



Cartes géochimiques nivelées (Ag, Co, La et Mo) des sédiments de fond de lac du Québec

RP 2026-01



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 (Ag, Co, La et Mo) des sédiments de fond de lac du Québec

Fabien Solgadi (MRNF)

RP 2026-01

Résumé

Ce rapport présente les résultats d'une compilation visant à regrouper plusieurs levés géochimiques de sédiments de fond de lac afin de créer des cartes nivelées pour certains éléments métalliques (Ag, Co, La et Mo) couvrant une bonne partie du Bouclier canadien au Québec. Les échantillons utilisés pour cet exercice ont été collectés entre 1973 et 2023 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 employées pour mesurer les concentrations élémentaires des échantillons utilisés pour le nivellement sont comparables ou identiques, selon le cas. Ce projet fait suite à une précédente compilation du même type pour d'autres éléments (As, Cu, Ni, Zn; Solgadi, 2024).

TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	3
INTRODUCTION.....	5
DONNÉES UTILISÉES	5
Méthodes d'échantillonnage	5
Méthodes d'analyse.....	5
Analyses utilisées	5
TRAITEMENT DES DONNÉES	5
Subdivision de levés	5
Regroupement de certains levés	6
Nivellements préalables.....	6
Traitement de nivellement	6
Traitement particulier pour l'argent.....	6
Traitement particulier pour le cobalt	7
Traitement particulier pour le lanthane.....	7
Traitement particulier pour le molybdène.....	7
Traitement commun aux différents éléments	7
Création des cartes nivelées.....	8
MISE EN GARDE	8
CONCLUSION	8
RÉFÉRENCES	9

INTRODUCTION

Le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) 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 difficile de comparer les résultats de ces 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 des levés adjacents (Solgadi, 2024).

Le présent document constitue la suite d'un rapport du même type (Solgadi, 2024) où étaient présentées des cartes nivelées de sédiment de fond de lac pour l'arsenic, le cuivre, le nickel et le zinc. Dans le cadre de ce travail, des cartes nivelées ont été produites pour l'argent, le cobalt, le lanthane et le molybdène. Trente-neuf levés (38 levés gouvernementaux et 1 levé regroupant 7 levés de la SDBJ) ont été sélectionnés pour créer des cartes nivelées couvrant environ 1 288 000 km² (environ 72 % du territoire québécois). Au total, ces levés représentent 151 722 échantillons. La figure 1 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* situé à Ancaster en Ontario en utilisant la même suite analytique. À partir de 2020, des levés de haute densité (un échantillon par 1,5 km²) ont été réalisés par le Ministère en Eeyou Istchee Baie-James (Solgadi, 2022, Lamarche et Solgadi, 2023, Lamarche, 2023a, 2023b, 2023c, 2024a et 2024b). Pour la plupart, ces levés récents de haute densité (2020 à 2023) n'ont pas été nivelés entre eux et ont servi de point de départ pour les nivellements subséquents. Seul le levé de la rivière au Castor (Lamarche, 2024b) a été nivelé, car il est situé à l'écart des autres levés récents.

DONNÉES UTILISÉES

Méthodes d'échantillonnage

Les techniques d'analyse ont varié au fil du temps, mais les méthodes de prélèvement et de préparation des échantillons sont demeurées à peu près constantes. Les échantillons ont pour la majorité été récoltés à partir d'un hélicoptère sur flotteurs en utilisant 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 dans de l'eau régale et analysée pour 64 éléments par spectrométrie de masse à couplage inductif (ICP-MS). La dissolution à l'eau régale a l'avantage de préserver certains éléments (As, Sb, Hg, Se, Te, Tl) qui seraient volatilisés par d'autres méthodes (4 acides ou fusion; 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).

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

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

Analyses utilisées

Comme les techniques analytiques évoluent, 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 ou le budget disponible). 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 avaient été échantillonnés en plusieurs étapes, soit à cause de campagnes de réanalyse étalées sur plusieurs années.

Le levé 1957001 (numérotation du SIGÉOM; Gleeson, 1974; Pride, 1974; Cannuli, 1975; Otis, 1975 et 1976; Picard, 1977 et 1978) 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 1, 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 (Morin *et al.*, 2010) et 2010503 (Hurtubise, 2011) regroupent plusieurs levés détachés de faible superficie, mais de plus haute densité, effectués dans les années 2009 et 2010. Le regroupement en sous-levés a été réalisé en fonction de la répartition géographique des levés initiaux. Par exemple, le levé 09CPDM a d'abord été scindé en sept secteurs. Les secteurs englobés dans un même levé régional ont été regroupés dans un même sous-levé. Ainsi, le sous-levé 09CPDMb comprend deux petits secteurs géographiquement distincts qui sont enclavés dans le levé 2007001 (Labbé et Moukhsil, 2008). De même, les deux secteurs séparés du sous-levé 09CPDMc sont inclus dans l'aire du levé 1988050 (Beaumier, 1989b).

