



Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur du lac Frotet, Province du Supérieur

RP 2023-01

Olivier Lamarche et Fabien Solgadi (MRNF)

Québec 

DOCUMENT PUBLIÉ PAR LA DIRECTION GÉNÉRALE DE GÉOLOGIE QUÉBEC

Direction générale

Marc Leblanc

Direction de l'acquisition des connaissances géoscientifiques

Andrea Amortegui

Direction de l'information géologique et de la promotion

Jean-Yves Labbé

Direction du soutien administratif, logistique et matériel

Robert Thériault

Lecture critique

James Moorhead, géo.

Auteurs

Olivier Lamarche, géo. et Fabien Solgadi, géo.

Édition

Claude Dion, ing.

Graphisme

André Tremblay

Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur du lac Frotet, Province du Supérieur

Olivier Lamarche et Fabien Solgadi (MRNF)

RP 2023-01

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	5
CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....	5
MÉTHODE DE TRAVAIL.....	5
CONTRÔLE DE QUALITÉ	5
Réanalyses pour l'or.....	6
Duplicatas.....	6
Comparaison avec les levés historiques.....	6
Zones de recoupement.....	7
TRAITEMENT DES DONNÉES	7
Interpolation des valeurs brutes.....	7
Régression spatiale multiple.....	7
Autres éléments.....	8
INTERPRÉTATION ET ZONES FAVORABLES.....	8
Bande volcanique de Frotet-Evans	8
Éléments de terres rares.....	8
Molybdène.....	8
Nickel.....	8
Éléments du groupe du platine	8
RÉFÉRENCES	9
TABLEAUX.....	10
FIGURES.....	13

INTRODUCTION

Le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles a réalisé à l'été 2021 un levé géochimique de sédiments de fond de lac de haute densité dans le secteur du lac Frotet de la région d'Eeyou Istchee Baie-James (feuilles SNRC 32J10, 32J15, 32O02 et 32O07). Ce levé d'une superficie d'environ 3000 km² a été exécuté par la firme Geo Data Solutions GDS Inc. entre le 6 août et le 15 septembre 2021. Il a permis la collecte de 2197 échantillons de sédiment (tableau 1). De ce total, 106 échantillons ont été dupliqués afin de tester la précision des méthodes d'échantillonnage et d'analyse. En retranchant ces doublons, la densité d'échantillonnage correspond à un échantillon par 1,5 km² (figure 1). Ce projet s'inscrit dans la lignée du levé de Mistassini Ouest (Solgadi, 2022) et vise à fournir des données géochimiques de haute densité dans la région de la Baie-James. Ces travaux devraient permettre d'identifier plus précisément les zones favorables à la présence de minéralisations que ne le permettraient les anciens levés de plus faible résolution couvrant ce secteur (densité d'échantillonnage d'un échantillon par 6 km²; Gleeson, 1976; SDBJ, 1976). Les résultats d'analyse devraient également être plus fiables, notamment pour l'or.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

D'un point de vue géologique (figure 2), le territoire couvert par ce levé se situe dans la Sous-province d'Opatoca de la Province du Supérieur. Le nord du secteur est caractérisé par un ensemble gneisso-plutonique d'âge archéen (granite, paragneiss, migmatite) typique de l'Opatoca. Cette région ne contient aucun indice minéralisé connu. Le sud du secteur est marqué par les unités volcano-sédimentaires de la Bande volcanique de Frotet-Evans (BVFE). Ces unités basaltiques et andésitiques sont recoupées par des intrusions granodioritiques et des filons-couches ultramafiques plus locaux. Plus de 100 zones minéralisées (Au, Ag, Be, Bi, Cu, EGP, Li, Mo, Ni, Nb, Ta et Zn) sont répertoriées dans la BVFE qui représente un métallotecte important à l'échelle régionale. Ce secteur comprend notamment la mine Troilus (Au-Cu ± Ag) exploitée entre 1997 et 2009 (Roy *et al.*, 2010).

La quasi-totalité des unités géologiques du substrat rocheux sont recouvertes par des sédiments glaciaires d'origine et d'épaisseur variées. Les tills de diverses natures dérivés du substrat rocheux sont les sédiments les plus abondants. Ils sont les résultats d'une érosion, d'un transport ou d'une dispersion selon des directions dictées par la dynamique glaciaire. La géochimie des sédiments de fond de lac est donc non seulement affectée par le réseau hydrologique, mais est également influencée par la dispersion glaciaire et, dans une moindre mesure, par d'autres processus (fluvio-glaciaires, éolien, remaniements glacio-littoraux, milieux humides, etc.). En raison de ces processus naturels, les

anomalies géochimiques identifiées par les levés de fond de lac sont généralement décalées par rapport aux indices minéralisés auxquels elles sont associées. Néanmoins, la géochimie de ces sédiments est généralement bien corrélée avec celle des grandes unités lithologiques

MÉTHODE DE TRAVAIL

Un hélicoptère sur flotteurs a été utilisé pour les travaux de terrain. L'échantillonnage des sédiments de fond de lac a été réalisé à l'aide d'une torpille en acier inoxydable dont l'extrémité était munie de clapets permettant de retenir le matériel lors de la remontée. Pour chaque échantillon, le pH a été mesuré dans les 24 h suivant la collecte de l'échantillon. La couleur à l'état humide du matériel recueilli a aussi été déterminée à cette étape à l'aide d'un nuancier de Munsell (échantillon humide). Cette évaluation a été reprise une fois le sédiment séché. Le rapport complet du prestataire de service est inclus dans le dossier « Autres données numériques » annexé à ce rapport.

Les analyses ont été réalisées en 2021 au laboratoire Activation Laboratories Ltd situé à Ancaster en Ontario. Les échantillons ont d'abord été séchés, broyés, homogénéisés et tamisés pour obtenir la fraction < 177 µm. Par la suite, des aliquotes de 0,5 g ont été analysées pour 64 éléments par spectrométrie de masse à couplage inductif (ICP-MS) après une dissolution à l'eau régale. Cette méthode a l'avantage de conserver certains éléments (Sb, Hg, Se, Te, Tl) qui auraient pu se volatiliser à la suite d'autres types d'attaque (4 acides ou fusion; Hu et Qi, 2013; Genna, 2014). Cependant, l'eau régale ne dissout pas complètement certaines phases minérales considérées comme réfractaires (barytine, cassitérite, chromite, monazite, xénotime, zircon, etc.), ce qui entraîne une sous-estimation de éléments en traces contenus dans ces minéraux (Ba, Cr, ETR, Sn, U, Y, Zr, etc.; Taraškevičius *et al.*, 2013; Amor, 2015).

Les résultats de ces analyses sont disponibles dans le SIGÉOM à l'adresse suivante : http://siggeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/11102_aLaCarte?l=F#GEOCH. À partir de ce formulaire, il est possible de trouver les analyses des échantillons de ce levé en utilisant le critère « Numéro projet sédiment : 2021FR ». Les certificats d'analyses fournis par le laboratoire sont présentés dans le dossier « Autres données numériques » de ce rapport.

CONTRÔLE DE QUALITÉ

Des standards internes, des standards certifiés ainsi que des blancs ont été insérés dans les envois et représentent environ 6 % des analyses effectuées. Les résultats obtenus ont ensuite été revus afin d'identifier les valeurs anormales ou aberrantes. Des réanalyses ont été demandées au besoin.

Réanalyses pour l'or

Le contrôle de la qualité des données a permis d'observer des plateaux de valeurs en or qui correspondaient précisément à la superficie couverte par les lots d'analyse. Les auteurs ont donc demandé au laboratoire de reprendre les analyses pour l'or à partir des pulpes en utilisant la même méthode pour s'assurer que les valeurs initiales étaient fiables. Quatre lots totalisant 860 échantillons ont donc été réanalysés. Pour l'un de ces lots (A21-16495), les valeurs des deux phases d'analyse ont été conservées et intégrées dans la base de données du SIGÉOM, car les réanalyses ont produit des valeurs comparables aux valeurs initiales. Comme les échantillons de ce lot sont situés dans la bande volcanique de Frotet-Evans, la similitude entre ces analyses peut sans doute s'expliquer par le bruit de fond en or plus élevé dans cette région. Les valeurs initiales des trois autres envois n'ont pas été chargées dans le SIGÉOM, car les réanalyses ont produit des valeurs nettement plus basses que les valeurs initiales et, par conséquent, plus compatibles avec les données des autres lots. En pratique, les analyses inférieures à 2 ppb Au ne devraient pas être considérées comme des valeurs quantitatives lors de l'interprétation des données.

Les certificats d'analyses des valeurs initiales des lots réanalysés sont inclus dans les données annexées à ce rapport dans le dossier « Problématique pour l'or » (dossier « Autres données numériques »).

Duplicatas

Les duplicatas de terrain (second échantillon de sédiment prélevé plus ou moins au même endroit) représentent 5 % des analyses effectuées. Les 265 duplicatas (106 du présent levé et 159 du levé 2021EA; tableau 1) ainsi obtenus ont servi à mesurer l'erreur relative associée au processus complet d'échantillonnage et d'analyse. Une version légèrement modifiée (Rafini, 2015) de la méthode de Thompson et Howarth (1978) a été utilisée sur les doublons présentant une concentration moyenne supérieure à 10 fois la limite de détection ($> 10*LD$) afin d'évaluer l'erreur en relation avec la concentration. Dans le cadre de son propre programme de contrôle de qualité, le laboratoire a également réalisé des analyses de duplicatas de pulpe (2 analyses du même échantillon) qui apparaissent dans les certificats d'analyses. Les résultats de ces analyses ont été compilés afin d'estimer l'erreur instrumentale. Le tableau 2 présente les résultats du traitement statistique (Thompson et Howarth, 1978) dans la colonne « Erreur relative analytique ». La méthode « Gage Repeatability and Reproducibility » (Gage R&R) a permis d'évaluer la reproductibilité des données obtenues en comparant l'erreur à la variabilité naturelle.

$$\%Précision=100* \frac{\sigma(\text{Différences parent} / \text{duplicata})}{\sigma_{naturel}}$$

$$\%Tolérance=100* \frac{5,15* \sigma(\text{Différences parent} / \text{duplicata})}{Max_{naturel} - Min_{naturel}}$$

Ces observations indiquent que l'erreur relative se situe typiquement sous les 15 % (tableau 2). Quelques éléments (As, Co, S et Se) dépassent ce seuil, mais l'erreur demeure sous les 25 %. Parmi les éléments ayant produit des teneurs supérieures à la limite de quantification ($> 10*LD$), seulement le plomb représente un problème avec une erreur relative de presque 40 %. L'erreur estimée pour la portion analytique du plomb (1,2 %) est excellente et comparable aux autres éléments. L'erreur est donc largement attribuable aux variations naturelles (37,7 %). Pour cette raison, la carte d'interpolation du plomb n'a pas été produite pour ce rapport et le plomb n'a pas été utilisé comme variable explicative (voir la section « Régression spatiale multiple »). Quatre éléments présentent une variation naturelle (« terrain ») supérieure à 15 % (As, Co, Pb, S).

Le nombre minimal de 64 doublons valides ($> 10*LD$) requis pour appliquer la méthode et ainsi évaluer l'erreur relative n'a pas été atteint pour 28 éléments. C'est le cas notamment de l'or. En ajoutant les analyses avec des valeurs situées entre la limite de détection et dix fois celle-ci, l'erreur relative totale de l'or s'élève à 48,9 %.

Comparaison avec les levés historiques

Des levés de sédiments de fond de lacs ont déjà été réalisés dans le secteur du lac Frotet par la Société de développement de la Baie-James (SDBJ) entre 1973 et 1975 (Gleeson, 1976; SDBJ, 1976). Ces échantillons avaient été analysés pour 9 métaux par absorption atomique (AA; Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, U et Zn). Lorsque ces échantillons ont été cédés au Ministère dans les années 90, des réanalyses (Beaumier et Kirouac, 1995; voir également Trépanier, 2007) pour la quasi-totalité des échantillons du secteur étudié ont été effectuées par spectrométrie d'émission atomique par plasma (ICP-AES; 35 éléments), par activation neutronique (INAA; As, Au, Br, Cs, Sb, Se, Tm, U et W) et par absorption atomique (AA; Hg). Une partie des échantillons a été réanalysée de nouveau en 2009 par ICP-MS après une dissolution à l'eau régale (0,5 g; 52 éléments). Les réanalyses d'or de cette campagne (2009-2010) n'ont pas été intégrées dans la base de données du SIGÉOM en raison de contaminations présumées. Lors du levé de 2021, les sites de la SDBJ ont été rééchantillonnés, autant que possible aux mêmes endroits (considérant l'imprécision de localisation des sites originaux), pour comparer les données des différents levés et évaluer la répétitivité du processus d'échantillonnage et d'analyse. Les résultats de cet examen sont présentés plus bas, mais comme on peut le constater, les nouvelles et les anciennes données sont plus ou moins comparables. Il est toutefois utile de rappeler que ces doublons ont été échantillonnés à 50 ans d'intervalle et pourraient, dans certains cas, être séparés de plus de 200 m de distance.

