis 1973 plusieurs levés géochimiques régionaux de sédiments de fond de lac dans diverses parties du Québec. Toutefois, il est parfois difficile de comparer les résultats de ces divers levés en raison des méthodes d'analyse différentes. Cette observation se reflète notamment par des variations subites des valeurs de bruit de fond localisées à la limite de levés adjacents (figure 1).

Ce rapport présente une compilation des résultats de levés géochimiques de sédiments de fond de lac afin de créer des cartes nivelées pour divers éléments métalliques (As, Cu, Ni et Zn) couvrant une bonne partie du Bouclier canadien au Québec. Trente-huit levés (37 levés gouvernementaux et un levé regroupant sept levés de la SDBJ) ont été sélectionnés pour créer des cartes nivelées couvrant environ 1 288 000 km² (environ 72 % du territoire québécois). La figure 2 localise les levés utilisés dans la réalisation de ces cartes. Depuis 2012, tous les échantillons prélevés dans le cadre des levés de sédiments de fond de lac effectués par Géologie Québec ont été analysés par *Activation Laboratories Ltd.* situé à Ancaster en Ontario en utilisant les mêmes suites analytiques. À partir de 2020, des levés de haute densité (un échantillon par 1,5 km²) ont été réalisés en Eeyou Istchee Baie-James (Solgadi, 2022, Lamarche et Solgadi, 2023, Lamarche 2023a, 2023b et 2023c). Ces levés récents de haute densité (2020 à 2022) n'ont pas été nivelés entre eux et ont servi de point de départ pour les nivellements subséquents.

DONNÉES UTILISÉES

Méthodes d'échantillonnage

Les méthodes d'analyse ont varié au fil du temps, mais les méthodes de préparation et de prélèvement des échantillons sont demeurées à peu près constantes. Les échantillons ont pour la majorité été récoltés à partir d'un hélicoptère sur flotteurs avec une torpille en acier inoxydable dont l'extrémité était munie de clapets permettant de retenir le matériel lors de la remontée. Avant l'analyse, les échantillons ont préalablement été séchés, broyés, homogénéisés et tamisés pour récupérer le matériel < 177 µm.

Méthodes d'analyse

Les échantillons récents traités par le laboratoire *Activation Laboratories* (2012 à 2023) ont été analysés de la manière suivante : une aliquote de 0,5 g a été dissoute à l'eau régale et analysée pour 64 éléments par spectrométrie de masse à couplage inductif (ICP-MS). La dissolution dans de l'eau régale a l'avantage de préserver certains éléments

(As, Sb, Hg, Se, Te, Tl) volatilisés par d'autres méthodes (4 acides ou fusions; Hu et Qi, 2013; Genna, 2014). Cependant, l'eau régale n'attaque pas complètement certaines phases minérales considérées comme réfractaires ou partiellement réfractaires (barytine, cassitérite, chromite, monazite, xénotime, zircon, etc.), ce qui engendre une sous-estimation des éléments en traces contenus dans ces minéraux (Ba, Cr, ETR, Sn, U, Y, Zr, etc.; Taraškevičius *et al.*, 2013; Amor, 2015). Toutefois, les éléments choisis pour le nivellement (As, Cu, Ni, et Zn) sont généralement assez bien mis en solution par cette technique, notamment parce qu'ils sont généralement contenus dans des phases sulfurées.

Pour tous les levés antérieurs à 2012, les techniques analytiques sont indiquées dans la base de données SIGÉOM, à l'adresse suivante : http://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1102_aLaCarte?l=F#GEOCH.

Les méthodes d'analyse sont parfois également décrites dans les différents rapports listés au tableau 1.

Analyses utilisées

Comme les techniques analytiques évoluent avec le temps, il n'est pas rare que certains levés plus anciens aient fait l'objet de réanalyses. Ces nouvelles données sont généralement de meilleure qualité, du moins pour les éléments figurant dans cette compilation. Les limites de détection sont généralement plus basses et la précision plus élevée. Pour chaque échantillon, les analyses plus récentes pour les éléments choisis ont donc été préférées aux plus anciennes. Les réanalyses effectuées pour les anciens levés ont généralement été menées sur une fraction du territoire couvert par ceux-ci (selon la disponibilité du matériel). Ces levés ont dû être subdivisés afin de les niveler (section suivante).

TRAITEMENT DES DONNÉES

Subdivision de levés

Certains levés ont dû être subdivisés avant le nivellement, soit parce qu'ils ont été échantillonnés en plusieurs étapes, soit à cause de campagnes de réanalyse étalées sur plusieurs années.

Le levé 1957001 (numérotation du SIGÉOM) regroupe plusieurs campagnes d'échantillonnage effectuées par la SDBJ de 1973 à 1978. Ce levé a donc été subdivisé en sept sous-levés en fonction des levés initiaux. À la figure 2, ces sous-levés ont été identifiés par l'ajout au numéro du levé des deux derniers chiffres de l'année d'échantillonnage suivis de la lettre a ou b. Une partie des échantillons de ce levé (ceux qui n'étaient pas épuisés) ont aussi été réanalysés en 2010. Un nivellement préalable des anciennes analyses et des réanalyses de 2010 a donc été nécessaire pour chaque sous-levé avant d'utiliser les résultats à l'étape de nivellement en cascade final.

Les levés 09CPDM, 2009503 et 2010503 regroupent plusieurs levés de faible superficie effectués dans les années 2009 et 2010. Le regroupement en sous-levés a été réalisé en fonction de la répartition géographique des levés initiaux. Certains de ces petits levés compris dans un levé plus important ont été réunis dans un même sous-levé. Par exemple, le levé 09CPDM comprend deux secteurs géographiquement séparés inclus dans le levé 2007001. Ces deux entités ont donc été combinées dans un seul sous-levé nommé 09CPDMb.

Dans le cas du levé 1997520, une partie des analyses initialement acquises en 1997 ont été réanalysées durant les années subséquentes :

- Le sous-levé 1997520a comprend les échantillons réanalysés pour 53 éléments en 2012 (*Activations Laboratories*);
- Les échantillons du sous-levé 1997520c ont fait l'objet de réanalyses en 2009 (*AcmeLabs*) pour 53 éléments (Maurice et Labbé, 2009);
- Les échantillons des sous-levés 1997520b et 1997520d ont fait l'objet de réanalyses uniquement pour les métaux précieux (Au, Pd et Pt) respectivement en 2003 et 2004. Ils n'ont pas été réanalysés pour les 53 éléments en 2009 ni en 2012, car il ne restait plus assez de matériel (Maurice, 2012).

Dans le cas du levé 1983050, les échantillons de la partie est du levé, initialement récoltés en 1983, ont été réanalysés en 2009 (Maurice et Labbé, 2009). Ces échantillons ont donc été regroupés dans le sous-levé 1983050a. La partie ouest du levé a été réanalysée en 2013 et forme le sous-levé 1983050b.

Regroupements de certains levés

Les échantillons des levés 12511A et 12511B ont été récoltés par le même prestataire de service et les analyses ont été effectuées par le même laboratoire en utilisant les mêmes méthodes (Solgadi, 2018) Ils n'ont donc pas été nivelés, mais regroupés avant le nivellement final.

Une petite partie des échantillons des levés 1987050 et 1988050 ont été réanalysés en même temps que l'analyse des échantillons du levé 2007001 (Labbé et Moukhsil, 2008). Ces réanalyses ont été regroupées dans les sous-levés 1987050a et 1988050a. Pour permettre un bon nivellement, ces deux sous-levés ont été pré-nivelés avec le levé 2007001 et ont été combinés avec ce dernier avant le nivellement final en cascade.

Les levés de haute densité postérieurs à l'année 2020 ont été comparés. Ils ne présentaient pas de variation importante de valeur dans les zones de recoupement entre chaque levé pour les éléments choisis. Pour cette raison, ils ont été regroupés et constituent les levés initiaux à partir desquels le nivellement a été effectué.