Dans le cas du levé 1997520 (MRN, 1998), une partie des échantillons prélevés en 1997 ont été réanalysés durant les années subséquentes :

- Le sous-levé 1997520a comprend les échantillons réanalysés pour 53 éléments en 2012 (*Activation 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 les stocks étaient épuisés (Maurice, 2012).

Dans le cas du levé 1983050 (Beaumier, 1986a), les échantillons de la partie orientale du levé, 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.

Regroupement 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 (Beaumier, 1988a) et 1988050 (Beaumier, 1989b) 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 prénivelés avec le levé 2007001 et ont été combinés avec ce dernier avant le nivellement final en cascade.

Les levés de haute densité effectués à partir de 2020 ont été comparés. Ils ne présentaient pas de variation importante de valeurs dans les zones de recoupement entre chaque levé pour les éléments choisis. Le levé de la rivière au Castor (2023RC; Lamarche, 2024b) montrait cependant des teneurs notablement différentes des autres levés. Cela est probablement dû à la présence de lithologies sous-jacentes significativement différentes. Pour cette raison et comme il n'est pas adjacent aux autres levés du même type, il n'a pas été retenu dans le bloc de départ du nivellement. Les autres levés de haute densité effectués à partir de 2020 ont été regroupés et constituent le bloc initial à partir duquel 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 la majorité des sous-levés inclus dans le levé 1957001, des levés 1988050 et 1983058 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 2. La technique de nivellement est 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 Ag, Co, La et Mo ont généralement été analysés. 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. Malgré tout, un traitement particulier a dû être effectué lorsque la limite de détection était trop élevée. L'approche utilisée est décrite en fonction de l'élément à niveler dans les paragraphes suivants.

Traitement particulier pour l'argent

Une limite de détection supérieure à 0,1 ppm de certaines analyses est jugée trop élevée, ce qui a posé des problèmes. En effet, même en remplaçant les valeurs situées sous cette limite par celles correspondant à la moitié de celle-ci, les teneurs en argent restaient très élevées et engendraient de fausses anomalies. Le problème est particulièrement criant pour les levés 1976020 (Cockburn, 1978), 1996393 et 1998003, ainsi que les sous-levés 1997520b et 1997520d.

Les données pour l'argent de ces levés ont donc été entièrement retranchées du fichier, car le faible nombre de données au-dessus de cette limite était insuffisant pour obtenir une bonne interpolation. Cette suppression explique l'absence de résultat dans les secteurs correspondant à ces levés sur la figure 2. De même, une partie des échantillons des levés 1988050 (395 échantillons) et 1983058 (140 échantillons) n'ont pas été réanalysés en 2008. Ces échantillons présentent presque tous des valeurs en argent correspondant à la limite de détection élevée de 0,4 ppm et ont donc été supprimés du fichier, car ils engendraient de fausses anomalies.

Traitement particulier pour le cobalt

Parmi les levés sélectionnés pour ce travail, 1377 échantillons non analysés pour le Co ont dû être supprimés avant le nivellement. Ainsi, les échantillons du levé 1987200 n'ont pas été analysés pour le Co, ce qui explique pourquoi les résultats de ce levé n'apparaissent pas sur la carte de nivellement (figure 3).

Comme dans le cas de l'argent, 395 échantillons du levé 1988050 et 140 du levé 1983058 n'ont pas été réanalysés en 2008. Parmi ces échantillons, ceux avec des valeurs trop proches de la limite de détection (< 5 ppm) ont donc été supprimés du fichier, car ils engendraient de fausses anomalies. Un nivellement préalable des analyses restantes a donc été nécessaire avant de pouvoir les utiliser. La description des paramètres utilisés pour ce nivellement est décrite au tableau 2.

Traitement particulier pour le lanthane

Un total de 8232 échantillons non analysés pour le lanthane ont été supprimés du fichier avant le traitement. C'est le cas des levés 1987200, 1977503 (Choinière, 1987) et 1976020, ce qui explique que la carte de nivellement (figure 4) ne présente pas de résultat pour ces secteurs. De plus, une partie des échantillons du levé 1957001 n'ont pas été analysés pour le La à l'origine et n'ont pas fait l'objet de réanalyse en 2010. En général, les échantillons analysés pour cet élément dans le levé 1957001 sont en quantité suffisante pour pouvoir les utiliser sans problème pour l'interpolation. Malgré tout, dans de rares cas et en particulier pour de petites parties du sous-levé 1957001-74 (Pride, 1974), la densité de points est plus faible.

Comme mentionné précédemment, certains échantillons du levé 1988050 n'ont pas été réanalysés en 2008. Un nivellement préalable des analyses originales a donc été nécessaire avant de pouvoir les utiliser. Les paramètres utilisés pour ce nivellement sont indiqués au tableau 2.

