



Levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur du lac Ayde, Province du Supérieur

RP 2025-02



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

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

Fabien Solgadi, géo.

Auteur

Olivier Lamarche, géo.

Édition

Claude Dion, ing.

Graphisme

André Tremblay

Levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur du lac Ayde, Province du Supérieur

Olivier Lamarche

RP 2025-02

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	5
CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....	5
MÉTHODE DE TRAVAIL.....	6
CONTRÔLE DE QUALITÉ	6
Duplicatas.....	6
TRAITEMENT DES DONNÉES ET RÉSULTATS	7
Nivellement	7
Interpolation des valeurs brutes	7
Régression spatiale multiple.....	8
Autres éléments	8
ZONES FAVORABLES ET OBSERVATIONS	9
Observations initiales	9
Arsenic	9
Cobalt.....	9
Cuivre.....	9
Lithium.....	9
Césium	10
Molybdène.....	10
Nickel.....	10
RÉFÉRENCES	11
ANNEXE A.....	32
ANNEXE B	35
ANNEXE C	38
ANNEXE D	41

INTRODUCTION

Le ministère des Ressources naturelles et des Forêts a réalisé à l'été 2024 un levé géochimique de sédiments de fond de lac de haute densité dans le secteur du lac Ayde dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James (feuilles SNRC 32P13, 32P14, 33A03 à 33A06, 33A11 et 33A12; figure 1). Ce levé d'une superficie d'environ 4312 km² a été exécuté par la firme Geo Data Solutions GDS entre le 7 et le 31 juillet 2024. À cette occasion, 2907 sites ont été échantillonnés (tableau 1), dont 164 ont été dupliqués afin de tester la précision des méthodes d'échantillonnage et d'analyse. En comptant ces doublons, un total de 3069 échantillons a été prélevé dans la zone d'étude. Deux échantillons n'ont pas été analysés par manque de matériel. La densité d'échantillonnage correspond à environ un échantillon par 1,5 km² (figure 1).

Ce projet vise à fournir une couverture de données géochimiques de haute densité pour ce secteur d'Eeyou Istchee Baie-James. Ces travaux ont pour but d'identifier des zones favorables à la présence de certains types de minéralisations à partir d'anomalies élémentaires (Ag, As, Co, Cu, ETR, Li, Mo, Ni, Zn, Bi, Nb, Cd, Cs, Sb, Sn, V, W, Au, EGP).

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La figure 2 présente une carte géologique hybride combinant la carte régionale du SIGÉOM (Roy, 2023) et les étiquettes des unités définies dans le cadre des levés géologiques de détail réalisés dans le secteur (Chartier-Montreuil et St-Laurent, 2024 pour la moitié est). Les travaux de cartographie récents effectués au sud (Bandyayera *et al.*, 2023 et 2024) et à l'ouest (Simard et Gosselin, 1999), ainsi que les cartes aéromagnétiques suggèrent toutefois que la géologie de la moitié ouest du présent levé est passablement différente de celle présentée actuellement dans la carte interactive du SIGÉOM et à la figure 2.

D'un point de vue géologique, le territoire couvert par ce levé se situe au contact des sous-provinces d'Opinaca au nord et de La Grande au sud (Card et Ciesielski, 1986). Le contact entre ces deux sous-provinces était autrefois défini par la Zone de cisaillement d'Eastmain. Cette limite a fait l'objet d'une révision dans la partie est de la région d'étude (Chartier-Montreuil et St-Laurent, 2024). Le contact a ainsi été déplacé vers le nord et correspond maintenant à la Zone de cisaillement de Prosper, en accord avec les travaux de cartographie antérieurs effectués plus à l'ouest (Côté-Roberge et Chartier-Montreuil, 2023). En extrapolant ce contact dans la portion ouest de la région d'étude, la Sous-Province d'Opinaca est principalement constituée de roches métasédimentaires présentant divers degrés de fusion partielle (paragneiss, diatexite et métatexite) du Complexe de Laguiche (nAlgi), ainsi que par des intrusions monzodio-

ritiques et monzonitiques (Suite intrusive d'Opinaca, nAoa; Suite de Féron, nAfer) et granitiques (Suite granitique de Des Antons, nAant).

La Sous-province de La Grande est formée en grande partie par les roches métasédimentaires des formations de Prosper (nAprp) et de Voirdey (nAvrd) injectées d'intrusions felsiques à intermédiaires (Pluton d'Éblé, nAebl; Suite de Travot, nAtvt). On y trouve des bandes de volcanites felsiques à mafiques, amphibolitisées par endroits (Groupe de Clauzel, nAclz; Formation de Caulincourt, nAclc; Formation de Mistamiquechamic, nAmtc). Les roches intrusives (gabbro, pyroxénite, péridotite) des suites mafiques-ultramafiques de Chamic (nAcmi) et de Sorbier (nAsrb) s'injectent respectivement dans les gneiss tonalitiques du Complexe de Maingault (nAmng), dans le sud de la zone d'étude, et dans le Groupe de Clauzel (nAclz). Le Batholite de MacLeod (nAmcl; granodiorite et monzodiorite) est en partie encaissée dans des paragneiss.

La région est l'hôte de quelques indices minéralisés, dont quatre de substances métalliques (Cu, Mo, Au ± Ag) associés au Batholite de MacLeod (dont l'indice travaillé de Pointe Rocky). Lors de la campagne de cartographie de 2024 (Chartier-Montreuil et St-Laurent, 2024), deux nouvelles minéralisations ont été mises au jour dans le secteur : l'indice Caulincourt (Mo ± Cu) dans les amphibolites de la Formation de Caulincourt et l'indice Comatule (Cs ± Cu ± Li) dans des veines chloriteuses qui coupent une amphibolite du Groupe de Clauzel (nAclz).

Le socle rocheux est recouvert, en tout ou en partie, par des sédiments glaciaires d'origine et d'épaisseur variées. Les différents faciès de till, dérivés du substrat rocheux, sont les sédiments les plus abondants (Daubois et Lamarche, 2020; Brouard *et al.*, 2023). Les sédiments fluvioglaciaires sont présents sous la forme de longs corridors orientés NE-SW, notamment le long de la rivière Eastmain dans le feuillet 33A03. Ils sont les résultats de l'érosion et du transport des matériaux par l'eau de fonte selon des directions dictées par la dynamique glaciaire et l'orientation de la marge glaciaire en retrait. Un transport glaciaire vers le SW (entre 210° et 220°) a dominé pendant la dernière glaciation, autant durant le maximum glaciaire que lors de la déglaciation (Veillette *et al.*, 1999; Daubois et Lamarche, 2020). Le schéma de drainage indique une influence du socle rocheux, notamment dans le feuillet 33A05, associée à une plus faible épaisseur du couvert sédimentaire.

La géochimie des sédiments de fond de lac est non seulement affectée par le réseau hydrologique, mais est également influencée par la dispersion glaciaire (orientation SW) et par divers autres processus naturels (fluvioglaciaires, éoliens, remaniements littoraux, hydrogéologiques, milieux humides, etc.). Elle donne donc un aperçu des caractéristiques géochimiques d'un bassin versant, qui sont elles-mêmes héritées de facteurs d'origine hydrologique, environnementale, géologique ou quaternaire. En raison de ces phénomènes, les anomalies géochimiques identifiées par les levés de fond de lac ne sont pas systématiquement

indicatrices d'anomalies lithologiques. Lorsqu'elles le sont, les anomalies sont généralement décalées par rapport aux minéralisations auxquelles elles sont associées. Néanmoins, la géochimie de ces sédiments est généralement bien corrélée avec celle des grandes unités lithologiques et des secteurs minéralisés.

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 2024 au laboratoire *Activation Laboratories* 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 se seraient volatilisés et qui n'auraient donc pas été dosés adéquatement à la suite d'autres types d'attaque (4 acides ou fusion; Potts et Robinson, 2003). 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, Sn, Cr, ETR, U, Y, Zr, etc.; Sastre *et al.*, 2002; Taraškevičius *et al.*, 2013; Amor, 2015).

Les résultats de ces analyses sont disponibles dans le SIGÉOM à l'adresse suivante : http://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1102_aLaCarte?l=F dans la section «Géochimie – Échantillons de sédiment». À partir de ce formulaire, il est possible de trouver les analyses des échantillons de ce levé en utilisant le critère «Numéro projet sédiment : 2024AY». 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.

Les résultats de certains envois entiers présentaient des concentrations systématiquement différentes pour certains éléments (B, Na, Nb, Sn, Te, etc.). Dans la plupart des cas, des erreurs associées à la calibration de l'instrument pourraient être responsables de ces différences. Dans le cas du Sn par exemple, les données ont pu être révisées à la suite des réanalyses (seules les données révisées ont été chargées dans le SIGÉOM). Dans d'autres cas, comme pour le Na, il a été impossible de régler le problème de cette façon. Lorsque nécessaire, un nivellement a été appliqué entre les levés et, dans le cas du sodium, entre les divers envois du même levé. Cependant, ces données nivelées ne sont présentées que dans la présente publication. Les données diffusées dans le SIGÉOM correspondent aux résultats bruts.

Les résultats pour le B et le Te sont généralement proches des limites de détection. Les analyses pour ces éléments n'ont donc pas été modifiées.

Duplicatas

Les duplicatas de terrain ou doublons (second échantillon provenant du même site) représentent 5 % des analyses effectuées. Les 250 duplicatas (164 du présent projet et 86 du levé du lac Mantouchiche [2024MA]; Lamarche, 2025; tableau 1) ainsi obtenus ont servi à mesurer l'erreur relative médiane associée au processus complet d'échantillonnage et d'analyse. Tous ces duplicatas ont été prélevés de la même façon et ont été analysés par le même laboratoire en employant la même suite analytique. Une version légèrement modifiée (Rafini, 2015) de la méthode de Thompson et Howarth (1978) a été utilisée. Les doublons présentant une concentration moyenne inférieure à 10 fois la limite de détection (> 10*LD) ont été préalablement exclus du calcul. Le tableau 2 présente ces résultats dans la colonne «Erreur relative totale».

Dans le cadre de son propre programme de contrôle de qualité, le laboratoire a également réalisé des analyses de duplicatas de pulpe (analyses du même échantillon). Ces données apparaissent dans les certificats d'analyses et ont été compilées afin d'estimer l'erreur relative instrumentale. Le tableau 2 présente les résultats de ce calcul (Thompson et Howarth, 1978) dans la colonne «Erreur relative analytique» pour les échantillons de 2024.

Les résultats contenus dans la colonne «Erreur relative terrain» présentent les différences entre l'erreur totale et l'erreur analytique pour les éléments examinés et correspondent à la variabilité naturelle pour ces éléments (tableau 2).

Le nombre minimal de 64 doublons valides (> 10*LD; Thompson et Howarth, 1978; Rafini, 2015) requis pour appliquer la méthode et ainsi évaluer l'erreur relative n'a pas été atteint pour 28 éléments (incluant notamment Au, Bi, Pd, Pt, Sb, Sn et W).

L'erreur relative totale se situe typiquement sous les 15 % (tableau 2). Quelques éléments (Ca, Fe, Na) ont des erreurs comprises entre 15 et 20 %. Ces trois éléments sont généralement associés aux silicates, lesquels ne sont pas toujours totalement dissous dans l'eau régale. Ce problème de dissolution partielle est peut-être associé à la granulométrie de l'échantillon analysé. Dans le cas du Na, la calibration de l'instrument d'analyse semble également constituer un facteur important. Ainsi, les résultats de certains lots d'analyses montraient des écarts notables et systématiques avec les données des envois adjacents. Les données du Na ont d'ailleurs été nivelées pour pallier ce problème, car la reprise des analyses par le laboratoire n'a pas permis de corriger la situation. Les données chargées dans le SIGÉOM sont les données brutes.

Certains éléments (Co, Pb, S et Se) montrent également des erreurs relatives totales élevées (> 25 %). Ces éléments présentent des variations naturelles (« terrain ») supérieures à 20 %. Dans le cas du S, il semblerait que la forte erreur relative observée (64,3 %) soit associée à un effet « pépite » dans les échantillons les plus enrichis. Ainsi, le retrait de quelques échantillons présentant des teneurs élevées en S a pour effet de diminuer l'erreur relative autour de 10 %. Le Se présente une erreur relative totale de 36,6 % et une erreur analytique de 16 %, la plus importante de tous les éléments analysés, indiquant un problème associé autant à la variabilité naturelle qu'à des difficultés analytiques. Comme dans les levés antérieurs, le Pb présente une grande variabilité naturelle *in situ* (29,2%). Toutefois, les valeurs brutes en plomb sont généralement uniformes dans les divers levés, ce qui indique que cet élément ou l'un de ses composés sont possiblement dispersés dans le réseau hydrographique sous forme ionique. Les concentrations en plomb des sédiments semblent peu influencées par les processus détritiques. En raison de ces variations naturelles (27,2 %), il est difficile d'identifier des zones anormales pour cet élément. Comparée aux levés récents du Ministère dans le même secteur, l'erreur relative naturelle du Co a presque doublé dans ce levé, passant de 8 à 11 % à plus de 20 % (23,8 %). Il s'agit d'une première pour cet élément. Le Co a tout de même fait l'objet d'un traitement par régression spatiale multiple.

Un test R&R (répétabilité et reproductibilité; Rafini, 2015) a permis d'évaluer ces paramètres en comparant l'écart-type des différences entre les duplicatas et la variabilité naturelle. L'imprécision compare l'écart-type des différences parent/duplicata avec l'écart-type de données historiques (dans ce cas-ci, toutes les valeurs obtenues pour les levés de fond de lac de 2020 à 2024). Dans le contexte de la présente étude, le concept de tolérance concerne la capacité de la méthode à identifier les valeurs anormales et à les distinguer du bruit de fond. On estime que pour ces

deux critères, les valeurs inférieures à 30 % sont acceptables et les valeurs sous les 10 % sont excellentes. L'écart-type résiduel (RSD; exprimé en pourcentage), ou coefficient de variabilité, calculé en divisant l'écart-type des différences parent/duplicata par la concentration moyenne des duplicatas, est également présenté au tableau 2.

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

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

Le critère d'imprécision ne semble pas adapté aux sédiments de fond de lac en raison d'un écart-type naturel relativement faible. Les concentrations des éléments dans les sédiments de fond de lac sont, en comparaison avec des données de lithogéochimie, plutôt faiblement variées. Le concept de tolérance semble plus utile, indiquant une reproductibilité acceptable, du moins pour les éléments qui montrent une bonne résolution analytique.

TRAITEMENT DES DONNÉES ET RÉSULTATS

Dans le cadre de cette étude, les traitements statistiques (calcul des centiles et régression spatiale multiple) ont été effectués en utilisant les données de cinq projets adjacents réalisés entre 2021 et 2024 (n = 10 627; voir tableau 1; Lamarche, 2023a, 2023b, 2024, 2025 et ce levé).

Nivellement

Une mise en carte préliminaire a permis d'identifier les éléments pour lesquels un nivellement interlevé (Bi, Pb, Sb et Sn) ou même intralevé (Na) était nécessaire. Un outil mis au point par le Consorem a été utilisé (*Geochemical Surveys Leveling*; Trépanier, 2007) pour le nivellement en cascade, basé sur la comparaison des quantiles dans les levés adjacents (Daneshfar et Cameron, 1998). Les résultats générés par ce traitement qui sont inférieurs à la limite de détection (incluant les valeurs négatives) ont été remplacés par des valeurs correspondant à la moitié de la limite de détection. Les valeurs nivelées sont présentées dans le fichier « Base de données géochimie » du dossier « Autres données numériques ».

Interpolation des valeurs brutes

Les rangs centiles ont d'abord été calculés à partir des valeurs brutes (ou nivelées) des analyses issues de ce levé et des levés récents localisés à proximité (tableau 1; Lamarche, 2023a, 2023b, 2024 et 2025). Ces valeurs ont ensuite été interpolées (figures 3a à 6a, 8a à 12a et 13 à 16) 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).

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 présentes. 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.

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), Lamarche et Solgadi (2023) et Lamarche (2023a, 2023b, 2024 et 2025) pour des levés localisés dans la région d'Eeyou Istchee Baie-James (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.

Ce traitement repose sur le principe selon lequel 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 :

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

Avec :

$Cu_{\text{prédit}}$ = valeur prédite de l'élément (dans ce cas-ci, le cuivre)

Ag; Ba; ... = variables explicatives (teneur de chaque élément)

0,5; 2,4; ... = 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. Cette distance a été choisie à la suite de l'examen des variogrammes et des diagrammes de covariance (non fournis). Elle est moins grande que celle de 20 km utilisés pour des levés moins denses (Solgadi, 2017a; 2017b; 2017c

et 2018) ou à l'échelle de la province (Trépanier, 2006; Lamothe, 2010). Elle est équivalente à celle employée pour les levés de haute densité récents (après 2020; Solgadi, 2022; Lamarche et Solgadi, 2023; Lamarche, 2023a, 2023b et 2024). 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. Dans le cas du présent levé, le nombre de voisins contenus dans ce rayon de 10 km autour d'un échantillon est de 13,25 en moyenne.

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 ordinaire pour déterminer quels éléments permettent collectivement d'obtenir le meilleur coefficient de corrélation et ainsi de mieux prédire les concentrations de l'élément d'intérêt associées à des facteurs lithologiques. Le tableau 3 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 3. Ces éléments correspondent à l'élément prédit lui-même, ainsi que certains éléments typiquement 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. De plus, d'autres éléments dont les valeurs se situent régulièrement sous les limites de détection (Au, B, Hf, Pd, Pt, Ta, Te, Tm, etc.) n'ont pas été considérés.

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, permet aussi d'obtenir 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 3b à 12b (Ag, As, Co, Cu, ETR, Li, Mo, Ni et Zn).

Autres éléments

Pour l'or, la carte des échantillons anormaux est fournie sans traitement additionnel (figure 17a).

Pour les éléments du groupe du platine (EGP), les valeurs de Pt et de Pd ont été additionnées et sont présentées à la figure 17b, sans traitement additionnel.

Les cartes d'interpolation des centiles des valeurs brutes des éléments indicateurs de contextes métallogéniques (Bi, Cd, Cs, Nb, Sb, Sn, V et W) sont également illustrées (figures 13 à 16).

ZONES FAVORABLES ET OBSERVATIONS

Observations initiales

Les lithologies métasédimentaires de la Sous-province d'Opinaca présentent typiquement des teneurs de fond en métaux plus élevées que celles associées aux roches granitiques des sous-provinces d'Opatoca et de La Grande. En raison de ces teneurs plus fortes, les cartes d'interpolation des valeurs brutes dans les sédiments de fond de lac pour ces métaux (Ag, Co, Cu, Mo, Nb, Ni, V, Zn) se caractérisent par plusieurs faux positifs, ou du moins par des différences régionales non négligeables. La méthode de régression spatiale multiple permet en partie de corriger ce problème.

En conséquence, les zones favorables ont toutes été tracées à l'aide des cartes des résiduelles. Seules les zones où les valeurs brutes étaient également significatives ont été considérées. Ainsi, certaines zones potentielles présentant de fortes résiduelles, mais des valeurs brutes normales, n'ont pas fait l'objet de zones favorables.

Arsenic

À première vue, la carte d'interpolation des valeurs brutes en arsenic correspond assez bien à la présence de lithologies volcaniques, du moins dans le cas du Groupe de Clauzel.

Dans ce secteur, une zone favorable multipartite a été identifiée à l'aide de 26 échantillons bien visibles sur la carte des valeurs résiduelles (figure 4b) de la régression spatiale multiple pour l'As (> 97^e centile, dont 18 échantillons > 98,5^e centile). Ces échantillons présentent également des valeurs brutes significatives en As (> 91,8^e centile; > 26,2 ppm; figure 4a). Chaque entité de cette zone favorable se superpose à la fois aux roches volcaniques du Groupe de Clauzel (figure 2) et aux intrusions de la Suite mafique-ultramafique de Sorbier (pas visibles sur la carte de la figure 2). Ces lithologies sont probablement à l'origine des anomalies géochimiques observées.