Pour chaque élément, les facteurs de corrélation de Pearson (r) et de Spearman (r_s), ainsi que la distribution des différences relatives (médiane, valeurs centiles pour des

intervalles de confiance de 50 % et 95 %) sont présentés au tableau 3. Les comparaisons ont été effectuées entre les données des nouveaux échantillons analysés en 2021 et les plus récentes données des échantillons de la SDBJ analysés par le Ministère, soit celles datant de 2009-2010, à l'exception des éléments Br, Eu, Sm et Tm analysés dans les années 90.

Pour certains éléments (Ag, As, Ba, Bi, Cu, Co, Ni, Pb, S, Se et Sn), certaines teneurs très élevées et non répliquées dans le nouveau levé n'ont pas été incluses dans le calcul du coefficient de Pearson afin de ne pas influencer la valeur du coefficient de façon trop importante. La plupart des anomalies ainsi retirées proviennent d'un seul et même échantillon (1957068983).

Zones de recoupement

Les levés du lac Frotet de 2021 et de Mistassini Ouest de 2020 (2020MI; Solgadi, 2022) se chevauchent sur une largeur de 2 km afin d'assurer la continuité des observations. Quatre-vingt-dix (90) échantillons ont été répliqués de cette manière. Un chevauchement du même type a été réalisé avec le levé du lac Assinica (2015AS; Solgadi, 2017b) plus au sud, mais pour seulement seize (16) échantillons. Ces projets ont utilisé des suites analytiques équivalentes au présent levé (sauf les ETR en 2015). Les doublons ainsi créés devraient permettre de niveler les valeurs entre les différents levés et de servir à d'éventuelles études géochimiques régionales.

TRAITEMENT DES DONNÉES

Dans un premier temps, les centiles des valeurs brutes ont été mis en plan et interpolés à l'aide de la méthode des voisins naturels. Ces cartes permettent d'identifier rapidement les zones de sédiments enrichis en un élément donné. Cette représentation présente toutefois 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 ou de manganèse, l'oxygénation ou le pH affectent aussi la concentration de certains éléments dans les sédiments (Trépanier, 2007). Pour ces raisons, la méthode de *régression spatiale multiple* a été appliquée afin de s'affranchir partiellement de ces facteurs et de faciliter la détection des concentrations anormales associées aux minéralisations.

Interpolation des valeurs brutes

Les rangs centiles ont d'abord été calculés à partir des valeurs brutes des analyses provenant de ce levé et des levés récents localisés à proximité (tableau 1; Solgadi, 2022; Lamarche *et al.*, 2023). Ces rangs centiles ont ensuite été interpolés (figures 3b, 4a à 9a, 11a, 12a, 13 et 14) par la méthode des voisins naturels à l'aide de l'outil du même

nom (boîte à outils *Spatial Analyst*) du logiciel ArcGIS. La symbolisation des cartes est conçue afin de mettre en évidence les zones de centiles élevés (> 95^e centile).

Régression spatiale multiple

La méthode de régression spatiale multiple appliquée à la géochimie des sédiments de fond de lac a été développée par Trépanier (2006). Elle a par la suite été utilisée par Lamothe (2010) pour traiter l'ensemble de la base de données de sédiments de lac disponible dans le SIGÉOM et, plus récemment, par Solgadi (2022) pour le levé de Mistassini Ouest adjacent au présent projet. Les détails de la méthode sont décrits dans les rapports cités plus haut; le lecteur est invité à s'y référer pour plus de détails.

Le principe de ce traitement repose sur le principe que la teneur d'un élément chimique dans un échantillon résulte de la combinaison (1) d'une composante d'origine lithologique ou environnementale associée parfois à (2) une composante anormale provenant d'une minéralisation proximale. La méthode de régression spatiale multiple permet donc d'évaluer la teneur d'origine lithologique ou environnementale d'un élément (bruit de fond) en l'absence d'une composante anormale. Ce calcul se fait pour chaque échantillon à partir de la composition des échantillons situés à proximité. Pour réaliser ce calcul, on utilise une équation de régression du type :

$$Cu_{\text{prédit}} = 0,5 * Ag + 1,2 * As - 2,4 * Ba + 0,2 * Co + \dots + 1,78$$

Avec :

- $Cu_{\text{prédit}}$ = valeur prédite de l'élément (dans ce cas-ci, le cuivre)
- Ag; As; ... = variables explicatives (teneur de chaque élément)
- 0,5; 1,2; ... = coefficient de régression
- 1,78 = constante

Pour chaque échantillon considéré, les échantillons situés dans une fenêtre d'un rayon de 10 km autour de celui-ci ont été pris en compte lors du calcul des coefficients de régression. La distance de 10 km a été choisie à la suite de l'examen des variogrammes et des diagrammes de covariance des données. Cette distance est moins grande que celle de 20 km utilisés par Trépanier (2006), Lamothe (2010) ou Solgadi (2017a, 2017b, 2017c et 2018), mais équivalente à celle utilisée par Solgadi (2022) pour les levés de haute densité. Bien entendu, cette distance peut varier en fonction des éléments chimiques, mais de façon générale, on observe qu'il n'y a plus vraiment de corrélation entre les données lorsque l'on dépasse la limite de 10 km. En fonction de l'élément dont on cherche à prédire la valeur, les douze meilleures variables explicatives sont choisies grâce à la méthode de *Régression exploratoire* (boîte à outils *Statistiques spatiales*) du logiciel ArcGIS. Cet outil utilise la méthode des moindres carrés ordinaires pour déterminer quels éléments permettent d'obtenir le meilleur coefficient de corrélation et ainsi de mieux prédire les concentrations de

l'élément d'intérêt attribuables à des facteurs lithologiques. Le tableau 4 présente les variables explicatives utilisées dans les équations de régression. Certains éléments ont été soustraits de cette sélection préliminaire et sont aussi listés au tableau 4. Ces éléments correspondent à l'élément prédit lui-même, ainsi que certains éléments souvent associés à cette substance dans les zones minéralisées. Cette mesure permet d'éviter d'introduire un biais relié à une variable étroitement associée à la présence de minéralisation. Les éléments dont les valeurs se situent souvent sous les limites de détection, comme l'or, ne sont jamais utilisés comme variables explicatives, car ils ne sont pas de bons prédicteurs et sont souvent soumis à l'effet « pépite ». Pour cette même raison, les valeurs de ces éléments sont difficiles à prédire. Ainsi, aucun modèle de régression spatiale n'a été appliqué à l'or. Les douze meilleures variables explicatives pour chaque élément sont utilisées dans l'équation de régression grâce à l'opérateur *Régression pondérée géographiquement* (boîte à outils *Statistiques spatiales*) du logiciel ArcGIS. Cet opérateur, en plus de calculer la valeur prédite, calcule aussi directement la valeur résiduelle pour chaque échantillon. La valeur résiduelle correspond à la différence entre la concentration réelle mesurée dans l'échantillon et la teneur prédite par le calcul de l'équation de régression. Les valeurs résiduelles positives les plus importantes sont théoriquement associées à des minéralisations proximales.

Les centiles des résiduelles sont ensuite calculés et mis en carte selon la méthode décrite à la section « Interpolation des valeurs brutes ». Les cartes ainsi produites sont présentées aux figures 4b à 12b.

Autres éléments

Dans le cas des éléments qui ont donné des valeurs supérieures à la limite de quantification ($> 10*LD$) pour une faible quantité d'échantillons (Au, Pt et Pd), des cartes montrant les échantillons anomaux sont fournies sans traitement additionnel (figures 3a et 15).

Pour les éléments indicateurs de contextes métallogéniques (As, Sb, Te, V et W), seules les cartes d'interpolations des valeurs brutes sont fournies (figures 3b, 13 et 14) à titre d'information.

INTERPRÉTATION ET ZONES FAVORABLES

Bande volcanique de Frotet-Evans

La BVFE constitue évidemment la région renfermant le meilleur potentiel minéral en or et en métaux usuels du secteur étudié. La répartition des valeurs en or les plus élevées et les cartes d'interpolation des valeurs brutes de plusieurs éléments (As, Co, Cu, Li, Ni, W et Zn) soulignent clairement la richesse minérale de la région. Pour ces élé-

ments, les cartes de régression spatiale multiple tendent à souligner les unités géologiques les plus favorables. Dans le cas du nickel par exemple (figure 11), les meilleurs résultats de régression spatiale multiple correspondent aux unités de roches ultramafiques de manière relativement fidèle. Étant donné qu'une aussi vaste région présente un potentiel pour une multitude d'éléments, aucune zone favorable de grande envergure, qui couvrirait par exemple l'ensemble de BVFE, n'a été tracée dans le cadre de ce projet.

Éléments de terres rares

Les valeurs les plus élevées en ETR totales (figure 7) sont situées au contact nord de la Formation de Parker, ainsi qu'à proximité des paragneiss à l'extrême nord du territoire. La cartographie géologique dans ce secteur n'est pas suffisamment détaillée pour associer les anomalies à une unité précise. La carte régionale actuelle laisse présager que ces valeurs en ETR pourraient être liées à des granites tardifs au contact entre une unité de paragneiss au nord et de granitoïdes au sud (voir figure 2).

Molybdène

Des valeurs résiduelles en molybdène semblent marquer le contact entre des granitoïdes et des migmatites le long du lac Canotaicane (figure 9). Les zones anomales semblent correspondre au périmètre d'une forte anomalie magnétique de forme semi-circulaire qui pourrait marquer la présence d'une intrusion non reconnue à ce jour (figure 10).

Cette zone n'est pas sans rappeler la forme générale de la zone favorable de MacLeod (Cu-Au-Mo) près des monts Otish (Beauchamp, 2019).

Nickel

Quelques zones favorables ont été délimitées à partir des valeurs résiduelles ($> 95^{\text{e}}$ centile) du Ni (figure 11). Toutes les zones sont identifiées strictement sur la base des anomalies identifiées par régression spatiale multiple et coïncident (sauf une) avec des unités ultramafiques des formations de Frotet ou de De Maurès.

Par ailleurs, les valeurs brutes en Ni indiquent la présence d'une anomalie non négligeable au sud du lac Frotet, dans la Formation de Domergue Nord, associée à une anomalie semblable, mais moins intense en Cu (figure 6).

Éléments du groupe du platine

Un échantillon ayant donné des valeurs de 43 ppb Pt et 130 ppb Pd permet d'identifier une zone favorable dans le sud de la BVFE (figure 15). Cet échantillon est situé à proximité d'intrusions mafiques-ultramafiques de la Formation de Frotet.