Traitement particulier pour le molybdène

Les échantillons montrant des limites de détection élevées pour le Mo (3 ppm et plus) ont été supprimés du fichier. Les sous-levés 1997520b et 1997520d ainsi que le levé 1996393 sont affectés, mais la densité de points dans ces levés, même si elle est moindre, reste suffisante pour faire le nivellement et l'interpolation. Cependant, les données du levé 1998003 ont été supprimées au complet, car beaucoup trop d'échantillons se situaient sous la limite de détection (3 ppm).

Les échantillons non réanalysés des levés 1988050 et 1983058 présentaient presque tous des valeurs en molybdène avec des limites de détection élevées de 3 ou de 10 ppm. Tous les échantillons de ces levés ont donc été supprimés du fichier, car ils généraient de fausses anomalies.

Traitement commun aux différents éléments

Le nivellement des données a été effectué à l'aide 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) et utilise les échantillons localisés à l'intérieur d'une bande de nivellement chevauchant deux levés, dont l'un est à niveler. La localisation des bandes utilisées pour les éléments compilés est disponible 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 seuil donné fixé à l'avance sont ignorées par le logiciel (tableau 3).
3. De même, la bande ne devrait pas comporter trop de résultats inférieurs à la limite de détection. Il est possible de fixer dans le logiciel une valeur centile minimale pour chaque élément (tableau 3). Les valeurs inférieures à ce seuil dans la bande de nivellement sont 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 suffisamment étendu et 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 centiles des échantillons des deux levés séparément, les compare dans un graphique binaire et calcule une 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 présentés au tableau 3. Le logiciel permet aussi de faire du nivellement en cascade à partir d'un levé initial jugé plus fiable. Dans le cas présent, nous avons utilisé les levés de haute densité effectués de 2020 à 2023 (en rouge sur la figure 1) comme point de départ du nivellement en cascade. L'ordre du nivellement en cascade est présenté pour chaque élément traité sous la forme de fichiers PDF dans le dossier « Autres données numériques » de ce rapport.

Création des cartes nivelées

Les valeurs situées sous les limites de détection dans les bandes de nivellement (déterminées en fonction du seuil inférieur 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 2 à 5. 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

En comparant les cartes nivelées de l'Ag, du Co, du La et du Mo avec la localisation des indices de ces substances (non représentés sur les figures 2 à 5), il est possible de reconnaître une certaine association spatiale. Cela 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 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, la quantité d'échantillons présentant des analyses assez complètes pour appliquer cette méthode est assez limitée, ce qui rendrait les résultats très parcellaires et limiterait largement la qualité du traitement ou la superficie traitée.

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 (Ag, Co, La et Mo) qui se prêtaient le mieux à cet exercice, après les éléments déjà traités en 2024 (As, Cu, Ni, Zn; Solgadi, 2024). 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 Otneluk. 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 Otneluk. 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 Némiscou (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., 2024a. Levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur du lac Gochigami, Province du Supérieur. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [RP 2024-03](#), 36 pages, données numériques.
- LAMARCHE, O., 2024b. Levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur de la rivière au Castor, Province du Supérieur. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [RP 2024-02](#), 34 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.
- SOLGADI, F., 2024. Cartes géochimiques nivelées des sédiments de fond de lac du Québec. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [RP 2024-04](#), 19 pages, données numériques.
- TARAŠKEVIČIUS, R., ZINKUTE, R., STAKENIENE, R., RADAIVIČIUS, 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, rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; [CR 2006-01](#), 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; [CR 2007-05](#), 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 (Choiniere, 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, 1987a); PRO 2009-09 (Maurice et Labbé, 2009)
1984059	1984	oui	DP 86-26 (Beaumier, 1988b); DP 87-14 (Beaumier, 1987b); PRO 2009-09 (Maurice et Labbé, 2009)
1987050	1987	oui	MB 88-38 (Beaumier, 1988a); MB 89-33 (Beaumier, 1989c); MB 2011-06 (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)
2023GO	2023	non	RP 2024-03 (Lamarche, 2024a)
2023RC	2023	non	RP 2024-02 (Lamarche, 2024b)

