

RP 2023-02

Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur de la rivière Eastmain, Province du Supérieur

Documents complémentaires

Additional Files



Licence

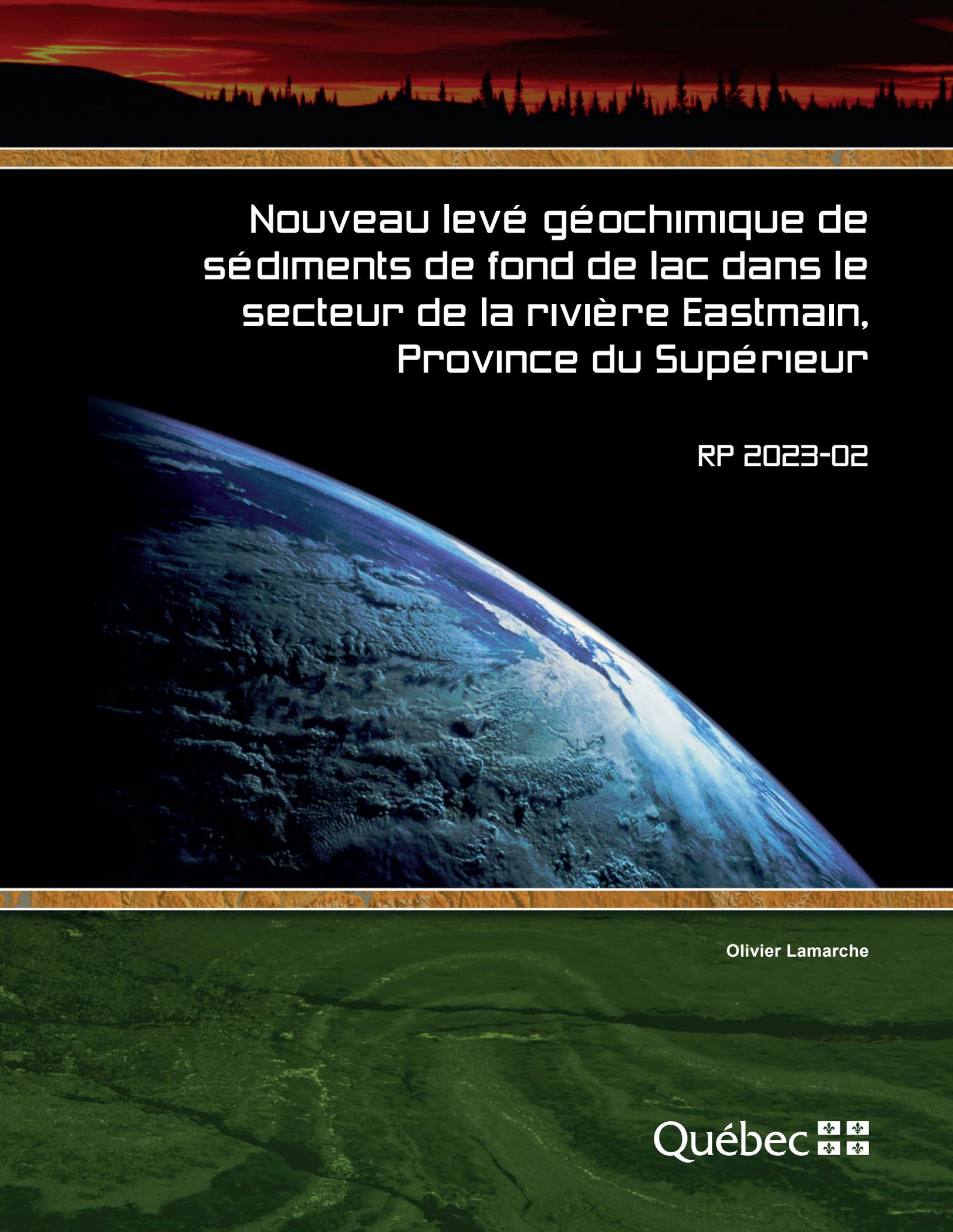


Licence

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 



Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur de la rivière Eastmain, Province du Supérieur

RP 2023-02

Olivier Lamarche

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

Patrice Roy, géo. p.i.

Direction du soutien administratif, logistique et matériel

Robert Thériault

Lecture critique

Fabien Solgadi, géo.

Auteur

Olivier Lamarche, géo.

Édition

Claude Dion, ing.

Graphisme

André Tremblay

Nouveau levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur de la rivière Eastmain, Province du Supérieur

Olivier Lamarche

RP 2023-02

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	5
CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....	5
MÉTHODE DE TRAVAIL.....	5
CONTRÔLE DE QUALITÉ	6
Réanalyses pour l'or.....	6
Duplicatas.....	6
Comparaison avec les données historiques	6
TRAITEMENT DES DONNÉES	7
Interpolation des valeurs brutes	7
Régression spatiale multiple	7
Autres éléments	8
INTERPRÉTATION ET ZONES FAVORABLES.....	8
Argent.....	8
Cuivre-Molybdène-Tungstène	8
Éléments de terres rares.....	8
Lithium.....	8
Nickel.....	8
RÉFÉRENCES	9

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 de la rivière Eastmain (feuillet SNRC 32O07 à 32O10, 32O15 et 32O16; figure 1). Ce levé d'une superficie d'environ 4150 km² a été exécuté par la firme Geo Data Solutions GDS inc. entre le 12 août et le 17 septembre 2021. Il a permis la collecte de 2971 échantillons de sédiment (tableau 1). De ce total, 159 échantillons ont été dupliqués afin de tester la précision des méthodes d'échantillonnage et d'analyse. En retranchant ces doublons (ce qui ramène le total à 2812 échantillons), la densité d'échantillonnage correspond à 1 échantillon par 1,5 km² (figure 1).

Ce projet s'inscrit dans la lignée des levés Mistassini Ouest (Solgadi, 2022) et Frotet (Lamarche et Solgadi, 2023). Ces travaux visent à cibler plus précisément les zones favorables à la présence de minéralisations que les anciens levés de plus faible résolution couvrant ce secteur (densité d'échantillonnage d'un échantillon par 6 km²). 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 à la frontière entre les sous-provinces de La Grande au nord et d'Opatica au sud (Card et Ciesielski, 1986; Bandyayera et Caron-Côté, 2022 et 2023). La Sous-province de La Grande est principalement constituée de roches métasédimentaires de la Formation de Voirdye (nAvrd) en contact au sud avec les roches volcaniques mafiques à felsiques du Groupe du Lac des Montagnes (nAmo) lesquelles sont associées à des formations de fer. Ces unités sont injectées par des pegmatites granitiques (Suite de Senay, nAsny) ainsi que de multiples intrusions felsiques à intermédiaires (monzodiorite et tonalite) et mafiques à ultramafiques (Suite de Nasacauso, nAnas). La Sous-Province d'Opatica est formée dans le secteur par le Complexe de Théodat (Athe), un ensemble de roches métamorphiques (gneiss variés) et intrusives felsiques (granite, granodiorite, tonalite). La limite entre les deux sous-provinces est marquée par la Zone de cisaillement de Poste Albanel. La Zone de cisaillement de Nisk (ZCnsk; Bandyayera et Caron-Côté, 2023) se situe environ 2 km au nord du secteur couvert par ce levé.

Six indices minéralisés (Ag, ETR [éléments de terres rares], Fe, Zn) sont répertoriés dans le secteur dont quatre (Ag, ETR, Fe) ont récemment été mis au jour à la suite de travaux du Ministère en 2022 (Bandyayera et Caron-Côté, 2023). Mis à part les indices Etry (ETR dans des roches sédimentaires riches en fer et en phosphore) et Coco (for-

mation de fer encaissée dans un paragneiss), les indices sont situés dans les volcanites du Groupe du Lac des Montagnes.

La quasi-totalité du socle rocheux est recouverte 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 (Lévesque et Lamarche, 2022; Brouard *et al.*, 2023). Ils sont les résultats de l'érosion et du transport des matériaux 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 naturels (fluvioglaciaires, éoliens, remaniements glaciolittoraux, milieux humides, etc.). En raison de ces phénomènes, 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 des 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 : 2021EA ». 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 certains lots d'analyse. Les responsables du levé 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. Cinq lots totalisant 1009 échantillons ont été réanalysés à cette occasion. Pour l'un de ces lots, les réanalyses ont été effectuées une seconde fois, car les erreurs présumées subsistaient après une première étape de réanalyse. Les analyses initiales de ces cinq envois n'ont pas été chargées dans le SIGÉOM, car les réanalyses ont produit des valeurs nettement plus basses que les valeurs originales 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 originales 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** (sonde envoyée une seconde fois approximativement au même endroit) représentent 5 % des analyses effectuées. Les 265 duplicatas (159 du présent levé et 106 du levé 2021FR; 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 qui présentent 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 (deux 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 colonne « Erreur relative terrain » correspond à la différence entre l'erreur totale et l'erreur analytique et correspond à la variabilité naturelle.

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. La précision compare l'écart-type des différences parent/duplicata avec l'écart-type de l'ensemble des données (dans ce cas-ci, toutes les valeurs obtenues en 2020 et 2021). Dans le contexte de la présente étude, le concept de tolérance concerne la capacité d'une méthode à identifier les valeurs anormales et à les distinguer du bruit de fond. Pour ces deux critères, on estime que des valeurs sous les 30 % sont acceptables et des valeurs sous les 10 % sont excellentes.

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

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

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 inférieure à 25 %. Parmi les éléments avec des teneurs supérieures à la limite de quantification ($> 10*LD$), seul le plomb représente un problème avec une erreur relative de presque 39 %. L'erreur estimée pour la portion analytique du plomb (1,2 %) est excellente et comparable à celle des 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 données historiques

Des levés de sédiments de fond de lacs (no projet de sédiment 1957001) ont été réalisés dans le secteur de la rivière Eastmain par la Société de développement de la Baie-James (S.D.B.J.) en 1975 (Cannuli, 1975; Gleeson, 1976; Martin, 1976) et en 1976 (Otis, 1976; S.D.B.J., 1976; Pelletier, 1978). Certains résultats du levé 1957001 ne figurent dans aucun rapport statutaire répertorié dans

Examine (séries 1957080*** et 1957081***). Les échantillons de la SDBJ ont d'abord été analysés pour 9 métaux par absorption atomique (AA; Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, U et Zn). Lorsqu'ils ont été cédés au Ministère dans les années 90, des réanalyses (Beumier 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), par gravimétrie (perte au feu) et par AA (Hg). Une partie des échantillons a été réanalysée de nouveau en 2009 par ICP-MS en utilisant 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 nouvelles et les anciennes données sont plus ou moins comparables en fonction des éléments. 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. Les résultats de cet examen sont présentés au tableau 3.

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 de 2009-2010, à l'exception des éléments Br, Eu, Sm et Tm analysés dans les années 90.