Cobalt

Une première zone favorable (Co1) a été identifiée à partir d'un regroupement de trois échantillons reconnaissable sur la carte des valeurs résiduelles (figure 5b) de la régression spatiale multiple pour le Co (> 99,2^e centile). Ces échantillons présentent également des valeurs brutes anormales en Co (> 97,7^e centile; > 31,4 ppm; figure 5a). Deux de ceux-ci montrent également des concentrations anormales en Ni (> 98,5^e centile; > 33,5 ppm; figure 11a), V (> 99^e centile; 90 ppm; figure 16a) et Zn (> 96,9^e centile; 93,8 ppm; figure 12a). Cette zone se superpose à une unité de roche intrusive ultramafique et aux roches volcaniques de la Formation de Caulincourt à proximité de l'indice de Mo du même nom.

De telles anomalies polymétalliques peuvent être le produit de facteurs environnementaux comme la profondeur des lacs ou leur contenu en matériaux détritiques ou organiques. Dans le cas présent, les trois échantillons ont été prélevés à plus de 10 m de profondeur dans un même lac (lac Caulincourt), ce qui peut suggérer que cette anomalie n'est pas causée par les lithologies environnantes.

Une seconde zone favorable (Co2) correspond à un groupe de quatre échantillons montrant des valeurs résiduelles (> 98,4^e centile) et brutes (> 97,7^e centile; > 30,4 ppm) anormales en Co. Deux de ces échantillons présentent également des concentrations anormales en Ni (> 98,7^e centile; > 36,4 ppm), V (> 97,9^e centile; 90 ppm) et Zn (> 92,6^e centile; 78,1 ppm). La zone se superpose à une unité de pyroxénite archéenne dans un secteur n'ayant fait l'objet d'aucune campagne de cartographie géologique de détail.

Comme dans le cas précédent, une telle anomalie polymétallique pourrait être associée à des facteurs environnementaux (typiquement la profondeur des lacs). Cependant, dans ce cas-ci, les quatre échantillons proviennent de trois lacs différents de taille modeste et un seul de ceux-ci a été prélevé à plus de 10 m de profondeur.

Cuivre

Le secteur des indices de Cu-Mo-Ag-Au associés au Batholite de McLeod se distingue par la présence de quatre échantillons présentant des valeurs résiduelles anormales en Cu. Ces échantillons sont regroupés dans la zone favorable Mo1 (figure 10a).

Une autre zone favorable regroupe dix échantillons présentant des valeurs résiduelles anormales pour le Cu (> 95,8^e centile, dont six > 98^e centile; figure 6b). Ces échantillons présentent également des valeurs brutes anormales en Cu (> 91,8^e centile; > 26,2 ppm; figure 6a). Le secteur n'a pas fait l'objet d'une cartographie géologique de détail. La source de cette anomalie pourrait être associée à l'extension vers l'ouest de l'unité d'amphibolite de la Formation de Caulincourt, comme le suggère la carte du champ magnétique résiduel (figure 7a).

Lithium

Trois échantillons présentant des valeurs résiduelles anormales en Li (> 99^e centile; figure 9b) se caractérisent également par des valeurs brutes anormales en Li (> 98,4^e centile; > 8,8 ppm). Ce secteur n'a pas fait l'objet d'une cartographie géologique de détail. La source de cette anomalie est inconnue.

Les cartes d'interpolation du lithium, particulièrement celles des valeurs brutes, sont susceptibles d'exhiber de fausses anomalies. La taille des lacs et leur profondeur, donc leur contenu en sédiment fin, sont en effet intimement associées au contenu en lithium des sédiments (Bourdeau et Dyer, 2023). Une bonne partie des concentrations en cet élément serait probablement liée à la météorisation des

micas et ne serait pas nécessairement associée à la présence de spodumène. La méthode de régression spatiale multiple est un outil proposé pour contourner ce problème (Lavoie et Trépanier, 2023).

Césium

L'indice Comatule ($Cs \pm Cu \pm Li$) est situé à proximité d'une anomalie en Cs (figure 14b). Cependant, au même titre que le lithium, le Cs est un élément fortement influencé pour la profondeur des lacs et la proportion d'argile dans les sédiments. D'ailleurs, les secteurs anomaux illustrés sur les figures 9a (Li) et 14b (Cs) montrent une forte association spatiale corroborée par un coefficient de corrélation élevé ($r = 0,768$). Quelques secteurs font exception à cette tendance, dont le secteur de l'indice Comatule, lequel est beaucoup plus anormal en Cs qu'en Li. Aucune zone favorable n'a toutefois été tracée autour de l'indice Comatule.

Molybdène

Quatre zones favorables ont été définies pour le molybdène.

Une première zone (Mo1) a été reconnue dans la partie SE de la région à partir de six échantillons présentant des valeurs résiduelles anormales en Mo ($> 99^{\circ}$ centile; figure 10b). Ces échantillons présentent également des valeurs brutes anormales en Mo ($> 95^{\circ}$ centile; $> 11,2$ ppm; figure 10a). Cinq de ces échantillons ont également donné des résiduelles en Cu anormales ($> 98,5^{\circ}$ centile; figure 6b). La zone se superpose à deux indices de Cu-Mo-Ag-Au dans le secteur du Batholite de McLeod (Pointe Richard et Éch. S409336; figure 2) qui sont probablement à l'origine de l'anomalie dans les sédiments de lac.

Une deuxième zone favorable (Mo2) regroupe cinq échantillons présentant des valeurs résiduelles ($> 98,5^{\circ}$ centile; figure 10b) et brutes ($> 92^{\circ}$ centile; $> 8,99$ ppm; figure 10a) anormales en Mo. Les récents travaux de cartographie du MRNF dans le secteur (Chartier-Montreuil et St-Laurent, 2024) n'ont pas identifié de source à cette anomalie géochimique.

Neuf échantillons présentant des valeurs résiduelles anormales en Mo ($> 96,5^{\circ}$ centile) permettent de tracer la

zone favorable Mo3 (figure 10b). Ces échantillons présentent également des valeurs brutes anormales en Mo ($> 91,5^{\circ}$ centile; $> 8,79$ ppm; figure 10a). Certains de ces échantillons présentent également des valeurs brutes (Ag, Cd, Co, Cu, Ni, Zn) ou résiduelles (Ag, Ni; figures 3b et 11b) significatives. La nature polymétallique de cette zone pourrait s'expliquer par divers processus environnementaux (typiquement la profondeur des lacs), mais ce facteur ne semble pas responsable à lui seul de cette zone anormale. En effet, les neuf échantillons anomaux en Mo ont été prélevés dans sept lacs différents à des profondeurs variant entre 3 et 18 m (médiane = 7 m). Ce secteur n'a pas fait l'objet d'une cartographie géologique détaillée.

Finalement, une quatrième zone favorable a été identifiée à partir de six échantillons montrant des valeurs résiduelles anormales ($> 97,8^{\circ}$ centile; figure 10b). Ces échantillons se caractérisent également par des valeurs brutes anormales en Mo ($> 93^{\circ}$ centile; $> 10,2$ ppm; figure 10a). Le secteur qui pourrait permettre d'identifier l'origine de cette anomalie n'a pas fait l'objet d'une cartographie géologique détaillée.

Nickel

Une première zone favorable multipartie (Ni1) a été identifiée à partir de quatorze échantillons montrant des valeurs résiduelles anormales en Ni ($> 98^{\circ}$ centile; figure 11b). Treize de ces échantillons présentent également des valeurs brutes anormales en Ni ($> 95^{\circ}$ centile; $> 24,4$ ppm; figure 11a). Les secteurs où sont localisées ces différentes entités n'ont pas fait l'objet d'une cartographie géologique détaillée et ne semblent pas correspondre à des anomalies magnétiques positives qui pourraient signaler la présence d'intrusions ultramafiques (figure 7a).

Sept échantillons associés à des valeurs résiduelles anormales en Ni ($> 98^{\circ}$ centile) ont permis de définir une seconde zone favorable (Ni2; figure 11b). Six de ces échantillons présentent également des valeurs brutes anormales en Ni ($> 95^{\circ}$ centile; $> 25,7$ ppm; figure 11a). Un échantillon de paragneiss (numéro d'échantillon unique 2024010988), prélevé à proximité, a donné une valeur significative en Ni (263 ppm), indiquant une source potentielle qui pourrait permettre d'identifier l'origine de cette anomalie.

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.
- BANDYAYERA, D., TALON, N., SAINT-LOUIS, G., 2023. Géologie de la région du lac Michaux, sous-provinces d'Opatica et de La Grande, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [BG 2023-10](#), 1 plan, page consultée le 13 juin 2025.
- BANDYAYERA, D., SAINT-LOUIS, G., TALON, N., 2024. Géologie de la région du lac Chamic, sous-provinces d'Opatica et de La Grande, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [BG 2024-05](#), 1 plan, page consultée le 8 avril 2025.
- BEAUMIER, M., KIROUAC, F., 1995. Série de cartes géochimiques couleur : échantillonnage des sédiments de lac, région du lac Lichteneger (SNRC 033B). Ministère des Ressources naturelles, Québec; [MB 94-41](#), 32 pages.
- BOURDEAU, J.E., DYER, R.D., 2023. Regional-scale lake-sediment sampling and analytical protocols with examples from the Geological Survey of Canada. Geological Survey of Canada; Open File 8980, 43 pages.
- BROUARD, E., 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 202304](#), 70 pages, 1 plan.
- CARD, K.D., CIESIELSKI, A., 1986. Subdivisions of the Superior Province of the Canadian Shield. Geoscience Canada; volume 13, pages 5-13.
- CHARTIER-MONTREUIL, W., ST-LAURENT, C., 2024. Géologie de la région du Lac Caulincourt, sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [BG 2024-04](#), 1 plan, page consultée le 13 juin 2025.
- CÔTÉ-ROBERGE, M., CHARTIER-MONTREUIL, W., 2023. Géologie de la région du lac Cadet, sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [BG 2023-07](#), 1 plan, page consultée le 18 juin 2025.
- DANESHFAR, B., CAMERON, E., 1998. Leveling geochemical data between map sheets. Journal of Geochemical Exploration; volume 63, page 189-201.
- DAUBOIS, V., LAMARCHE, O., 2020. Géologie des dépôts de surface de la région des Monts Otish, Eeyou Istchee Baie-James, Québec, Canada. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; [BQ 2020-01](#), 1 plan, page consultée le 24 avril 2024.
- 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 Comeau, Province du Supérieur. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [RP 202304](#), 31 pages, données numériques.
- LAMARCHE, O., 2024. 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 202403](#), 35 pages, données numériques.
- LAMARCHE, O., 2025. Levé géochimique de sédiments de fond de lac dans le secteur du lac Mantouchiche, Province du Supérieur. Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Québec; [DP 202503](#), 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](#), 28 pages, données numériques.
- LAVOIE, J., TRÉPANIÉ, S., 2023. Exploration du lithium à la Baie-James : traitement statistique des données de sédiments de lacs par régression spatiale. Ressources Mines et Industrie; volume 8, pages 44-47.
- OTIS, M., 1976. Projet, géochimie de sédiments de lac. Société de développement de la Baie-James, rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; [GM 34169](#), 39 pages.
- PELLETIER, Y., 1978. Géochimie de fonds de lacs 1976, contrôle des analyses. Société de développement de la Baie-James, rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; [GM 34187](#), 100 pages.
- POTTS, P.J., ROBINSON, P., 2003. Sample preparation of geological samples, soils and sediments. Comprehensive Analytical Chemistry; volume 41, pages 723-763. [doi](#)
- 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. Société de développement de la Baie-James, rapport statutaire soumis au gouvernement du Québec; [GM 34172](#), 136 pages.
- SASTRE, J., SAHUQUILLO, A., VIDAL, M., RAURET, G., 2002. Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid extraction. Analytica Chimica Acta; volume 462, pages 59-72. [doi](#)
- SIMARD, M., GOSSELIN, C., 1999. Géologie de la région du lac Lichteneger (SNRC 33B). Ministère des Ressources naturelles, Québec; [RG 98-15](#), 25 pages, 1 plan.
- 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, 16 plans, données numériques.

- 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, 18 plans, données numériques.
- 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, 16 plans, données numériques.
- 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 201803](#), 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 202201](#), 19 pages, données numériques.
- TARAŠKEVIČIUS, R., ZINKUTE, R., STAKENIENE, R., RADAČIUS, 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](#)
- THOMPSON, M., HOWARTH, R.J., 1978. A new approach to the estimation of analytical precision. Journal of Geochemical Exploration; volume 9, pages 23-30. [doi](#)
- TRÉPANIÉ, S., 2006. Identification de domaines géochimiques à partir des levés régionaux de sédiments de fond de lacs – Phase 2. CONSOREM; projet 2005-03. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [CR 2006-01](#), 82 pages.
- TRÉPANIÉ, S., 2007. Identification de domaines géochimiques à partir des levés régionaux de sédiments de fond de lacs. CONSOREM; projet 2004-09, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; [CR 2007-05](#), 95 pages.
- VEILLETTE, J.J., DYKE, A.S., ROY, M., 1999. Ice-flow evolution of the Labrador Sector of the Laurentide Ice Sheet: a review, with new evidence from northern Quebec. Quaternary Science Reviews; volume 18, pages 993-1019. [doi](#)

TABLEAU 1 - Levés récents de sédiment de fond de lac de haute densité						
Levé	Nombre de sites	Nombre de duplicatas	Publication EXAMINE	Feuillets SNRC	Calcul des résiduelles	Calcul des centiles
2020MI	2050	95	DP 2022-01	32I13, 32J09, 32J16, 32O01, 32P04		
2021EA	2812	159	RP 2023-02	32O07 à 32O10, 32O15, 32O16	oui	oui
2021FR	2091	106	RP 2023-01	32J10, 32J15, 32O02, 32O07		
2022CA	1178	61	RP 2023-05	33B06, 33B10, 33B11		
2022CM	1891	103	RP 2023-04	32P04, 32P05, 32P12, 32P13	oui	oui
2023GO	1514	80	RP 2024-02	32P06, 32P11, 32P14	oui	oui
2024AY (présent projet)	2905	164	RP 2025-02	33A03, 33A04, 33A05, 33A06, 33A11, 33A12	oui	oui
2024MA	1505	86	DP 2025-03	32P10, 32P15, 32P16	oui	oui

TABLEAU 2 - Erreurs relatives et mesures de l'imprécision et de la tolérance pour les échantillons des levés de sédiments de fond de lac des projets 2024 (Mantouchiche et Ayde)

Élément	Duplicatas de terrain					Duplicatas de traitement analytique					Erreur relative terrain (calculée, %)
	Erreur relative totale (%)	Imprécision (%)	Tolérance (%)	RSD (%) σ/μ	n	Erreur relative analytique (%)	Imprécision (%)	Tolérance (%)	RSD (%) σ/μ	n	
Ag	6,4	26,5	3,4	17,4	248	4,4	8,2	1,1	5,7	315	2,0
Al	5,1	26	15	19	248	2,0	6	4	4	322	3,0
As	14,5	18	1	34	149	3,8	3	0	6	212	10,7
Au	-	-	-	126	5	-	-	-	18	3	-
B	-	-	-	-	0	-	-	-	-	1	-
Ba	8,0	46	12	19	248	3,2	17	5	7	323	4,8
Be	-	-	-	-	2	-	-	-	4	4	-
Bi	-	-	-	13	3	-	-	-	2	6	-
Ca	15,4	32	5	27	239	2,0	4	1	3	298	13,4
Cd	12,9	35	10	22	244	6,8	15	4	9	298	6,1
Ce	7,5	21	4	22	248	1,8	4	1	4	325	5,8
Co	26,4	41	10	66	182	2,6	6	2	6	243	23,8
Cr	6,8	35	16	20	175	1,6	8	4	4	230	5,1
Cs	5,7	25	8	17	216	2,7	9	2	7	288	3,0
Cu	5,8	24	3	21	248	1,8	4	1	4	318	4,1
Dy	8,0	32	10	17	144	3,1	9	3	4	200	5,0
Er	-	-	-	17	41	5,1	13	4	5	73	-
Eu	-	-	-	-	1	-	-	-	3	6	-
Fe	16,6	43	11	79	226	2,4	5	1	6	301	14,2
Ga	7,6	41	21	23	248	2,9	10	5	5	321	4,7
Ge	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-
Hf	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-
Hg	-	-	-	18,0	50	12,7	36	13	10	67	-
Ho	-	-	-	-	0	-	-	-	-	1	-
In	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-
K	-	-	-	72,7	2	-	-	-	3	11	-
La	7,1	18	3	20	228	1,7	4	1	4	306	5,5
Li	7,9	36	14	35	161	2,4	5	2	5	236	5,6
Lu	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-
Mg	-	-	-	36	59	3,1	6	2	4	120	-
Mn	13,3	17	2	144	235	2,6	1	0	7	313	10,7
Mo	10,6	42	7	70	248	2,3	5	1	7	325	8,3
Na	15,2	37	8	18	247	2,9	8	2	4	320	12,3
Nb	8,4	43	17	26	244	3,3	11	4	6	314	5,1
Nd	6,1	23	5	21	248	2,0	5	1	4	325	4,1
Ni	6,3	35	7	23	248	2,5	6	1	4	325	3,8
P	7,2	32	16	21	248	1,4	6	3	3	322	5,8
Pb	29,2	34	2	40	248	2,0	4	0	7	322	27,2
Pd	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-
Pr	7,7	21	4	20	234	1,7	5	1	4	311	6,1
Pt	-	-	-	-	0	-	-	-	-	1	-
Rb	5,5	33	6	39	243	2,4	4	1	4	306	3,1
Re	-	-	-	202	40	-	-	-	29	53	-
S	64,3	110	22	146	248	1,4	2	0	3	316	62,9
Sb	-	-	-	43,0	4	-	-	-	12	4	-
Sc	9,9	33	16	16	68	7,2	12	6	5	124	2,7
Se	36,6	60	10	32	183	16,0	40	7	20	244	20,6

TABLEAU 2 (suite) - Erreurs relatives et mesures de l'imprécision et de la tolérance pour les échantillons des levés de sédiments de fond de lac des projets 2024 (Mantouchiche et Ayde)

Élément	Duplicatas de terrain					Duplicatas de traitement analytique					Erreur relative terrain (calculée, %)
	Erreur relative totale (%)	Imprécision (%)	Tolérance (%)	RSD (%) σ/μ	n	Erreur relative analytique (%)	Imprécision (%)	Tolérance (%)	RSD (%) σ/μ	n	
Sm	4,9	27	6	19	215	1,7	6	1	4	285	3,2
Sn	-	-	-	20,8	17	-	-	-	5	59	-
Sr	10,5	42	5	30	248	1,6	7	1	5	322	8,9
Ta	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-
Tb	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-
Te	-	-	-	-	0	-	-	-	9	7	-
Th	-	-	-	54	30	5,7	24	7	14	73	-
Ti	6,1	32	15	26	214	2,1	6	3	4	290	4,0
Tl	-	-	-	59,0	40	2,6	10	3	4	87	-
Tm	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-
U	9,1	16	2	64	167	3,5	1	0	5	214	5,6
V	6,7	33	9	21	156	2,7	7	2	4	216	4,0
W	-	-	-	92,7	9	-	-	-	42	16	-
Y	7,6	26	7	22	248	1,8	6	1	4	325	5,8
Yb	-	-	-	19,1	21	-	-	-	4	38	-
Zn	8,3	30	7	24	248	2,2	5	1	4	325	6,1
Zr	-	-	-	67	36	-	-	-	28	44	-