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.
- BEAUCHAMP, A.-M., 2019. Géologie de la région du lac Cadieux, sous-provinces d'Opatica et d'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; BG 2019-02. Consulté le 4 avril 2023. <https://gq.mines.gouv.qc.ca/bulletins-geologiques/lac-cadieux/>
- BEAUMIER, M., KIROUAC, F., 1995. Série de cartes géochimiques couleur. Échantillonnage des sédiments de lac. Région du lac Assinica, SNRC 32J. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 95-31, 31 pages.
- GENNA, D., 2014. Optimisation des analyses des suites multiéléments ICP-MS pour l'exploration minière. CONSOREM; projet 2014-05, 27 pages.
- GLEESON, C.F., 1976. Report on lake sediment geochemical survey, areas A and B, James Bay Territory. Société de développement de la Baie-James, rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; GM 34038, 138 pages.
- GOSSELIN, C., 1996. Synthèse géologique de la région de Frotet-Troilus. Ministère des Ressources naturelles, Québec; ET 96-02, 23 pages.
- HU, Z., QI, L., 2014. Sample Digestion Methods. In: Treatise on Geochemistry, 2nd edition (Holland, H.D., Turekian, K.K., editors). Elsevier; pages 87-109.
- LAMARCHE, O., 2023. 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.
- 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.
- RAFINI, S., 2015. Assurance et contrôle de la qualité (QA/QC) en exploration minière : synthèse et évaluation des usages. CONSOREM; Projet 2013-05, 44 pages.
- ROY, P., MOORHEAD, J., GAUDREAU, R., MARCOUX, L., CYR, J., DESILETS, J., BERGERON, K., BEULLAC, R., BLACKBURN, D., BUTEAU, D., COTE, S., DIONNE, J., DOUCET, P., GIRARD, G., HOULE, P., LABBÉ, J.-Y., LACROIX, S., LESAGE, D., MADORE, L., NANTEL, S., OUELLET, S., TOGOLA, N., 2010. Rapport sur les activités minières au Québec - 2009. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; DV 2010-01, 92 pages.
- S.D.B.J., 1976. Géochimie de fonds de lac, région Fire-Mistanao. Société de développement de la Baie-James, rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; GM 34172, 136 pages.
- SOLGADI, F., 2017a. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de 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 et 16 plans.
- SOLGADI, F., 2017b. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de 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 et 18 plans.
- SOLGADI, F., 2017c. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur Mistassini nord, Province du Supérieur, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; DP 2017-09, 15 pages et 16 plans.
- SOLGADI, F., 2018. Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de 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 et 16 plans.
- 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.
- TARAŠKEVIČIUS, R., ZINKUTE, R., STAKENIENE, R., RADAVIČIUS, 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.
- THÉRIAULT, R., BEAUSÉJOUR, S., 2012., Carte géologique du Québec, édition 2012. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DV 2012-06, 8 pages, 1 plan.
- THOMPSON, M., HOWARTH, R.J., 1978. A new approach to the estimation of analytical precision. Journal of Geochemical Exploration; volume 9, pages 23–30.
- TRÉPANIÉ, S., 2006. Identification de domaines géochimiques à partir des levés régionaux de sédiments de fond de lacs – Phase 2. CONSOREM; projet 2005-03. Rapport soumis au gouvernement du Québec; MB 2006-07, 82 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. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; GM 62922, 95 pages.

TABLEAU 1 - Levés de sédiment de fond de lac et nombre d'échantillons utilisés pour le calcul des centiles et pour la régression spatiale multiple

Levé	Nombre d'échantillons	Publication EXAMINE	Feuillets SNRC
2020MI	2050	DP 2022-01	32I13, 32J09, 32J16, 32O01, 32P04
2021FR (présent projet)	2091	RP 2023-01	32J10, 32J15, 32O02, 32O07
2021EA	2812	RP 2023-02 (en préparation)	32O07 à 32O10, 32O15, 32O16

TABLEAU 2 - Erreurs relatives et mesures de précision et de tolérances pour les échantillons dupliqués du levé de sédiments de fond de lac de 2021

Élément	Erreur relative totale	Erreur relative analytique	Erreur relative terrain	Précision (%)	Tolérance (%)	Nombre de doublons > 10*LD
Au	-	-	-	-	-	6
Ag	6,1	4,5	1,6	30	12	264
Al	3,5	1,7	1,8	27	20	265
As	21,5	4,4	17,1	17	1	201
B	-	-	-	-	-	0
Ba	10,6	3,3	7,3	47	19	265
Bi	-	-	-	-	-	2
Ca	6,4	2,8	3,6	41	14	263
Cd	11,7	5,7	6	28	10	263
Co	20,2	2,2	18	23	4	206
Cr	6,4	0,3	6,1	43	17	145
Cs	9,2	2,1	7,1	46	23	242
Cu	8,8	2,1	6,6	50	18	265
Er	-	-	-	-	-	57
Eu	-	-	-	-	-	9
Dy	10,1	1,1	9,1	45	16	176
Fe	9,7	1,5	8,3	32	12	250
Ga	5,6	3,9	1,7	43	22	265
K	-	-	-	-	-	1
La	11	2,7	8,3	44	10	257
Lu	-	-	-	-	-	0
Mg	4	-	-	89	38	65
Mn	9	1,2	7,7	13	2	255
Mo	11,5	2,1	9,5	25	8	263
Na	5,6	3,5	2,1	43	5	264
Ni	8,3	1,8	6,5	35	6	265
P	5,9	2	3,9	23	16	265
Pb	38,9	1,2	37,7	46	7	265
S	22	1,3	20,7	33	7	265
Sb	-	-	-	-	-	0
Sc	-	-	-	-	-	53
Se	17,9	14	3,9	51	19	182
Sr	5,8	1,6	4,1	40	14	265
Te	-	-	-	-	-	0
Th	-	-	-	-	-	51
Ti	4,6	3,2	1,5	42	24	221
Tl	-	-	-	-	-	21
Tm	-	-	-	-	-	0
U	11,5	2	9,5	12	2	223
W	-	-	-	-	-	28
V	9,2	2,7	6,5	41	15	172
Zn	10,1	1,8	8,3	57	14	265
Be	-	-	-	-	-	1
Ce	11,5	2,5	8,9	50	12	265
Ge	-	-	-	-	-	1
Hf	-	-	-	-	-	0
In	-	-	-	-	-	0
Li	4,9	2,8	2,1	46	16	204
Nb	8,1	3,5	4,6	36	10	251
Nd	11,1	1,9	9,2	48	12	265
Rb	4,3	2,4	1,9	55	16	250
Re	-	-	-	-	-	37
Sn	-	-	-	-	-	11
Sm	11,9	2,9	9	49	14	242
Ta	-	-	-	-	-	0
Tb	-	-	-	-	-	3
Y	11	2,4	8,6	33	10	265
Yb	-	-	-	-	-	31
Zr	-	-	-	-	-	27
Pt	-	-	-	-	-	0
Pr	8,6	2,1	6,4	48	11	258
Pd	-	-	-	-	-	0
Hg	-	-	-	-	-	15
Ho	-	-	-	-	-	3

TABLEAU 3 - Coefficients de corrélation et répartition des différences relatives entre les échantillons du levé de 2021 et les doublons historiques

	Coefficients de corrélation		n	Distribution des différences relatives (%)						
	Pearson (r)	Spearman (rs)		2,5 %	25 %	Médiane	75 %	97,5 %	Moyenne	Écart-type
S	0,406	0,597	476	-143	-21	8	36	174	8	69
Ag	0,605	0,628	483	-136	-23	6	29	126	2	56
Al	0,731	0,769	488	-107	-36	-18	-2	87	-17	45
As	0,496	0,572	479	-97	56	105	143	193	90	73
Ba	0,433	0,541	483	-119	-41	-17	5	89	-17	48
Ca	0,689	0,724	488	-54	0	21	39	107	21	40
Cd	0,591	0,620	484	-128	-42	-15	13	114	-13	55
Ce	0,656	0,804	484	-98	-27	-3	16	104	-4	47
Co	0,597	0,784	487	-145	-57	-19	9	98	-23	58
Cr	0,733	0,785	484	-105	-30	-12	6	104	-10	45
Cs	0,727	0,725	480	-82	-16	0	14	82	-1	36
Cu	0,750	0,729	487	-130	-51	-25	-7	88	-27	47
Fe	0,525	0,792	488	-128	-39	-6	25	139	-5	63
Ga	0,579	0,612	484	-101	-19	2	22	100	1	47
Hg	0,229	0,515	480	-186	-105	-55	-29	21	-68	57
La	0,760	0,799	484	-104	-35	-14	5	90	-14	46
Li	0,740	0,804	484	-93	-31	-8	13	85	-7	43
Mg	0,752	0,847	488	-73	-13	0	15	106	2	39
Mn	0,371	0,849	488	-133	-40	-13	19	118	-11	58
Mo	0,501	0,684	488	-159	-49	-10	24	119	-12	64
Na	0,430	0,528	488	10	50	72	86	124	68	29
Nb	0,593	0,619	477	-101	-35	-10	16	90	-7	49
Ni	0,834	0,767	487	-92	-29	-10	7	80	-9	39
P	0,631	0,711	488	-97	-11	9	29	104	8	46
Pb	0,264	0,336	487	-106	-26	11	52	121	13	57
Rb	0,644	0,746	477	-83	-27	-10	7	83	-8	38
Re	0,307	0,448	477	-183	-81	-22	41	160	-17	89
Sc	0,618	0,697	484	-109	-55	-27	0	59	-27	45
Se	0,174	0,305	477	-62	19	67	102	160	59	64
Sm	0,650	0,656	482	-143	-92	-67	-42	105	-59	59
Sn	0,253	0,399	475	-159	41	58	90	143	46	80
Sr	0,649	0,645	484	-59	-8	8	30	100	12	40
Th	0,499	0,741	484	-193	-113	-67	-27	115	-63	72
Ti	0,710	0,785	488	-44	12	33	60	117	34	42
U	0,453	0,879	487	-132	-52	-25	0	91	-27	53
V	0,686	0,765	484	-113	-36	-10	12	110	-12	51
Y	0,713	0,820	484	-89	-27	-6	13	101	-4	45
Zn	0,709	0,738	488	-103	-39	-13	11	97	-13	48
Zr	0,264	0,520	484	-151	-17	40	144	174	42	99

TABLEAU 4 - Variables explicatives utilisées pour le calcul des valeurs lithologiques et des résiduelles. Les éléments retirés n'ont pas été considérés pour la régression exploratoire. La colonne r2 présente le coefficient de corrélation entre les valeurs calculées par la régression et les valeurs réellement observées

Élément	r ²	Éléments choisis	Éléments retirés
Ag	0,72	Cs, Dy, Fe, Ga, Ge, Hg, Li, Mg, Ni, P, Sb, Sr	Ag, Au, S
Co	0,73	Al, Ca, Cr, Fe, Mn, Mo, Nd, P, Rb, Sc, Ti, V	Ag, Au, Cu, Ni, S, Zn
Cu	0,64	Ag, Ca, Cd, Cr, Eu, Hg, Re, Sn, Sr, Ti, V, Y	Au, Cu, Mo, Bi, Pb, S, Zn
Li	0,9	Ag, Al, Bi, Fe, K, Mg, Mn, Sm, Ti, V, W, Zr	Be, Cs, Rb, Li, Sn
Mo	0,57	Be, Co, Cr, Fe, Hg, Lu, Mg, Pr, Re, Ti, U, W	Au, Cu, Mo, S
Ni	0,69	Al, Ba, Ca, Cr, Fe, P, Re, Sn, Ti, Ti, V, Zn	Au, Co, Cu, Ni, S, Pt, Pd
Zn	0,74	Al, Ca, Cd, Eu, Fe, Li, Mg, Mn, Sb, Sn, Sr, Ti	Au, Cu, Mo, Pb, S, Zn
ETR	0,73	Al, Ca, Nb, Ni, P, Se, Sr, Th, Ti, U, V, W	ETR (lanthanides), Y