Nivellements préalables

Comme mentionné précédemment, certains levés ou sous-levés ont été réanalysés partiellement et ont dû être nivelés préalablement au nivellement final en cascade. C'est le cas de tous les sous-levés inclus dans le levé 1957001 et du levé regroupé 2007001. Les analyses plus anciennes ont été nivelées par rapport aux réanalyses les plus récentes; les paramètres utilisés sont donnés au tableau 3. La technique de nivellement et décrite plus en détail à la section suivante.

Traitement de nivellement

Dans un premier temps, les échantillons pour lesquels les éléments à niveler n'ont pas été analysés, qui auraient donc une valeur nulle dans la base de données, ont été supprimés du fichier de compilation. Ils représentent un très faible pourcentage des analyses, car As, Cu, Ni et Zn sont généralement analysés dans tous les levés. Dans les rares cas où les résultats d'analyse étaient sous la limite de détection, nous avons choisi de remplacer ces valeurs par celles correspondant à la moitié de cette limite pour l'élément en question afin de pouvoir utiliser ces données dans le traitement.

Le nivellement des données a été effectué à partir du logiciel *Geochemical surveys leveling* du CONSOREM. Le fonctionnement de ce logiciel est décrit en détail dans Trépanier (2007); le lecteur est invité à s'y référer pour plus de détails. La méthode employée dans ce logiciel est présentée dans Daneshfar et Cameron (1998). Elle utilise les échantillons localisés à l'intérieur d'une bande de nivellement chevauchant deux levés, dont l'un est à niveler. La figure 2 montre toutes les bandes utilisées pour le nivellement du cuivre. Les localisations des bandes utilisées pour les éléments compilés sont disponibles sous la forme de fichiers de formes (*shapefiles*) dans le dossier « Autres données numériques » de ce rapport. Les bandes de nivellement ne sont pas forcément les mêmes pour tous les éléments à niveler. Leurs tracés ont été choisis afin d'obtenir le meilleur nivellement avec le minimum de variation entre les levés. Certains facteurs sont pris en compte dans le choix des bandes de nivellement :

1. Une bande de nivellement devrait idéalement contenir plus ou moins le même nombre d'analyses provenant des deux levés.
2. La bande ne devrait pas contenir un nombre trop élevé de données très anormales. À cette fin, les valeurs centiles supérieures à un niveau fixé à l'avance peuvent être ignorées par le logiciel (tableau 2).
3. De même, on évitera d'avoir beaucoup de résultats inférieurs à la limite de détection à l'intérieur de la bande. Il est possible de fixer dans le logiciel une valeur centile minimale pour chaque élément (tableau 2). Les valeurs inférieures à cette limite dans la bande de nivellement seront ignorées lors du calcul.

4. Les valeurs dans chaque levé doivent être représentatives du bruit de fond dans toute son amplitude. Il faut donc choisir un secteur montrant un large spectre de données, ce qui implique que la bande sélectionnée doit être, dans la mesure du possible, perpendiculaire à la géologie locale.

Dans la surface définie par la bande, le logiciel calcule les quantiles des échantillons des deux levés séparément, les compare dans un graphique binaire et calcule la droite de régression linéaire. Les résultats de cette régression serviront à corriger les valeurs pour l'ensemble du levé à niveler. Les différents paramètres utilisés, tels que le taux de nivellement, le nombre de cycles, l'incrément de centiles employé pour construire la droite de régression et les valeurs centiles de coupure maximale et minimale sont présentées au tableau 2. Le logiciel permet aussi de faire du nivellement en cascade à partir d'un levé initial jugé le plus fiable. Dans le cas présent, nous avons utilisé les levés de haute densité effectués de 2020 à 2022 (en rouge sur la figure 2) comme point de départ du nivellement en cascade.

Création des cartes nivelées

Les valeurs situées sous les limites de détection dans les bandes de nivellement (déterminées en fonction du centile de coupure minimal choisi) sont ignorées dans le calcul. Cependant, la correction apportée aux données à cette étape va être calculée pour l'ensemble des valeurs du levé, dont celles qui sont inférieures à la limite de détection. Comme mentionné auparavant, une valeur équivalente à la moitié de la limite de détection a été attribuée à ces analyses.

Pour certaines valeurs initialement faibles, la correction associée au nivellement peut entraîner une diminution des teneurs, ce qui peut aboutir à des valeurs négatives. Pour remédier à ce problème et pour faciliter l'interpolation, les valeurs nivelées sont d'abord transformées en centiles. Par la suite, ces centiles sont interpolés par la méthode des voisins naturels à l'aide de l'outil du même nom (boîte à outils *Spatial Analyst*) du logiciel ArcGIS. Une maille de 250 m x 250 m a été utilisée pour générer les cartes matricielles. Cette maille correspond à environ le quart de la distance minimale entre 2 points dans les levés de plus haute densité. Les cartes obtenues par ce traitement sont présentées aux figures 3 à 6. La symbolisation utilisée pour ces cartes a été conçue de façon à mettre en évidence les valeurs de centiles élevées (> 95^e centile).

MISE EN GARDE

Même après plusieurs tentatives, les données pour l'arsenic présentent encore quelques difficultés. Il est donc encore possible d'observer quelques discontinuités à la limite de certains levés. C'est le cas par exemple au nord des levés de la SDBJ (levé 1957001). En comparant les cartes nivelées du Cu, du Ni et du Zn avec la localisation des indices de ces substances ou la carte nivelée de l'arsenic avec les indices d'or connus (non représentés sur les figures 3 à 6), il est possible de reconnaître une certaine association spatiale. Ceci confirme l'utilité des levés géochimiques de sédiments de fond de lac pour évaluer le potentiel minéral d'un secteur. Toutefois, l'interpolation directe des centiles des valeurs nivelées présente le désavantage de ne pas tenir compte du bruit de fond qui varie dans le milieu échantillonné en fonction des lithologies environnantes. D'autres facteurs environnementaux, comme la profondeur des lacs, la proportion de matière organique, l'oxygénation ou le pH, affectent aussi la concentration de certains éléments dans les sédiments (Trépanier, 2007). Pour ces raisons, les fortes valeurs d'un élément ne sont pas toujours associées à des minéralisations. La plupart des spécialistes dans ce domaine conseillent l'utilisation de méthodes statistiques pour déterminer plus précisément les anomalies d'intérêt (p. ex. Trépanier, 2006; Lamothe, 2010). La méthode de « régression spatiale multiple » pourrait être appliquée afin de s'affranchir partiellement de ces facteurs et de faciliter la détection des concentrations anormales associées aux minéralisations. En revanche, cette technique implique que les variables explicatives (autres éléments analysés dans les sédiments) utilisées dans le traitement aient été analysées dans tous les levés et nivelées pour ne pas induire de fausses anomalies. Malheureusement, tous les éléments en traces utiles pour appliquer cette méthode n'ont pas été dosés systématiquement au cours des ans, ce qui rend l'application de cette méthode plus difficile.

CONCLUSION

Les cartes de nivellement de sédiments de fond de lac interpolés par la méthode des voisins naturels ont été réalisées pour les quelques métaux (As, Cu, Ni et Zn) qui se prêtaient le mieux à cet exercice. Ces cartes permettent de mettre en lumière plusieurs zones d'intérêt. Dans certains cas, ces zones à fort potentiel sont bien corrélées avec les regroupements d'indices de ces substances. Cependant, des facteurs environnementaux, hydrologiques ou lithologiques peuvent masquer le signal par endroits ou créer de fausses anomalies. Des traitements statistiques plus poussés, comme la régression spatiale multiple, seraient potentiellement en mesure de remédier à ce problème.