TABLEAU 3 - Variables explicatives utilisées pour le calcul des valeurs lithologiques et des résiduelles

Élément	r ²	Éléments choisis	Éléments retirés
Ag	0,65	Al, Be Ca, Cr, Cs, Fe, Ga, Hg, Mg, Ni, P, prof.	Ag, Au, Cu, Pb, S, Zn
As	0,48	Al, Be, Bi, Fe, Mn, Re, Sr, Th, Ti, U, V, W	As, Au, S
Co	0,76	Al, Ca, Fe, Mn, Na, Nb, Pr, Rb, Re, Sc, Ti, V	Ag, Au, Co, Cu, Ni, S, Zn
Cu	0,65	Cd, Ce, Cr, Cs, Fe, Hg, Mg, Na, Re, Ti, Yb	Ag, Au, Cu, Mo, Bi, Pb, S, Zn, Ni, EGP
Li	0,90	Al, Bi, Cr, Hg, Mg, Mn, P, Tb, Ti, U, V, W	Be, Cs, Rb, Li, Sn
Mo	0,50	Ba, Be, Cr, Fe, Lu, Ni, Rb, Re, Se, Sm, Ti, V	Au, Cu, Mo, S, W
Ni	0,69	Ba, Ca, Cd, Cr, Cs, Ho, K, Mo, P, Ti, Tl, V	Ag, Au, Co, Cu, Ni, S, EGP, Zn
Zn	0,82	Al, Ba, Cd, Eu, Fe, Ga, Mg, Mn, Nb, Th, Ti, Yb	Ag, Au, Cu, Mo, Pb, S, Zn
ETR	0,84	Al, Be, Co, Cr, Ge, K, P, Se, Th, V, Zn, Zr	ETR (lanthanides), Y

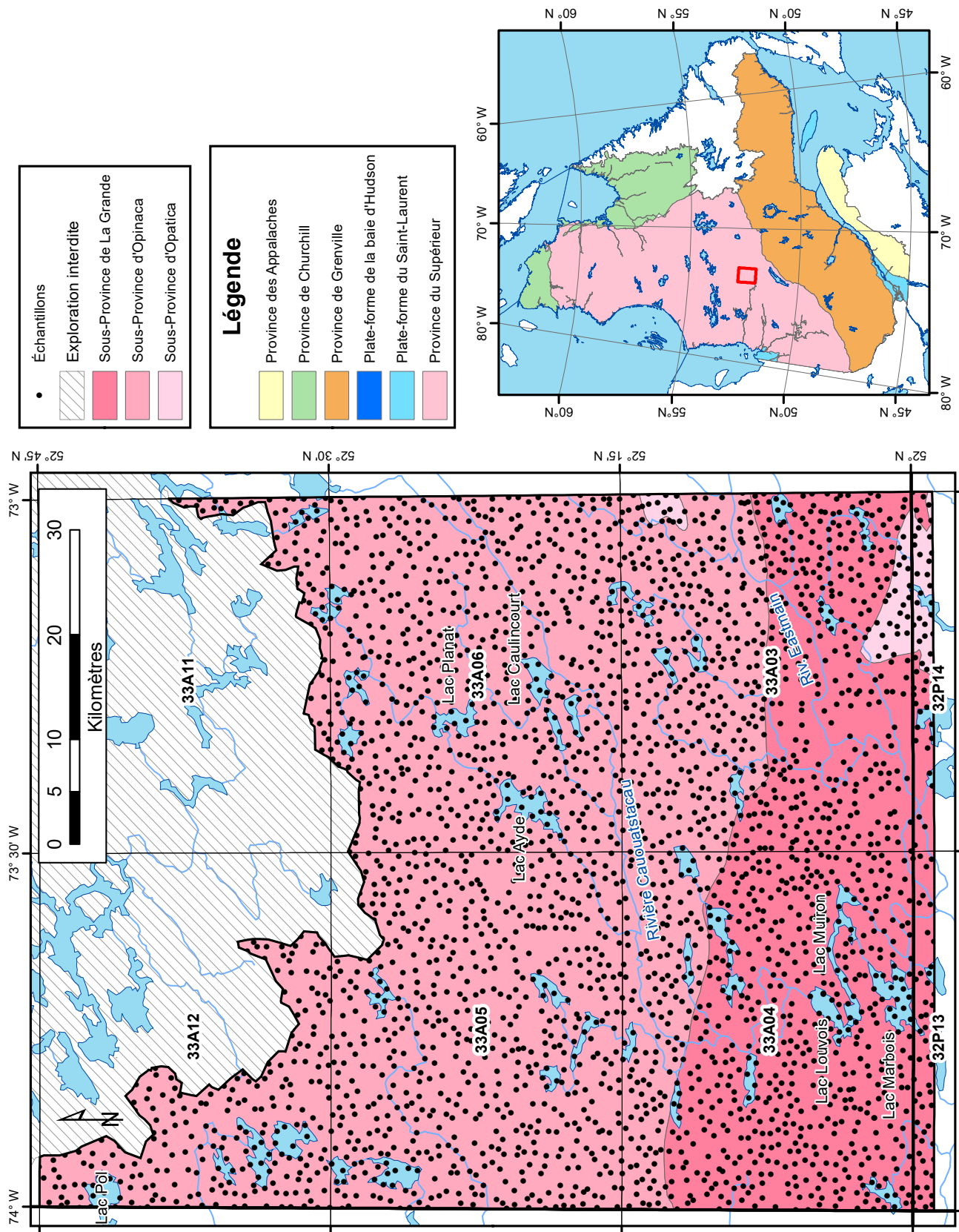
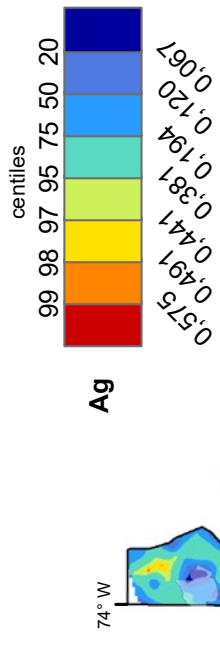


FIGURE 1 – Localisation de la zone d'étude et des échantillons du levé du lac Ayde

a)



b)

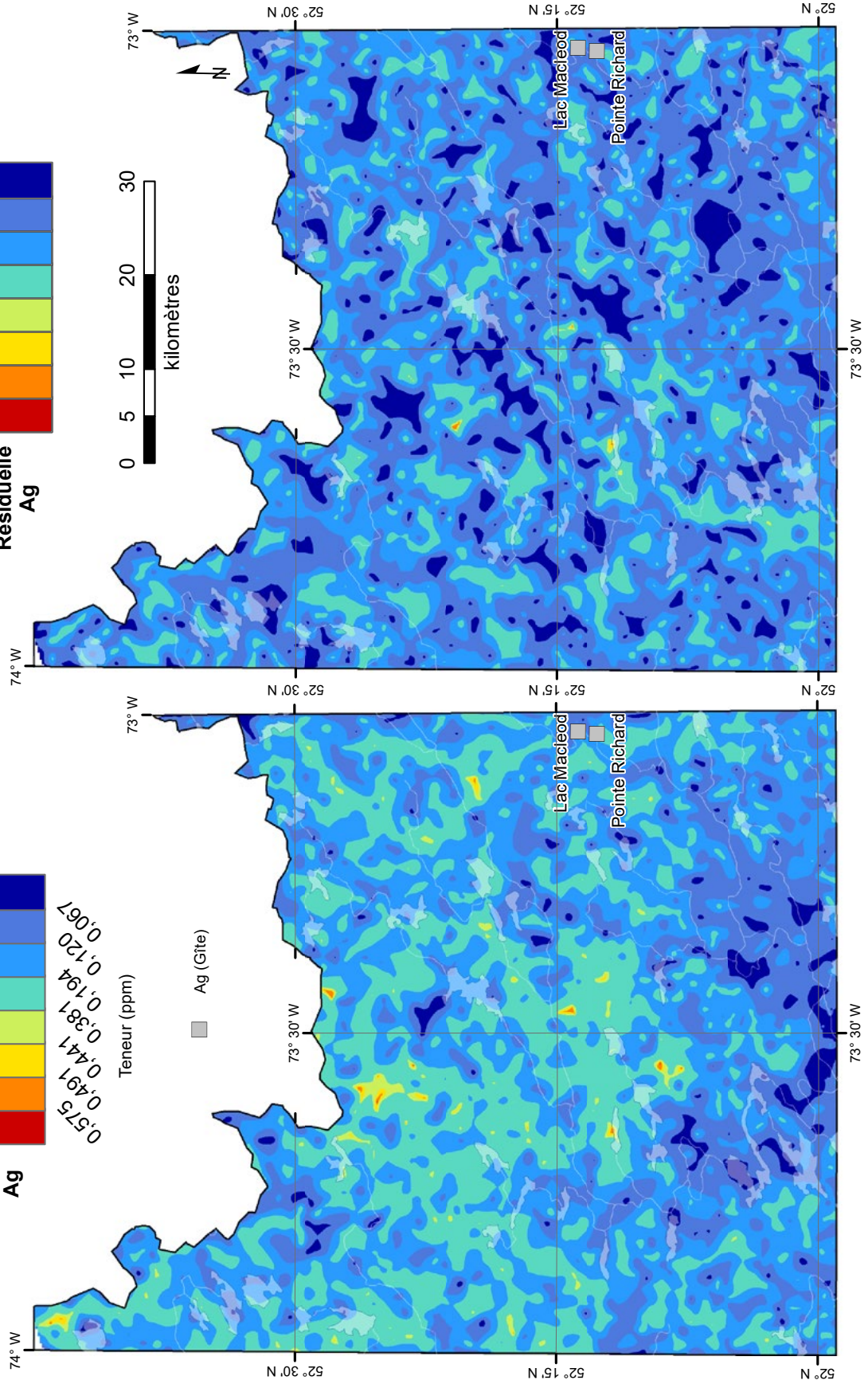
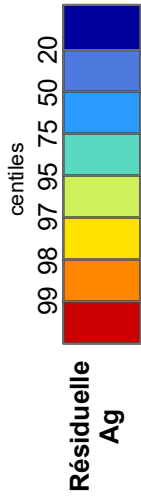


FIGURE 3 – Centiles des valeurs brutes (a) et des résiduelles (b) en argent dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

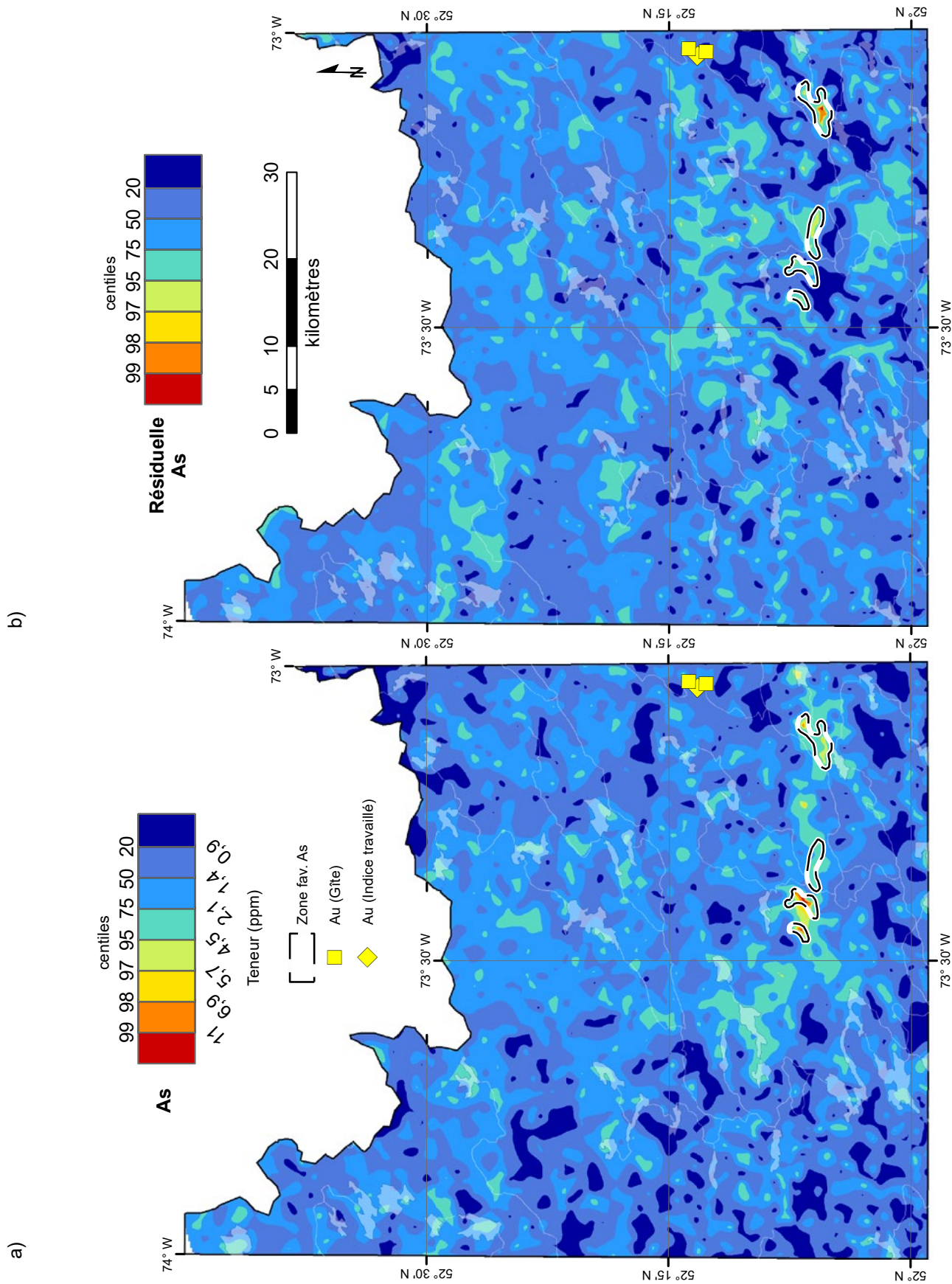


FIGURE 4 – Centiles des valeurs brutes (a) et des résiduelles (b) en arsenic dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

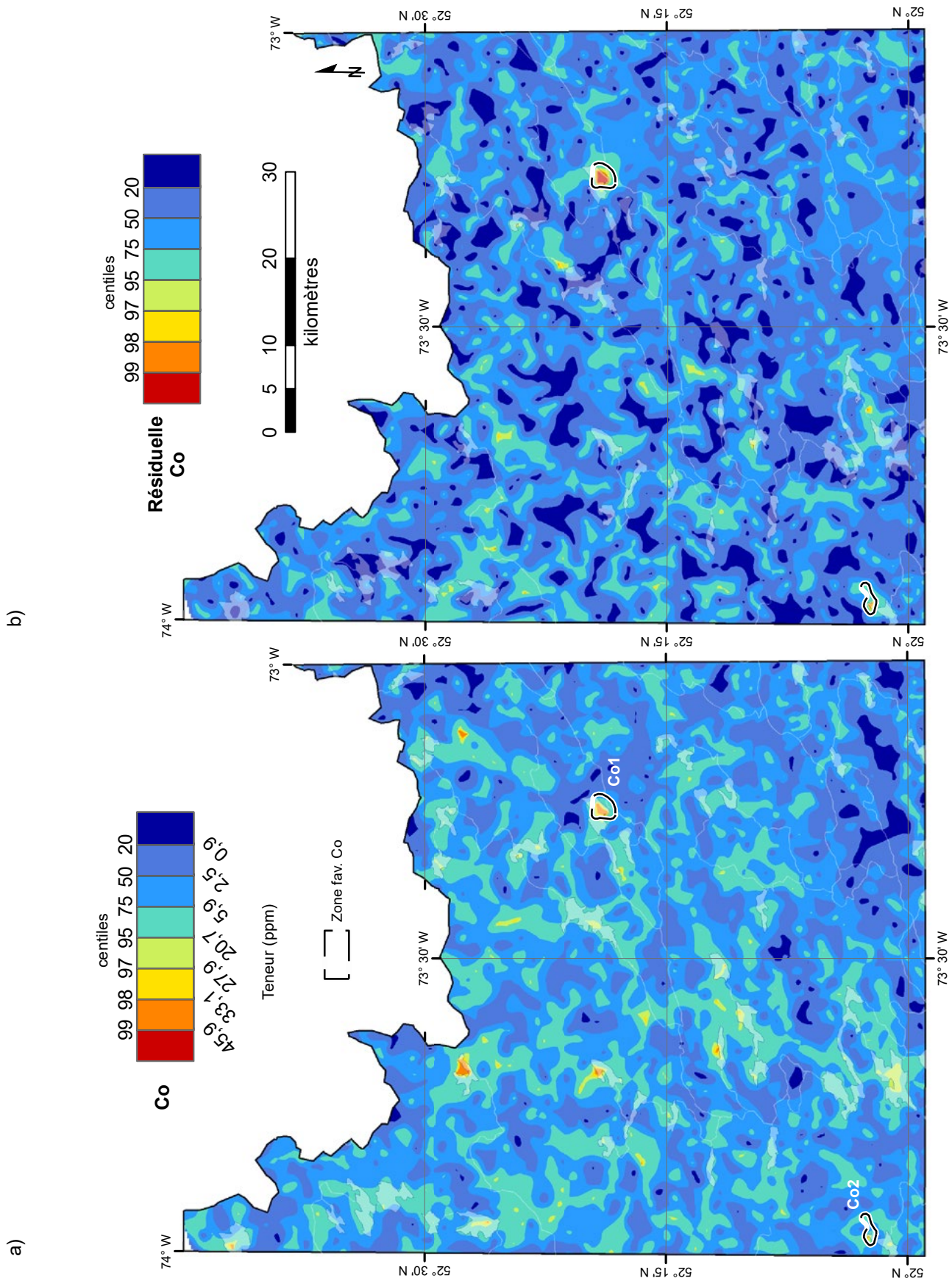


FIGURE 5 – Centiles des valeurs brutes (a) et des résiduelles (b) en cobalt dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