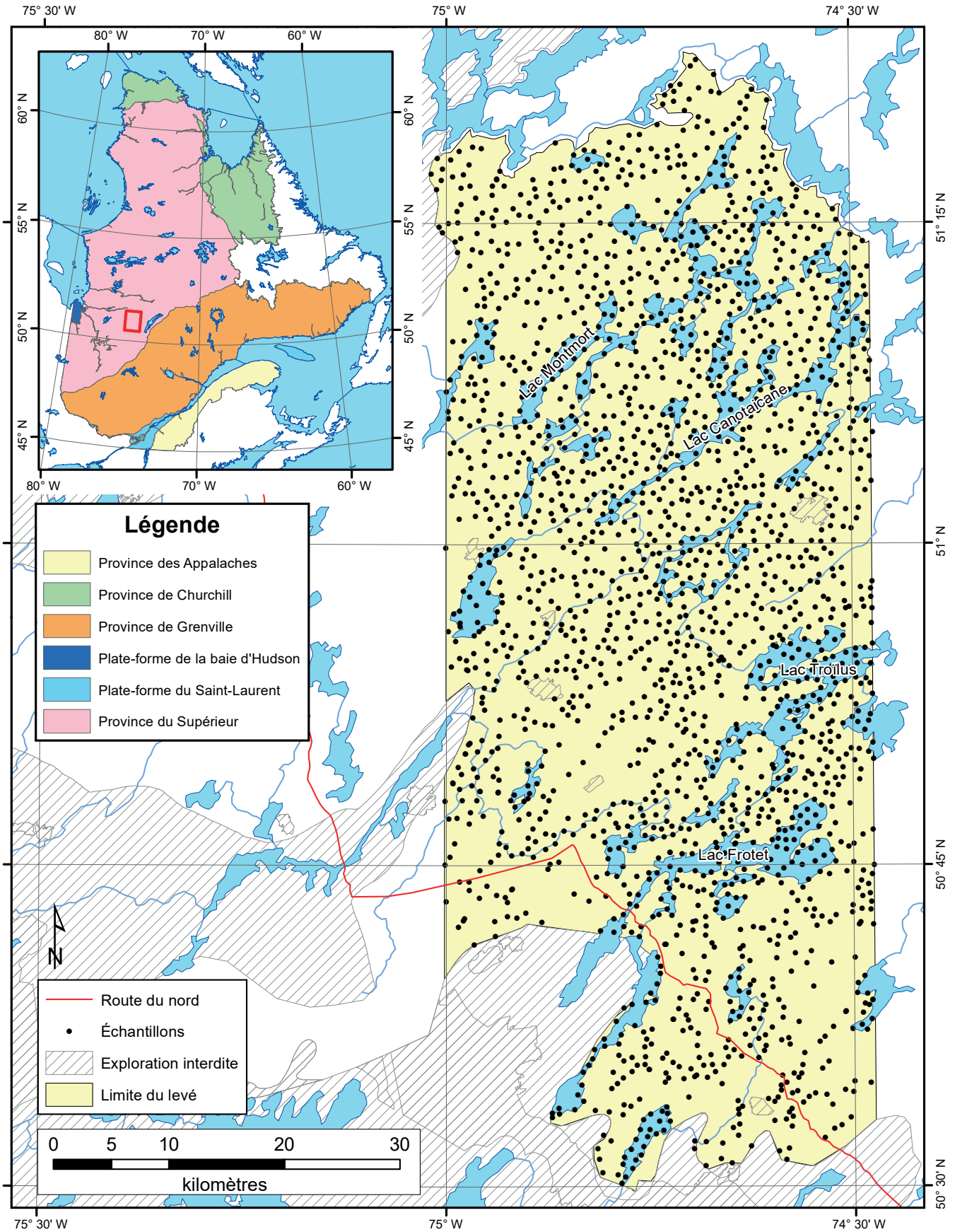


FIGURE 1 – Localisation de la zone d'étude et des échantillons de fond de lac du levé du lac Frotet de 2021.

Légende stratigraphique

Néoarchéen

nĀaz Groupe d'Assinica

Archéen















Intrusions felsiques

Ācuv Stock de Cuvette
 Ādom Stock de Domergue
 Āfro Stock de Frotet
 Ātrs Stock du Lac Troilus-Sud
 Ālar Stock de Larose
 Āmrs Stock de Morissette
 Ātes Stock de Testard

Unités volcano-sédimentaires

Āme Formation de Mésière
 Āhb Membre de l'Habitation
 Āot Formation d'Oudiette
 Ācz Formation de Châtillon
 Āpr Formation de Parker
 Āce Formation de Crabe
 Āds Formation de Domergue Sud
 Ādr Formation de Domergue Nord
 Āfr Formation de Frotet
 Āod Formation d'Odon
 Ādi Formation de Dompierre
 Āmu Formation de De Maurès

Légende lithologique

	Monzonite, syénite, monzodiorite		Zone de cisaillement
	Migmatite et paragneiss		Faïlle géophys. ind.
	Roches sédimentaires		Faïlle géophys. sen.
	Roches intrusives mafiques		Faïlle présumée dextre
	Pyroxénite et périclélite		Faïlle présumée
	Granite et granodiorite		Faïlle présumée inverse
	Paragneiss		Faïlle présumée senestre
	Roches volcaniques felsiques		Limite du levé
	Roches métasédimentaires		Lac
	Granite et granodiorite; quantité mineure de diatexite		
	Roches volcaniques mafiques et intermédiaires		
	Gneiss non subdivisés		

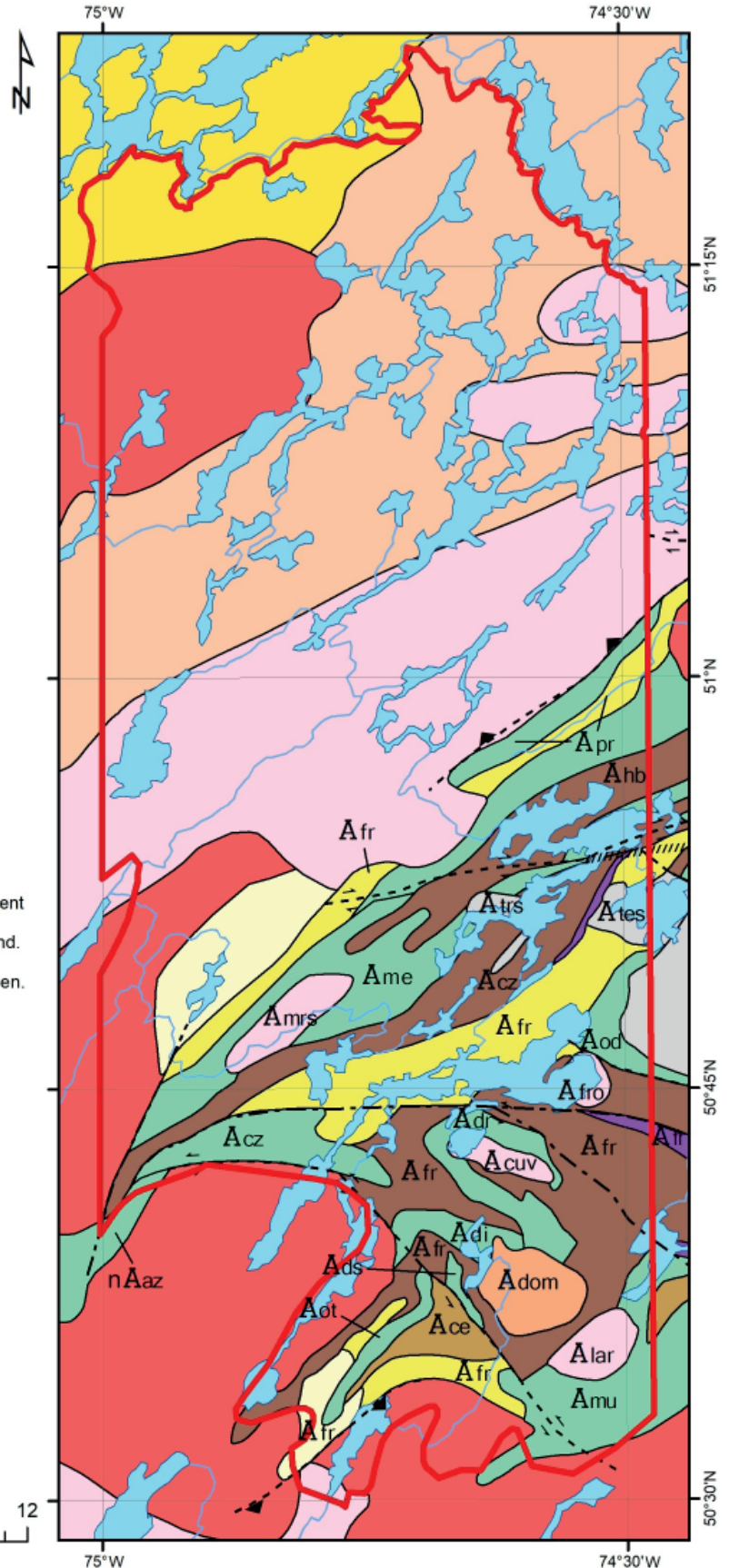
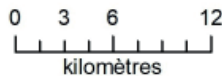


FIGURE 2 – Carte géologique modifiée de Thériault et Beauséjour (2012) et Gosselin (1996)

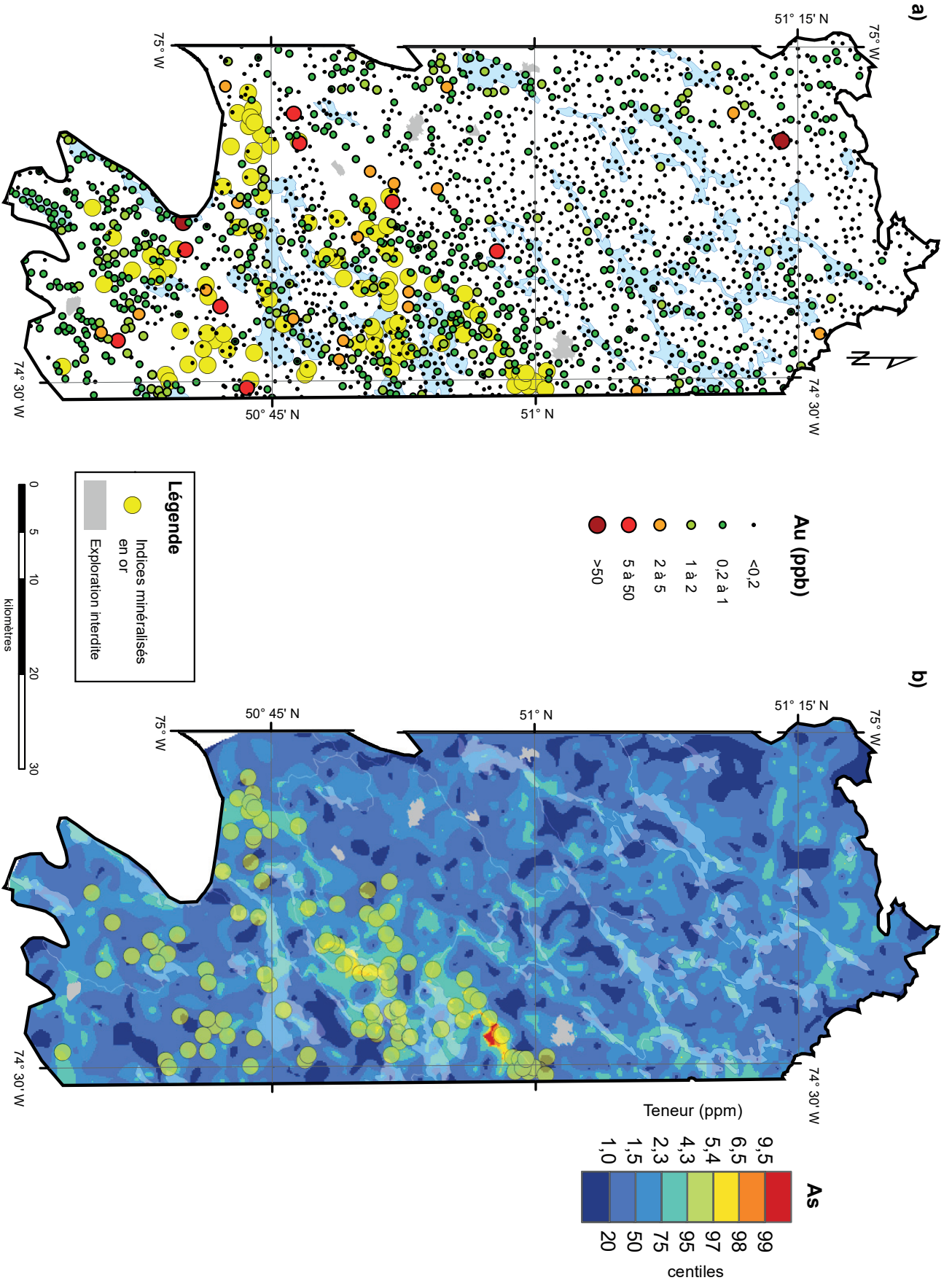


FIGURE 3 – Concentrations en or et centiles des concentrations en arsenic dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