RÉFÉRENCES

- AMOR, S.D., 2015. Comparison of lake-sediment results from Labrador and adjacent Québec: Preliminary results. Current Research (2015) Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources Geological Survey; Report 15-1, pages 215-242.
- BEAUMIER, M., 1982. Géochimie des sédiments de lac dans la région de la rivière George, territoire du Nouveau-Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [DP 82-16](#), 41 pages, 13 plans.
- BEAUMIER, M., 1983. Données complémentaires au levé de sédiments de lac dans la région de la rivière George, territoire du Nouveau-Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [DP 83-18](#), 30 pages, 4 plans.
- BEAUMIER, M., 1984. Géochimie des sédiments de lac dans la région de la rivière à la Baleine, territoire du Nouveau-Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [DP 84-43](#), 127 pages, 16 plans.
- BEAUMIER, M., 1985. Géochimie des sédiments de lac dans la région de la rivière à la Baleine — Données complémentaires. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [DP 86-22](#), 5 plans.
- BEAUMIER, M., 1986a. Géochimie des sédiments de lac — Région de la rivière Caniapiscou. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [DP 86-23](#), 40 plans.
- BEAUMIER, M., 1986b. Géochimie des sédiments de lac de la région de Schefferville. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [MB 86-50](#), 37 plans.
- BEAUMIER, M., 1987a. Géochimie des sédiments de lac — Région du lac Otelnuk. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [DP 87-14](#), 35 plans.
- BEAUMIER, M., 1987b. Géochimie des sédiments de lac dans la région de Schefferville — Données complémentaires. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [MB 87-32](#), 411 pages.
- BEAUMIER, M., 1988a. Aires d'activité géochimique dans les sédiments de lac de la région de Fermont — Quelques considérations sur le potentiel minéral. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [MB 88-38](#), 23 pages, 1 plan.
- BEAUMIER, M., 1988b. Géochimie des sédiments de lac — Région du lac Otelnuk. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [DP 86-26](#), 2 plans.
- BEAUMIER, M., 1989a. Cartes géochimiques des sédiments de lac, région de Havre-Saint-Pierre. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [MB 89-46](#), 44 plans.
- BEAUMIER, M., 1989b. Géochimie des sédiments de lac — Région de Havre-Saint-Pierre. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [MB 89-19](#), 54 pages.
- BEAUMIER, M., 1989c. Géochimie des sédiments de lac, région de Fermont. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [MB 89-33](#), 11 pages, 41 plans.
- BEAUMIER, M., 1992. Géochimie des sédiments de lac — région de Blanc-Sablon. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [MB 90-33](#), 44 plans.
- BEAUMIER, M., KIROUAC, F., 1996a. Série de cartes géochimiques couleur. Échantillonnage des sédiments de lac. Région du lac Evans. (SNRC 32K). Ministère des Ressources naturelles, Québec; [MB 96-23](#), 33 pages.
- BEAUMIER, M., KIROUAC, F., 1996b. Série de cartes géochimiques couleur. Échantillonnage des sédiments de lac. Région du lac Némiscau (SNRC 32N). Ministère des Ressources naturelles, Québec; [MB 96-22](#), 33 pages.
- BEAUMIER, M., LEDUC, M., 2005. Nouvelles analyses géochimiques de sédiments sur la Côte-Nord et à la Baie-James. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [PRO 2005-03](#), 7 pages.
- CANNULI, M., 1975. Géochimie de lac, été 1975. S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM-34036, 38 pages.
- CHOINIÈRE, J., 1987. Géochimie des sédiments de lac — Région de Chibougamau. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [MB 86-81](#), 4 plans.
- COCKBURN, G.H., 1978. Géochimie : région du parc proposé du Saguenay. Ministère des Richesses naturelles, Québec; [DP 553](#), 120 pages, 17 plans.
- DANESHFAR, B. CAMERON, E., 1998. Leveling geochemical data between map sheets. Journal of Geochemical Exploration; volume 63, pages 189–201. [doi](#)
- GENNA, D., 2014. Optimisation des analyses des suites multi-éléments ICP-MS pour l'exploration minérale. CONSOREM; projet 2014-05, 27 pages.
- GLEESON, C.F., 1974. Geochemical Report on a Lake Sediment Survey of La Grande Rivière Area. S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 34042, 74 pages.
- HU, Z., QI, L., 2013. Sample Digestion Methods. *In*: Treatise on Geochemistry (Second Edition), volume 15 (Holland, H.D., Turekian, K.K., editors). Elsevier; pages 87–109. [doi](#)
- HURTUBISE, E., 2009. Regroupement et nivellement des plus récentes données géochimiques régionales des sédiments de fond de lac de la Côte-Nord (Région administrative 09). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [MB 2009-13](#), 18 pages, 41 plans.
- HURTUBISE, E., 2011. Nouvelles données géochimiques de sédiments de fond de lac sur le territoire de la Côte-Nord, campagne 2010. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [MB 2011-05](#), 9 pages.
- KIROUAC, F., BEAUMIER, M., 1994. Série de cartes géochimiques couleur. Sédiments de lac — Région de Blanc-Sablon. Ministère des Ressources naturelles, Québec; [MB 94-11](#), 4 pages, 22 plans.
- LABBÉ, J.-Y., 2009. Nouvelles données géochimiques de sédiments de fond de lac dans la partie occidentale du Grenville québécois : secteurs de Val-d'Or, Chibougamau et La Tuque. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [PRO 2009-03](#), 8 pages, données numériques.
- LABBÉ, J.-Y., 2011. Nouvelles données géochimiques de sédiments de fond de lac au Saguenay — Lac-Saint-Jean. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [PRO 2011-01](#), 12 pages, données numériques.