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 issues de ce levé et des levés récents localisés à proximité (tableau 1; Solgadi, 2022; Lamarche et Solgadi, 2023). Ces rangs centiles ont ensuite été interpolés (figures 3b, 4a à 11a, 12 et 13) 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 du SIGÉOM et, plus récemment, par Solgadi (2022) et Lamarche et Solgadi (2023) pour deux levés localisés à proximité du présent projet (tableau 1). 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 (non fournis). Elle est moins grande que celle de 20 km utilisée par Trépanier (2006), Lamothe (2010) ou Solgadi (2017a, 2017b, 2017c et 2018), mais équivalente à celle employée par Solgadi (2022) et Lamarche et Solgadi (2023) pour les levés de haute densité. Bien entendu, cette distance peut varier en fonction des éléments chimiques, mais de façon générale, on n'observe 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 « pépîte ». 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 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 11b.

Autres éléments

Pour l'or, la carte des échantillons anomaux est fournie sans traitement additionnel (figure 3a).

Les cartes d'interpolation des valeurs brutes des éléments indicateurs de contextes métallogéniques (As, Sb, Te, V et W) sont également illustrées (figures 3b, 12 et 13) à titre d'information.

Des valeurs en Pt et Pd ont été observées, mais aucune carte n'a été produite.

INTERPRÉTATION ET ZONES FAVORABLES

Argent

La carte des valeurs résiduelles en argent a permis d'identifier une série d'échantillons anomaux (> 95^e centile; figure 4b) alignés de façon curvilineaire le long du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opatoca. L'indice Jiji (Ag ± Au) se situe directement sur cet alignement. La zone est définie à partir du 95^e centile interpolé par la méthode des voisins naturels. Au total, 20 échantillons présentent une résiduelle supérieure au 95^e centile dans ce secteur.

Par ailleurs, dans le SE du territoire, des valeurs élevées en Ag (> 232 ppb; > 95^e centile; figure 3a) sont alignées selon une direction WNW-ESE et sont associées spatialement à 8 échantillons montrant des valeurs « élevées » en Au (> 5 ppb).

Cuivre-Molybdène-Tungstène

Une zone (figures 6, 9 et 13b) comprenant 8 échantillons associés à sept valeurs élevées en Mo (> 95^e centile) a été tracée dans le NW du territoire, à proximité de la Zone de cisaillement de Nisk et des roches volcaniques du Groupe du Lac des Montagnes. Parmi ces huit échantillons, cinq ont aussi donné des valeurs élevées en Cu ou en W (> 95^e centile). L'indice Opéra (Cu ± Ag ± Zn) est situé environ 2 km à l'ouest.

Éléments de terres rares

Vingt-sept échantillons situés dans la partie SE du levé présentant des valeurs élevées en éléments du groupe des terres rares (> 95^e centile) ont permis de délimiter une zone favorable aux minéralisations de ce type (figure 7). Le Complexe de Théodat contient des unités de pegmatite granitique qui pourraient constituer une source potentielle.

Lithium

De multiples valeurs élevées en lithium (> 95^e centile) sont répertoriées dans le nord du territoire, possiblement associées aux pegmatites granitiques blanches de la Suite de Senay. Les zones favorables ont été tracées à partir de l'interpolation par la méthode des voisins naturels (figure 8). Des indices en lithium sont répertoriés plus à l'ouest dans des unités géologiques du même type (zones minéralisées de Wabouchi et de Graab).

Nickel

Quelques zones favorables ont été délimitées à partir des centiles des résiduelles (> 95^e centile) du nickel (figure 10b).

Les contours des zones ont été tracés uniquement à partir des anomalies identifiées par régression spatiale multiple. Dans plusieurs cas, les zones ainsi tracées se superposent à des unités de roches ultramafiques de la Suite de Nasacauso.

RÉFÉRENCES

- AMOR, S.D., 2015. Comparison of lake-sediment results from Labrador and adjacent Québec: Preliminary results. *In: Current Research 2015* (Pereira, C.P.G., Walsh, D.G., editors). Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources Geological Survey; Report 15-1, pages 215-242.
- BANDYAYERA, D., CARON-CÔTÉ, E., 2019. Géologie de la région du lac des Montagnes, sous-provinces de La Grande, de Nemiscau et d'Opatoca, Eeyou Istchee, Baie-James, Québec, Canada. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; BG 2019-03. Consulté le 20 avril 2023. <https://gq.mines.gouv.qc.ca/bulletins-geologiques/lac-des-montagnes/>
- BANDYAYERA, D., CARON-CÔTÉ, E., 2022. Géologie de la région du lac Le Vilin, sous-provinces d'Opatoca et de La Grande, Eeyou Istchee, Baie-James, Québec, Canada. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; BG 2022-03. Consulté le 20 avril 2023. <https://gq.mines.gouv.qc.ca/bulletins-geologiques/lac-le-vilin/>
- BANDYAYERA, D., CARON-CÔTÉ, E., 2023. Géologie de la région de la Marée, sous-provinces d'Opatoca et de La Grande, Eeyou Istchee, Baie-James, Québec, Canada. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; BG 2023-03. Consulté le 20 avril 2023. <https://gq.mines.gouv.qc.ca/bulletins-geologiques/marec/>
- 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.
- BROUARD, É., ROY, M., DUBÉ-LOUBERT, H., HÉBERT, S., LAMARCHE, O., 2023. Carte glaciaire du Québec et synthèses régionales. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; MB 2023-04, 70 pages.
- CANNULI, M., 1975. Géochimie de lacs, été 1975. S D B J, rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 34036, 38 pages.
- CARD, K. D., CIESIELSKI, A., 1986. Subdivisions of the Superior Province of the Canadian Shield. Geoscience Canada; volume 13, pages 5–13.
- CÔTÉ-ROBERGE, M., CHARTIER-MONTREUIL, W., HAMEL-HÉBERT, M.-K., BANDYAYERA, D., 2022. Géologie de la région du lac Conviac, sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; BG 2022-05. Consulté le 20 avril 2023. <https://gq.mines.gouv.qc.ca/bulletins-geologiques/lac-conviac/>
- GENNA, D., 2014. Optimisation des analyses des suites multi-éléments ICM-MS pour l'exploration minérale. CONSOREM; projet 2014-05, 27 pages.
- GLEESON, C.F., 1976. Report on lake sediment geochemical survey, areas A and B, James Bay Territory. S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 34038, 138 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., 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.
- 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.
- LÉVESQUE, M.-A., LAMARCHE, O., 2022. Géologie des dépôts de surface de la région du lac des Montagnes, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; BQ 2022-01. Consulté le 18 mai 2023. <https://gq.mines.gouv.qc.ca/bulletins-quaternaires/bq-nemiscau/>
- MARTIN, L., 1976. James Bay Lake Geochemistry, 1975 data, numerical treatment and report. S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 34037, 1089 pages.
- OTIS, M., 1976. Projet, géochimie de sédiments de lac, S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 34169, 39 pages.
- PELLETIER, Y., 1978. Géochimie de fonds de lacs 1976, contrôle des analyses. S.D.B.J., rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 34187, 100 pages.
- RAFINI, S., 2015. Assurance et contrôle de la qualité (QA/QC) en exploration minérale : synthèse et évaluation des usages. CONSOREM; Projet 2013-05, 44 pages.
- ROY, G., 2023. Carte géologique du Québec, édition 2022. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; DV 2023-01, 1 plan.
- S.D.B.J., 1976. Géochimie de fonds de lac, région Fire-Mistanao. Rapport statutaire soumis au gouvernement du 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.

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. Rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; GM 62922, 95 pages.

TABLEAU 1 - Levés de sédiments de fond de lac utilisés pour la classification en 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	2091	RP 2023-01	32J10, 32J15, 32O02, 32O07
2021EA (présent projet)	2812	RP 2023-02	32O07 à 32O10, 32O15, 32O16

TABLEAU 2 - Erreurs relatives et mesures de précision et de tolérance pour les échantillons 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 différences relatives entre les nouveaux échantillons et les doublons historiques.

	Coefficients de corrélation		n	Distribution des différences relatives (%)						
	Pearson (r)	Spearman (r _s)		2,5 %	25 %	Médiane	75 %	97,5 %	Moyenne	Écart-type
Ag	0,457	0,481	695	-139	-31	1	35	148	3	66
Al	0,630	0,652	699	-114	-44	-22	-3	121	-18	52
As	0,641	0,650	436	-94	17	67	108	177	59	71
Ba	0,411	0,440	699	-113	-43	-20	8	92	-17	47
Be	0,394	0,631	29	-	-	-	-	-	-	-
Ca	0,318	0,476	682	-76	-11	14	38	108	14	45
Cd	0,433	0,461	689	-137	-40	-13	20	130	-10	59
Ce	0,533	0,700	699	-104	-39	-11	16	104	-9	49
Co	0,446	0,731	601	-162	-70	-27	13	135	-25	71
Cr	0,723	0,733	531	-126	-66	-37	-15	82	-37	47
Cs	0,659	0,680	675	-93	-25	-7	12	95	-5	42
Cu	0,568	0,532	699	-155	-101	-71	-38	78	-65	55
Eu	0,526	0,616	58	-	-	-	-	-	-	-
Fe	0,430	0,764	657	-154	-52	-11	30	154	-8	71
Ga	0,582	0,584	699	-95	-28	-8	15	200	1	56
Hg	0,116	0,263	354	-187	-149	-123	-95	-19	-119	44
K	0,536	0,755	13	-	-	-	-	-	-	-
La	0,550	0,715	689	-103	-44	-19	4	98	-17	48
Li	0,646	0,778	603	-112	-40	-15	9	104	-13	49
Mg	0,637	0,780	176	-126	-29	-9	10	68	-12	46
Mn	0,261	0,773	691	-149	-45	-10	34	161	-5	70
Mo	0,496	0,699	699	-147	-57	-18	15	131	-17	66
Na	0,360	0,408	448	-87	15	43	67	113	38	47
Nb	0,525	0,607	675	-104	-46	-17	10	173	-12	58
Ni	0,634	0,669	699	-114	-48	-26	-1	77	-24	44
P	0,575	0,609	699	-104	-23	2	30	130	4	53
Pb	0,029	0,312	699	-108	-25	7	46	121	9	58
Rb	0,537	0,735	666	-102	-39	-17	6	94	-14	49
S	0,187	0,489	697	-142	-22	3	34	200	10	82
Sc	0,607	0,705	257	-147	-80	-48	-14	63	-46	53
Se	0,128	0,290	474	-118	16	61	97	169	53	68
Sm	0,522	0,594	688	-137	-86	-54	-22	102	-47	62
Sn	0,392	0,431	58	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,450	0,483	698	-86	-22	-1	23	102	3	44
Th	0,329	0,707	288	-189	-136	-78	-18	137	-68	86
Ti	0,707	0,768	611	-77	-9	13	39	108	14	45
Tl	0,389	0,651	163	-176	-106	-43	10	131	-42	78
U	0,622	0,827	675	-167	-71	-32	-6	134	-33	66
V	0,653	0,726	501	-127	-53	-22	3	133	-18	58
W	0,264	0,697	162	-190	-67	-17	20	147	-22	84
Y	0,595	0,674	699	-106	-42	-16	9	113	-13	50
Zr	0,226	0,444	63	-	-	-	-	-	-	-
Zn	0,582	0,607	699	-126	-51	-22	13	111	-18	55