TABLEAU 2 — Paramètres utilisés pour le nivellement préalable de certains levés à problème									
Identifiant du prénivellement	Élément nivelé	Levé ou sous-levé nivelé	Échantillons à niveler	Échantillons de référence pour le nivellement	Taux de nivellement	Nombre de cycle	Incrément centile	Centile minimal utilisé	Centile maximal utilisé
1	Ag	1957001-74	Ag analysé uniquement par absorption atomique	Ag réanalysé par ICP	0,5	6	0,05	0,1	0,9
2	Ag	1957001-78	Ag analysé uniquement par absorption atomique	Ag réanalysé par ICP	0,5	7	0,05	0,1	0,9
3	Ag	1987050a	Ag réanalysé en 2007 par ICP du 1987050a	Ag analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9
4	Ag	1988050a	Ag réanalysé en 2007 par ICP du 1988050a	Ag analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9
5	Co	1957001-73	Co analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
6	Co	1957001-74	Co analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
7	Co	1957001-75a	Co analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	4	0,05	0,1	0,9
8	Co	1957001-75b	Co analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	4	0,05	0,1	0,9
9	Co	1957001-76a	Co analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
10	Co	1957001-76b	Co analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	2	0,05	0,1	0,9
11	Co	1957001-78	Co analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	4	0,05	0,1	0,9
12	Co	1983058	Co analysé uniquement par émission de plasma	Co réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
13	Co	1988050	Co analysé uniquement par émission de plasma	Co réanalysé par ICP	0,5	2	0,05	0,1	0,9
14	Co	1987050a	Co réanalysé en 2007 par ICP du 1987050a	Co analysé par ICP du levé 2007001	0,5	2	0,03	0,15	0,85
15	Co	1988050a	Co réanalysé en 2007 par ICP du 1988050a	Co analysé par ICP du levé 2007001	0,5	2	0,03	0,15	0,85
16	La	1957001-73	La analysé uniquement par émission de plasma	La réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
17	La	1957001-74	La analysé uniquement par émission de plasma	La réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
18	La	1957001-75a	La analysé uniquement par émission de plasma	La réanalysé par ICP	0,5	2	0,05	0,1	0,9
19	La	1957001-75b	La analysé uniquement par émission de plasma	La réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
20	La	1957001-76b	La analysé uniquement par émission de plasma	La réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
21	La	1983058	La analysé uniquement par émission de plasma	La réanalysé par ICP	0,5	1	0,05	0,05	0,95

TABLEAU 2 — Paramètres utilisés pour le nivellement préalable de certains levés à problème (suite)									
Identifiant du prénivellement	Élément nivelé	Levé ou sous-levé nivelé	Échantillons à niveler	Échantillons de référence pour le nivellement	Taux de nivellement	Nombre de cycle	Incrément centile	Centile minimal utilisé	Centile maximal utilisé
22	La	1988050	La analysé uniquement par émission de plasma	La réanalysé par ICP	0,5	2	0,05	0,1	0,9
23	La	1987050a	La réanalysé en 2007 par ICP du 1987050a	La analysé par ICP du levé 2007001	0,5	2	0,05	0,1	0,9
24	La	1988050a	La réanalysé en 2007 par ICP du 1988050a	La analysé par ICP du levé 2007001	0,5	2	0,05	0,1	0,9
25	Mo	1957001-73	Mo analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
26	Mo	1957001-74	Mo analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
27	Mo	1957001-75a	Mo analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	2	0,05	0,1	0,9
28	Mo	1957001-75b	Mo analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
29	Mo	1957001-76a	Mo analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	2	0,05	0,1	0,9
30	Mo	1957001-76b	Mo analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
31	Mo	1957001-78	Mo analysé uniquement par absorption atomique	Co réanalysé par ICP	0,5	3	0,05	0,1	0,9
32	Mo	1987050a	Mo réanalysé en 2007 par ICP du 1987050a	Mo analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9
33	Mo	1988050a	Mo réanalysé en 2007 par ICP du 1988050a	Mo analysé par ICP du levé 2007001	0,5	3	0,05	0,1	0,9

TABLEAU 3 — Paramètres utilisés pour le nivellement en cascade des données					
Élément nivelé	Taux de nivellement	Nombre de cycle	Incrément centile	Centile minimal utilisé	Centile maximal utilisé
Ag	0,6	3	0,03	0,03	0,97
Co	0,5	2	0,03	0,05	0,95
La	0,55	2	0,03	0,1	0,9
Mo	0,6	2	0,03	0,03	0,97