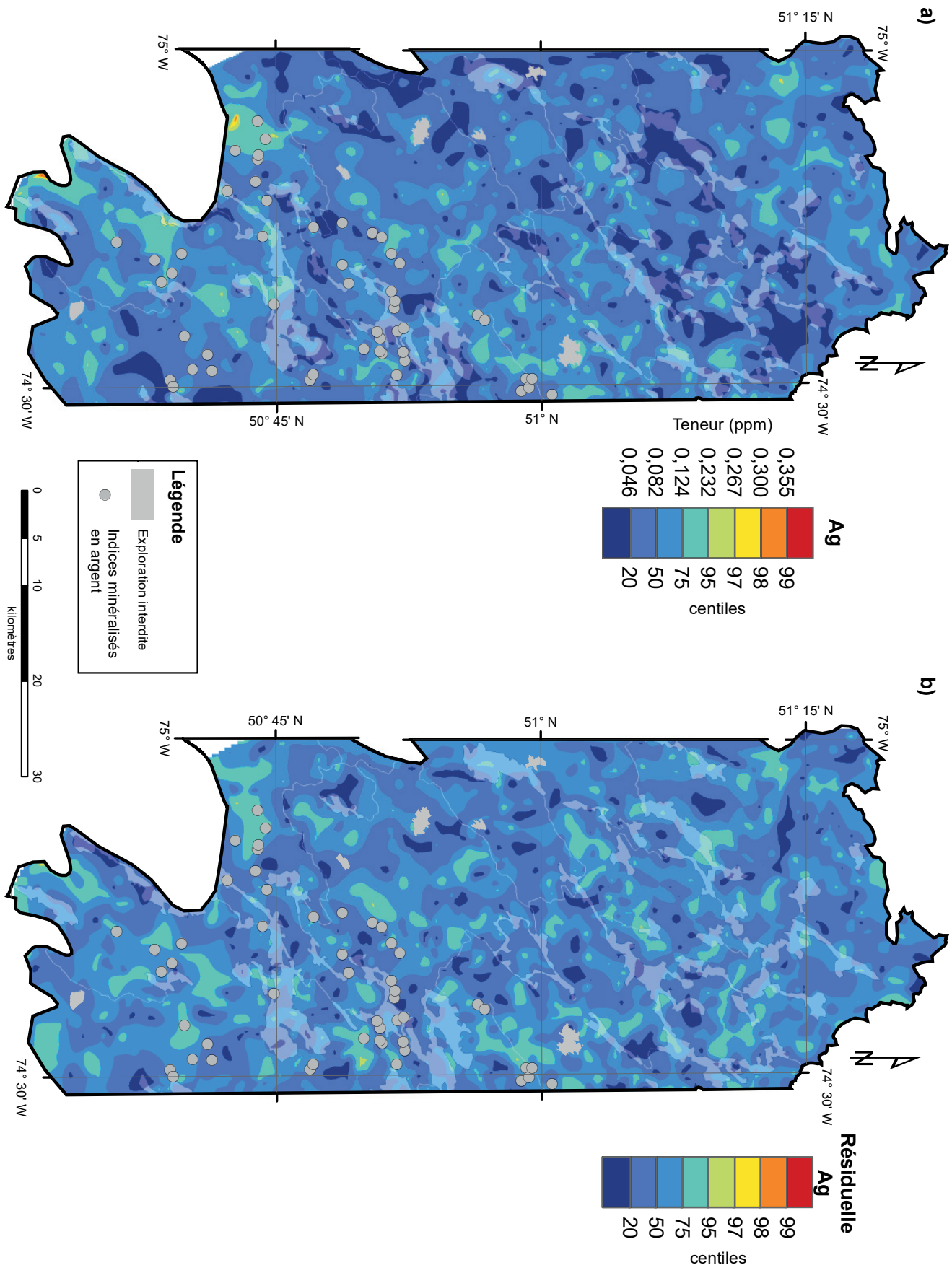


FIGURE 4 – Centiles des concentrations et des résiduelles en argent dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

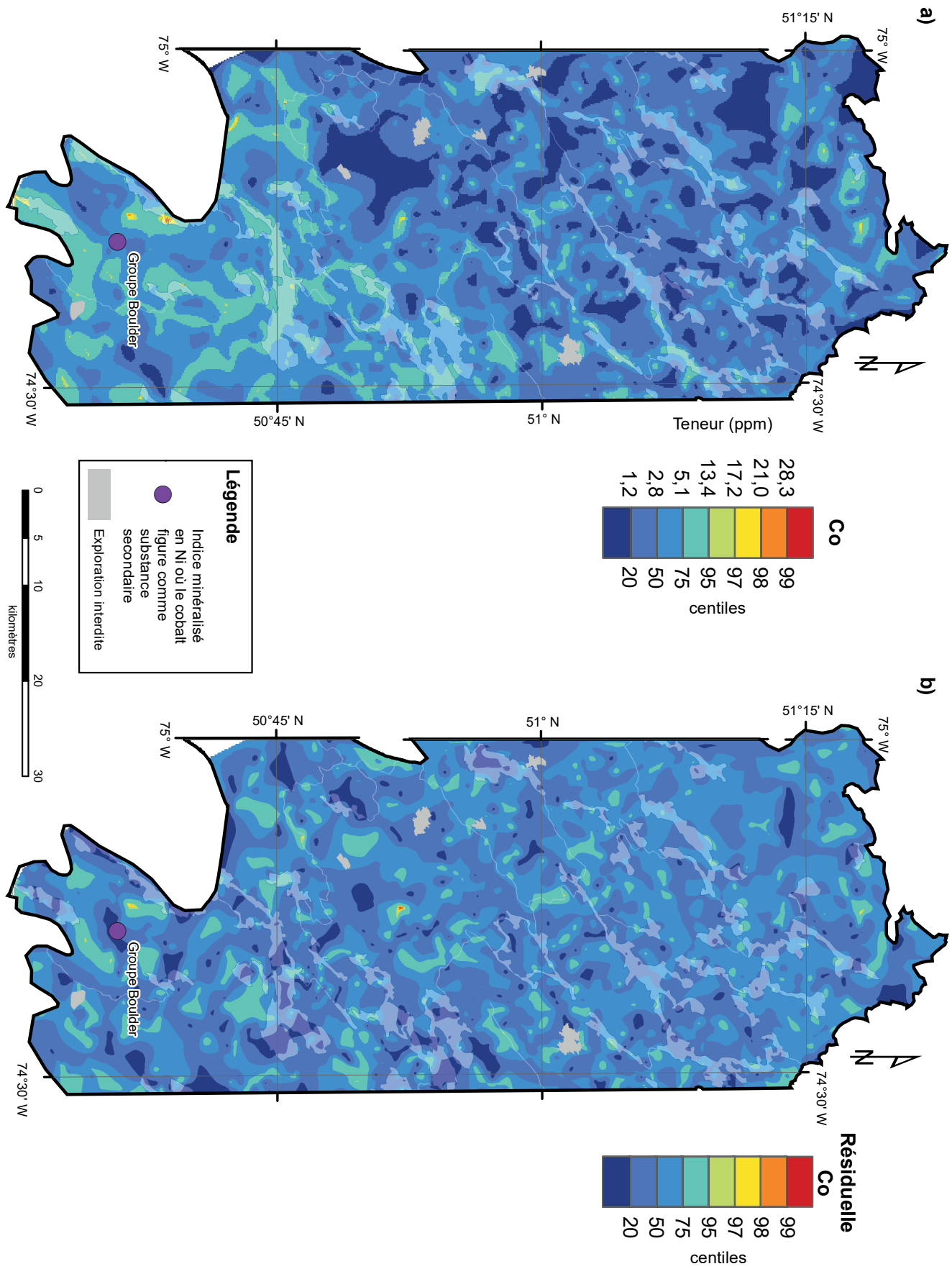


FIGURE 5 – Centiles des concentrations et des résiduelles en cobalt dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

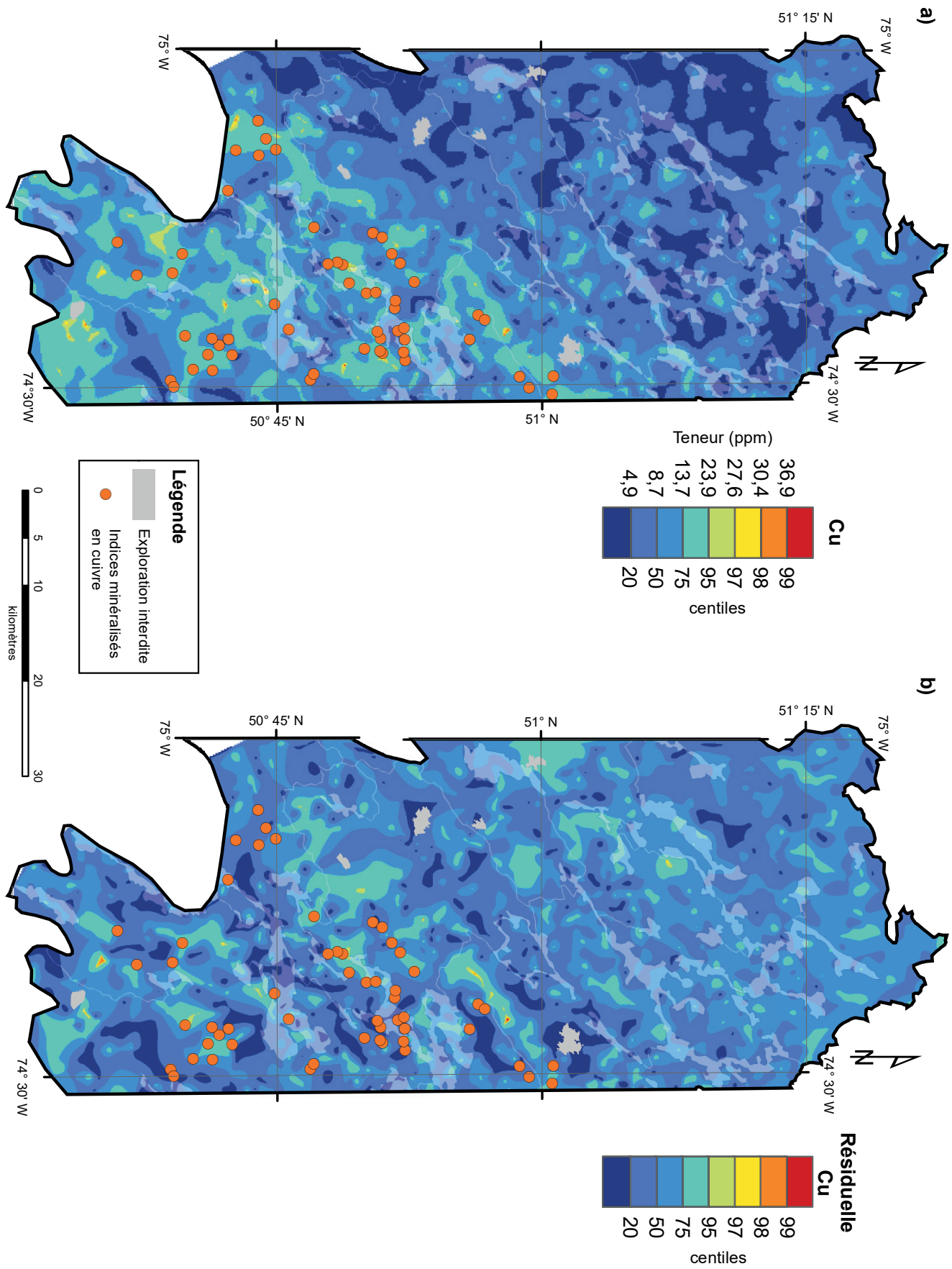


FIGURE 6 – Centiles des concentrations et des résiduelles en cuivre dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