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 r^2 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	0,90	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, Tl, V, Zn	Au, Co, Cu, Ni, S, Pt, Pd
Zn	0,74	Al, Ca, Cd, Eu, Fe, Li, Mg, Mn, Sb, Sn, Sr, Tl	Au, Cu, Mo, Pb, S, Zn
ETR	0,73	Al, Ca, Nb, Ni, P, Se, Sr, Th, Ti, U, V, W	ETR (lanthanides), Y

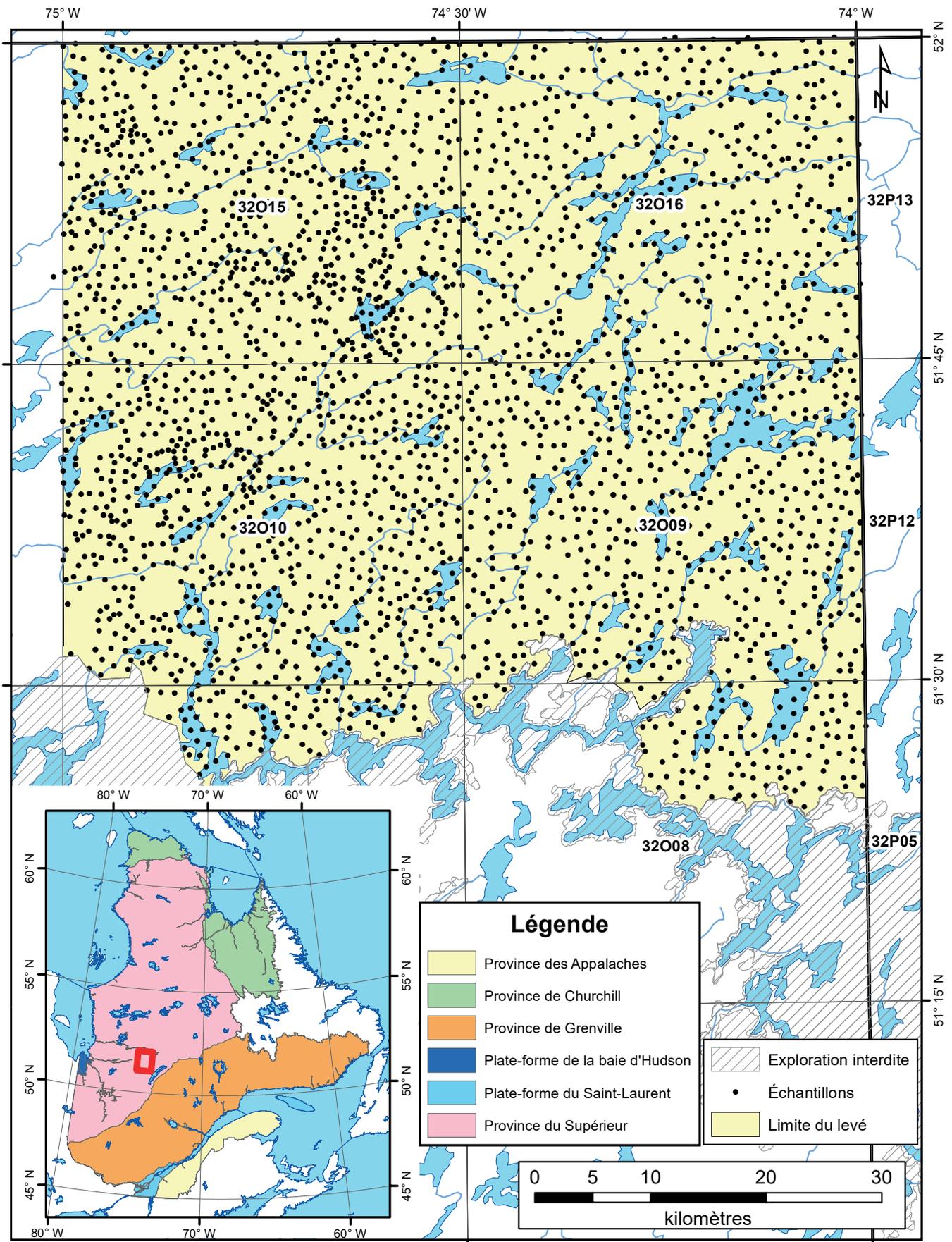
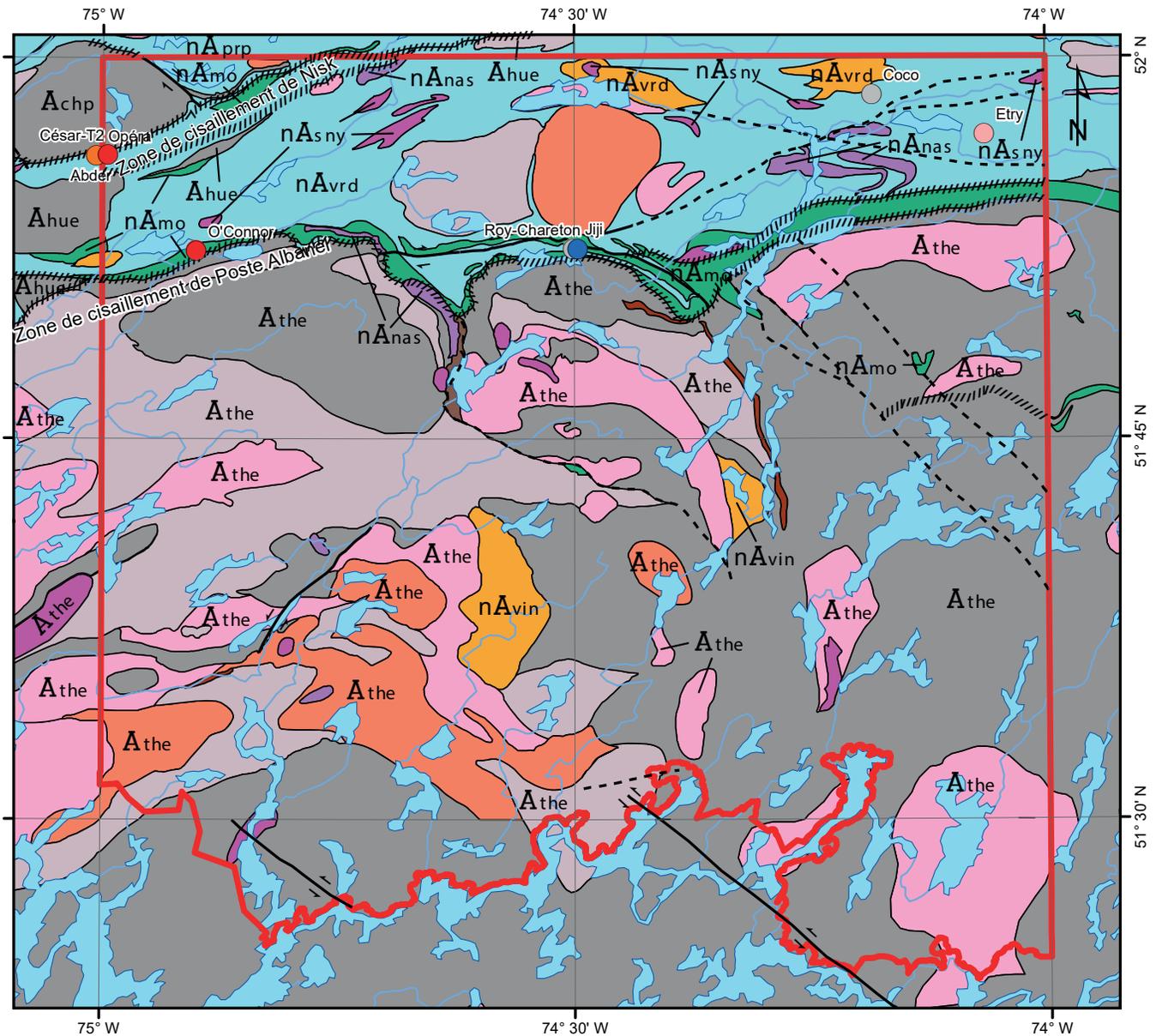


FIGURE 1 – Localisation de la zone d'étude et des échantillons de sédiments de fond de lac du levé Eastmain.



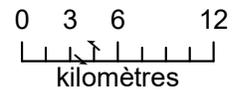
Néoarchéen

- nAsny Suite de Senay
- nAmo Groupe du Lac des Montagnes
- nAnas Suite mafique-ultramafique de Nasacauso
- nAprp Formation de Prosper
- nAvrd Formation de Voirdye
- nAvin Suite migmatitique de Le Vilin

Archéen

- Achp Complexe de Champion
- Ahue Complexe de la Hutte
- Athe Complexe de Théodat

Pegmatite	Métatexite et diatexite
Volcanites	Zone de cisail. régionale
Formation de fer	Faille dextre
Diorite	Faille senestre
Gabbro	Faille présumée
Pyroxénite et péridotite	Lac
Monzodiorite	Rivière
Granite et granodiorite	Limite du levé
Tonalite et tonalite foliée	
Paragneiss	
Gneiss non différencié et migmatite	



Indices minéralisés

- Ag
- Cu
- ETR
- Fe
- Zn

FIGURE 2 – Carte géologique de la zone d'étude modifiée de Roy (2023), Bandyayera et Caron-Côté (2019, 2022 et 2023) et Côté-Roberge *et al.* (2022).