- LABBÉ, J.-Y., MOUKHSIL, A., 2008. Nouvelles données géochimiques de sédiments de fonds de lacs dans la MRC Sept-Rivières (région de Sept-Îles). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [PRO 2008-07](#), 8 pages.
- LALONDE, J.-P., 1997. Géochimie des sédiments de lac, région de Parent. Ministère des Ressources naturelles, Québec; [MB 96-42](#), 17 pages, 13 plans.
- LAMARCHE, O., 2023a. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur de la rivière Eastmain, Province du Supérieur. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [RP 2023-02](#), 26 pages, données numériques.
- LAMARCHE, O., 2023b. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur du lac Cadet, Province du Supérieur. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [RP 2023-05](#), 28 pages, données numériques.
- LAMARCHE, O., 2023c. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur du lac Comeau, Province du Supérieur. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [RP 2023-04](#), 31 pages, données numériques.
- LAMARCHE, O., SOLGADI, F., 2023. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur du lac Frotet, Province du Supérieur. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [RP 2023-01](#), 26 pages, données numériques.
- LAMOTHE, D., 2010. Modélisation de cibles de l'environnement secondaire par des techniques de seuils naturels et de régression spatiale multiple. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [EP 2010-01](#), 27 pages, données numériques.
- LEDUC, M., 1999. Résultats d'analyse du molybdène des échantillons de sédiments de lac, secteur de La Baie James. Ministère des Ressources naturelles, Québec; [DP 99-02](#), données numériques.
- MAURICE, C., 2012. Implications de la réanalyse des sédiments de lac du nord-est de la Province du Supérieur pour l'élaboration de nouveaux modèles d'exploration. Dans : Résumés des conférences et des photoprésentations, Québec Mines 2012. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DV 2013-03, 68 pages.
- MAURICE, C., LABBÉ, J.-Y., 2009. Réanalyse de sédiments de fond de lac dans la partie nord-est du Québec (Sous-province d'Ashuanipi, Orogène du Nouveau-Québec et Province de Churchill sud-est). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [PRO 2009-09](#), 7 pages.
- MAURICE, C., LAMOTHE, D., 2011. Nouveau levé géochimique de sédiments de lac dans l'extrême nord du Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [PRO 2012-03](#), 10 pages, données numériques.
- MORIN, S.-J., HURTUBISE, E., LABBÉ, J.-Y., 2010. Nouvelles données géochimiques de sédiments de fond de lac sur le territoire de la Côte-Nord. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [PRO 2010-01](#), 8 pages.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1998. Résultats d'analyses de sédiments de fond de lacs, Grand Nord du Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; [DP 98-01](#), données numériques.
- OTIS, M., 1975. Projet de géochimie de lac (Lac Village) 3503610008. S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 34035, 27 pages.
- OTIS, M., 1976. Géochimie de sédiments de lac (1976). S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM-34169, 39 pages.
- PELLETIER, M., 1986. Géochimie des sédiments de lac — Région de la baie Johan-Beetz. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; [DP 85-18](#), 8 pages et 29 plans.
- PICARD, M., 1977. Prospection géochimique de sédiments lacustres, été 1976, rapport des opérations de terrain, secteur lac Kinglet, projet 3503610002. S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 34170, 62 pages, 1 plan.
- PICARD, M., 1978. Géochimie de sédiments lacustres, secteur lac Julian. S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 38181, 112 pages, 37 plans.
- PRIDE, C., 1974. Lake Sediment Geochemistry. S.D.B.J. rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 34044, 20 pages.
- SOLGADI, F., 2017a. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond lac dans le secteur d'Abitibi sud-est, Province du Supérieur, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; [DP 2017-08](#), 15 pages, 16 plans, données numériques.
- SOLGADI, F., 2017b. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond lac dans le secteur du lac Assinica, Province du Supérieur, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; [DP 2017-07](#), 15 pages, 18 plans, données numériques.
- SOLGADI, F., 2017c. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond lac dans le secteur de Mistassini nord, Province du Supérieur, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; [DP 2017-09](#), 15 pages, 16 plans, données numériques.
- SOLGADI, F., 2018. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond lac dans la partie sud de la Province de Grenville, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; [DP 2018-03](#), 15 pages, 16 plans, données numériques.
- SOLGADI, F., 2022. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur Mistassini Ouest, Province du Supérieur. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; [DP 2022-01](#), 19 pages, 17 plans, données numériques.
- TARAŠKEVIČIUS, R., ZINKUTE, R., STAKENIENE, R., RADA VIČIUS, M., 2013. Case study of the relationship between aqua regia and real total contents of harmful trace elements in some European soils. Journal of Chemistry; volume 2013, pages 12–17. [doi](#)
- TRÉPANIÉ, S., 2006 — Identification de domaines géochimiques à partir des levés régionaux de sédiments de fond de lacs — Phase 2. CONSOREM; projet 2005-03, 74 pages.
- TRÉPANIÉ, S., 2007. Identification de domaines géochimiques à partir des levés régionaux de sédiments de fond de lacs. CONSOREM, rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; MB 2023-12, 95 pages.

TABLEAU 1 - Liste des levés utilisés pour le nivellement			
Numéro de projet	Année du levé	Levé nivelé	Rapports (références)
1957001-73	1973	oui	GM 34042 (Gleeson, 1974); DP-99-02 (Leduc, 1999); pas de rapport de réanalyse
1957001-74	1974	oui	GM 34044 (Pride, 1974); DP-99-02 (Leduc, 1999); pas de rapport de réanalyse
1957001-75a	1975	oui	GM 34035 (Otis, 1975); GM 34036 (Cannuli, 1975); DP-99-02 (Leduc, 1999); pas de rapport de réanalyse
1957001-75b	1975	oui	GM 34036 (Cannuli, 1975); DP-99-02 (Leduc, 1999); pas de rapport de réanalyse
1957001-76a	1976	oui	GM 34170 (Picard, 1977); DP-99-02 (Leduc, 1999); pas de rapport de réanalyse
1957001-76b	1976	oui	GM 34169 (Otis, 1976); DP-99-02 (Leduc, 1999); pas de rapport de réanalyse
1957001-78	1978	oui	GM 38181 (Picard, 1978); DP-99-02 (Leduc, 1999); pas de rapport de réanalyse
1976020	1976	oui	DP 553 (Cockburn, 1978)
1977503	1977	oui	MB 86-81 (Choinière, 1987)
1982055	1982	oui	DP 82-16 (Beaumier, 1982); DP 83-18 (Beaumier, 1983); PRO 2009-09 (Maurice et Labbé, 2009)
1983055	1983	oui	DP 84-43 (Beaumier, 1984); DP 86-22 (Beaumier, 1985); PRO 2009-09 (Maurice et Labbé, 2009)
1983050	1983	oui	DP 86-23 (Beaumier, 1986a); PRO 2009-09 (Maurice et Labbé, 2009)
1983058	1983	oui	DP 85-18 (Pelletier 1986); MB 2009-13 (Hurtubise, 2009)
1983059	1983-1984	oui	MB 86-50 (Beaumier, 1986b); MB 87-32 (Beaumier, 1987b); PRO 2009-09 (Maurice et Labbé, 2009)
1984059	1984	oui	DP 86-26 (Beaumier, 1988b); DP 87-14 (Beaumier, 1987a); PRO 2009-09 (Maurice et Labbé, 2009)
1987050	1987	oui	MB 88-38 (Beaumier, 1988a); MB 89-33 (Beaumier, 1989c); MB 2011-05 (Hurtubise, 2011)
1987200	1987	oui	-
1988050	1988	oui	MB 89-19 (Beaumier, 1989b); MB 89-46 (Beaumier, 1989a); MB 2009-13 (Hurtubise, 2009)
1989050	1989	oui	MB 90-33 (Beaumier, 1992); MB 94-11 (Kirouac et Beaumier, 1994); MB 2009-13 (Hurtubise, 2009)
1994721	1994	oui	MB 96-42 (Lalonde, 1997)
1995004	1995	oui	MB 96-22 (Beaumier et Kirouac, 1996b); MB 96-23 (Beaumier et Kirouac, 1996a)
1996393	1996	oui	-
1997520	1997	oui	DP 98-01 (MRN, 1998), PRO 2009-09 (Maurice et Labbé, 2009)
1998003	1998	oui	-
2003174	2003	oui	PRO 2005-03 (Beaumier et Leduc, 2005); MB 2009-13 (Hurtubise, 2009)
2007001	2007	oui	PRO 2008-07 (Labbé et Moukhsil, 2008)
2008082	2008	oui	PRO 2009-03 (Labbé, 2009)
08CPDM	2008	oui	PRO 2010-01 (Morin <i>et al.</i> , 2010)
840503	2009	oui	
2009503	2009	oui	
09CPDM	2009	oui	
2010511	2010	oui	PRO 2011-01 (Labbé, 2011)
2010503	2010	oui	MB 2011-05 (Hurtubise, 2011)
2011523	2011	oui	PRO 2012-03 (Maurice et Lamothe, 2011)
12511-A	2012	oui	DP 2018-03 (Solgadi, 2018)
12511-B	2012	oui	
13529A	2013	oui	DP 2017-08 (Solgadi, 2017a)
13529B	2013	oui	DP 2017-09 (Solgadi, 2017c)
2015AS	2015	oui	DP 2017-07 (Solgadi, 2017b)
2020MI	2020	non	DP 2022-01 (Solgadi, 2022)
2021FR	2021	non	RP 2023-01 (Lamarche et Solgadi, 2023)
2021EA	2021	non	RP 2023-02 (Lamarche, 2023a)
2022CA	2022	non	RP 2023-05 (Lamarche, 2023b)
2022CM	2022	non	RP 2023-04 (Lamarche, 2023c)