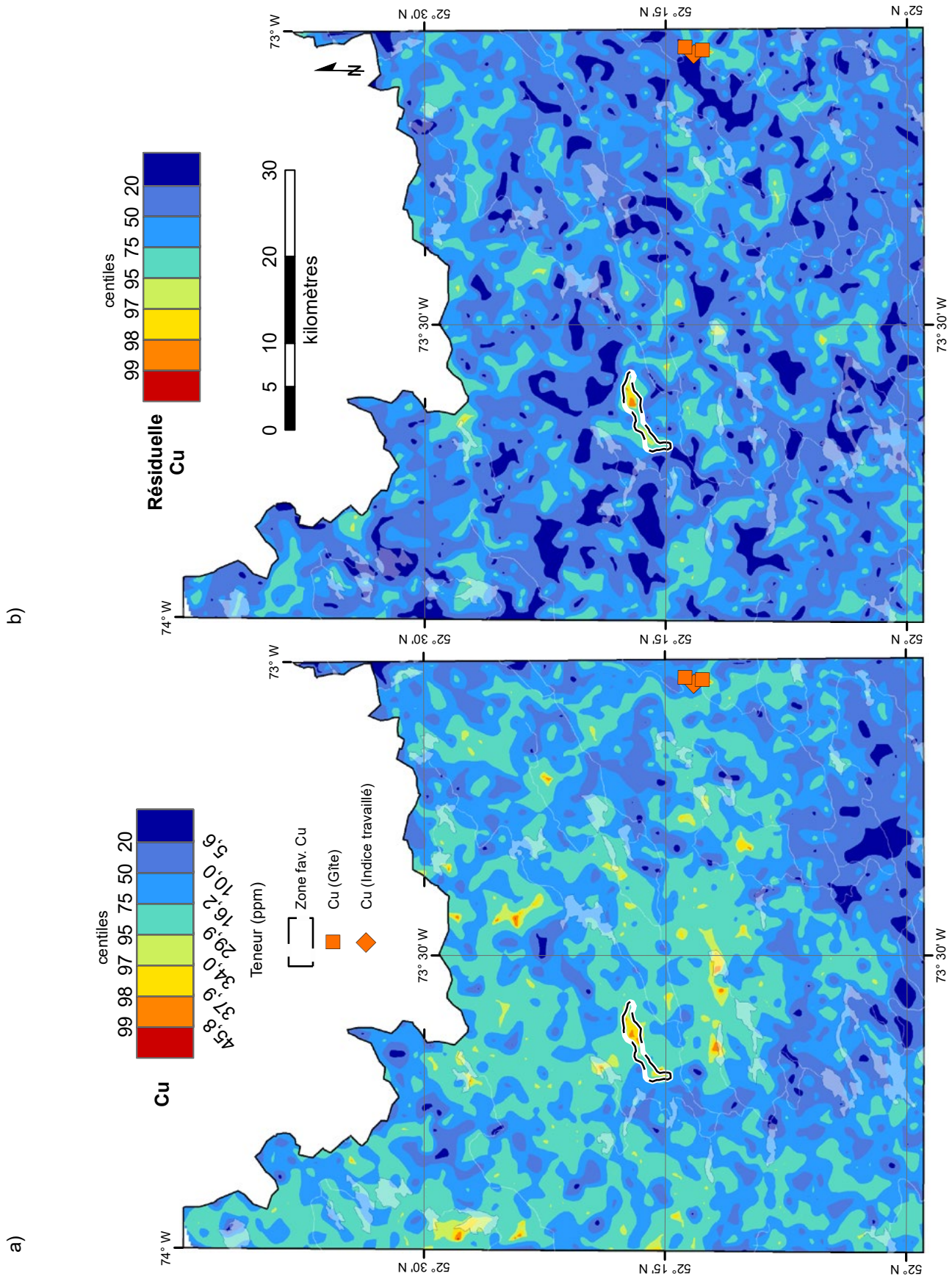
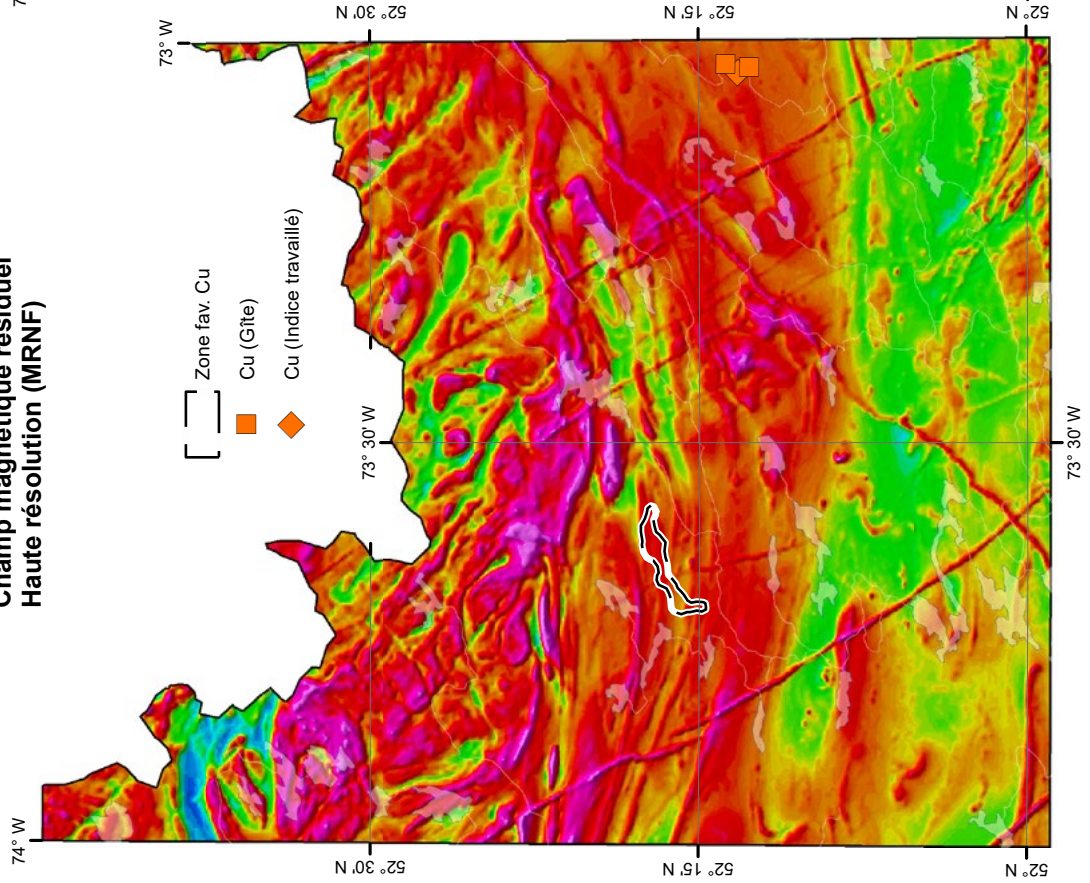


FIGURE 6 – Centiles des valeurs brutes (a) et des résiduelles (b) en cuivre dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

a)

**Champ magnétique résiduel
Haute résolution (MRNF)**



b)

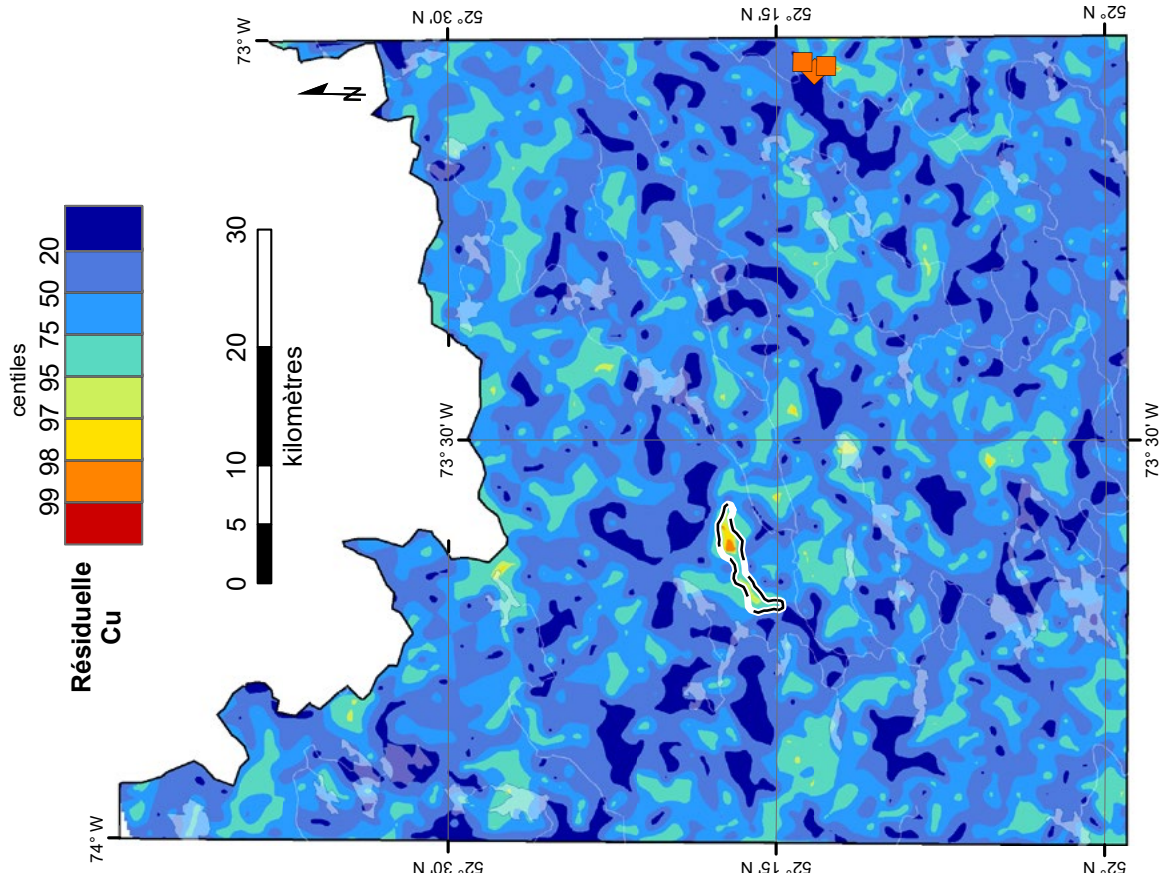


FIGURE 7 – Valeurs résiduelles du champ magnétique (a) et centiles des résiduelles (b) en cuivre dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

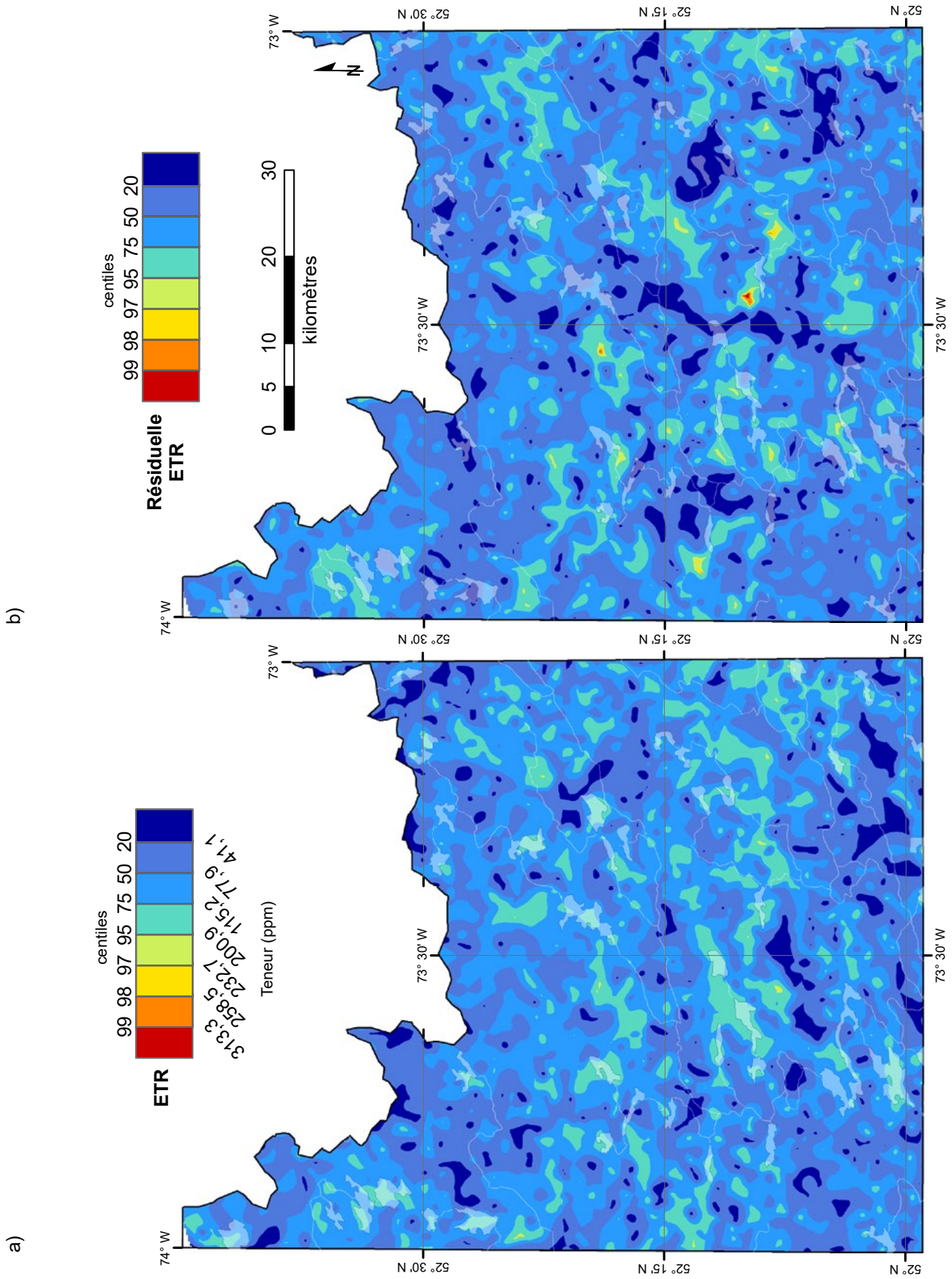


FIGURE 8 – Centiles des valeurs brutes (a) et des résiduelles (b) en ETR (somme des lanthanides) dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

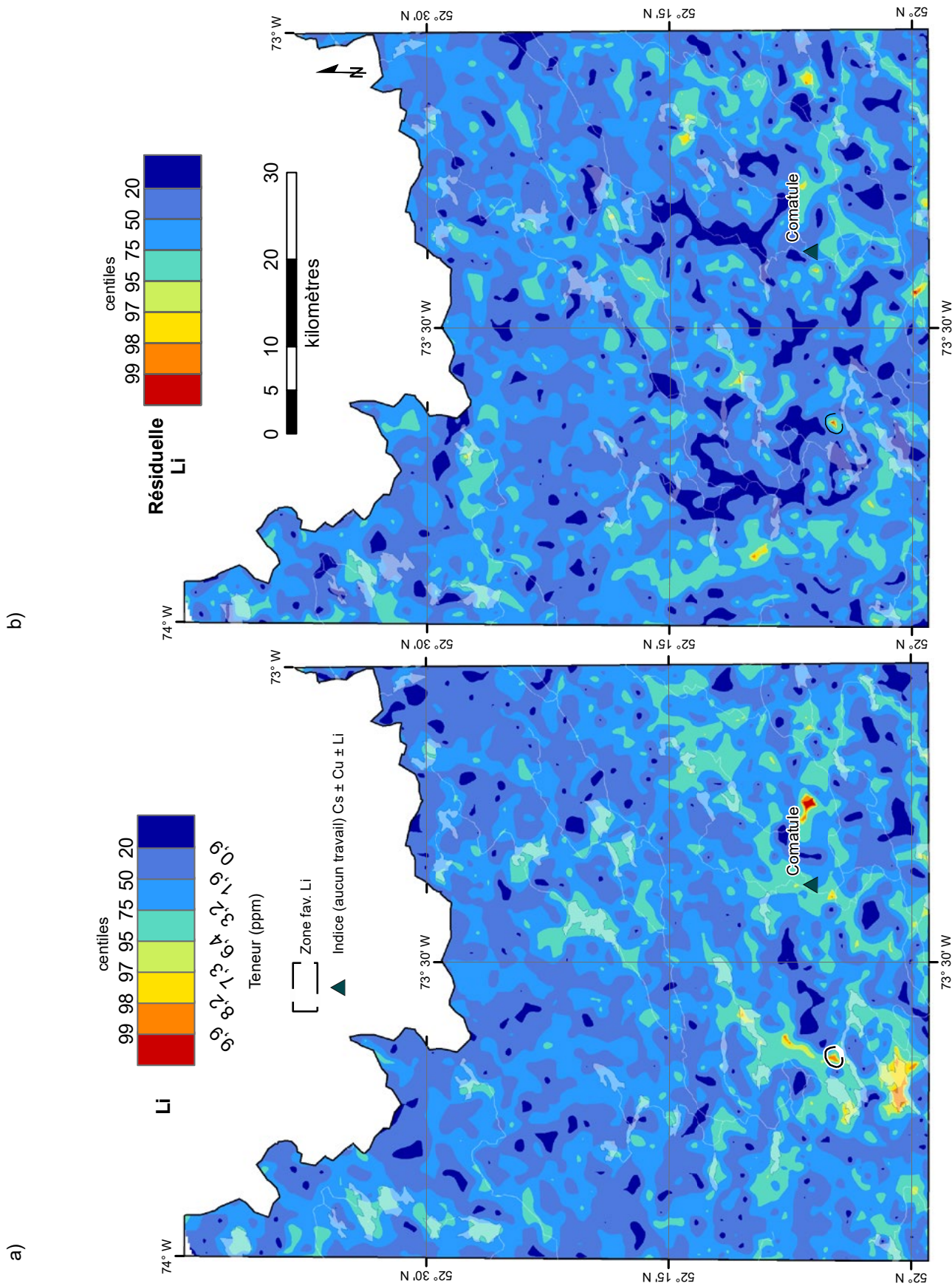


FIGURE 9 – Centiles des valeurs brutes (a) et des résiduelles (b) en lithium dans le levé de fond de lac de 2023.

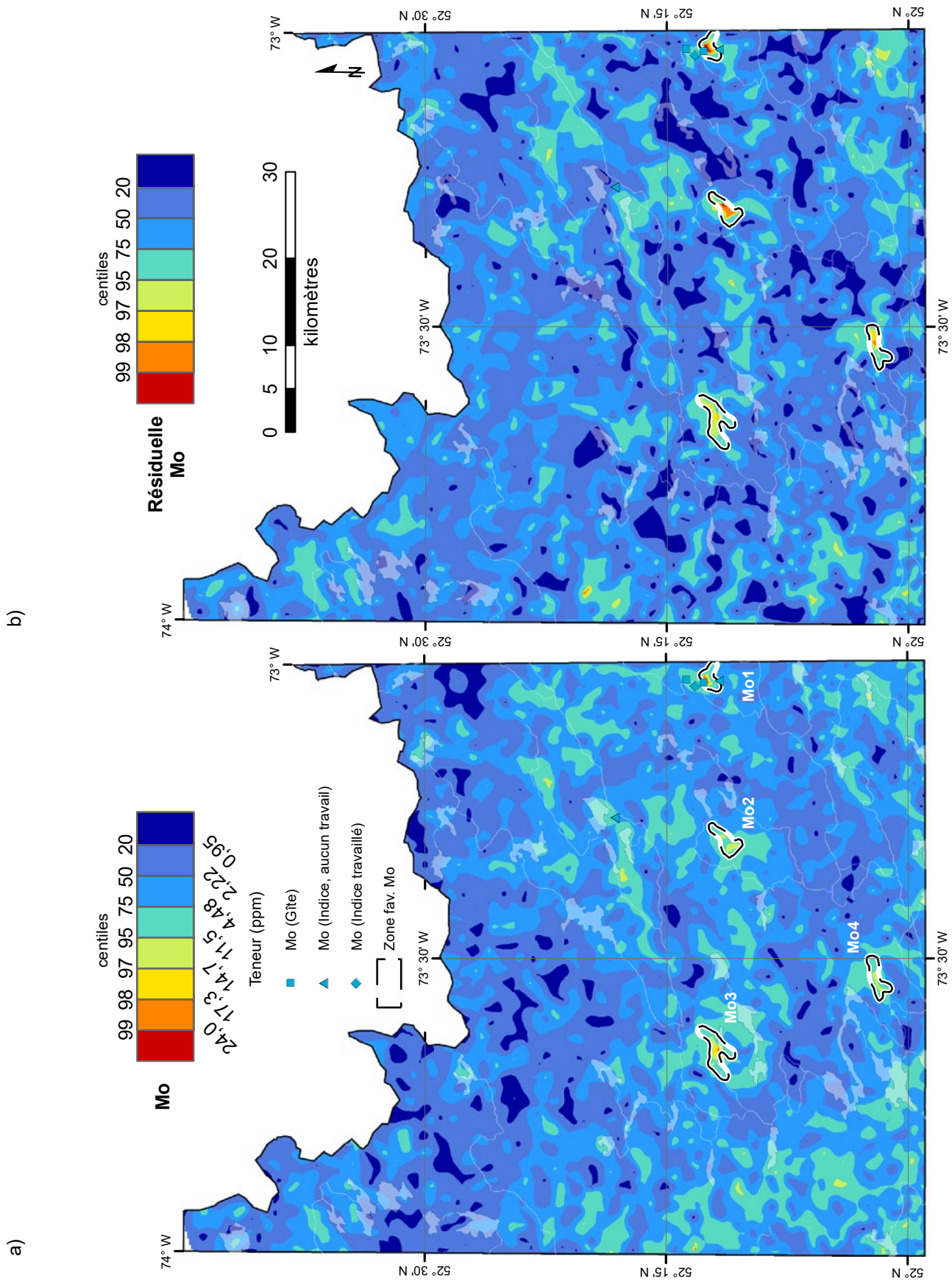


FIGURE 10 – Centiles des valeurs brutes (a) et des résiduelles (b) en molybdène dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