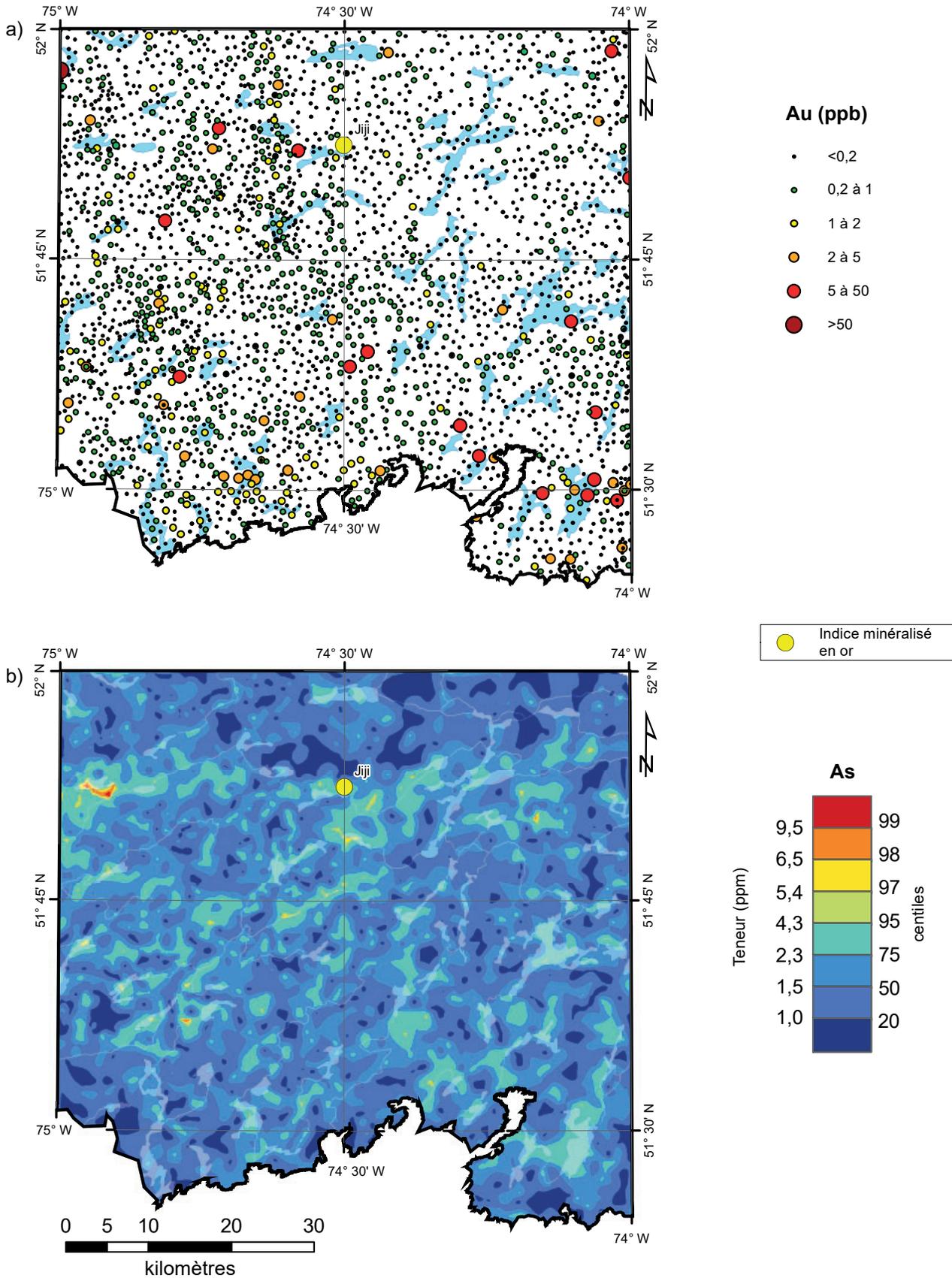


FIGURE 3 – Concentrations en or et centiles des concentrations en arsenic dans le nouveau levé de fond de lac.

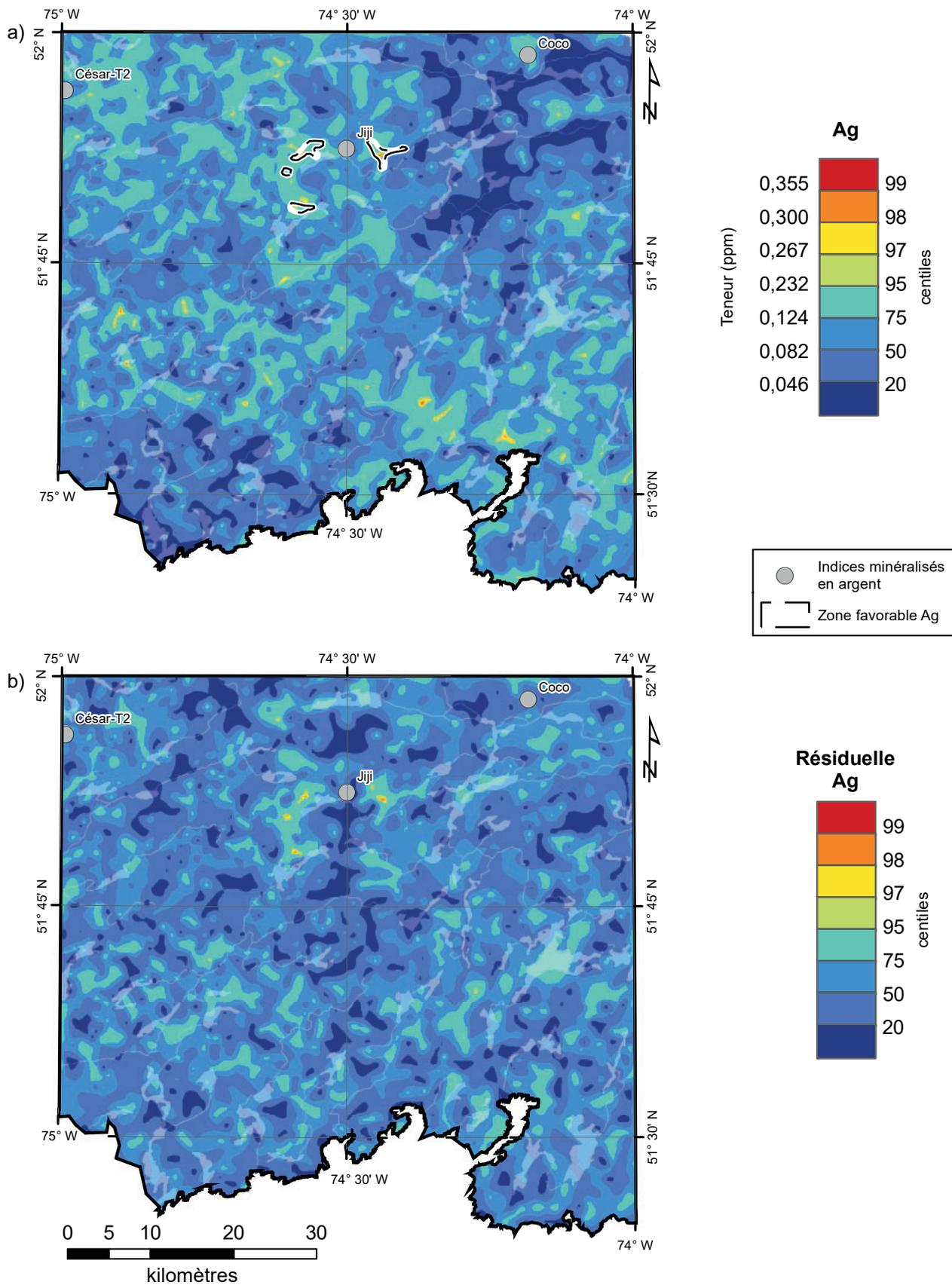


FIGURE 4 – Centiles des concentrations et des résiduelles en argent dans le nouveau levé de fond de lac.

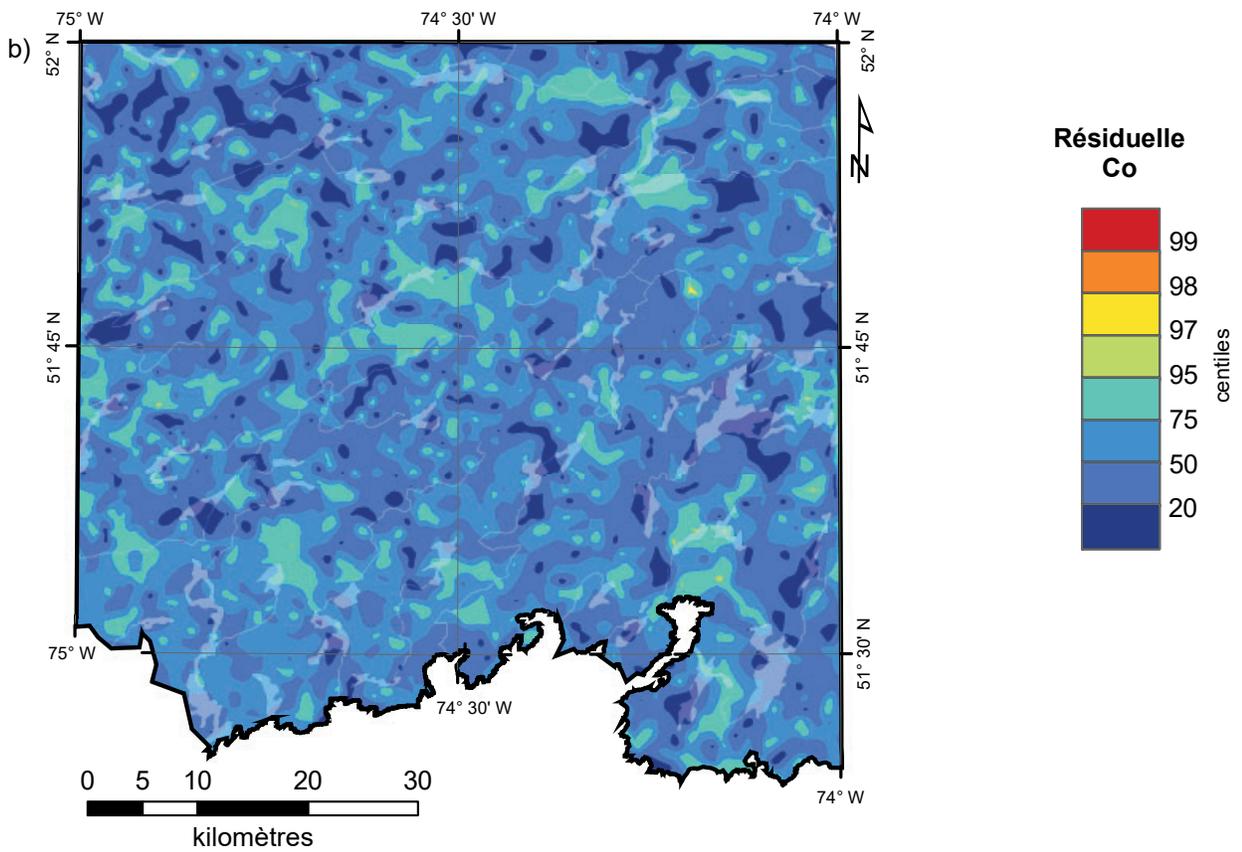
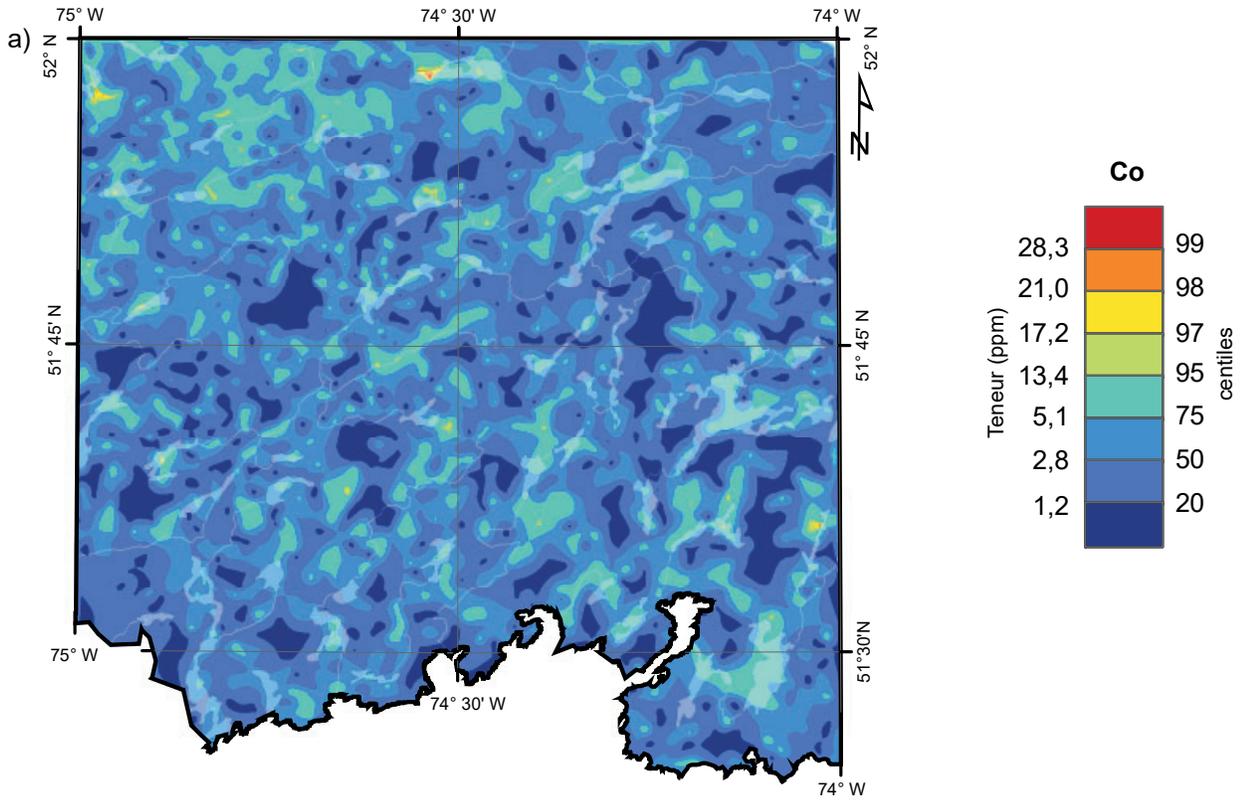