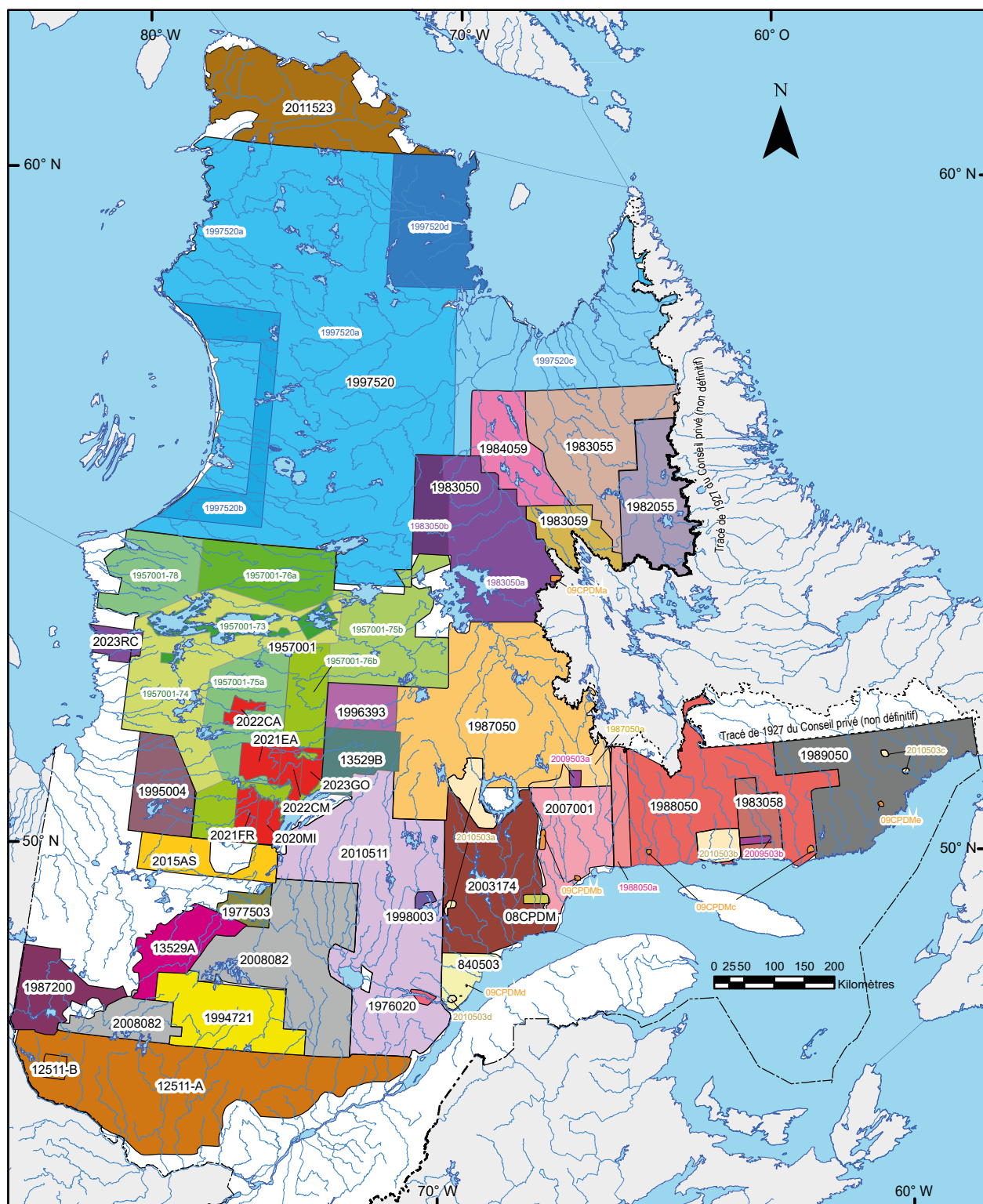


FIGURE 1 – Localisation des levés et sous-levés utilisés pour le projet. Les levés en rouge correspondent aux levés de haute densité à partir desquels le nivellement en cascade a été effectué.