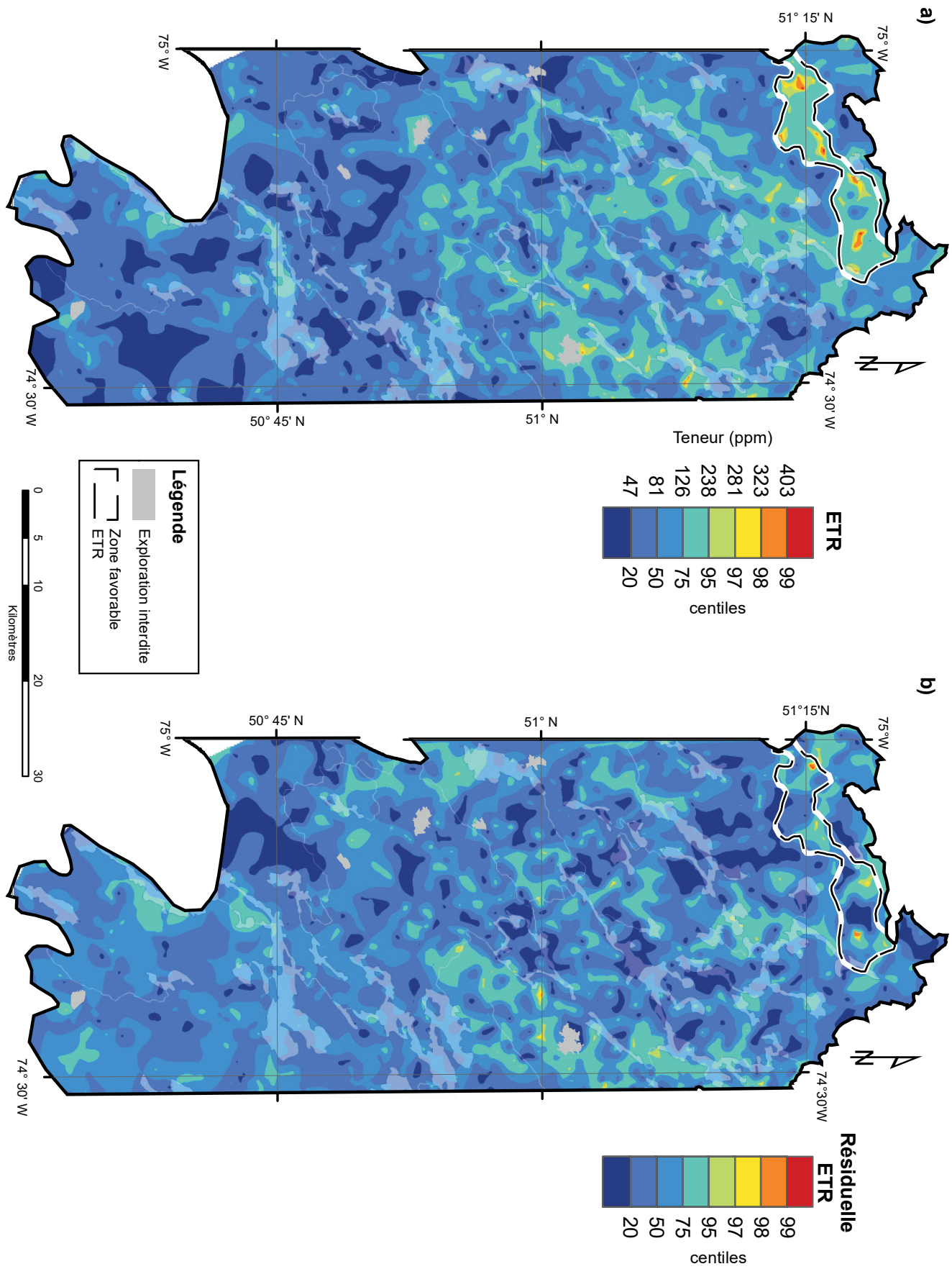


FIGURE 7 – Centiles des concentrations et des résiduelles en ETR dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

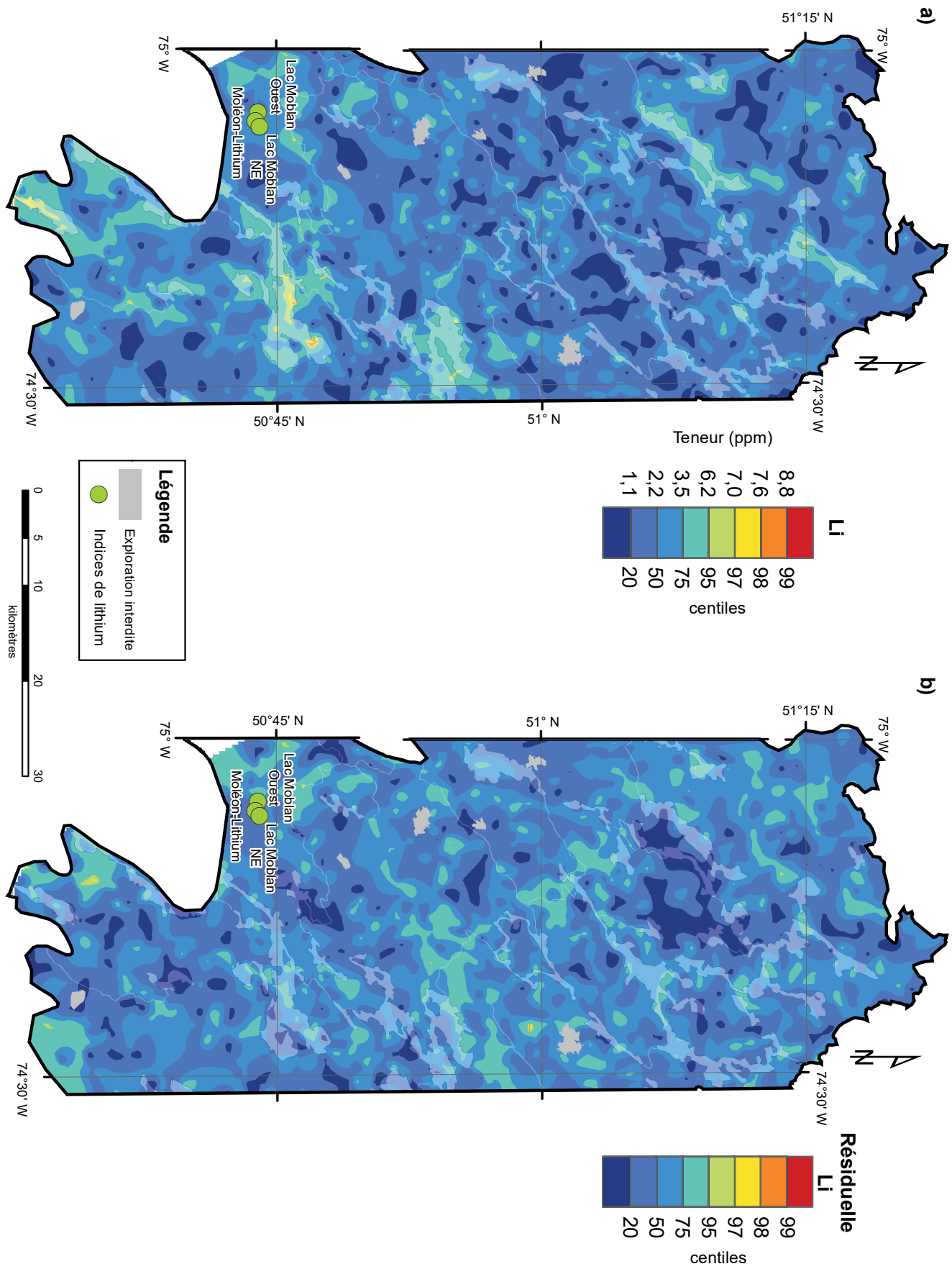


FIGURE 8 – Centiles des concentrations et des résiduelles en lithium dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

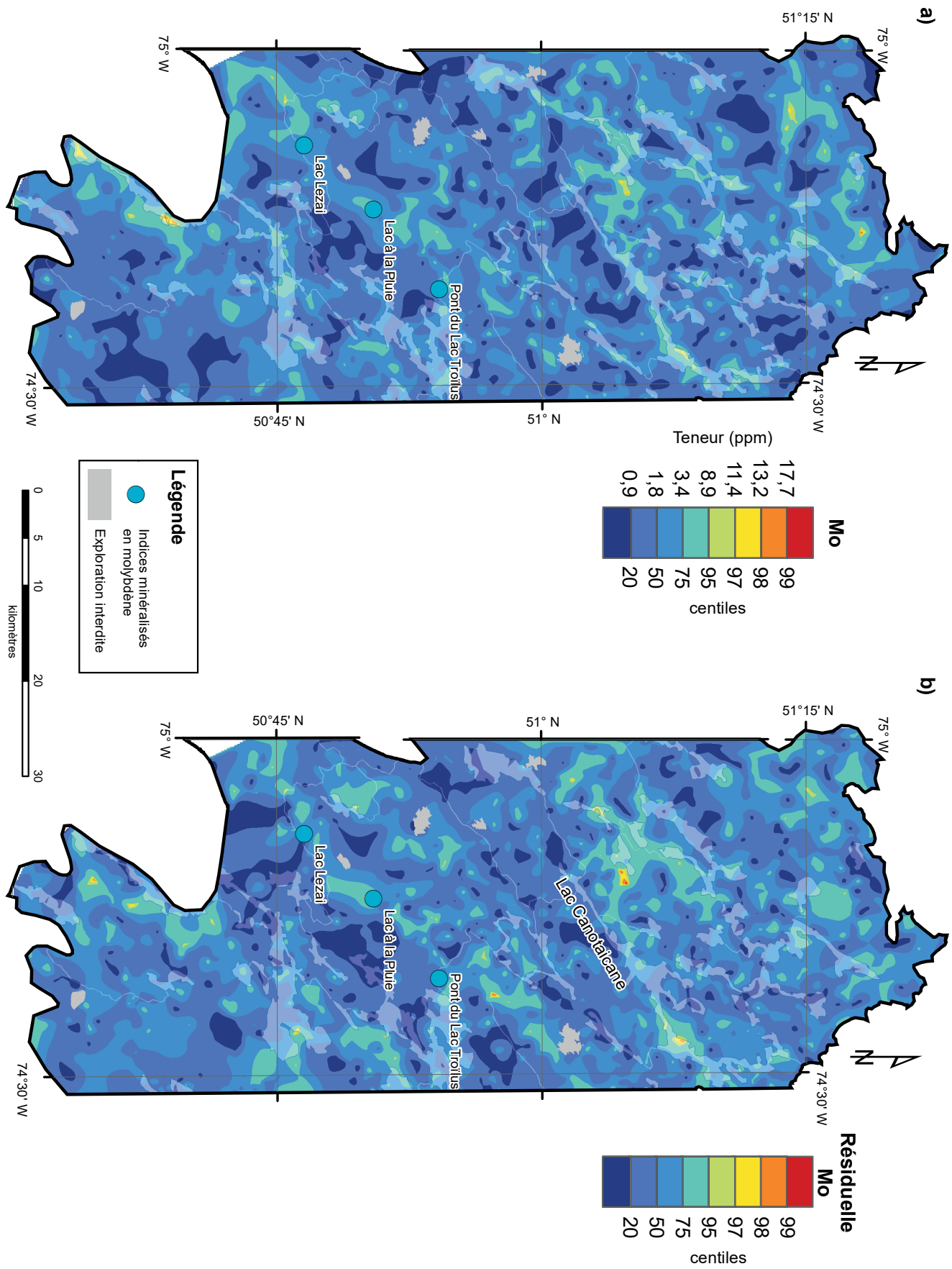


FIGURE 9 – Centiles des concentrations et des résiduelles en molybdène dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

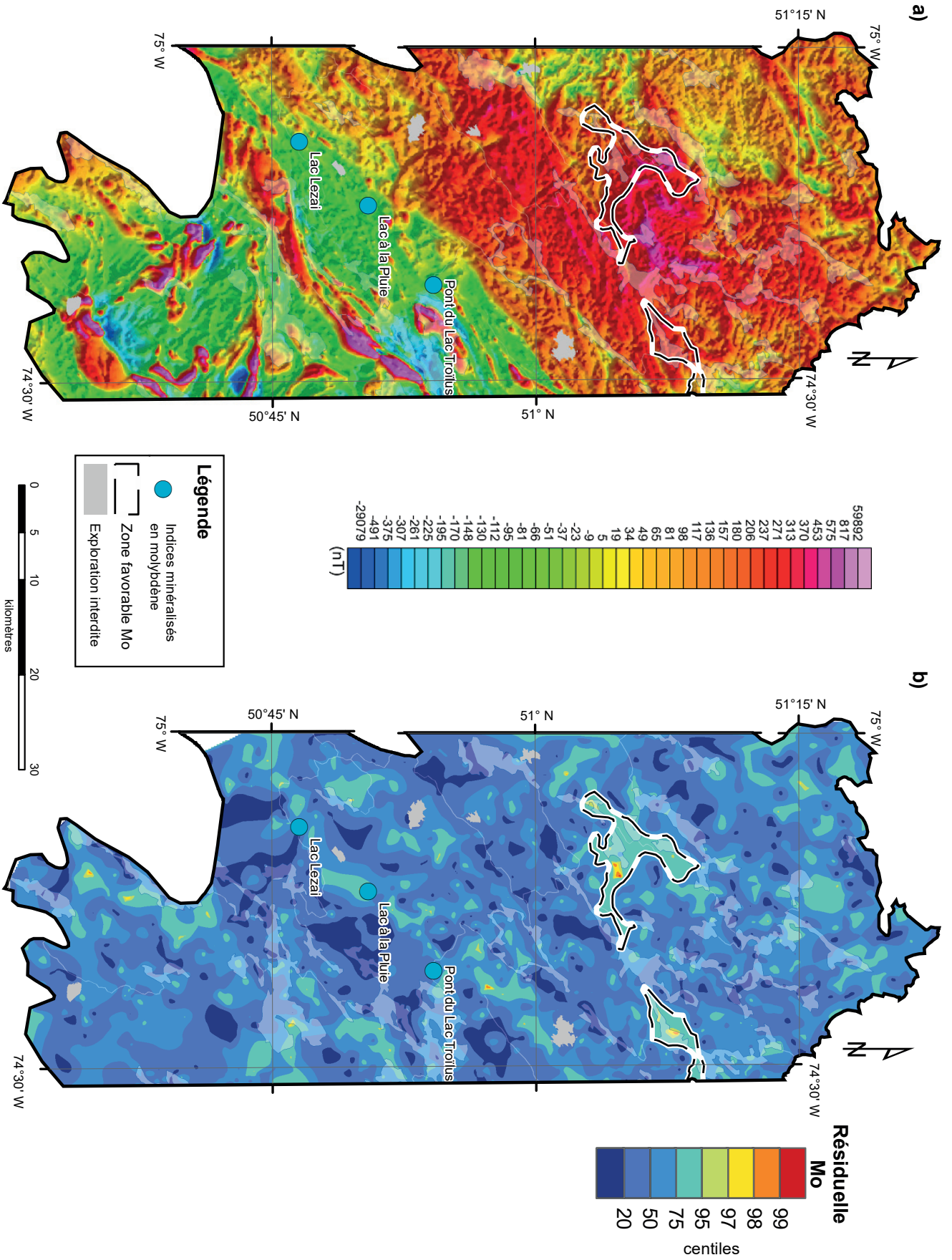


FIGURE 10 – Carte de haute résolution du champ magnétique résiduel et centiles des résiduelles en molybdène dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