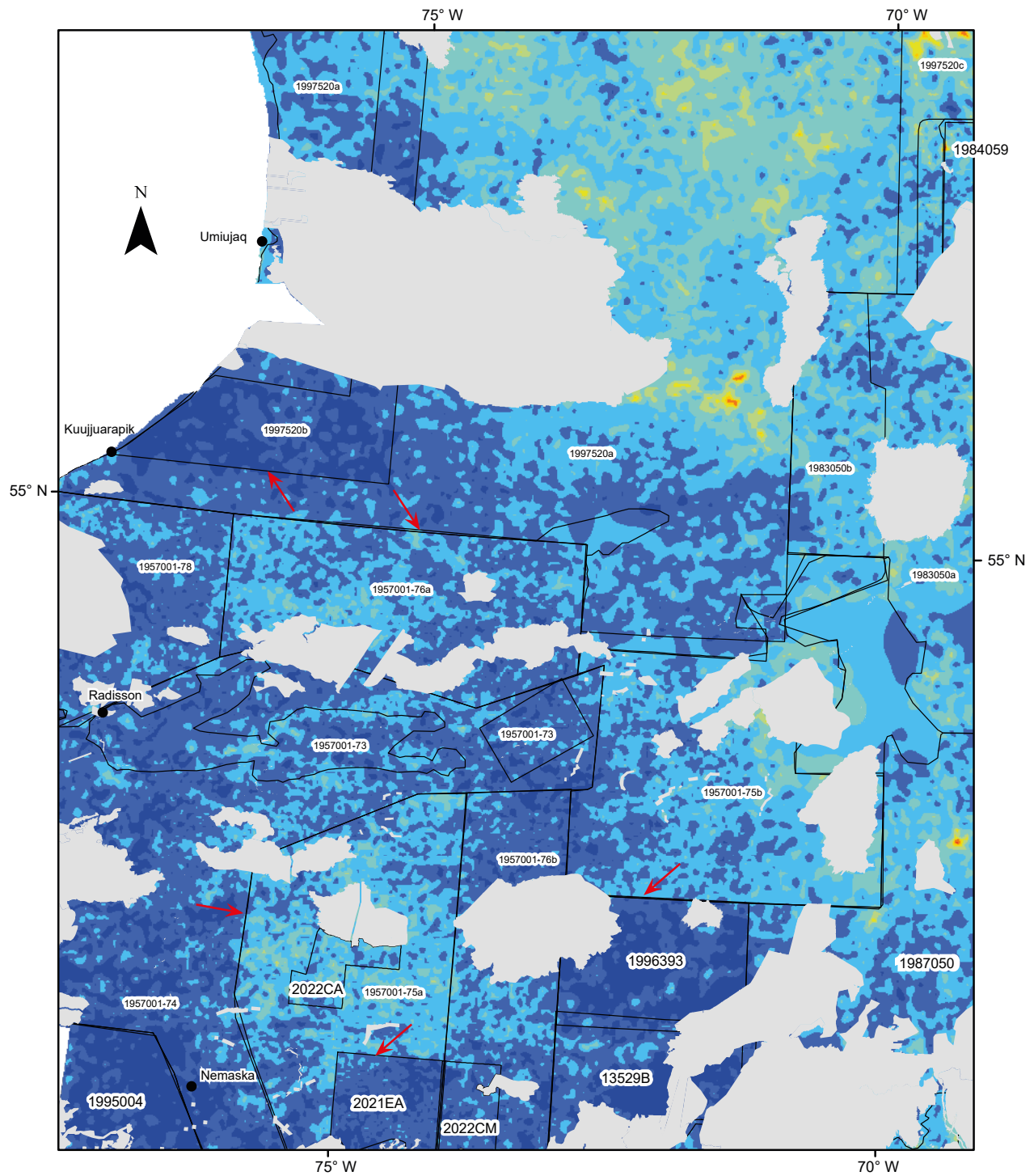
TABLEAU 2 - Paramètres utilisés pour le nivellement en cascade des données					
Élément nivelé	Taux de nivellement	Nombre de cycle	Incrément percentile	Percentile minimal utilisé	Percentile maximal utilisé
As	0,58	3	0,03	0,04	0,96
Cu	0,6	3	0,03	0,03	0,97
Ni	0,5	3	0,03	0,04	0,96
Zn	0,5	2	0,03	0,05	0,95

TABLEAU 3 - Paramètres utilisés pour le nivellement préalable de certains levés à problème

Identifiant du nivellement	Élément nivelé	Levé ou sous-levé nivelé	Échantillons à niveler	Échantillons de référence pour le nivellement	Taux de nivellement	Nombre de cycle	Incrément percentile	Percentile minimal utilisé	Percentile maximal utilisé
1	As	1957001-73	As analysé uniquement par absorption atomique	As réanalysé uniquement par activation neutronique	0,5	2	0,03	0,05	0,95
2	As	1957001-73	As nivelé No 1 + As réanalysé uniquement par activation neutronique	As réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
3	As	1957001-74	As analysé uniquement par absorption atomique	As réanalysé uniquement par activation neutronique	0,5	2	0,03	0,05	0,95
4	As	1957001-74	As nivelé No 2 + As réanalysé uniquement par activation neutronique	As réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
5	As	1957001-75a	As analysé uniquement par absorption atomique	As réanalysé uniquement par activation neutronique	0,5	2	0,05	0,05	0,95
6	As	1957001-75a	As nivelé No 3 + As réanalysé uniquement par activation neutronique	As réanalysé par ICP	0,5	3	0,02	0,75	0,95
7	As	1957001-75b	As analysé uniquement par absorption atomique	As réanalysé uniquement par activation neutronique	0,5	3	0,05	0,05	0,95
8	As	1957001-75b	As nivelé No 4 + As réanalysé uniquement par activation neutronique	As réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
9	As	1957001-76a	As analysé uniquement par activation neutronique	As réanalysé par ICP	0,5	4	0,05	0,05	0,95
10	As	1957001-76b	As analysé uniquement par activation neutronique	As réanalysé en ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
11	As	1957001-78	As analysé uniquement par activation neutronique	As réanalysé en 2010 par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
12	As	1987050a	As réanalysé en 2007 par ICP du 1987050a	As analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9
13	As	1988050a	As réanalysé par 2007 par ICP du 1988050a	As analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9
14	Cu	1957001-73	Cu analysé uniquement par absorption atomique	Cu réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
15	Cu	1957001-74	Cu analysé uniquement par absorption atomique	Cu réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
16	Cu	1957001-75a	Cu analysé uniquement par absorption atomique	Cu réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
17	Cu	1957001-75b	Cu analysé uniquement par absorption atomique	Cu réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
18	Cu	1957001-76a	Cu analysé uniquement par absorption atomique	Cu réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,85
19	Cu	1957001-76b	Cu analysé uniquement par absorption atomique	Cu réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
20	Cu	1957001-78	Cu analysé uniquement par absorption atomique	Cu réanalysé par ICP	0,5	2	0,05	0,1	0,9
21	Cu	1987050a	Cu réanalysé en 2007 du 1987050a	Cu analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9

TABLEAU 3 - Paramètres utilisés pour le nivellement préalable de certains levés à problème (suite)