FIGURE 5 – Centiles des concentrations et des résiduelles en cobalt dans le nouveau levé de fond de lac.

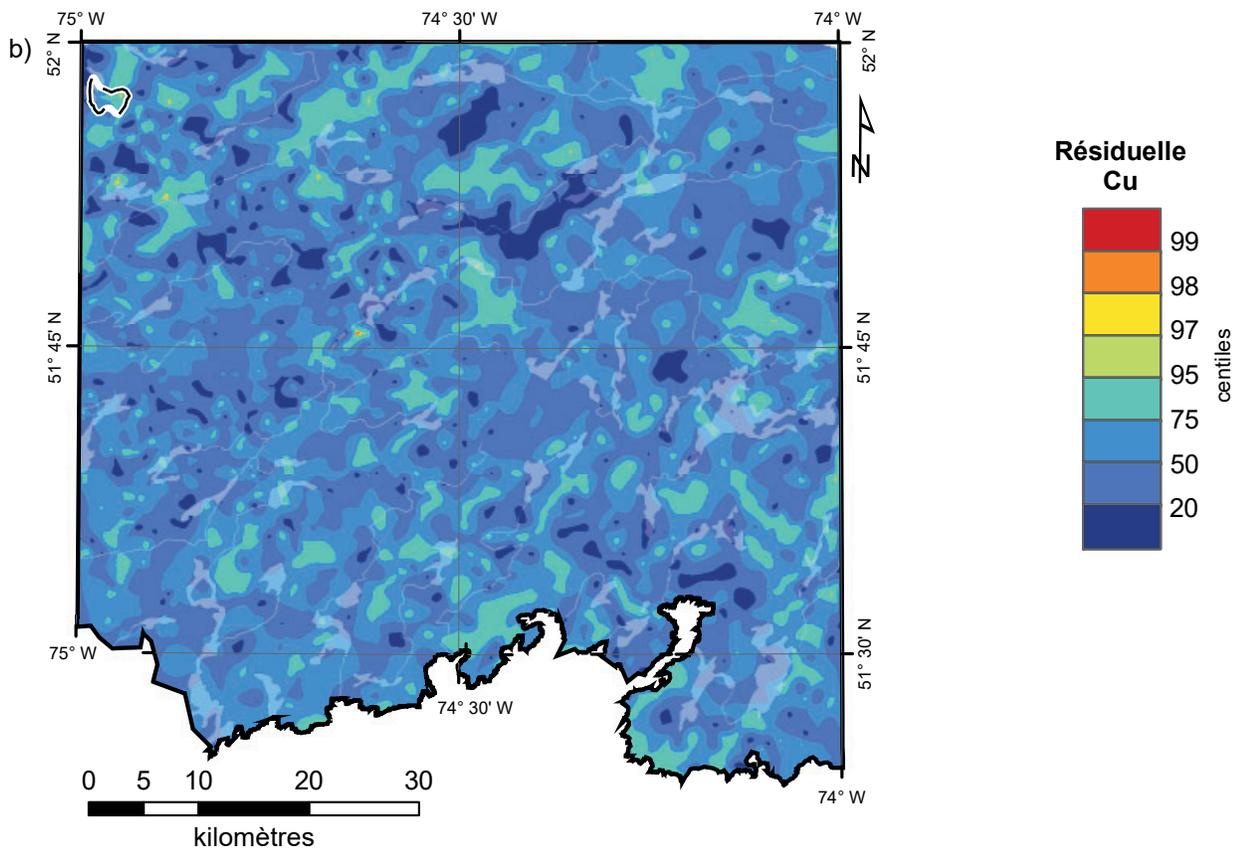
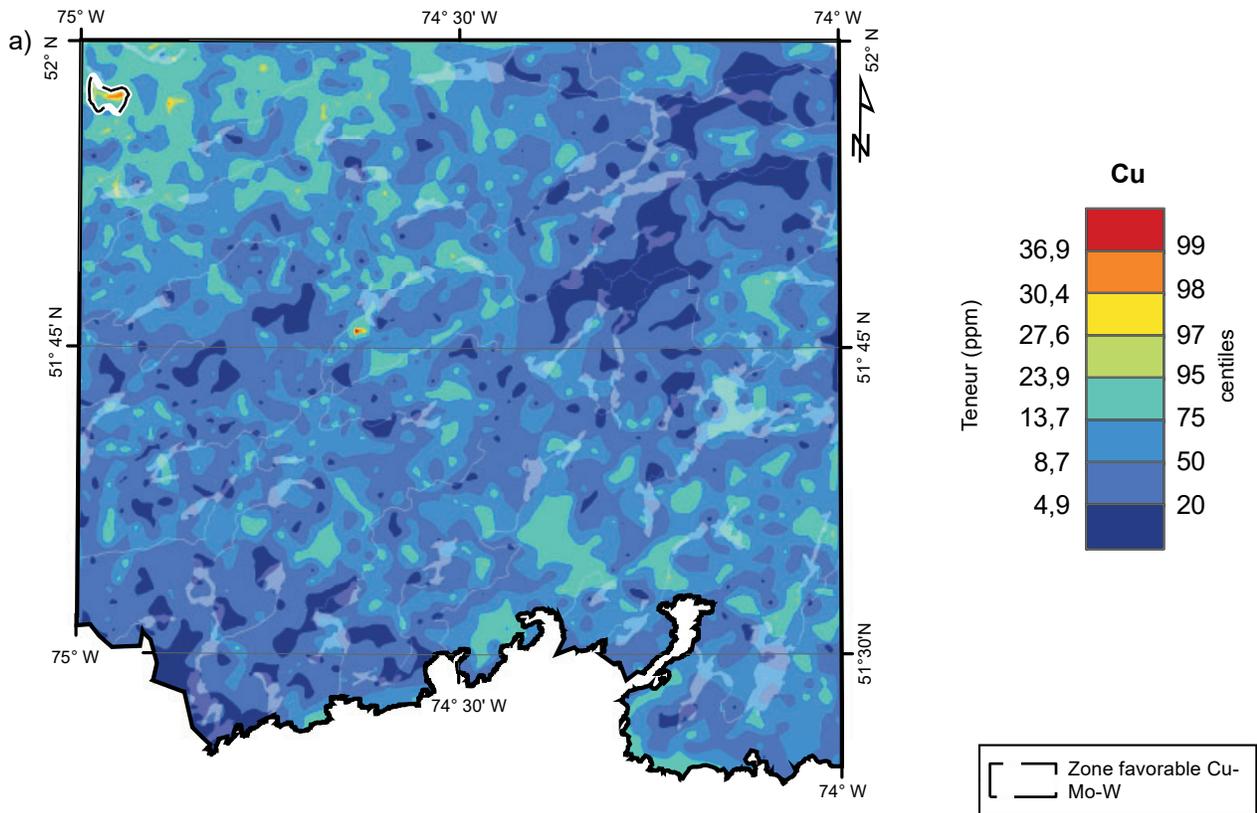


FIGURE 6 – Centiles des concentrations et des résiduelles en cuivre dans le nouveau levé de fond de lac.