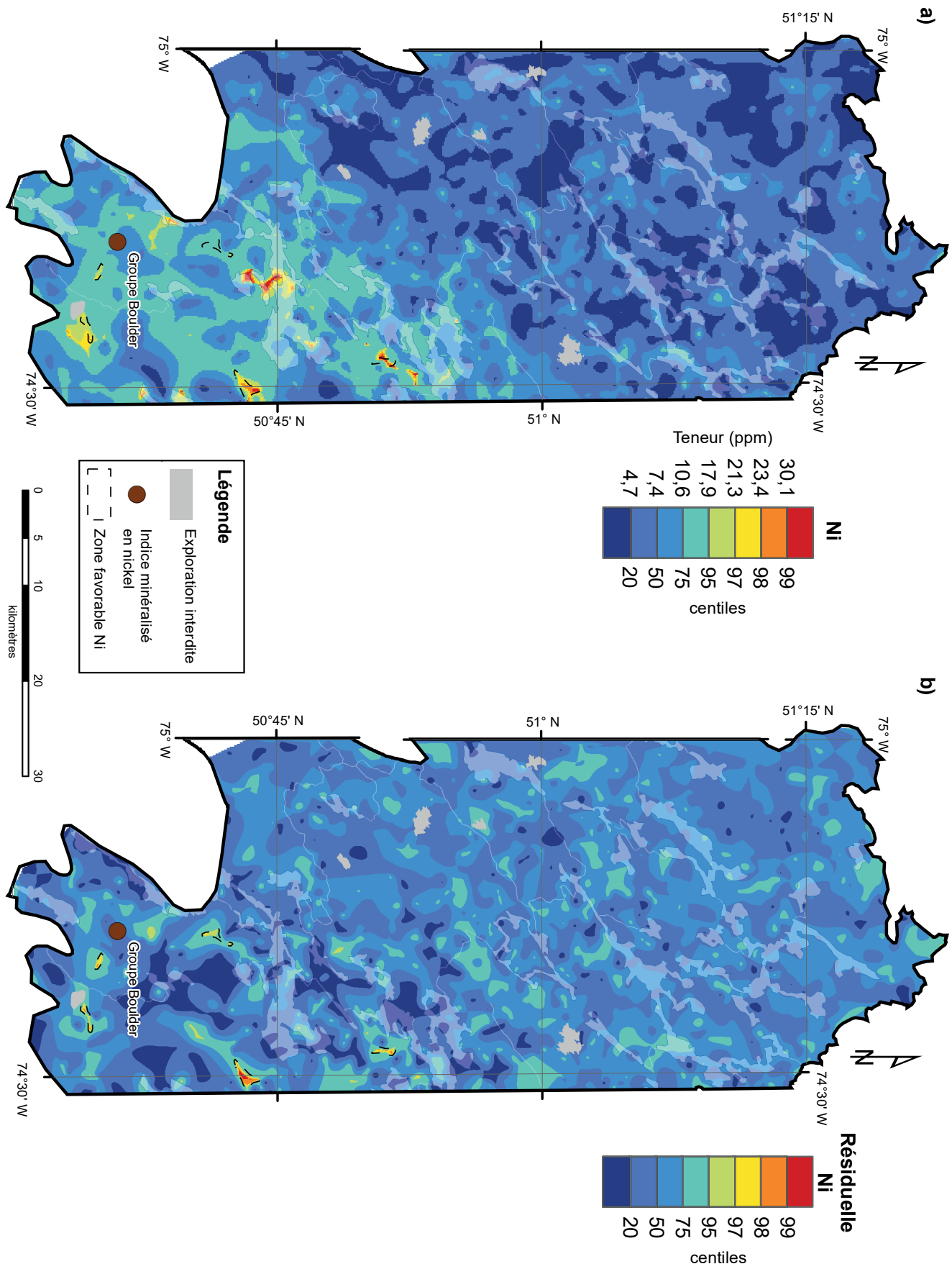


FIGURE II – Centiles des concentrations et des résiduelles en nickel dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

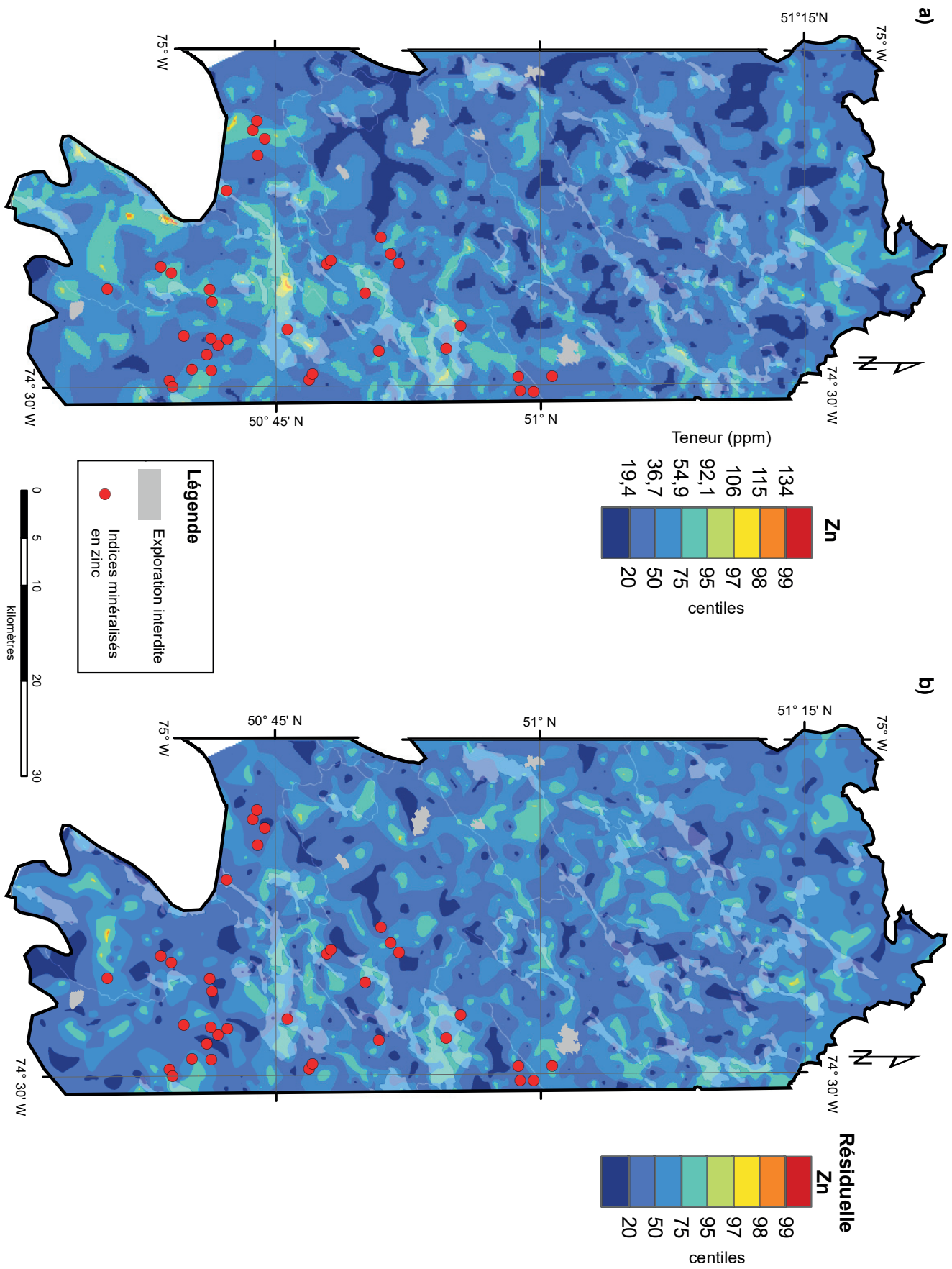


FIGURE 12 – Centiles des concentrations et des résiduelles en zinc dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

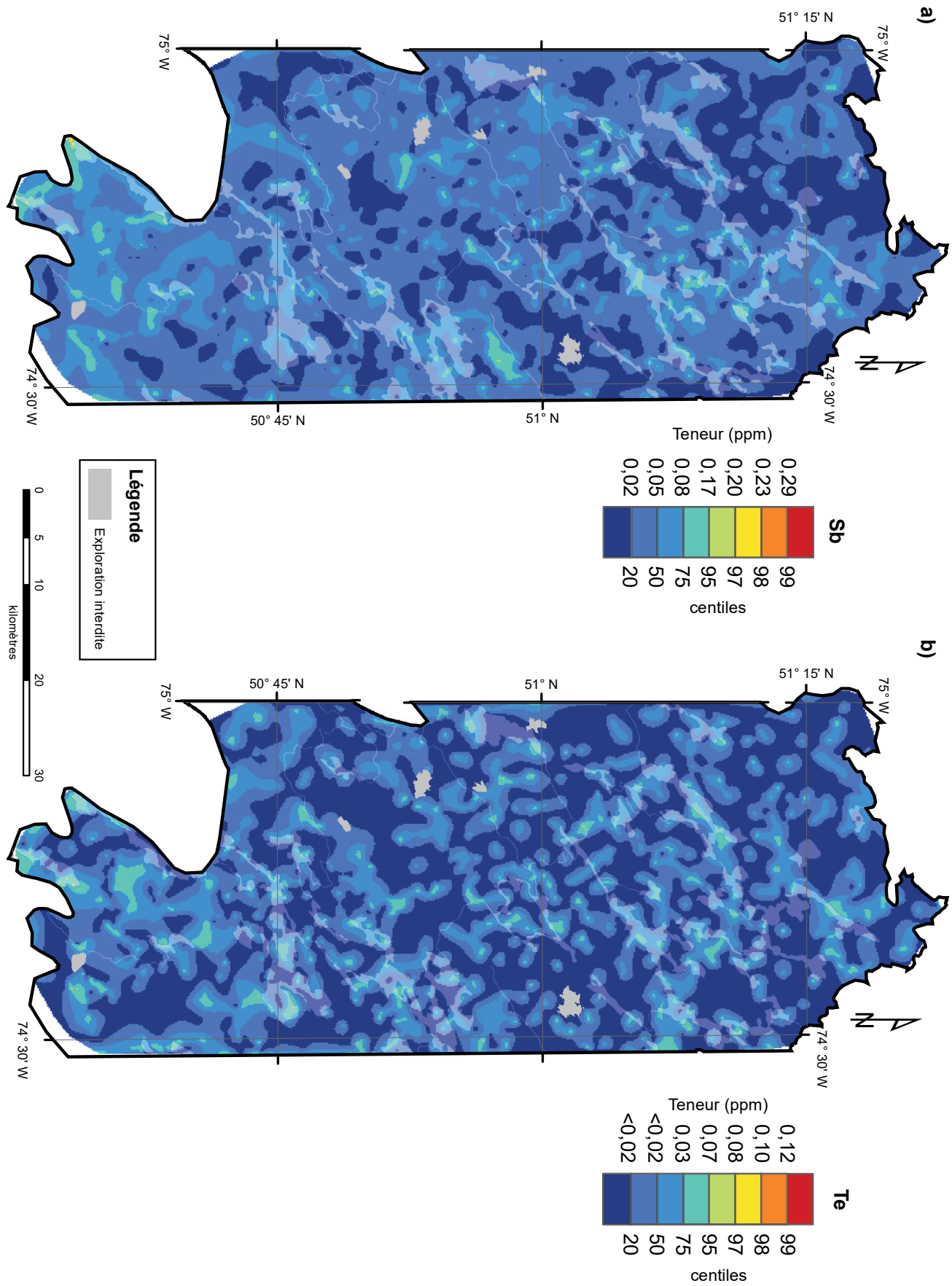


FIGURE 13 – Centiles des concentrations en antimoine et en tellure dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