Identifiant du nivellement	Élément nivelé	Levé ou sous-levé nivelé	Échantillons à niveler	Échantillons de référence pour le nivellement	Taux de nivellement	Nombre de cycle	Incrément percentile	Percentile minimal utilisé	Percentile maximal utilisé
22	Cu	1988050a	Cu réanalysé en 2007 du 1988050a	Cu analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9
23	Ni	1957001-73	Ni analysé uniquement par absorption atomique	Ni réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
24	Ni	1957001-74	Ni analysé uniquement par absorption atomique	Ni réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
25	Ni	1957001-75a	Ni analysé uniquement par absorption atomique	Ni réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
26	Ni	1957001-75b	Ni analysé uniquement par absorption atomique	Ni réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
27	Ni	1957001-76a	Ni analysé uniquement par absorption atomique	Ni réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
28	Ni	1957001-76b	Ni analysé uniquement par absorption atomique	Ni réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
29	Ni	1957001-78	Ni analysé uniquement par absorption atomique	Ni réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
30	Ni	1987050a	Ni réanalysé en 2007 du 1987050a	Ni analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9
31	Ni	1988050a	Ni réanalysé en 2007 du 1988050a	Ni analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9
32	Zn	1957001-73	Zn analysé uniquement par absorption atomique	Zn réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
33	Zn	1957001-74	Zn analysé uniquement par absorption atomique	Zn réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
34	Zn	1957001-75a	Zn analysé uniquement par absorption atomique	Zn réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
35	Zn	1957001-75b	Zn analysé uniquement par absorption atomique	Zn réanalysé par ICP	0,5	3	0,03	0,05	0,95
36	Zn	1957001-76a	Zn analysé uniquement par absorption atomique	Zn réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
37	Zn	1957001-76b	Zn analysé uniquement par absorption atomique	Zn réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
38	Zn	1957001-78	Zn analysé uniquement par absorption atomique	Zn réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
39	Zn	1987050a	Zn réanalysé en 2007 du 1987050a	Zn analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9
40	Zn	1988050a	Zn réanalysé en 2007 du 1988050a	Zn analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9



Légende

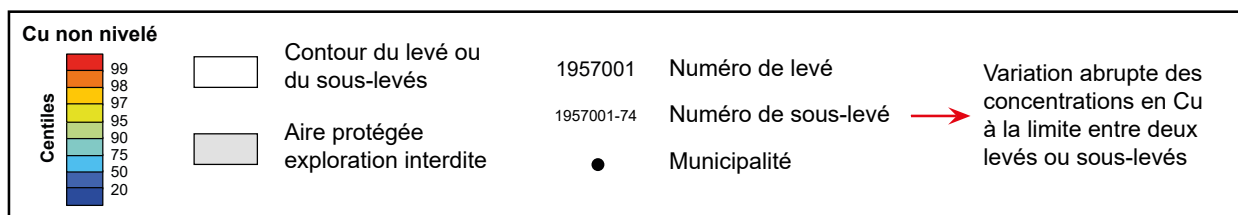


FIGURE 1 – Interpolation spatiale par la méthode des voisins naturels des centiles des concentrations en cuivre (non nivelées) dans les sédiments de fond de lac de la région d’Eeyou Istchee Baie-James. Notez les variations subites de concentration en Cu entre les levés ou sous-levés, indiquant qu’un nivellement des données est nécessaire.

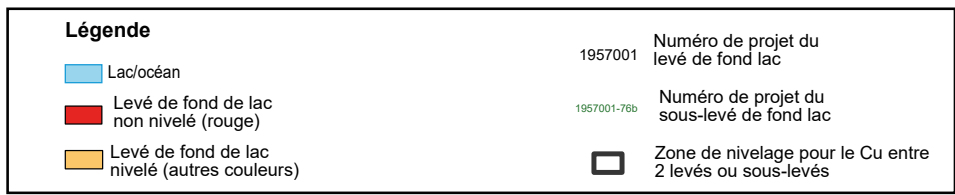
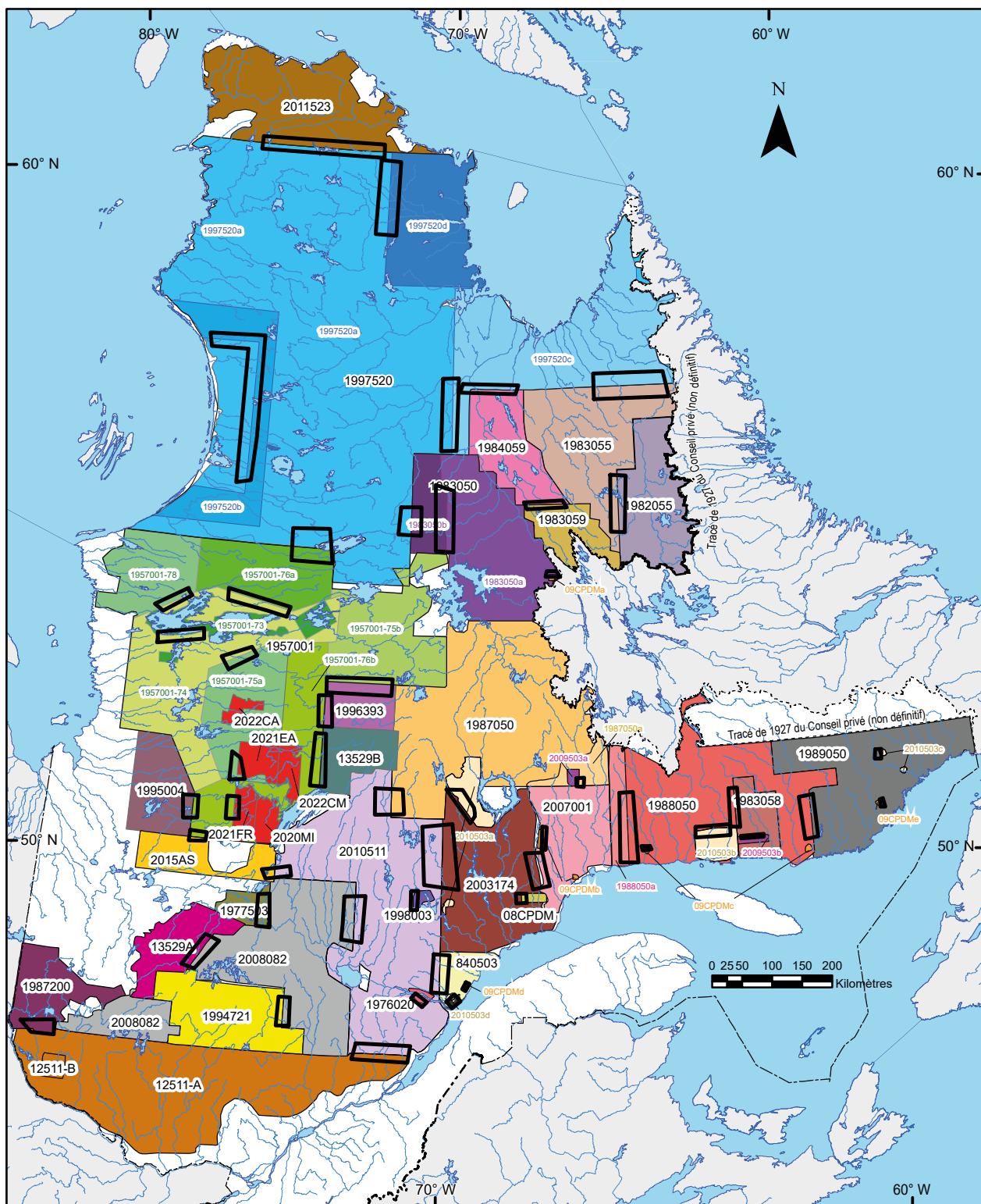


FIGURE 2 – Carte des différents levés et sous-levés utilisés pour la création des cartes nivelées. Les bandes de nivellement pour le Cu sont indiquées. Les levés en rouge correspondent aux levés de haute densité à partir desquels le nivellement en cascade a été effectué.