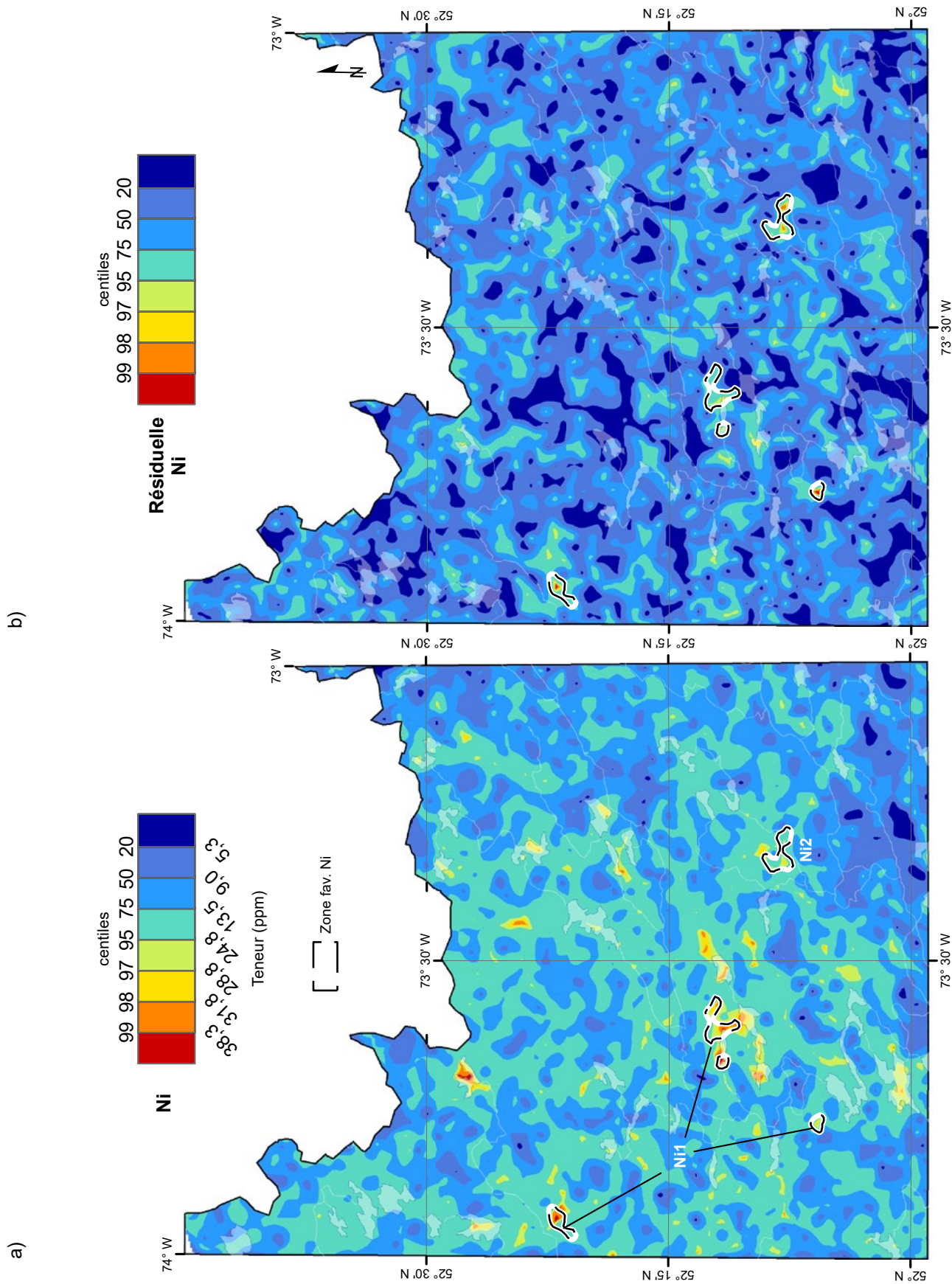
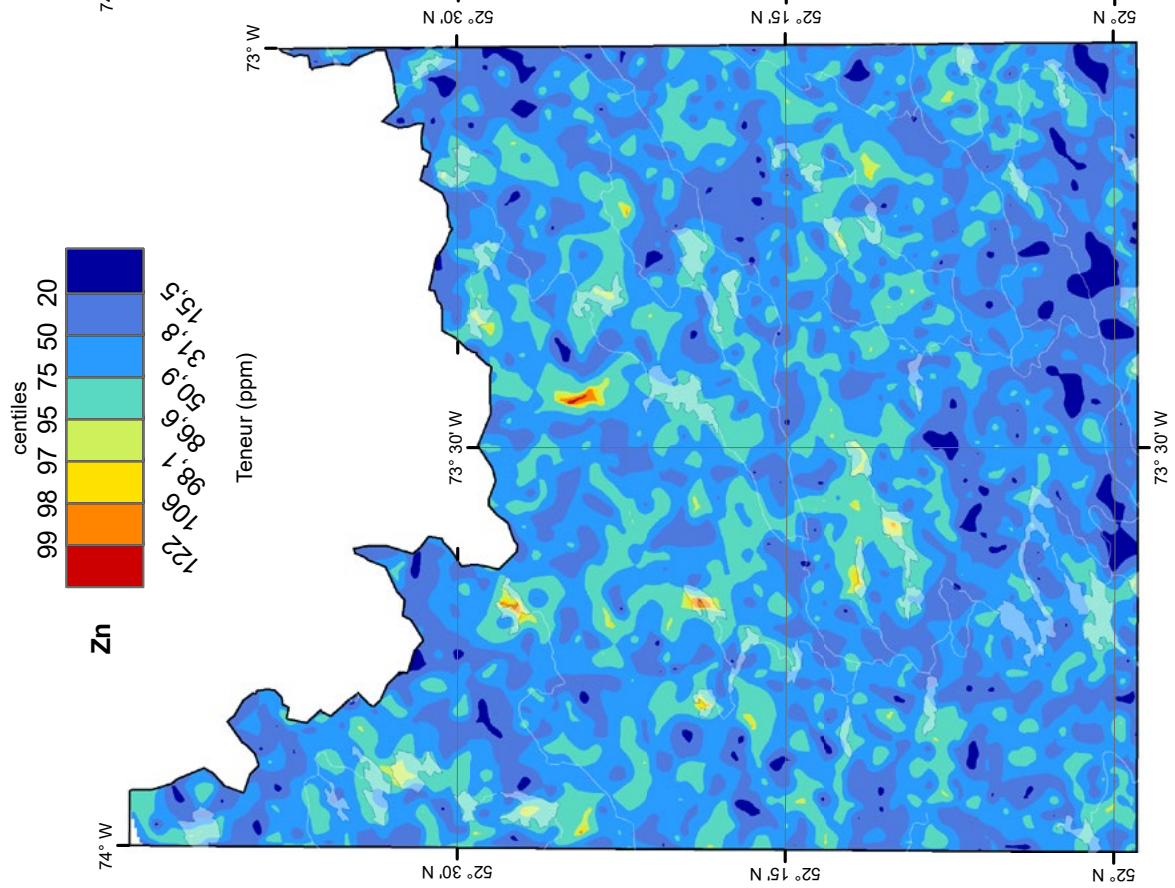


FIGURE II – Centiles des valeurs brutes (a) et des résiduelles (b) en nickel dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

a)



b)

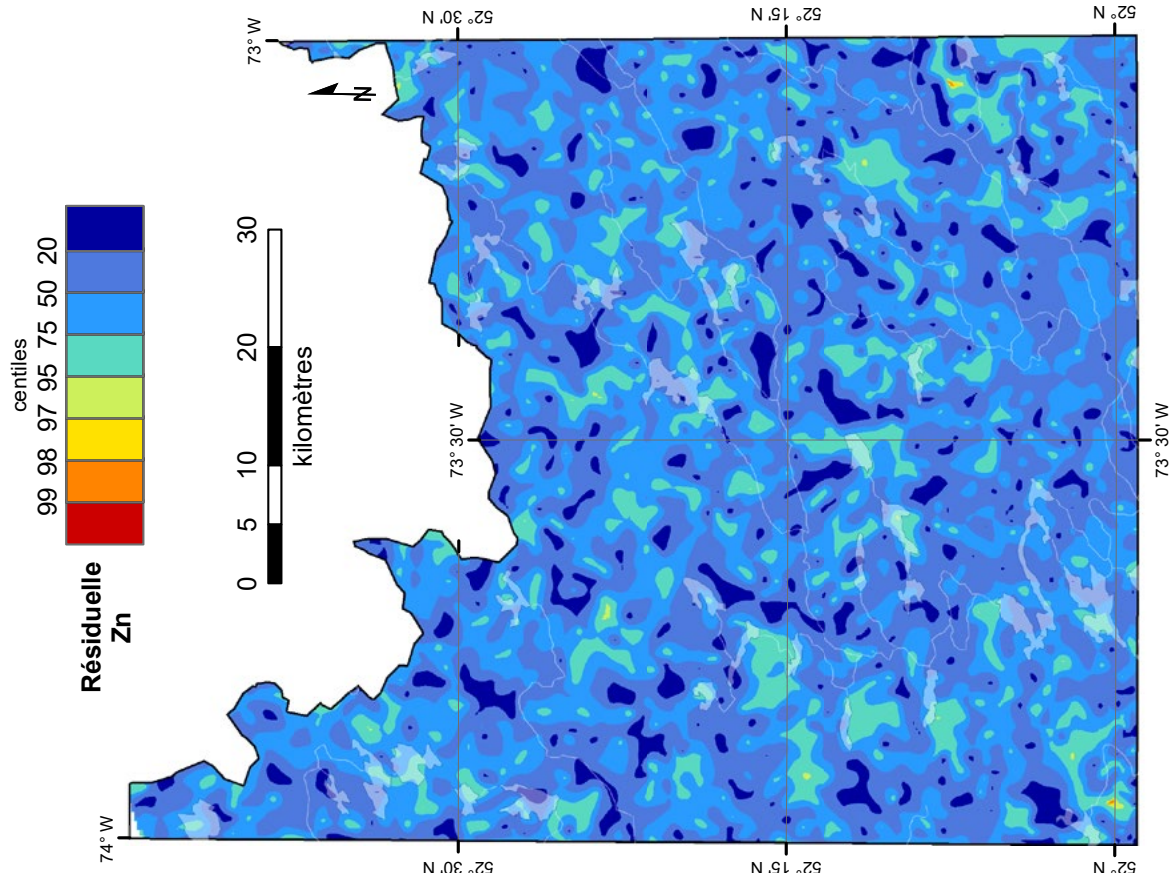
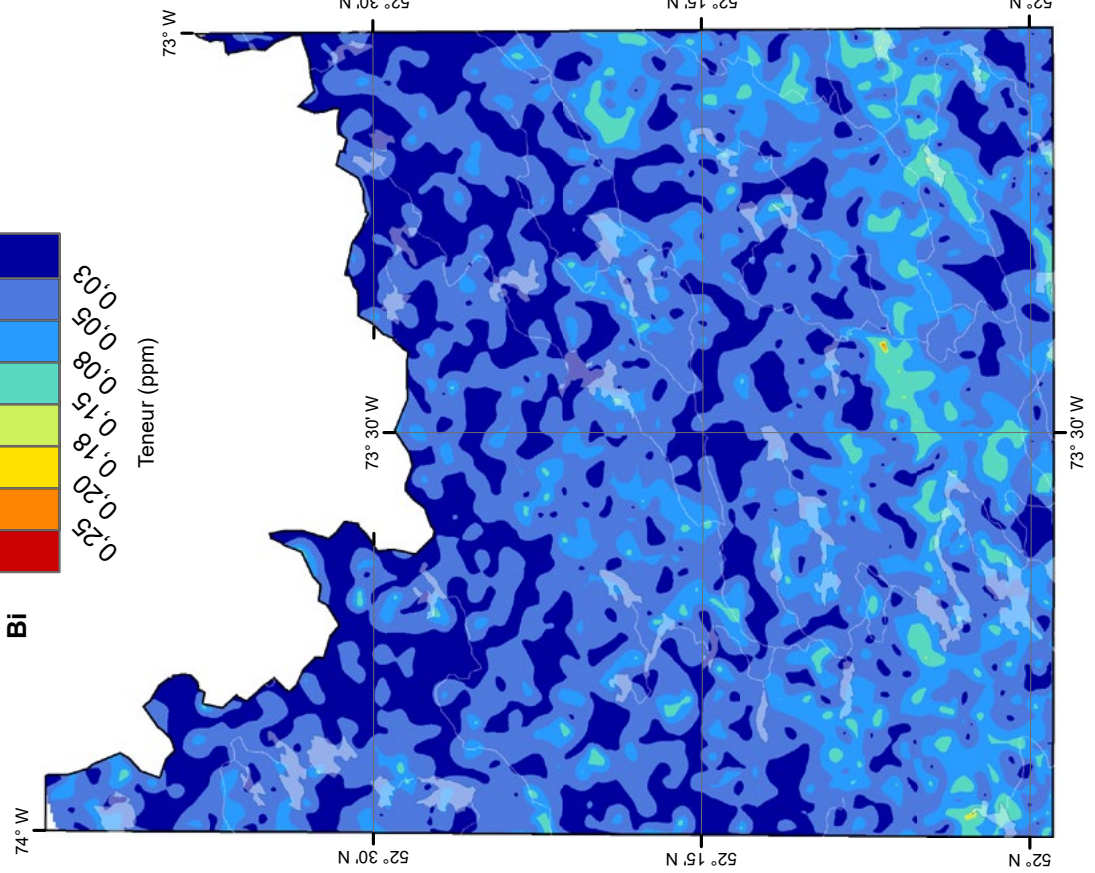
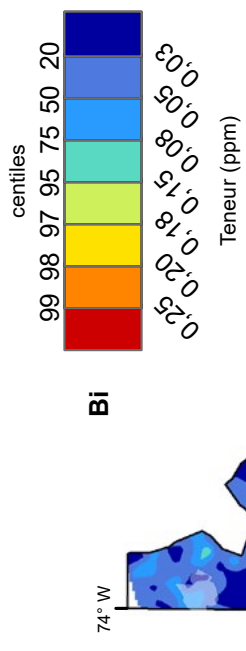


FIGURE 12 – Centiles des valeurs brutes (a) et des résiduelles (b) en zinc dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

a)



b)

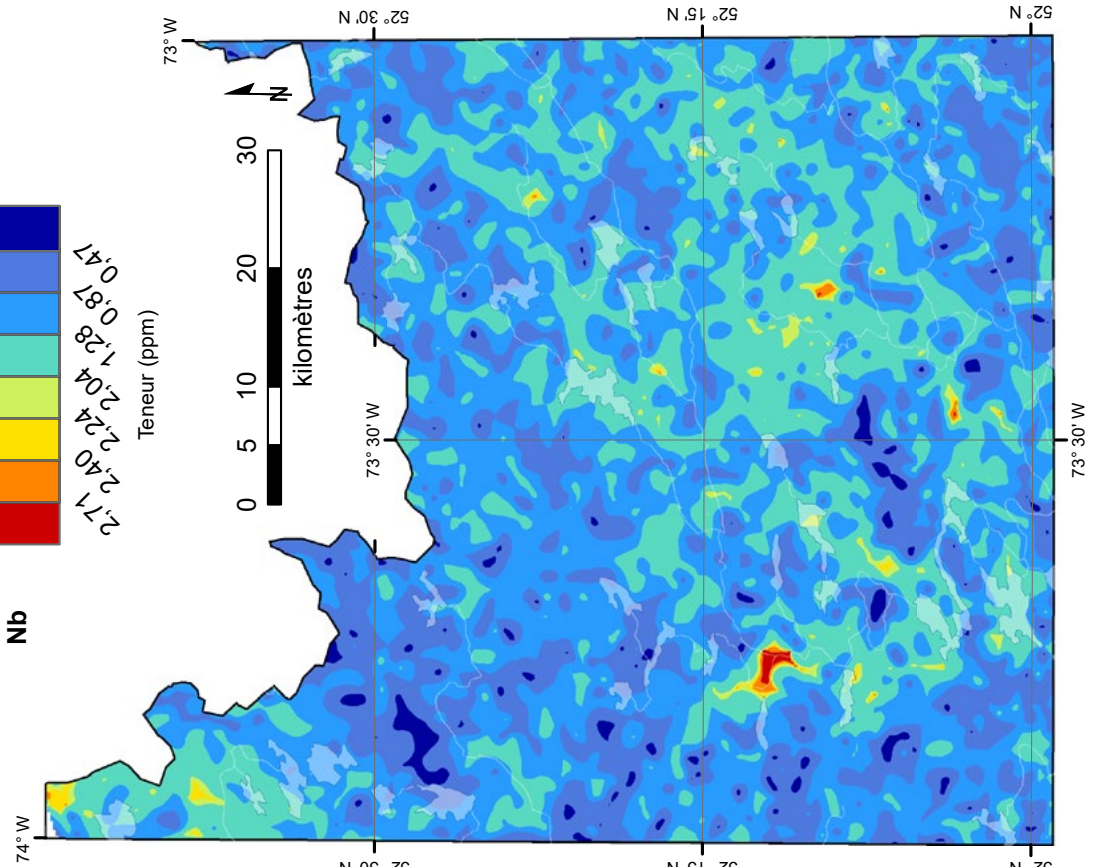
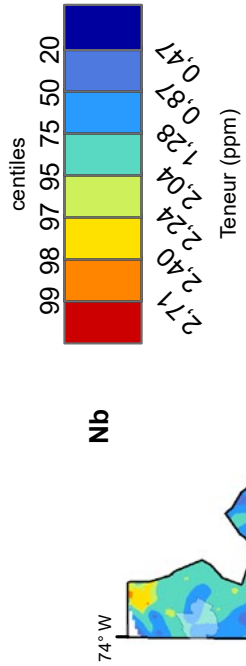


FIGURE 13 – Centiles des valeurs brutes en bismuth (a) et en niobium (b) dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