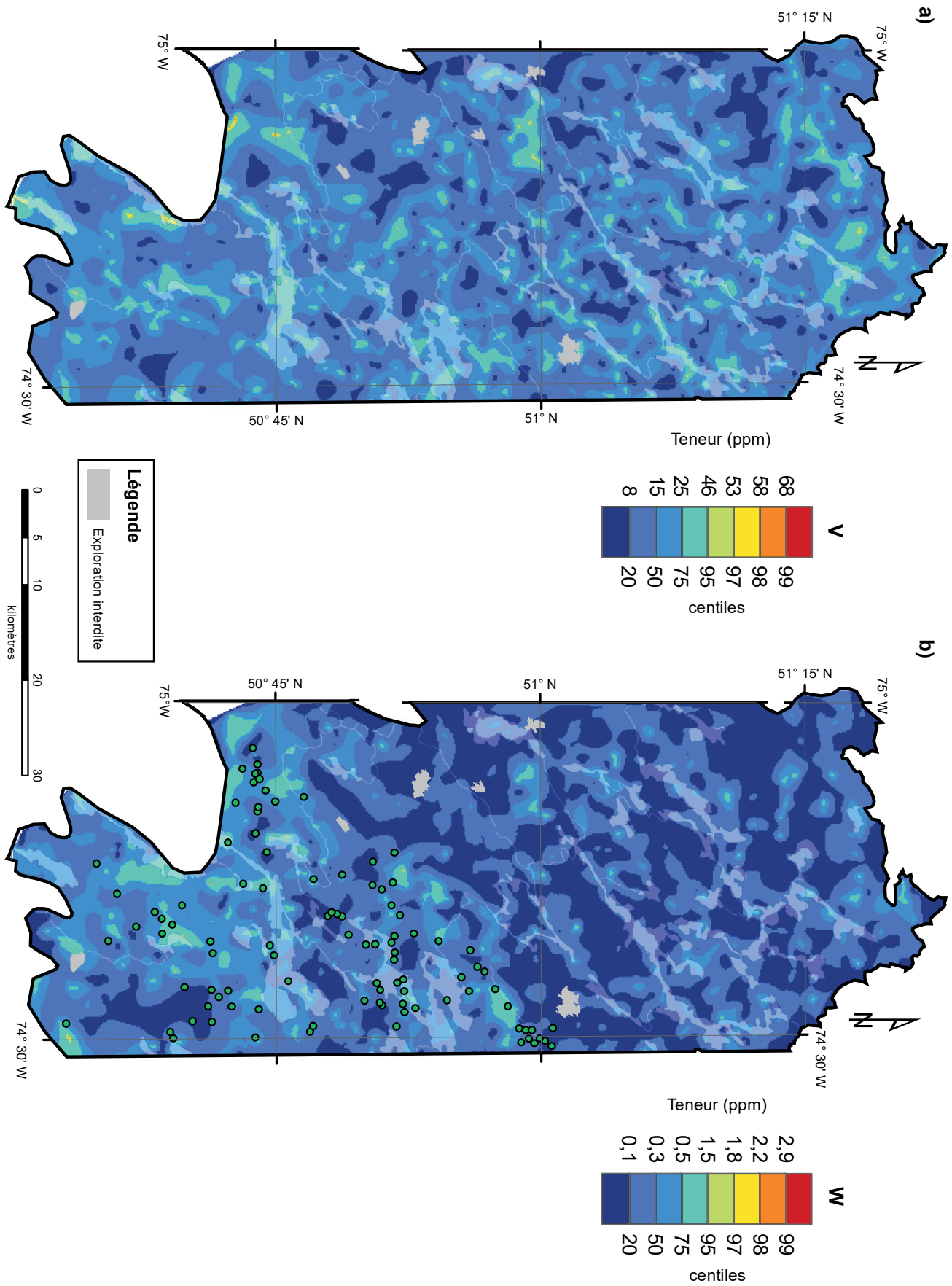


FIGURE 14 – Centiles des concentrations en vanadium et en tungstène dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.

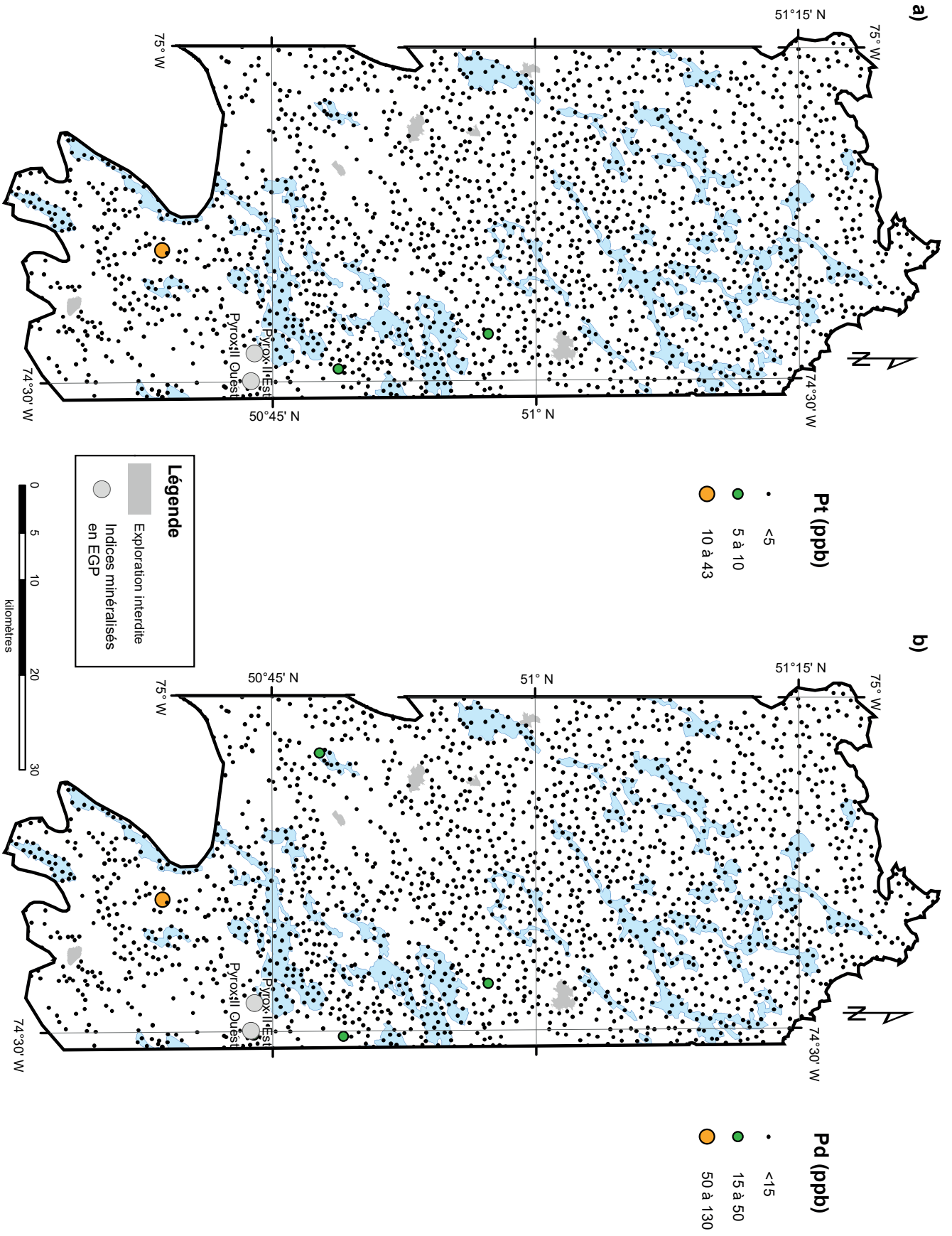
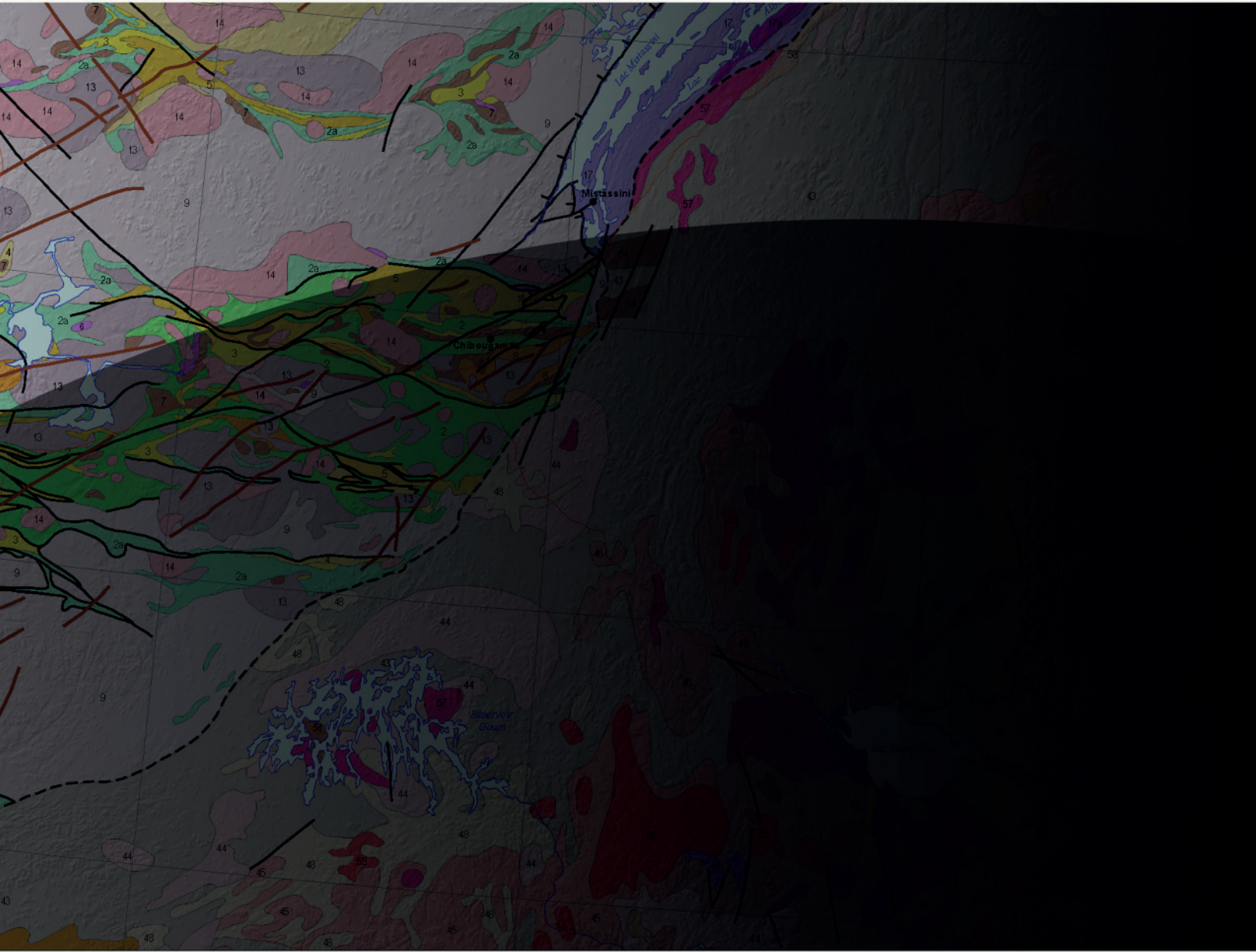


FIGURE 15 – Concentrations en platine et en palladium dans les sédiments de fond de lac du levé de 2021.



Ressources naturelles
et Forêts

Québec