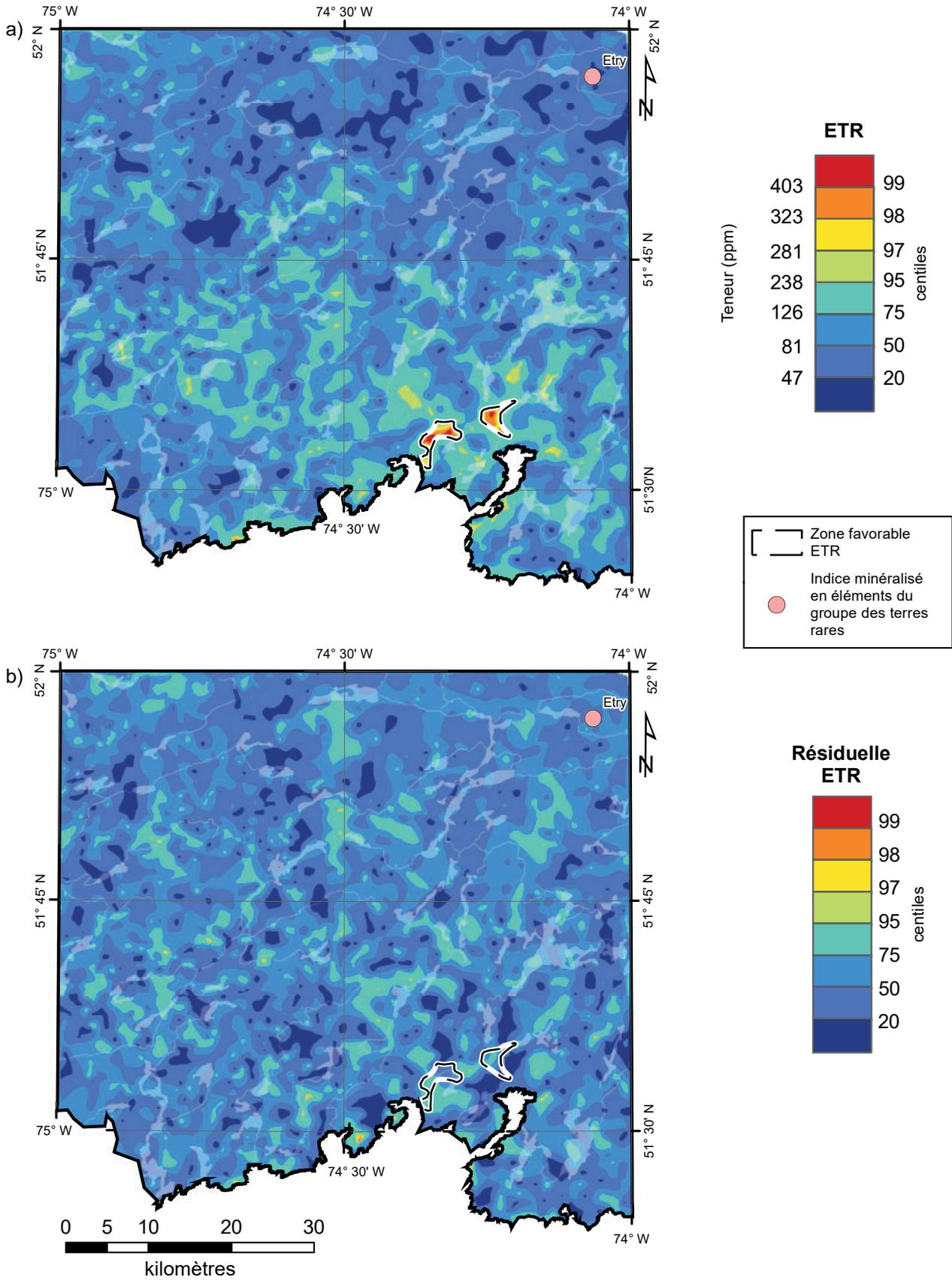


FIGURE 7 – Centiles des concentrations et des résiduelles en ETR dans le nouveau levé de fond de lac.

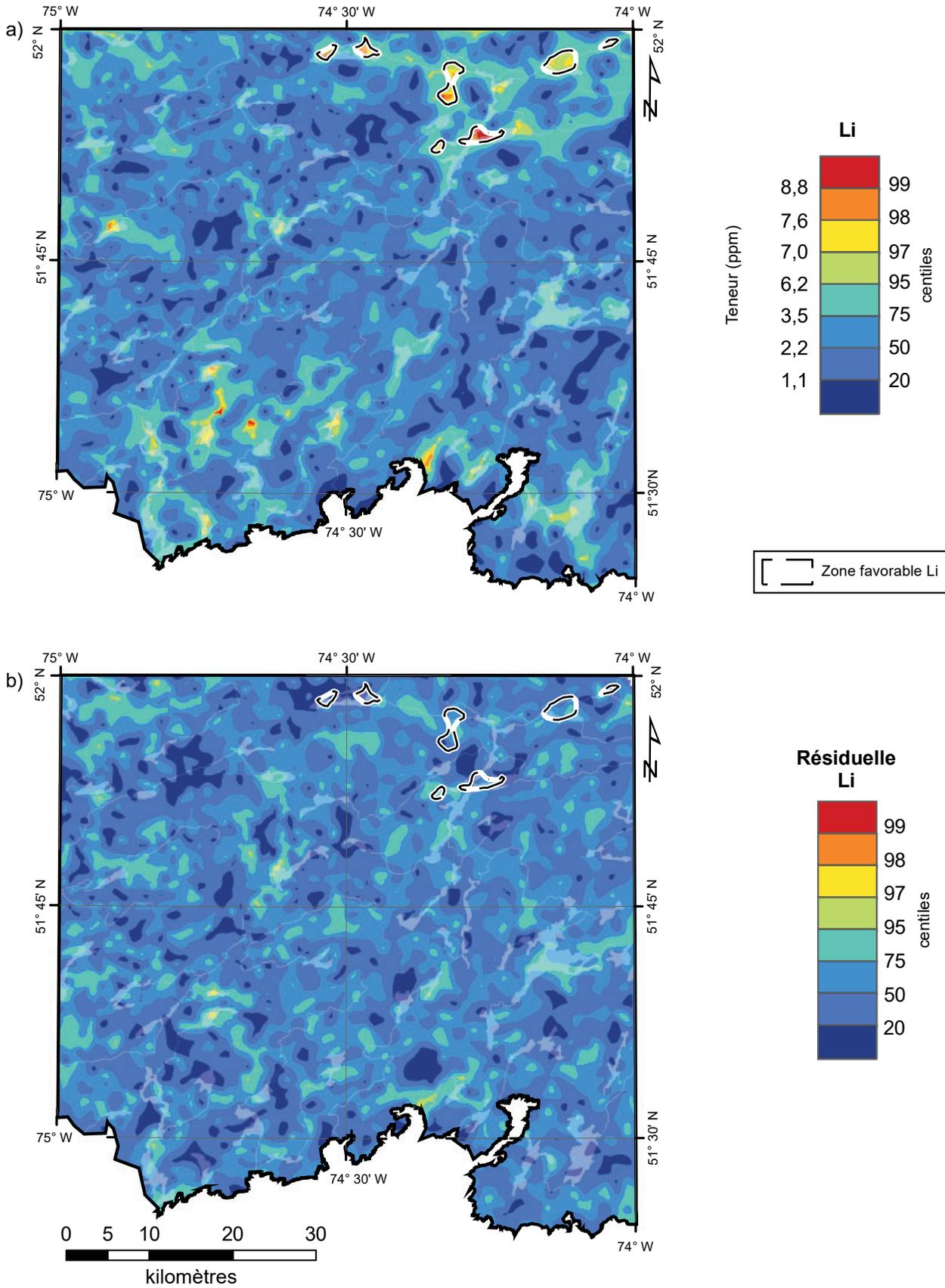


FIGURE 8 – Centiles des concentrations et des résiduelles en lithium dans le nouveau levé de fond de lac.

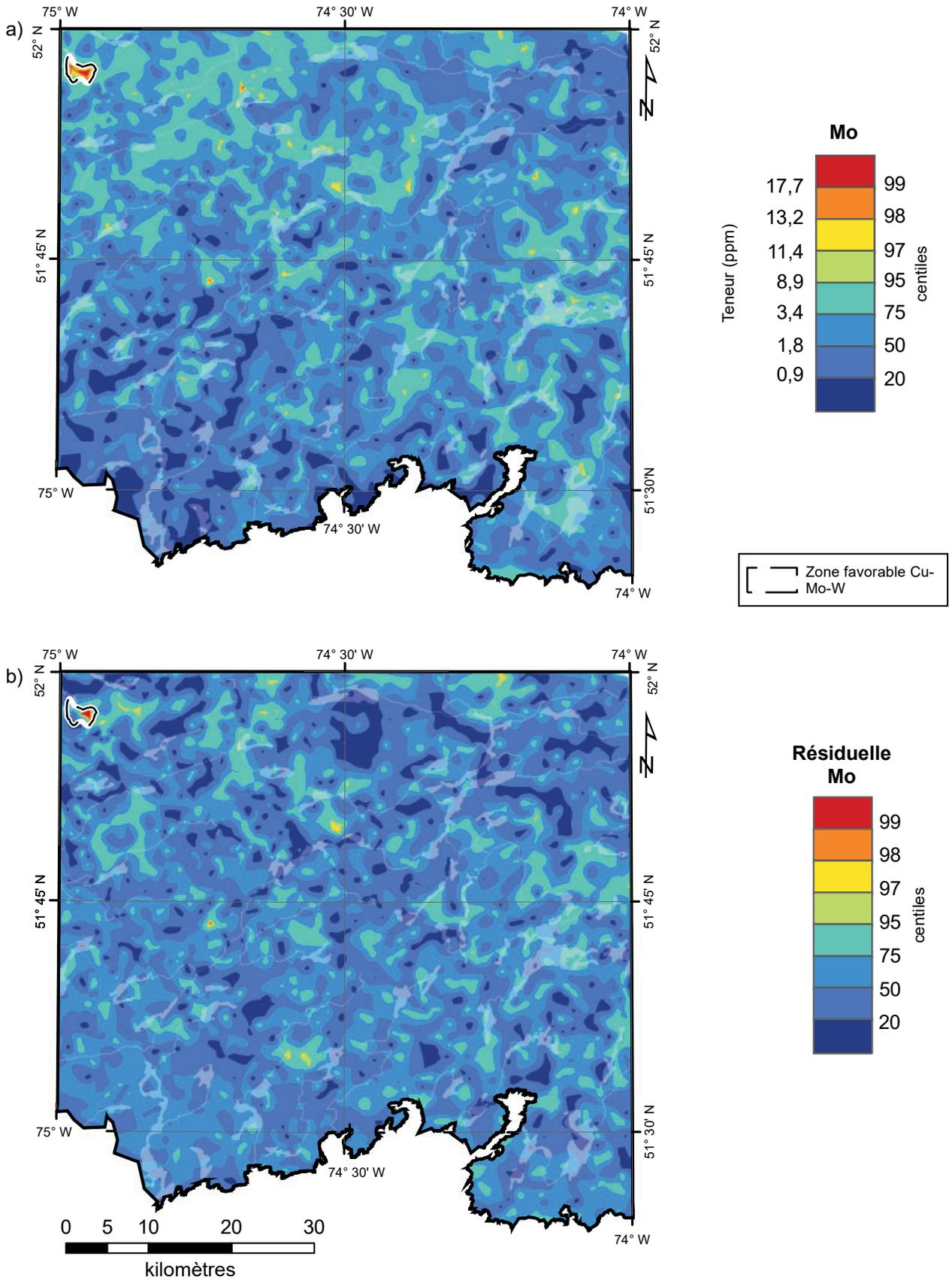


FIGURE 9 – Centiles des concentrations et des résiduelles en molybdène dans le nouveau levé de fond de lac.