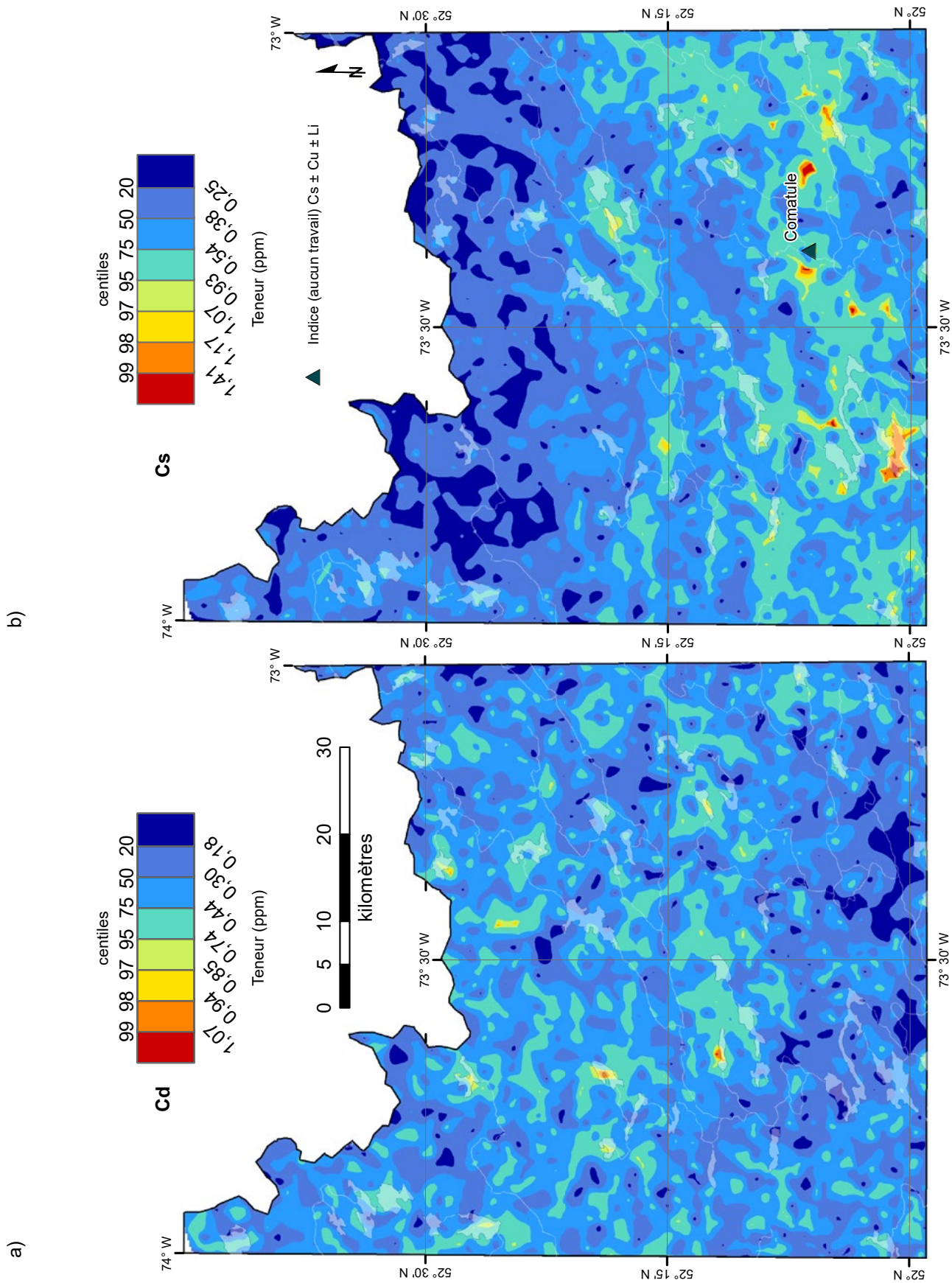
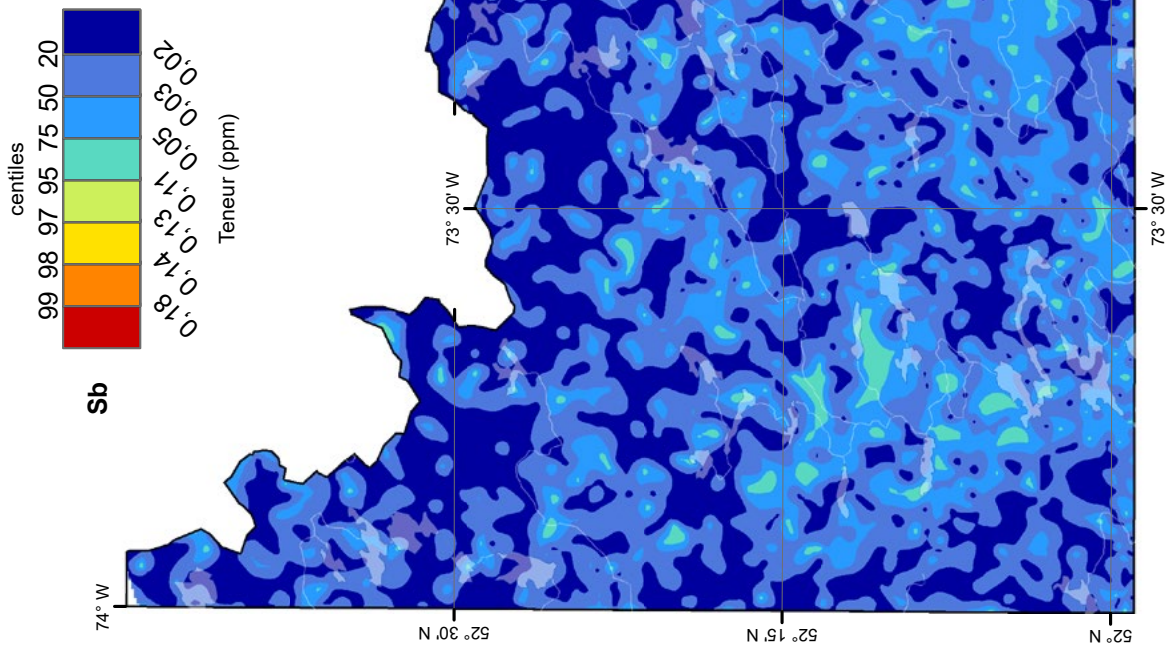


FIGURE 14 – Centiles des valeurs brutes en cadmium (a) et en césium (b) dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

a)



b)

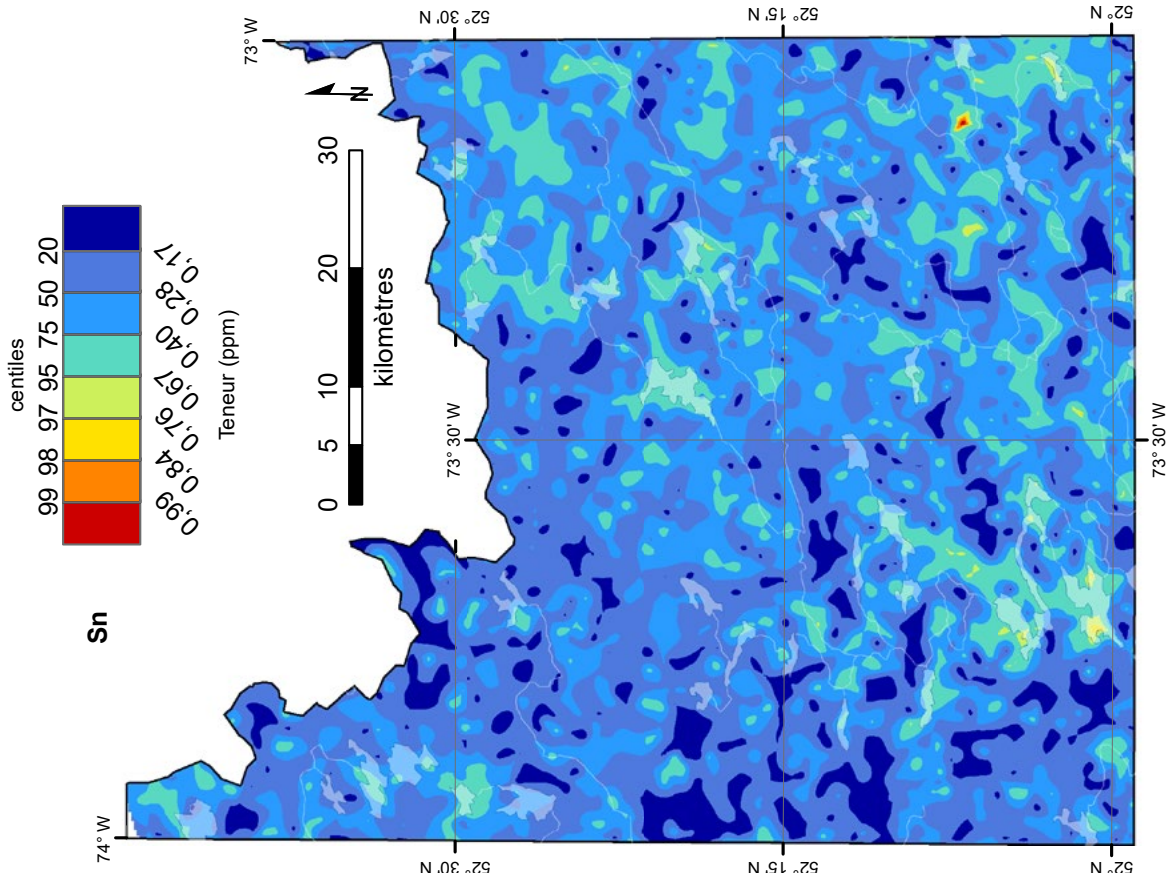


FIGURE 15 – Centiles des valeurs brutes en antimoine (a) et en étain (b) dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

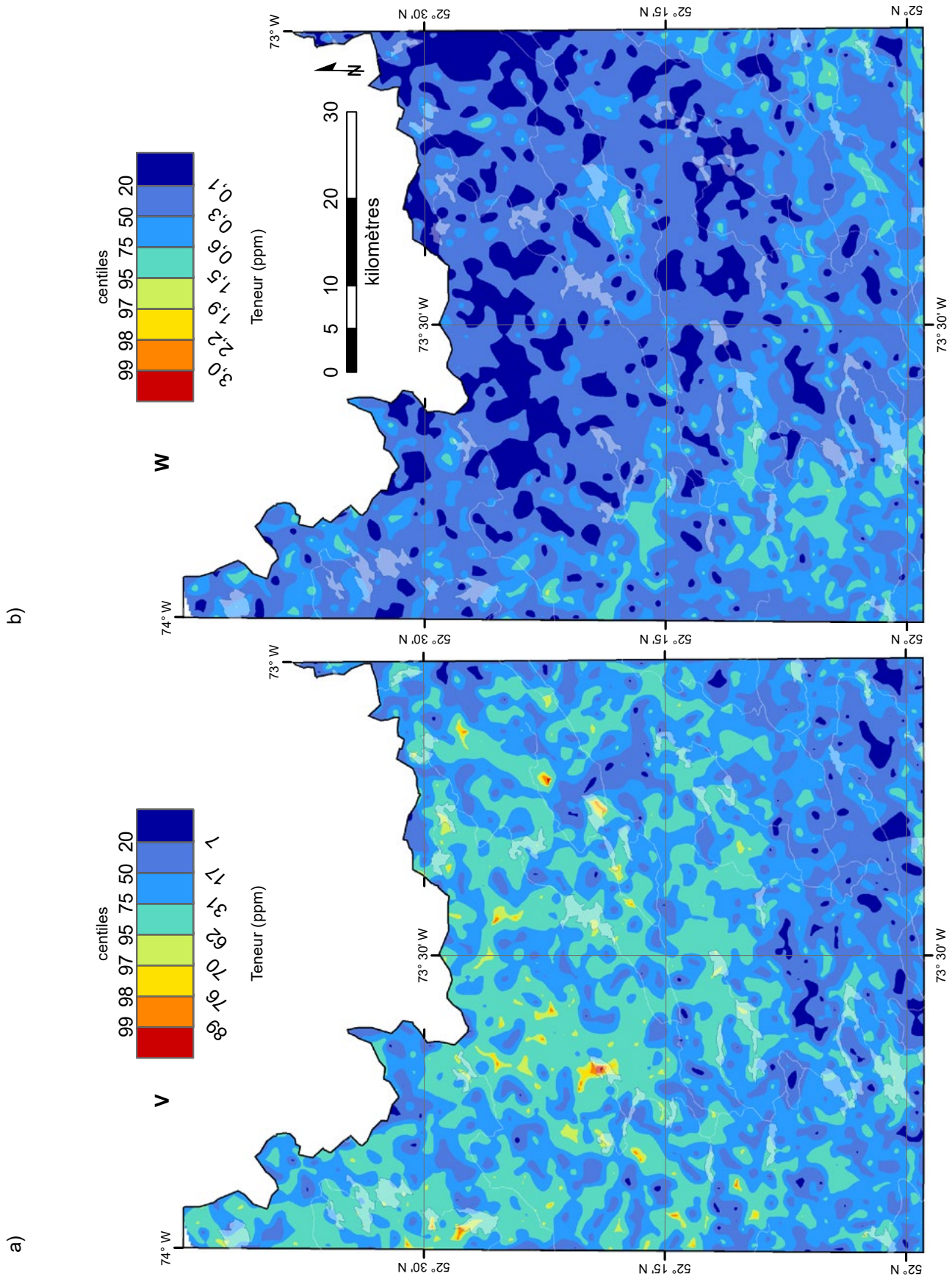


FIGURE 16 – Centiles des valeurs brutes en vanadium (a) et en tungstène (b) dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

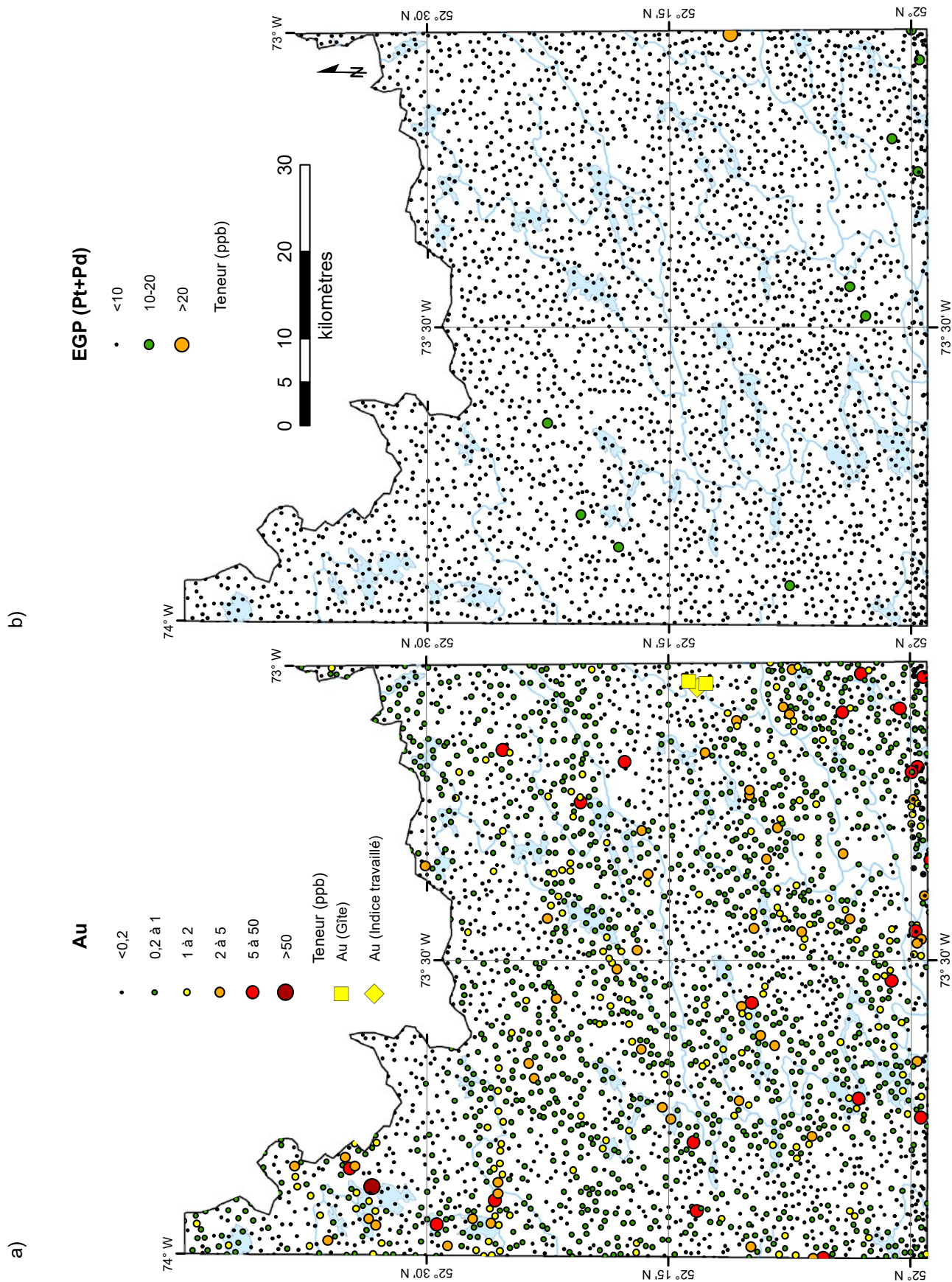


FIGURE 17 – Concentrations en or (a) et en platinoïdes (Pt + Pd; b) dans les sédiments de fond de lac du levé du lac Ayde.

ANNEXE A

Comparaison avec les résultats du levé de la Société de développement de la Baie-James (SDBJ; projet 1957001)

Des levés de sédiments de fond de lac (no projet 1957001) ont été réalisés dans le secteur de la rivière Eastmain par la Société de développement de la Baie-James (SDBJ) en 1976 (Otis, 1976; SDBJ, 1976; Pelletier, 1978). Ces échantillons ont d'abord été analysés pour neuf 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 (Beaumier et Kirouac, 1995; voir également Trépanier, 2023) 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 (AN; 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 résultats pour l'or de cette dernière campagne (2009-2010) n'ont toutefois pas été intégrés à la base de données du SIGÉOM en raison d'une contamination présumée.

La suite analytique employée en 2009 (ACME) est très similaire à celle utilisée en 2024 (Actlabs). Toutefois, les ETR n'ont pas été analysées en 2009 (sauf La et Ce). Dans les deux cas, les échantillons ont fait l'objet d'une digestion à l'eau régale et ont été analysés par ICP-MS.

Les échantillons de la SDBJ (seulement ceux réanalysés en 2009) ont été comparés aux échantillons de 2024 localisés à proximité (distance maximale de 150 m). Un total de 694 doublons a ainsi été examiné.

À titre de référence, 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 A1. La distribution des différences relatives des échantillons est illustrée dans le diagramme en boîte à moustaches de la figure A1. Les comparaisons ont été effectuées entre les données des échantillons analysés en 2024 et les doublons des réanalyses de 2009, sauf exceptions (Eu, Sm), qui ont été dosés dans les années 90 par ICP. Certains doublons fortement anomaux ou avec des concentrations très élevées ont été retirés du calcul afin de diminuer l'effet des anomalies sur le coefficient de corrélation. Les données ont été normalisées à 1 et tous les échantillons distants de plus de 0,5 de la courbe de régression ont été retirés. Dans le cas des données anomaux, les doublons présentant au moins une valeur $> 0,8$ ont été éliminées, car même si celles-ci sont parfois bien corrélées, elles ont tendance à influencer de manière disproportionnée la régression linéaire et le coefficient de Pearson. De manière générale, le coefficient

de Spearman est plus robuste et n'est pas affecté par ces données erratiques.

Certains éléments de ces deux levés sont faiblement corrélés (tableau A1). Ces différences sont probablement dues à la méthode d'analyse qui n'est pas optimale pour ces éléments (Au, B, Na, Pb, Pt, Re, Sb, Se, Te, Zr), à la présence d'un effet pépité (Au, Co, Re, Zr) ou une problématique liée à la dispersion naturelle dans l'environnement (Pb). La comparaison entre ces éléments est un problème récurrent observé dans tous les levés de ce type effectués ces dernières années. La plupart des autres éléments sont relativement bien corrélés, mais on observe évidemment des écarts systématiques, comme illustré à la figure A1. Ces écarts sont possiblement attribuables à des différences dans les procédés analytiques ou la calibration des instruments.

Certains éléments (Au, B, Be, Bi, Eu, Ge, Hf, In, K, Pd, Pt, Sb, Sn, Ta, Te, Tm, W, Yb et Zr) ne sont pas présentés sur le diagramme en boîte à moustaches (figure A1) en raison d'un nombre insuffisant de valeurs valides ($> 10*LD$).