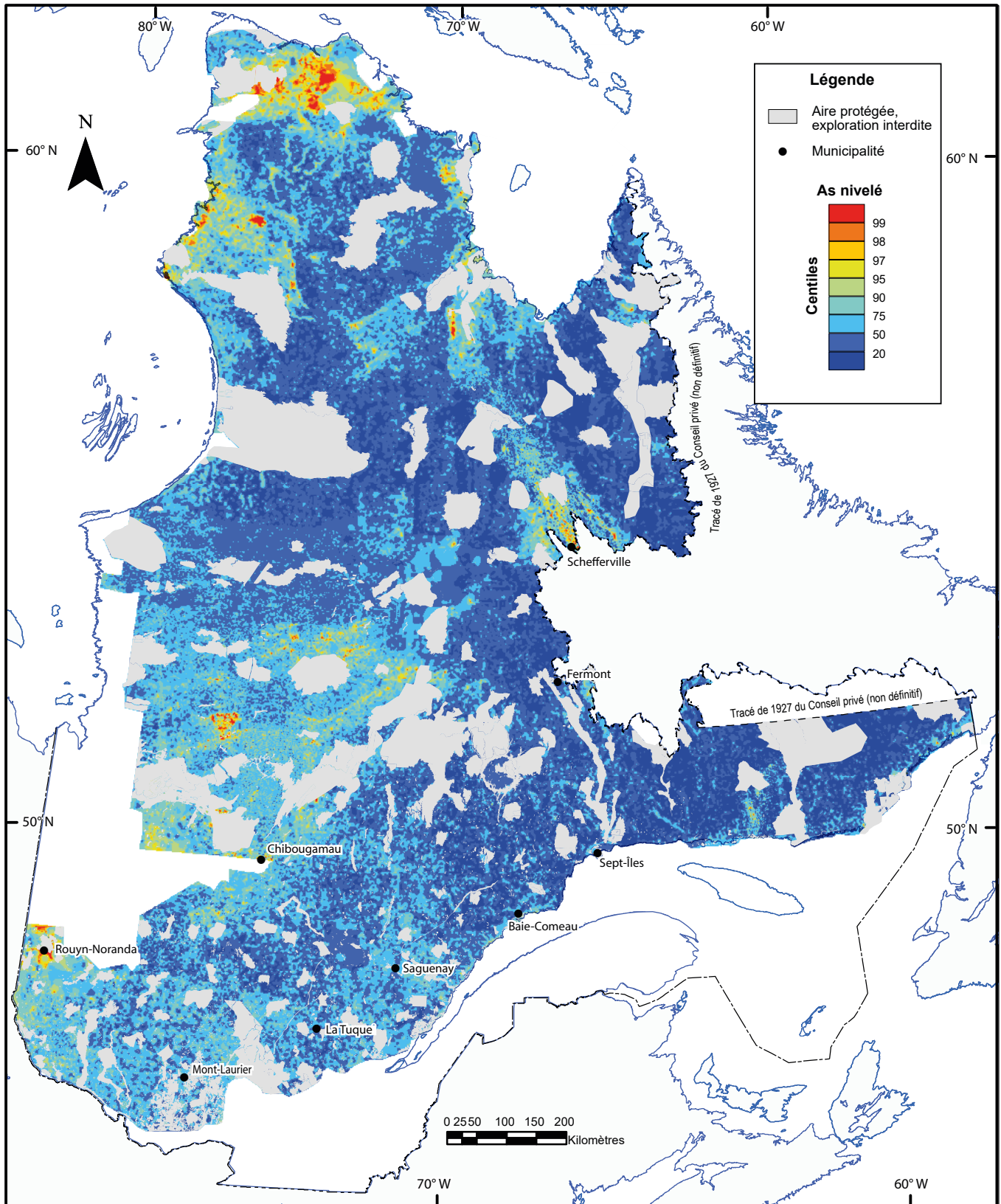


FIGURE 3 – Interpolation spatiale par la méthode des voisins naturels des centiles des concentrations en arsenic dans les sédiments de fond lac nivelé.

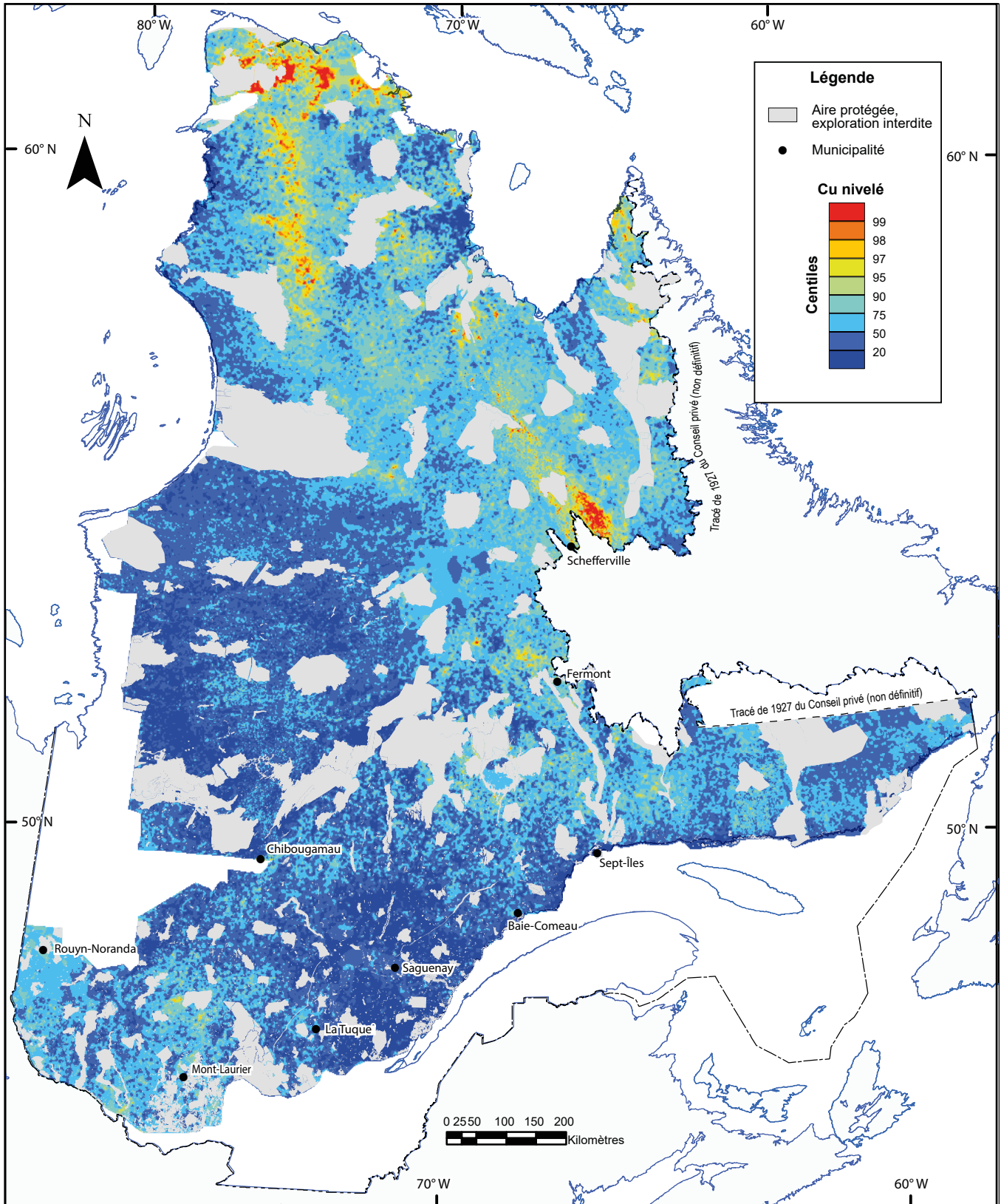


FIGURE 4 – Interpolation spatiale par la méthode des voisins naturels des centiles des concentrations en cuivre dans les sédiments de fond lac nivelé.