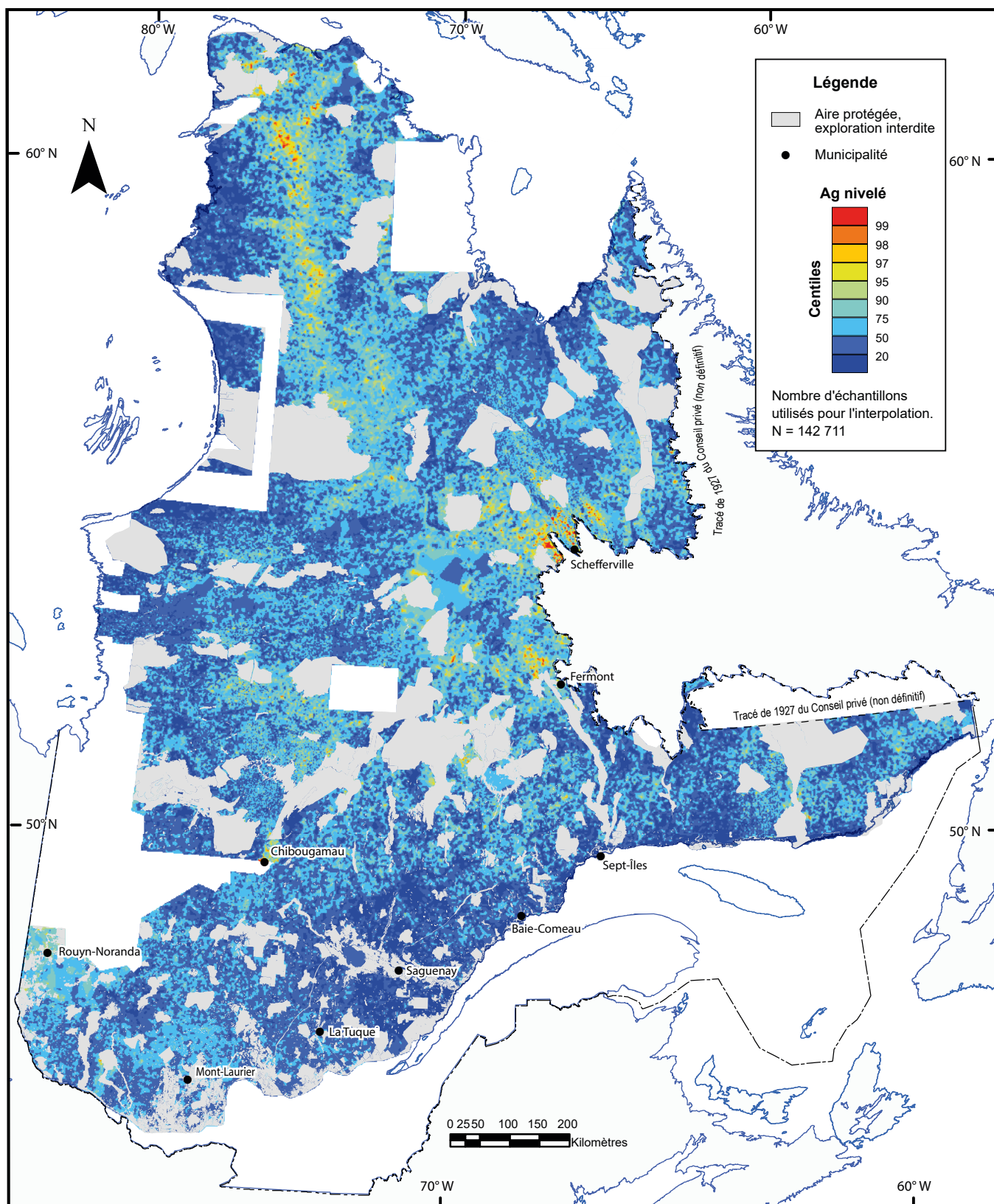


FIGURE 2 – Interpolation spatiale par la méthode des voisins naturels des centiles des valeurs nivelées en argent dans les sédiments de fond de lac.