Voici quelques commentaires touchant certains éléments problématiques :

As : sept doublons avec des valeurs anormales retirés. Néanmoins, les corrélations demeurent toujours faibles.

Ca : une dizaine de valeurs anormales de la SDBJ sont non répliquées dans le nouveau levé.

Eu : erreur systématique, mais bonne corrélation.

Mn : les valeurs anormales sont très peu répétées, mais la majorité des doublons sont bien corrélés.

Na : erreur systématique importante (plus de 100 %).

S : effet pépité. Même en retirant les doublons en question, la corrélation reste médiocre.

Sb : trois doublons anomaux probablement dus à un effet pépité. Même en retirant ces doublons, les valeurs de Sb restent tout de même mal corrélées. Les données des échantillons de la SDBJ montrent très peu de variation.

Te : les données des échantillons de la SDBJ montrent très peu de variation. Corrélation impossible.

Hf : les deux levés présentent des limites de détection différentes. L'élément a donc été retiré, car la comparaison est impossible.

Re : effet pépité présumé.

Sn : onze doublons sont affectés par un important effet pépité. En retirant ces doublons, le coefficient de corrélation (r) est ramené à environ 0,450. Le reste des échantillons semble donc montrer un effet pépité, mais de moindre amplitude.

Zr : effet pépité.

Pt : le coefficient de Pearson négatif est symptomatique de données situées très près de la limite de détection. Très peu de variations dans les données de 2024 en comparaison avec celles de la SDBJ.

Hg : neuf doublons avec des valeurs anormales retirés. Différences systématiques entre les levés.

ANNEXE A (suite)

Distribution des différences relatives

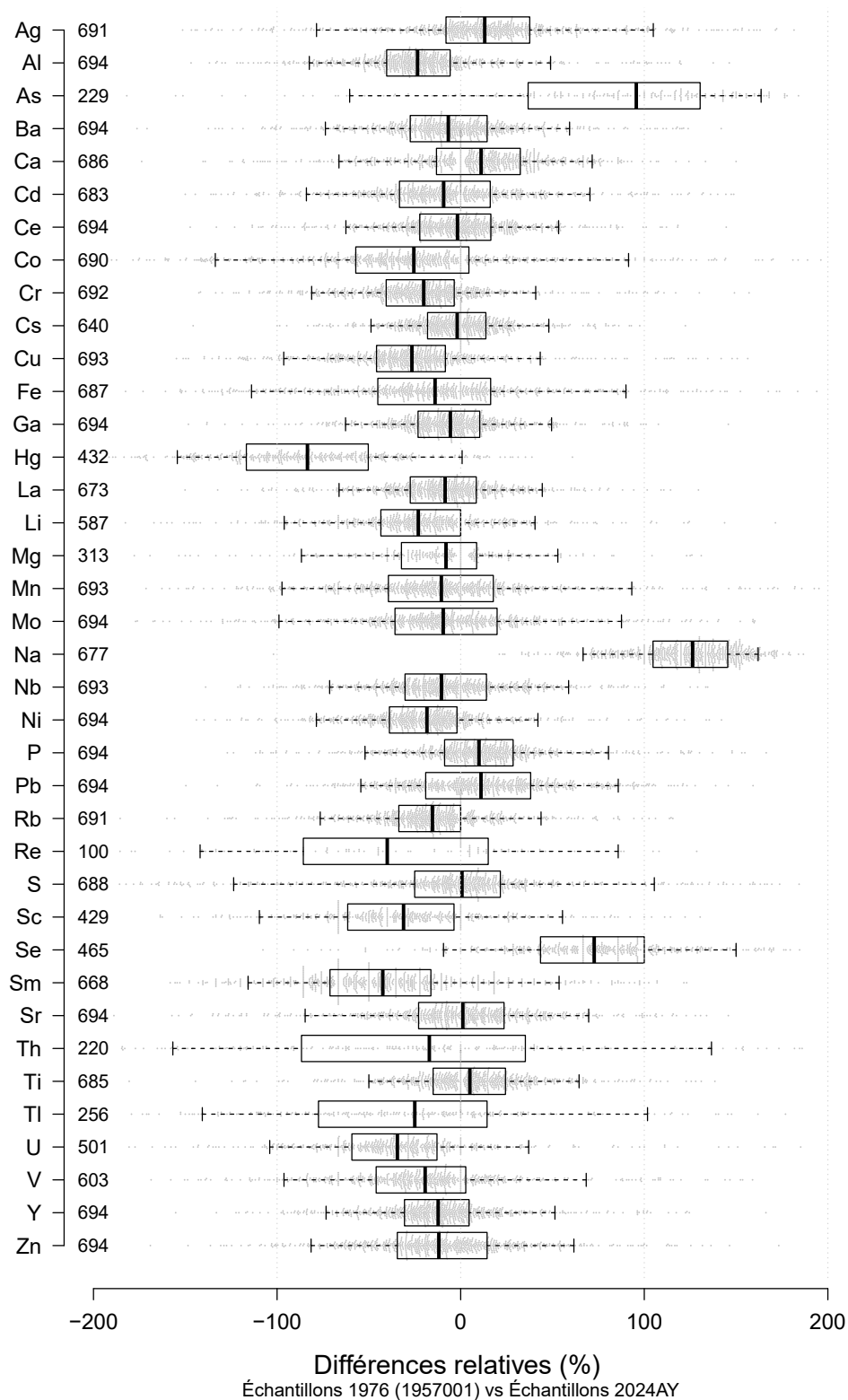


FIGURE A1 – Distribution des différences relatives entre les échantillons de ce levé et les doublons du levé de la S.D.B.J. (1957001)

ANNEXE A (suite)

TABLEAU A1 - Coefficients de corrélation et répartition des différences relatives entre les échantillons du présent levé et les doublons du levé de la S.D.B.J. (1957001)

	Coefficients de corrélation			Distribution des différences relatives (%)							
	Pearson (r)	Spearman (rs)	n	2,5 %	25 %	Médiane	75 %	97,5 %	Moyenne	Écart-type	n (>10*LD)
Ag	0,717	0,671	691	-105	-8	13	38	136	15	52	691
Al	0,776	0,791	694	-99	-40	-23	-6	94	-21	40	694
As	0,579	0,480	504	-89	37	96	130	168	77	71	229
Ba	0,590	0,596	693	-98	-27	-7	14	87	-7	41	694
Bi	0,533	0,573	568	-32	-15	-7	4	17	-6	18	7
Ca	0,445	0,528	694	-96	-13	11	32	85	7	42	686
Cd	0,624	0,646	694	-107	-33	-9	16	100	-8	46	683
Co	0,545	0,779	693	-144	-57	-26	4	124	-24	63	690
Cr	0,790	0,792	694	-99	-41	-20	-4	83	-21	39	692
Cs	0,853	0,849	694	-63	-18	-2	14	69	-2	30	640
Cu	0,720	0,755	694	-117	-46	-27	-8	81	-26	43	693
Eu	0,732	0,727	673	-86	-51	-46	-32	34	-41	27	44
Fe	0,689	0,794	692	-130	-45	-14	16	121	-13	59	687
Ga	0,708	0,719	693	-74	-23	-6	10	74	-6	34	694
K	0,674	0,774	680	-145	-40	-13	9	98	-16	67	23
La	0,754	0,788	694	-87	-27	-8	8	62	-9	34	673
Mg	0,751	0,789	688	-123	-32	-8	9	68	-12	44	313
Mn	0,694	0,829	665	-116	-39	-11	18	134	-8	56	693
Mo	0,746	0,749	691	-122	-36	-9	20	110	-8	53	694
Na	0,218	0,226	693	54	105	126	145	169	122	31	677
Ni	0,658	0,717	693	-95	-39	-18	-2	67	-19	38	694
P	0,746	0,775	694	-71	-9	10	29	108	10	40	694
Pb	0,390	0,457	690	-69	-19	11	38	101	11	44	694
S	0,448	0,466	688	-152	-25	1	22	135	-4	61	688
Sb	0,058	0,221	432	-145	-4	153	169	184	59	191	3
Sc	0,683	0,729	692	-127	-62	-31	-4	79	-30	48	429
Se	0,375	0,379	679	-34	43	73	100	164	71	48	465
Sr	0,473	0,611	689	-114	-23	1	24	98	-1	46	694
Te	-0,052	0,426	34	-	-	-	-	-	-	-	0
Th	0,479	0,638	492	-169	-87	-17	35	158	-18	87	220
Ti	0,692	0,755	692	-73	-15	5	24	86	5	37	685
Tl	0,588	0,684	672	-152	-77	-25	14	123	-28	70	256
U	0,771	0,886	694	-133	-59	-34	-13	90	-33	49	501
W	0,559	0,690	518	-175	-104	-18	13	108	-40	89	23
V	0,739	0,782	693	-115	-46	-19	3	104	-20	49	603
Zn	0,732	0,743	693	-101	-35	-12	14	92	-10	44	694
Be	0,667	0,689	571	-66	-40	0	0	106	-4	58	9
Ce	0,731	0,780	694	-85	-22	-2	16	74	-3	37	694
In	0,386	0,646	38	-	-	-	-	-	-	-	0
Li	0,724	0,797	693	-114	-43	-23	0	67	-23	44	587
Nb	0,607	0,674	694	-88	-30	-10	14	82	-8	40	693
Rb	0,704	0,777	691	-95	-34	-15	0	64	-16	36	691
Re	0,219	0,278	305	-168	-86	-40	15	97	-34	71	100
Sn	0,448	0,470	668	-182	-28	16	44	108	-3	77	78
Sm	0,650	0,623	690	-131	-71	-42	-16	82	-40	49	668
Y	0,759	0,779	694	-89	-31	-12	5	80	-12	38	694
Zr	0,277	0,474	636	-146	9	65	121	166	51	85	112
Pt	-0,194	0,284	15	-	-	-	-	-	-	-	0
Hg	0,362	0,426	679	-172	-117	-83	-50	13	-82	47	432

ANNEXE B

Comparaison avec le levé du secteur Mistassini nord (13529B) du MRNF (2013)

Le présent levé recoupe un levé de plus faible densité effectué en 2013 dans le secteur Mistassini nord (13529B; Solgadi, 2017c). Vingt-six sites ont été rééchantillonnés, autant que possible aux mêmes endroits, pour comparer les données de ces deux levés et évaluer la répétitivité du processus d'échantillonnage et d'analyse (voir annexe A). Les suites analytiques des deux projets sont comparables, à l'exception des terres rares et du V qui n'avaient pas été analysés en 2013. Les données proviennent du même laboratoire (Actlabs, ensemble analytique UT-2).

Certains éléments de ces levés montrent de faibles corrélations (tableau B1). Ces différences sont probablement dues à la méthode d'analyse qui n'est pas optimale pour ces éléments (Au, B, Ba, Na, Re, S, Sb, Se, Zr) ou à un effet pépité (Au, Re, S, Zr). Ce problème est rencontré dans tous les levés de ce type effectués ces dernières années. Certains éléments montrent de faibles coefficients de corrélation en raison de concentrations peu variées (Ba, Ca, Sn).

La plupart des éléments montrent une assez bonne corrélation, mais on observe des différences systématiques entre les levés. Le laboratoire a confirmé que le protocole d'analyse avait été légèrement modifié durant les 11 ans qui séparaient les deux levés, ce qui peut expliquer, du moins partiellement, ces différences systématiques.

Certains éléments (Au, B, Be, Bi, Ge, Hf, Hg, K, In, Pd, Pt, Re, Sb, Sn, Ta, Te, W et Zr) ne sont pas présentés sur le diagramme en boîte à moustaches (figure B1) en raison d'un nombre insuffisant de valeurs valides (valeurs > 10*LD).

Voici quelques commentaires touchant certains éléments problématiques :

B : les valeurs de 2013 montrent très peu de variation.

Ca : deux doublons avec des valeurs anormales ont été retirés.

Co : six doublons avec des valeurs anormales ont été retirés. Le coefficient de corrélation (r) a ainsi diminué de 0,883 à 0,809.

Cu : un doublon fortement anormal a été retiré. Le coefficient de corrélation (r) est ainsi passé de 0,979 à 0,576.

Fe : six doublons aux valeurs anormales ont été retirés. Le coefficient de corrélation (r) est ainsi passé de 0,957 à 0,884, mais un écart systématique subsiste (environ 15 %).

Mn : six doublons fortement anormaux ont été retirés. Le coefficient de corrélation (r) est ainsi passé de 0,991 à 0,925. L'erreur systématique est d'environ 15 à 20 %.

Mo : deux doublons aux valeurs anormales ont été retirés. Le coefficient de corrélation (r) est passé de 0,988 à 0,785.

Na : les valeurs de 2013 montrent très peu de variation. Aucun nivellement possible entre ces levés.

Ni : une valeur aberrante a été retirée (effet pépité?). Le coefficient de corrélation (r) est ainsi passé de 0,645 à 0,901 avec une erreur systématique de 15 à 20 %.

Pb : corrélation difficile.

S : corrélation difficile avec possible effet pépité.

Sb : les valeurs de 2013 montrent très peu de variation.

Se : erreur systématique non négligeable de 50 %, mais corrélation acceptable.

U : quatre doublons aux valeurs anormales ont été retirés. Le coefficient de corrélation (r) est ainsi passé de 0,937 à 0,777.

Be : deux doublons aux valeurs anormales ont été retirés.

Re : corrélation très faible. Les valeurs de 2013 montrent très peu de variation. Un léger effet pépité est présumé.

Sn : en retirant les trois plus grandes valeurs des résultats de 2024, la corrélation est presque nulle. Cela est probablement causé par le fait que les données sont situées très près de la limite de détection.

Zr : une fois retirées les fortes valeurs présumément liées à un effet pépité, la corrélation est acceptable (environ $r = 0,700$), mais on observe une erreur systématique d'environ 15 %

ANNEXE B (suite)

Distribution des différences relatives

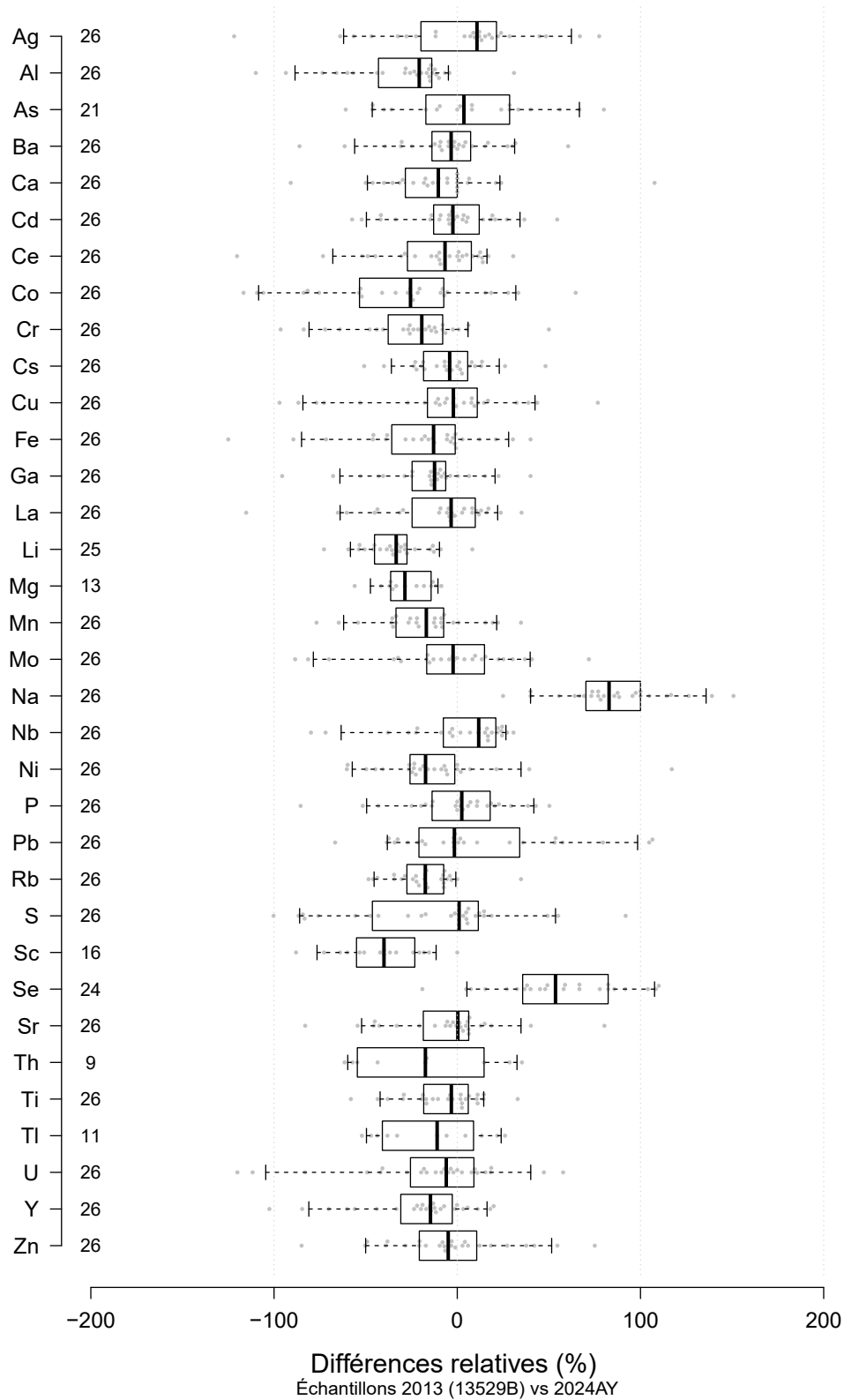


FIGURE B1 – Distribution des différences relatives entre les échantillons de ce levé et les doublons du levé du secteur Mistassini nord (13529B)

ANNEXE B (suite)

TABLEAU B1 - Coefficients de corrélation et répartition des différences relatives entre les échantillons du présent levé et les doublons du levé du secteur Mistassini nord (13529B)

	Coefficients de corrélation			Distribution des différences relatives (%)							
	Pearson (r)	Spearman (rs)	n	2,5 %	25 %	Médiane	75 %	97,5 %	Moyenne	Écart-type	n (>10LD)
Ag	0,741	0,729	25	-86	-20	11	21	71	1	43	26
Al	0,808	0,804	26	-100	-43	-21	-14	9	-31	30	26
As	0,513	0,596	24	-54	-17	4	29	73	5	39	21
B	0,275	0,582	23	-	-	-	-	-	-	-	0
Ba	0,367	0,270	25	-71	-14	-3	7	43	-5	30	26
Bi	0,767	0,713	24	-13	-6	6	32	71	17	34	6
Ca	0,470	0,455	24	-65	-28	-10	0	55	-11	34	26
Cd	0,833	0,790	25	-54	-13	-2	12	43	-3	26	26
Co	0,809	0,738	20	-112	-53	-26	-7	45	-32	46	26
Cr	0,841	0,872	26	-89	-38	-19	-8	23	-24	31	26
Cs	0,857	0,852	25	-44	-18	-4	6	34	-5	20	26
Cu	0,576	0,618	26	-91	-16	-2	11	56	-8	41	26
Fe	0,884	0,818	20	-103	-36	-13	-1	34	-19	36	26
Ga	0,786	0,735	26	-78	-25	-12	-6	29	-17	27	26
K	0,926	0,863	26	-	-	-	-	-	-	-	0
La	0,843	0,791	26	-84	-25	-3	10	28	-11	33	26
Mg	0,953	0,945	26	-52	-36	-29	-14	-10	-27	14	13
Mn	0,925	0,877	20	-69	-33	-17	-7	27	-18	26	26
Mo	0,785	0,760	24	-84	-17	-2	15	52	-5	37	26
Na	-0,019	0,039	26	34	70	83	100	143	86	30	26
Ni	0,901	0,893	25	-60	-26	-17	-1	68	-12	35	26
P	0,837	0,809	26	-64	-14	2	18	46	0	30	26
Pb	0,539	0,560	26	-49	-21	-2	34	105	9	44	26
S	0,341	0,368	26	-92	-46	1	11	69	-14	47	26
Sb	-0,063	0,160	23	-	-	-	-	-	-	-	0
Sc	0,910	0,909	26	-82	-55	-40	-23	-6	-41	23	16
Se	0,541	0,544	26	-5	36	54	82	109	55	34	24
Sr	0,386	0,430	25	-65	-19	0	6	55	-6	32	26
Th	0,844	0,872	23	-61	-55	-17	15	34	-19	38	9
Ti	0,855	0,855	26	-49	-18	-3	6	21	-7	21	26
Tl	0,757	0,716	24	-51	-41	-11	9	25	-15	29	11
U	0,777	0,779	26	-115	-26	-6	9	51	-15	41	26
W	0,665	0,749	23	15	23	31	39	47	31	23	2
Zn	0,710	0,730	26	-63	-21	-5	11	62	-4	35	26
Be	0,786	0,687	23	-32	-28	-22	-16	-9	-21	10	4
Ce	0,825	0,810	26	-91	-27	-7	8	22	-14	33	26
Li	0,939	0,927	26	-65	-45	-33	-27	-2	-34	18	25
Nb	0,632	0,613	26	-75	-8	12	21	29	0	29	26
Rb	0,951	0,951	26	-47	-27	-17	-7	13	-18	17	26
Re	0,485	0,123	21	-134	-46	0	37	56	-18	69	9
Sn	0,331	0,218	26	-33	11	45	64	73	31	45	5
Y	0,890	0,832	26	-91	-31	-15	-3	19	-22	31	26
Zr	0,582	0,831	24	-99	-89	-74	-27	69	-42	83	4
Hg	0,763	0,773	26	-21	-15	-5	7	20	-3	19	4

ANNEXE C

Comparaison avec le levé du lac Comeau du MRNF (2022CM)

Le présent levé est également adjacent à un levé effectué en 2022 dans le secteur du lac Comeau (2022CM), localisé plus au sud (Lamarche, 2023b; tableau 1). Une bande de superposition d'une largeur de 2 km a été prévue à la frontière des deux levés. Vingt-neuf doublons localisés dans cette bande ont fait l'objet du même traitement statistique que celui décrit à l'annexe A. Certains éléments (Au, B, Na, Pb, Re, Sb, Zr) montrent de faibles coefficients de corrélation (tableau C1) probablement en raison des faibles concentrations typiquement situées près de la limite de détection (Au, Na, Re, Sb, Th), de méthodes d'analyse mal adaptées (B, Na, Zr) ou encore d'un possible effet pépite (Au, Zr).