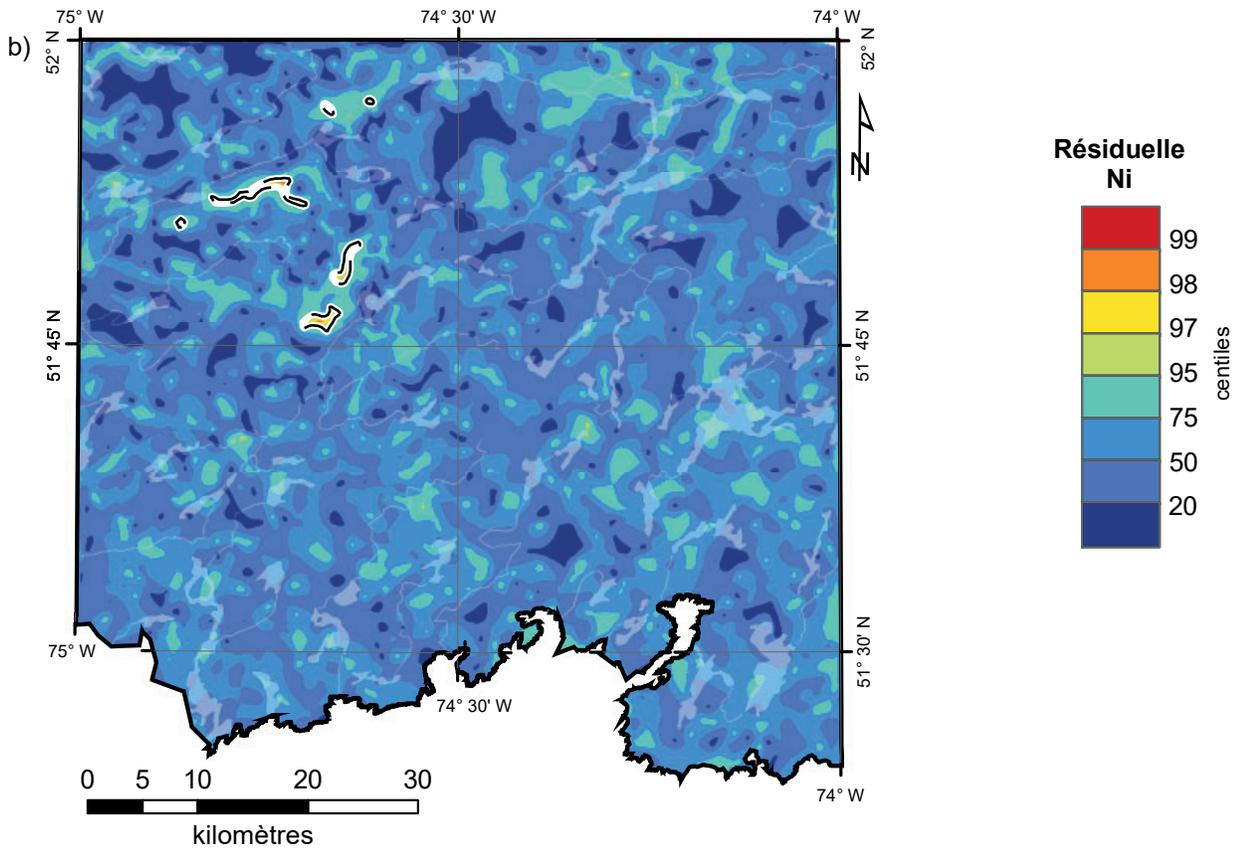
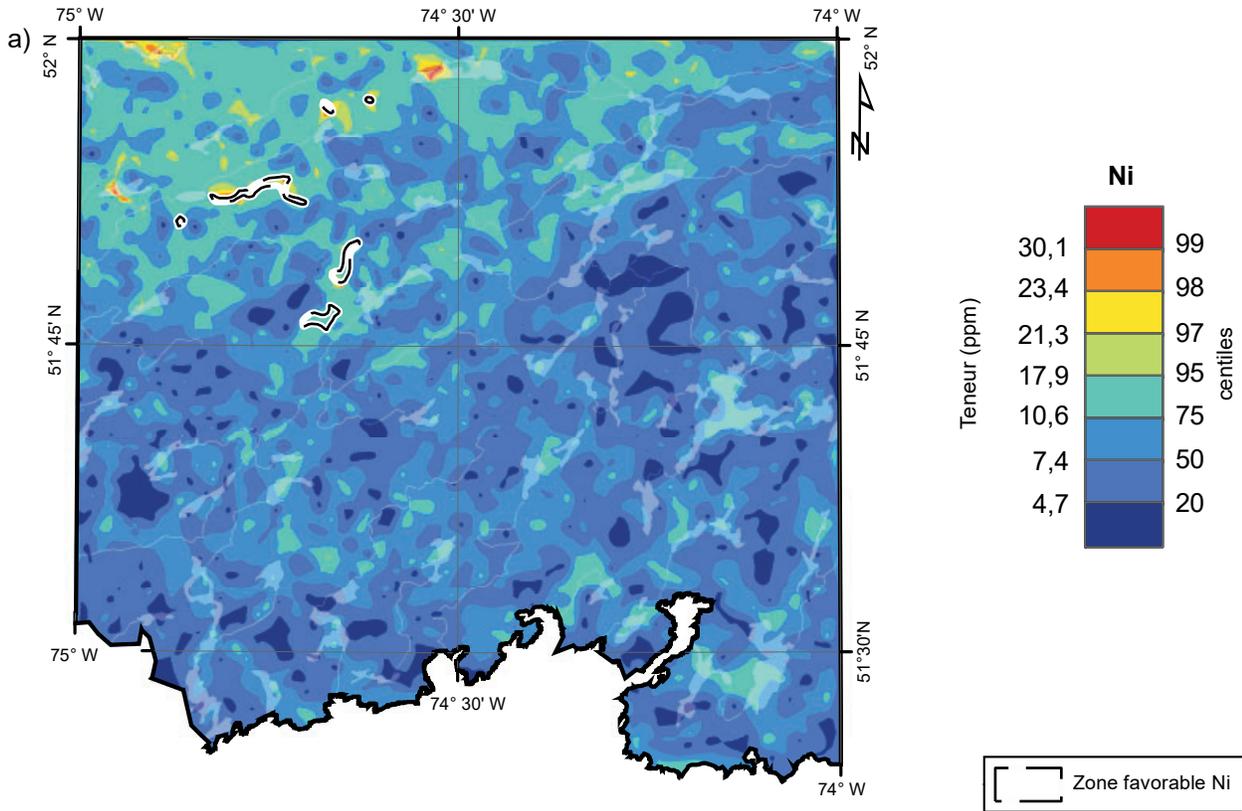


FIGURE 10 – Centiles des concentrations et des résiduelles en nickel dans le nouveau levé de fond de lac.

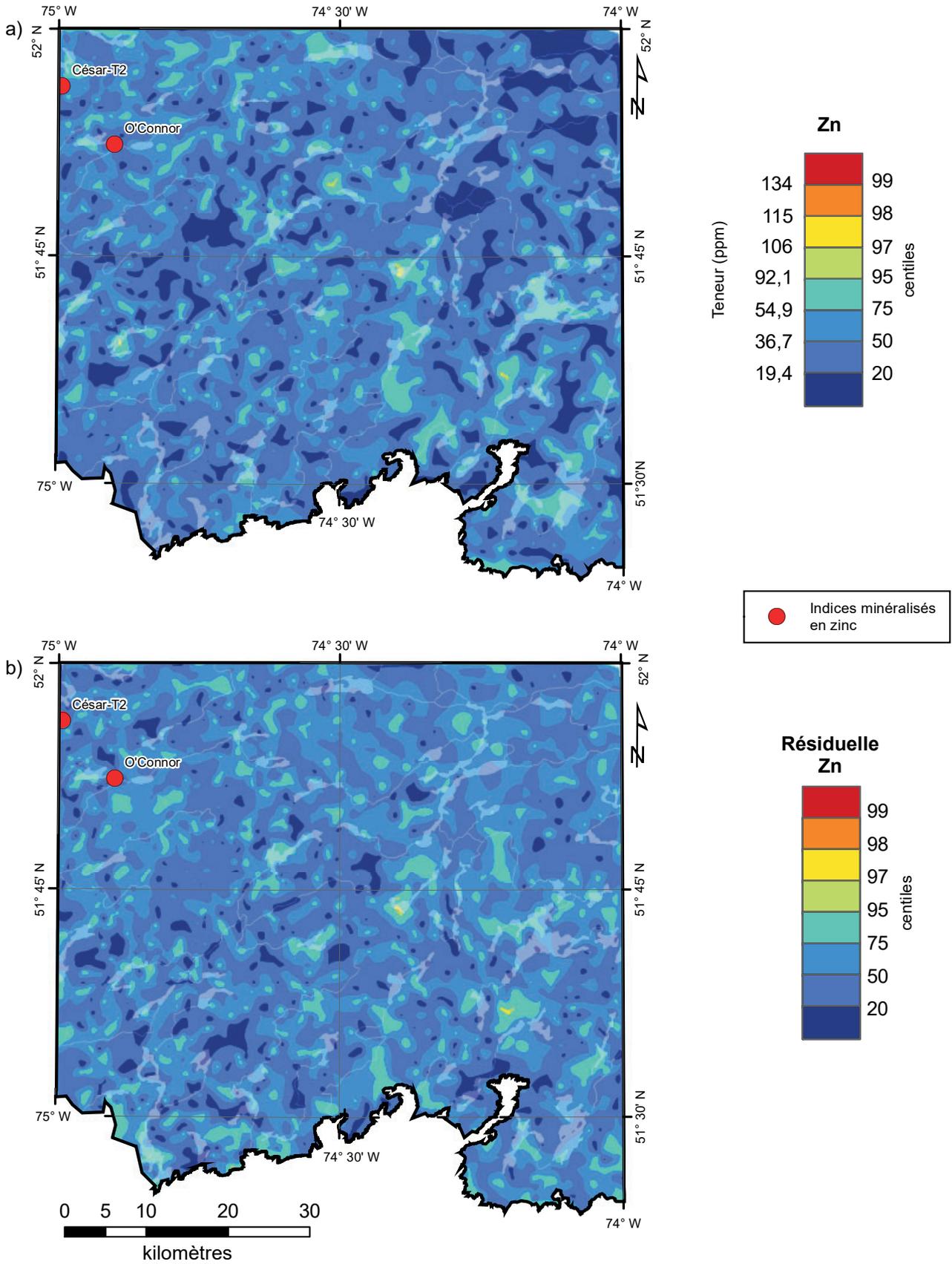


FIGURE 11 – Centiles des concentrations et des résiduelles en zinc dans le nouveau levé de fond de lac.