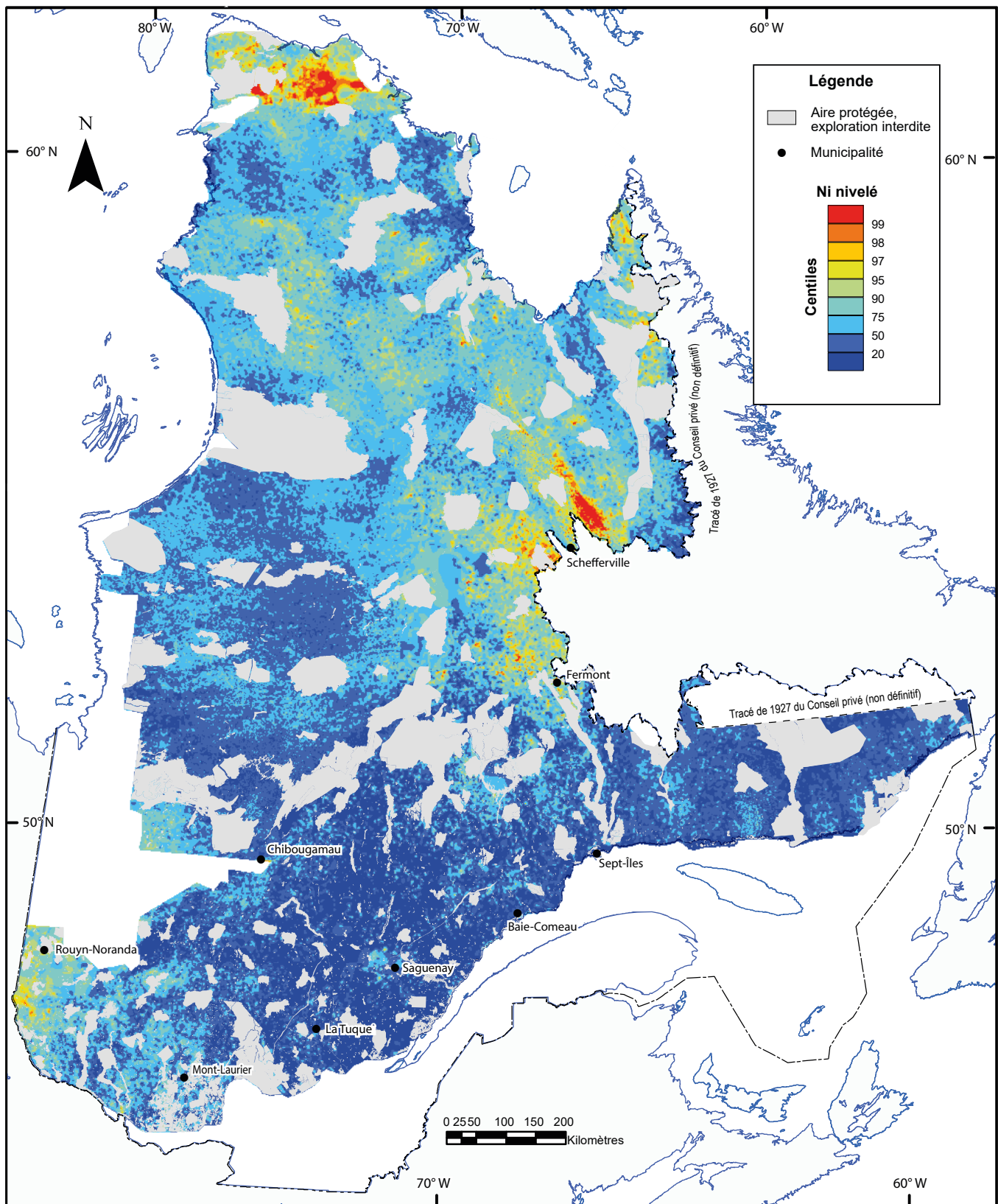


FIGURE 5 – Interpolation spatiale par la méthode des voisins naturels des centiles des concentrations en nickel dans les sédiments de fond lac nivelé.

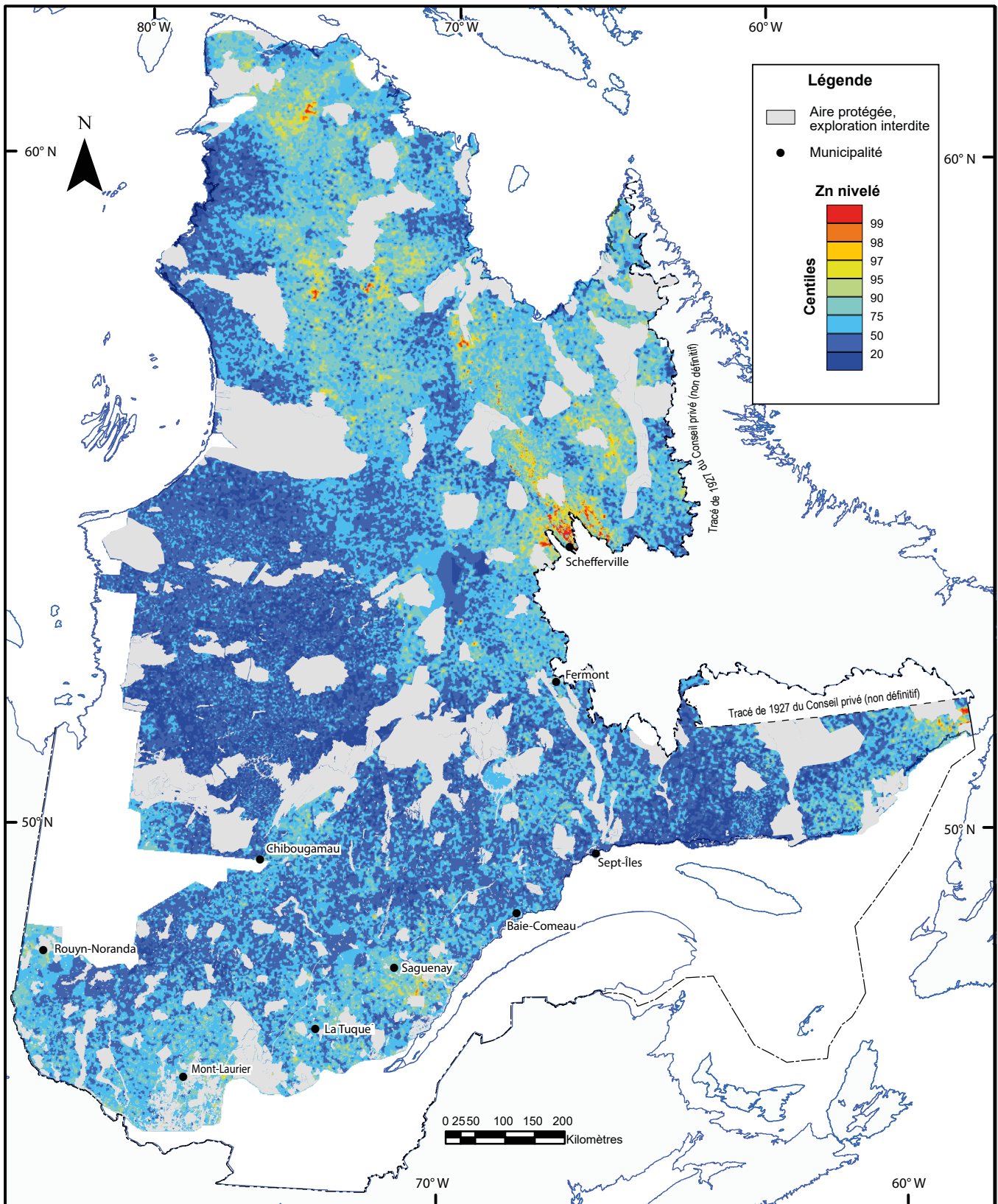


FIGURE 6 – Interpolation spatiale par la méthode des voisins naturels des centiles des concentrations en zinc dans les sédiments de fond lac nivelé.