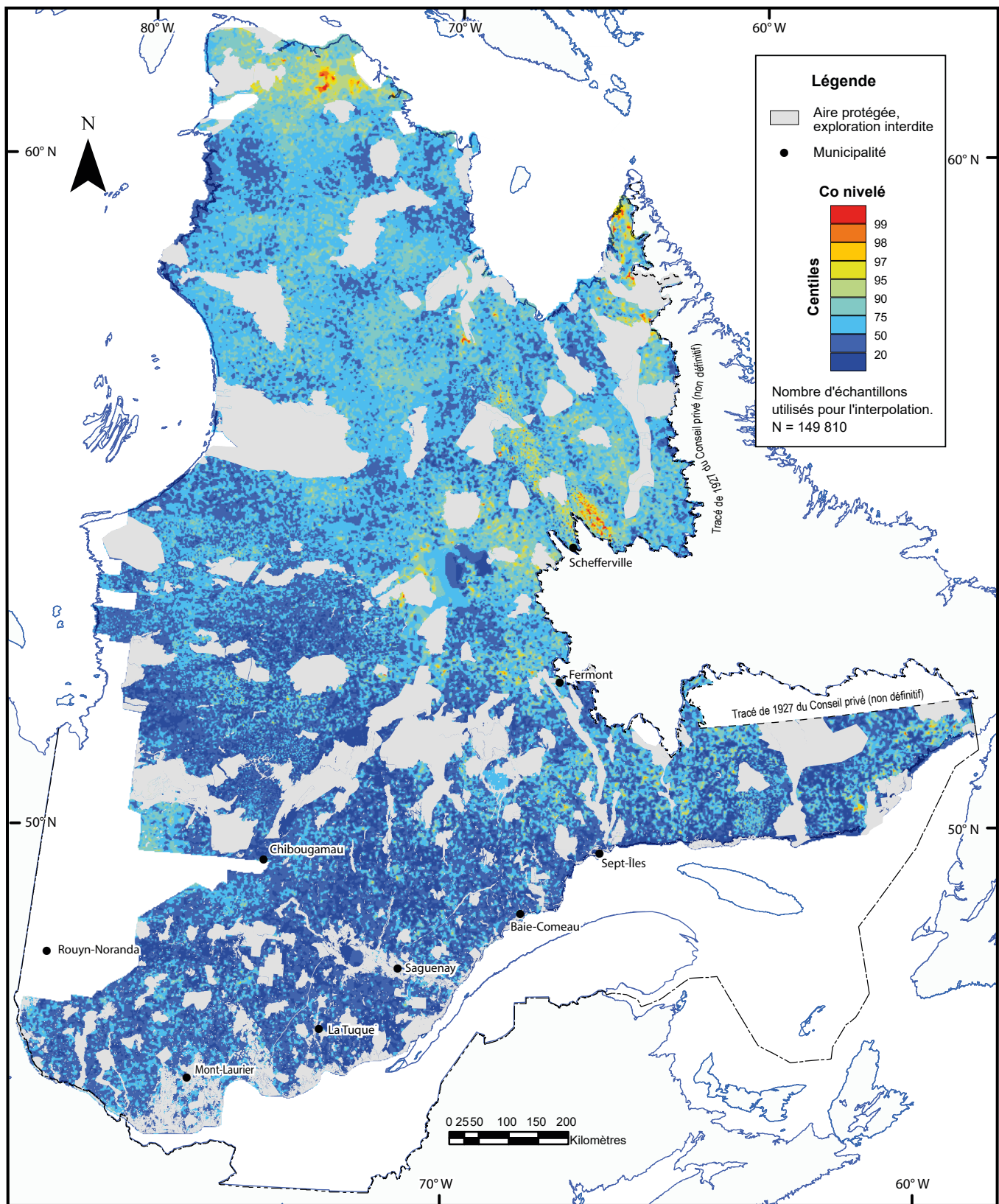


FIGURE 3 – Interpolation spatiale par la méthode des voisins naturels des centiles des valeurs nivelées en cobalt dans les sédiments de fond de lac.