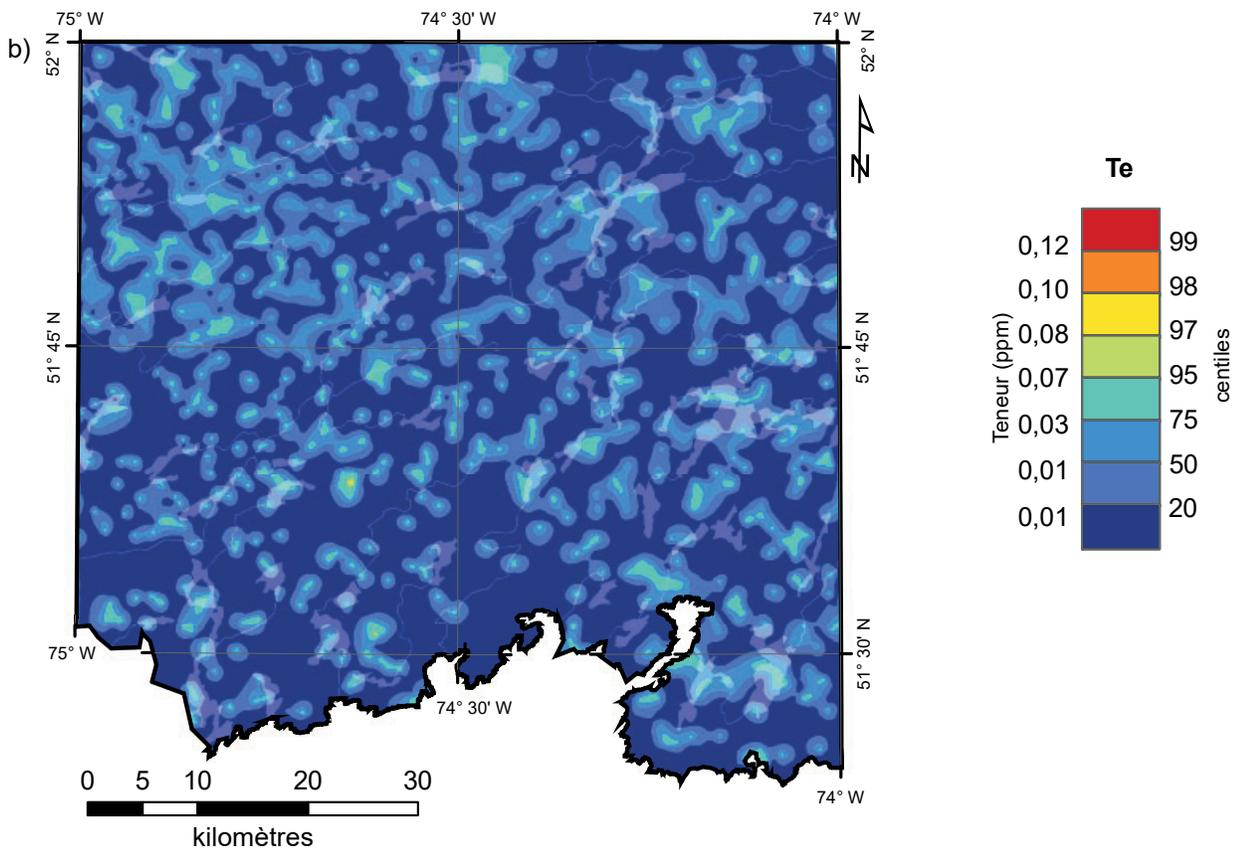
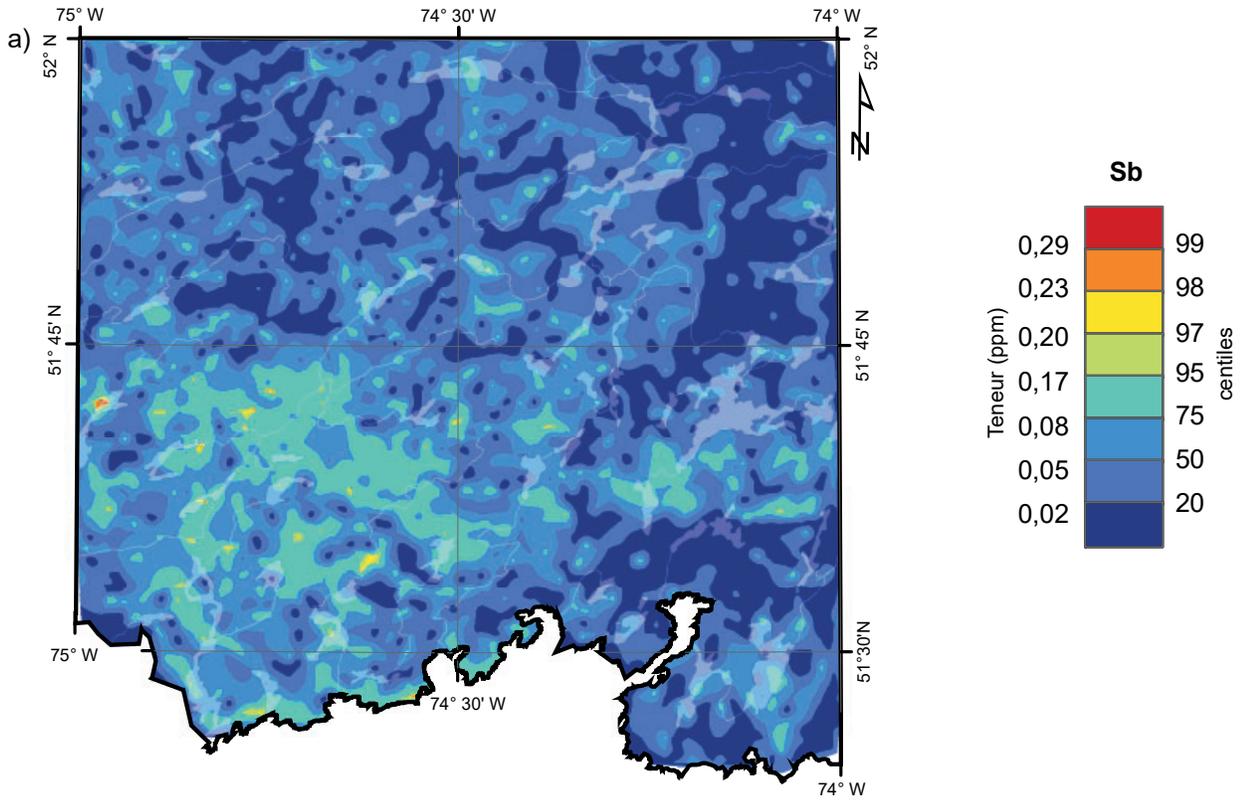


FIGURE 12 – Centiles des concentrations en antimoine et en tellure dans le nouveau levé de fond de lac.

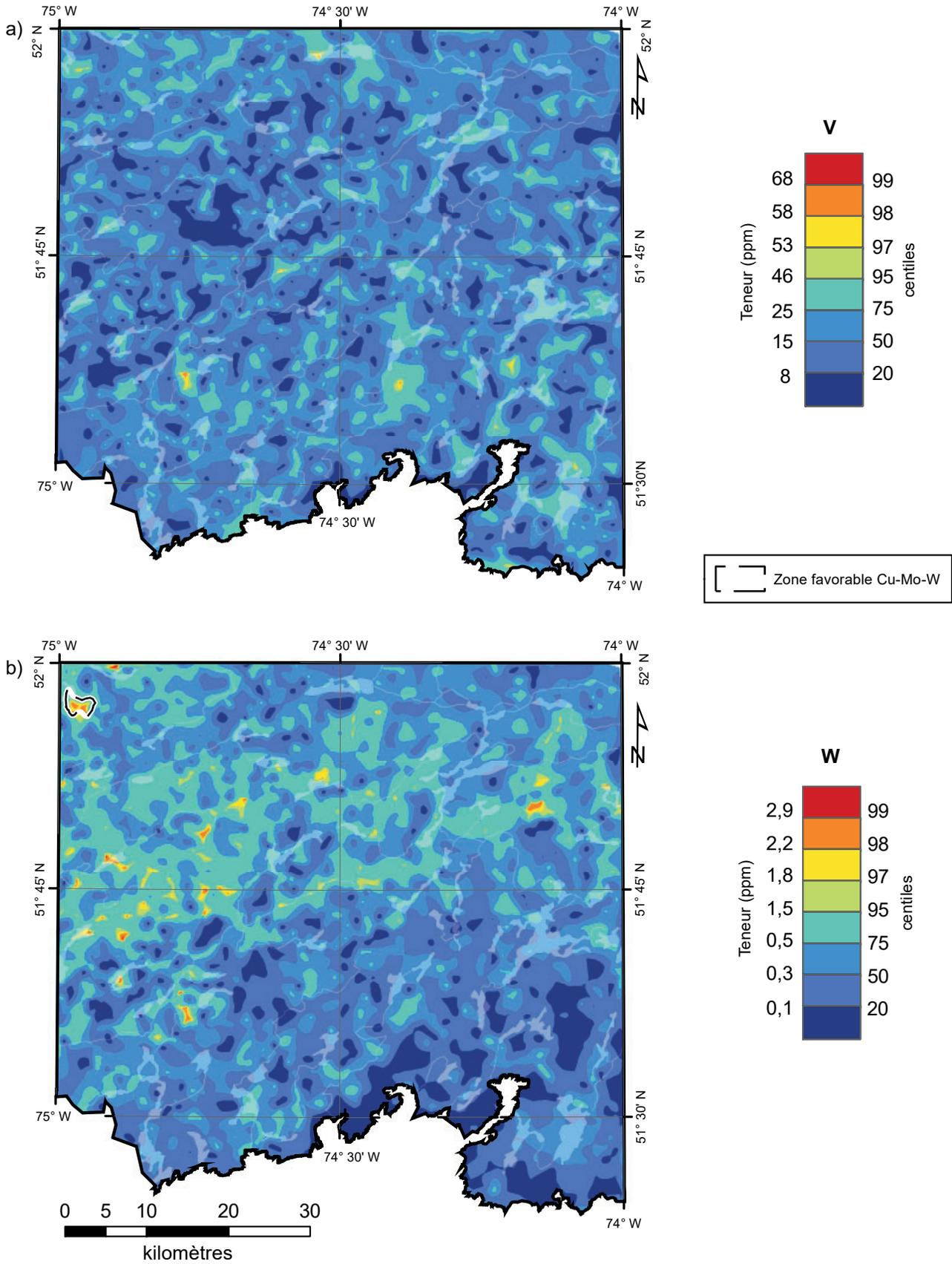


FIGURE 13 – Centiles des concentrations en vanadium et en tungstène dans le nouveau levé de fond de lac.