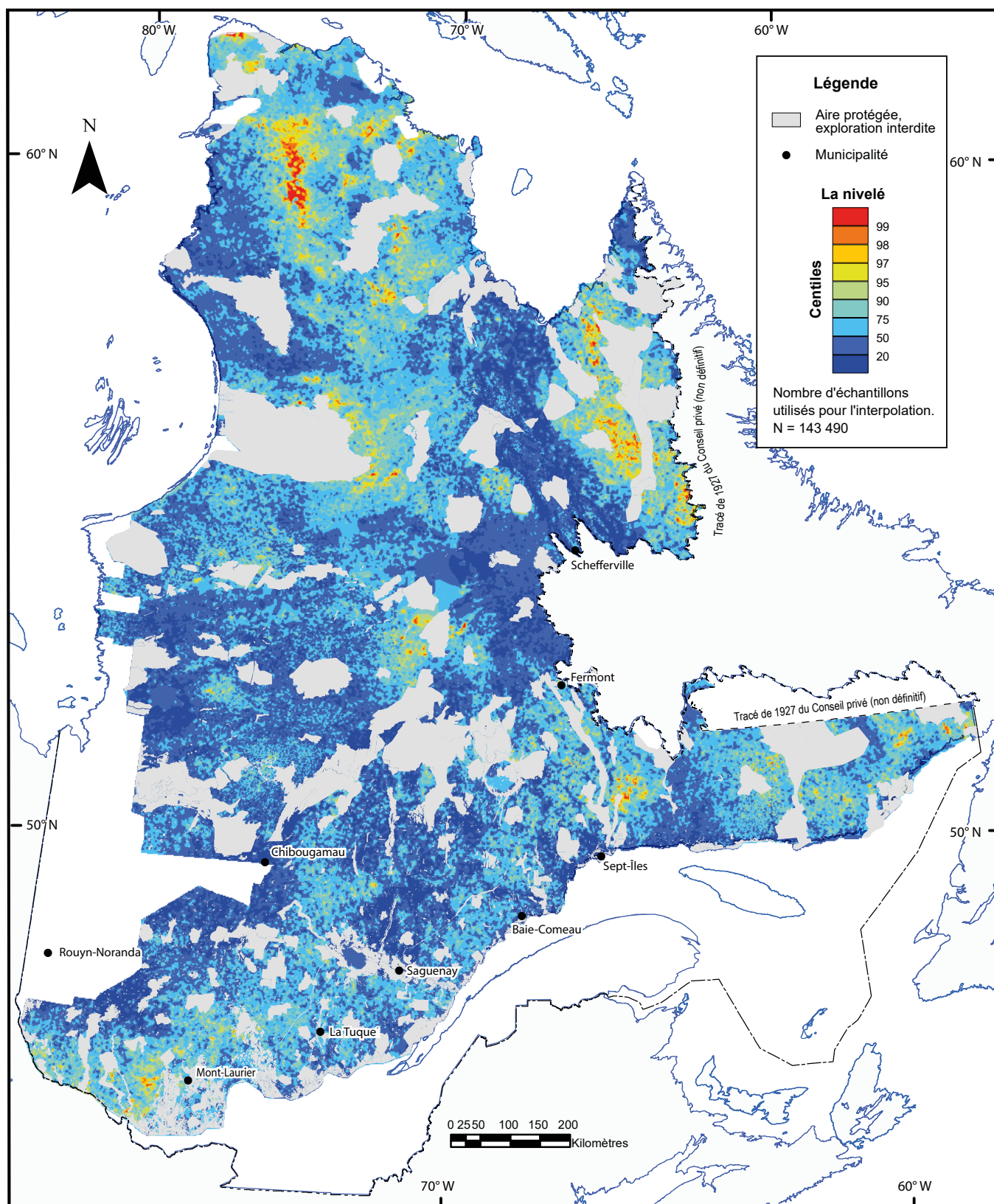


FIGURE 4 – Interpolation spatiale par la méthode des voisins naturels des centiles des valeurs nivelées en lanthane dans les sédiments de fond de lac.

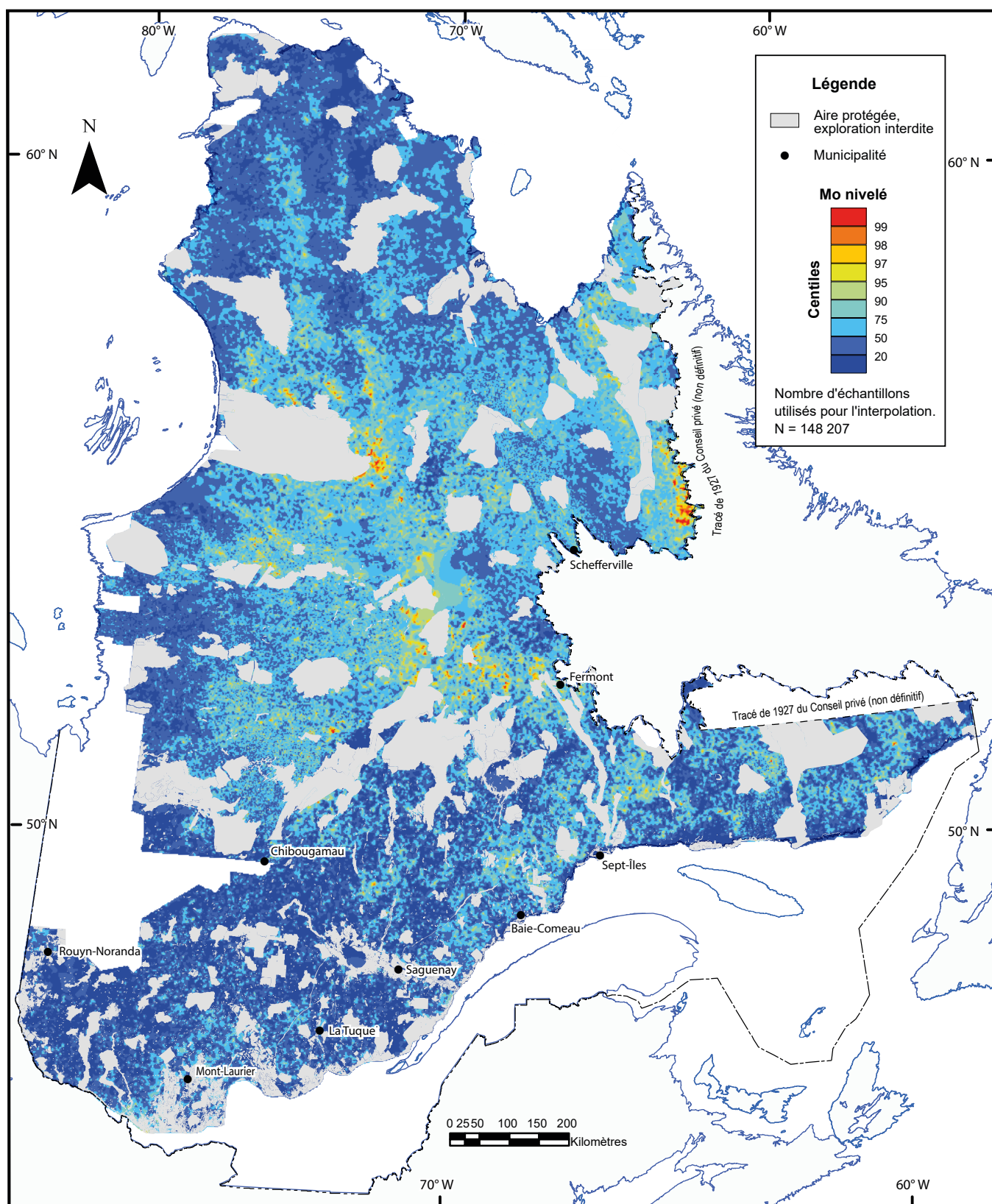


FIGURE 5 – Interpolation spatiale par la méthode des voisins naturels des centiles des valeurs nivelées en molybdène dans les sédiments de fond de lac.