Certains éléments (Au, B, Bi, Er, Eu, Ge, Hf, Hg, Ho, K, In, Lu, Pd, Pt, Re, Sb, Sn, Ta, Tb, Te, Th, Tl, Tm, W et Yb) ne sont pas présentés sur le diagramme en boîte à moustaches (figure C1) en raison d'un nombre insuffisant de valeurs valides (valeurs > 10*LD).

Voici quelques commentaires touchant certains éléments problématiques :

Al : excellente corrélation, mais il semble y avoir une erreur systématique entre les levés.

Ba : le retrait de deux doublons aux valeurs aberrantes permet d'améliorer les coefficients de corrélation ($r = 0,471$ à $0,647$ et $r_s = 0,362$ à $0,544$).

Pb : mauvaise corrélation même en retirant deux valeurs aberrantes. Erreur systématique. Les données de 2022 présentent moins de variations que celles de 2024.

S : deux doublons aberrants montrant de fortes concentrations ont été retirés. La corrélation est acceptable.

Sb : les valeurs de 2022 montrent très peu de variation. Impossible de corrélérer les données des deux levés.

Th : il semble y avoir deux populations, une première avec un rapport de 1 : 1 et une seconde avec des valeurs plus élevées en 2022.

Tl : curieusement, l'erreur relative augmente avec les concentrations. Les valeurs < 10*LD montrent plutôt un rapport autour de 1 : 1

Zr : les 20 plus petites valeurs présentent une corrélation modérée ($r = 0,739$ et $r_s = 0,553$). Les neuf doublons avec les valeurs les plus fortes semblent montrer un effet pépite.

ANNEXE C (suite)

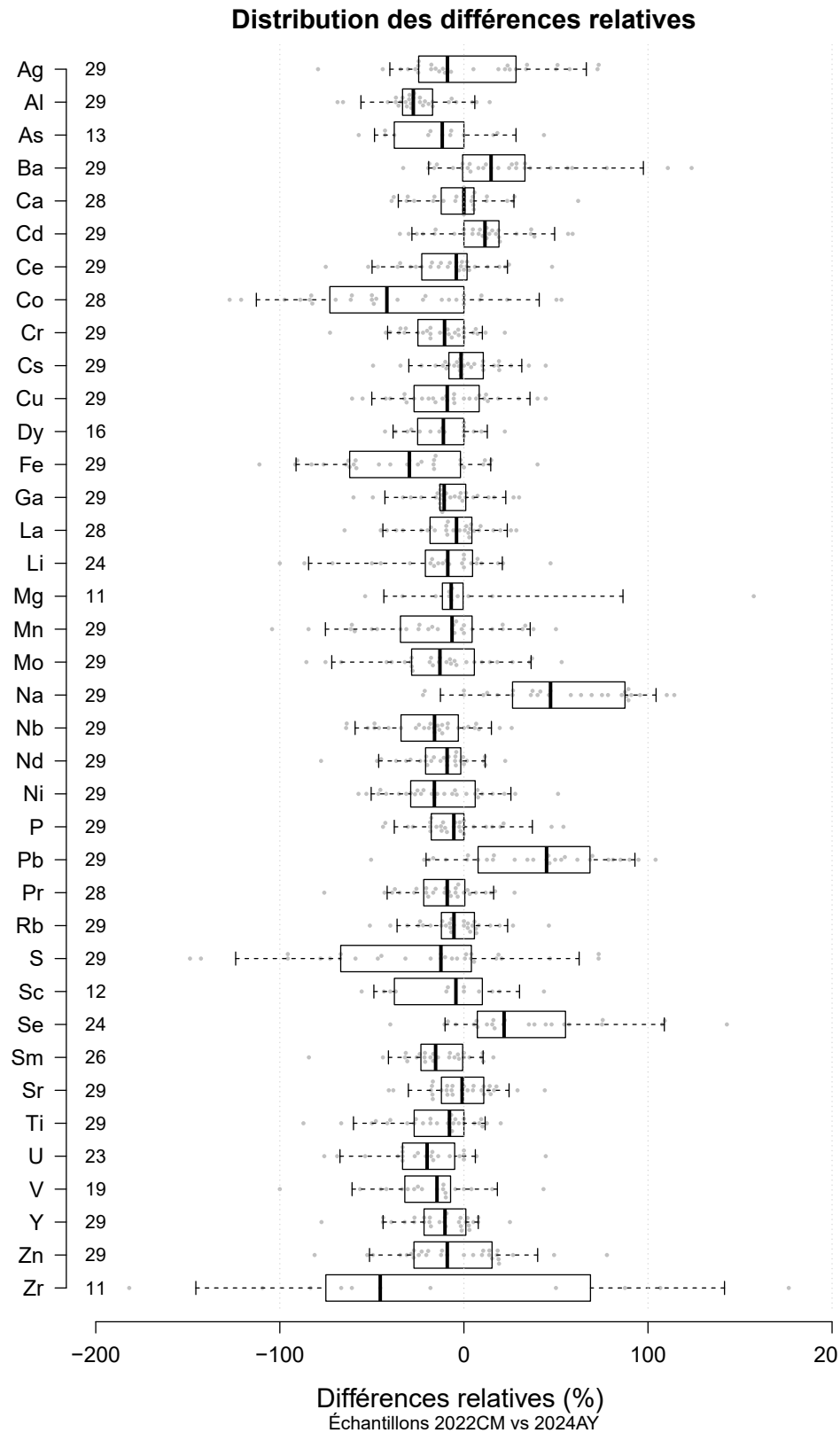


FIGURE C1 – Distribution des différences relatives entre les échantillons de ce levé et les doublons du levé du lac Comeau (2022CM)

ANNEXE C (suite)

TABLEAU C1 - Coefficients de corrélation et répartition des différences relatives entre les échantillons du présent levé et les doublons du levé du lac Comeau (2022CM)

	Coefficients de corrélation			Distribution des différences relatives (%)							
	Pearson (r)	Spearman (rs)	n	2,5 %	25 %	Médiane	75 %	97,5 %	Moyenne	Écart-type	n (>10LD)
Ag	0,757	0,755	29	-55	-25	-9	28	73	4	37	29
Al	0,955	0,940	29	-67	-33	-27	-17	9	-25	18	29
As	0,839	0,809	29	-53	-38	-12	0	36	-13	28	13
Ba	0,647	0,544	29	-23	-1	15	33	115	22	37	29
Bi	0,693	0,799	29	-	-	-	-	-	-	-	0
Ca	0,739	0,691	27	-38	-12	0	5	39	-1	22	28
Cd	0,847	0,896	29	-31	0	11	19	57	10	23	29
Co	0,679	0,846	29	-123	-73	-42	0	51	-37	48	28
Cr	0,942	0,943	29	-52	-25	-11	0	15	-14	20	29
Cs	0,943	0,928	29	-39	-8	-2	11	38	1	19	29
Cu	0,877	0,898	28	-57	-27	-9	8	41	-9	26	29
Er	0,902	0,944	29	-51	-40	-29	-9	12	-23	26	5
Eu	0,885	0,912	28	-	-	-	-	-	-	-	0
Dy	0,905	0,950	29	-41	-25	-11	0	17	-11	18	16
Fe	0,920	0,904	28	-98	-62	-30	-2	22	-34	38	29
Ga	0,898	0,904	29	-53	-13	-11	1	28	-9	19	29
K	0,935	0,914	27	-	-	-	-	-	-	-	1
La	0,875	0,923	29	-52	-18	-4	4	27	-8	22	28
Mg	0,910	0,880	27	-49	-12	-7	-0	122	4	54	11
Mn	0,837	0,881	27	-90	-34	-6	4	41	-15	37	29
Mo	0,829	0,916	29	-78	-28	-13	6	42	-13	32	29
Na	0,175	0,014	29	-22	26	47	88	111	52	39	29
Ni	0,826	0,849	29	-54	-29	-16	6	35	-13	25	29
P	0,924	0,863	27	-43	-18	-5	0	50	-4	22	29
Pb	0,331	0,346	27	-30	8	45	68	98	37	40	29
S	0,639	0,609	27	-145	-67	-13	4	73	-26	55	29
Sb	0,305	0,140	17	-	-	-	-	-	-	-	0
Sc	0,858	0,798	24	-52	-38	-4	10	37	-9	30	12
Se	0,666	0,671	28	-23	7	22	55	123	35	43	24
Sr	0,694	0,691	25	-39	-12	-1	11	34	-1	18	29
Th	0,644	0,530	15	-125	-49	8	16	18	-25	62	6
Ti	0,877	0,912	28	-73	-27	-8	0	15	-16	25	29
Tl	0,570	0,809	29	-99	-76	-46	14	78	-28	63	10
U	0,785	0,865	24	-72	-33	-20	-5	24	-21	25	23
W	0,697	0,758	25	-59	-34	-6	6	17	-16	41	3
V	0,900	0,929	29	-80	-32	-15	-7	31	-20	30	19
Zn	0,851	0,898	29	-61	-27	-9	15	58	-5	32	29
Be	0,871	0,890	21	-	-	-	-	-	-	-	0
Ce	0,867	0,910	29	-59	-23	-4	2	32	-9	25	29
Ge	0,912	0,971	14	-	-	-	-	-	-	-	0
Li	0,813	0,869	26	-92	-21	-9	5	32	-15	34	24
Nb	0,852	0,870	29	-64	-34	-16	-3	21	-19	23	29
Nd	0,900	0,948	29	-56	-21	-9	-2	15	-14	21	29
Rb	0,946	0,949	28	-43	-12	-5	6	33	-5	20	29
Re	0,349	0,464	28	-67	-42	-34	7	116	-7	69	7
Sn	0,679	0,662	28	-18	-8	-8	1	23	-2	17	5
Sm	0,909	0,958	29	-59	-23	-15	-1	13	-15	21	26
Tb	0,861	0,876	23	-	-	-	-	-	-	-	0
Y	0,900	0,950	29	-54	-22	-10	1	13	-14	21	29
Yb	0,857	0,946	29	-53	-42	-29	4	33	-16	47	3

ANNEXE D

Comparaison avec le levé du lac Gochigami du MRNF (2023GO)

Le présent levé est également adjacent à un levé effectué en 2023 dans le secteur du lac Gochigami (2023GO), localisé plus au sud (Lamarche, 2024; tableau 1). Une bande de superposition d'une largeur de 2 km a été prévue à la frontière des deux levés. Vingt-cinq doublons localisés dans cette bande ont fait l'objet du même traitement statistique que celui décrit à l'Annexe A. Certains éléments (Au, B, Ca, Hg, Na, Re, Sb, Th, Zr) montrent de faibles coefficients de corrélation (tableau D1) probablement en raison de faibles concentrations typiquement situées près de la limite de détection (Au, Ca, Hg, Na, Re, Sb, Th), de méthodes d'analyse mal adaptées (B, Na, Zr) ou encore d'un possible effet pépité (Au, Co, Mn, Mo, S, Th, Zr).

Certains éléments (Au, B, Be, Bi, Er, Eu, Ge, Hf, Hg, Ho, In, K, Lu, Mg, Pd, Pt, Sb, Sc, Sn, Tb, Ta, Te, Th, Tm, W, Yb et Zr) ne sont pas présentés sur le diagramme en boîte à moustaches (figure D1) en raison d'un nombre insuffisant de valeurs valides (valeurs $> 10*LD$).

Voici quelques commentaires touchant certains éléments problématiques :

Co : en retirant six doublons présumément affectés par l'effet pépité, le coefficient de corrélation (r) grimpe à 0,892.

Mo : un doublon aberrant a été retiré (effet pépité?).

Na : Valeurs de 2023 montrent très peu de variation. La corrélation est mauvaise. La limite de détection est élevée par rapport aux concentrations observées.

Sb : aucune corrélation possible. Les données sont presque toutes sous $5*LD$.

Se : un doublon anomal a été retiré, ce qui diminue le coefficient de corrélation r de 0,759 à 0,583. Les résultats pour cet élément sont surprenants.

Th : trois doublons aux valeurs anormales ont été retirés, ce qui diminue le coefficient de corrélation r de 0,727 à 0,581. Il est difficile d'évaluer cet élément, car les autres valeurs sont toutes très basses.

Tl : quatre valeurs erratiques retirées pour améliorer la corrélation (r passe de 0,302 à 0,832). Les valeurs de 2024 semblent plafonner.

Be : malgré les valeurs très basses, on observe une bonne corrélation, même si les valeurs de l'un des levés sont toujours plus basses. L'erreur systématique est d'environ 30 %.

Li : bonne corrélation, mais on observe une erreur systématique de l'ordre de 50 % entre les levés.

Re : même après le retrait de deux doublons affectés par l'effet pépité (?), la corrélation est quasi nulle même pour les valeurs dépassant $10*LD$.

Zr : élément fortement affecté par l'effet pépité. Même en retirant sept valeurs aberrantes, la corrélation reste médiocre ($r = 0,375$; $r_s = 0,430$; $n = 17$).

Hg : les deux valeurs dépassant $10*LD$ améliorent la corrélation. Sinon, les données sont trop basses pour juger de la précision.

ANNEXE D (suite)

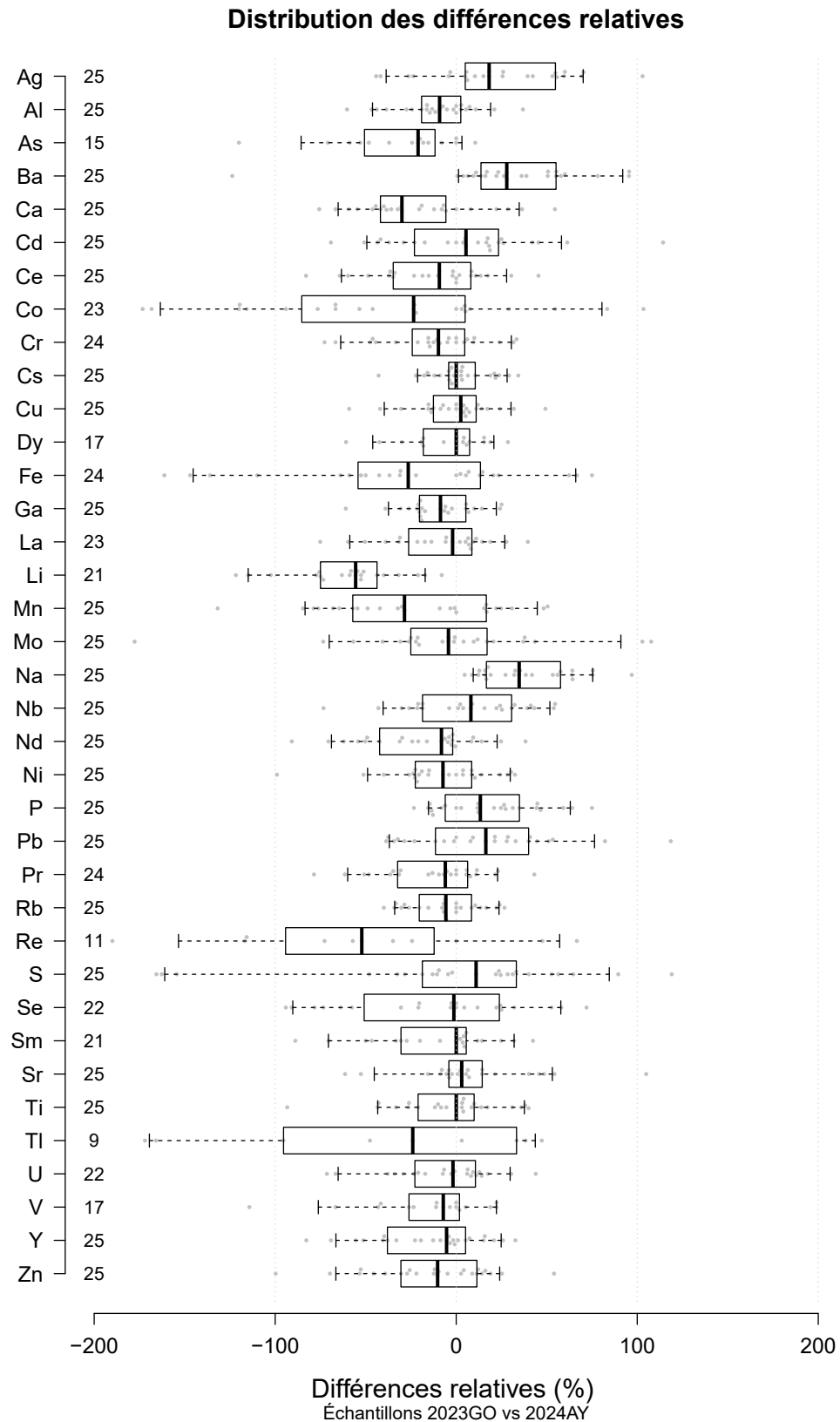


FIGURE D1 – Distribution des différences relatives entre les échantillons de ce levé et les doublons du levé du lac Gochigami (2023GO)

ANNEXE D (suite)

TABLEAU D1 - Coefficients de corrélation et répartition des différences relatives entre les échantillons du présent levé et les doublons du levé du lac Gochigami (2023GO)

	Coefficients de corrélation			Distribution des différences relatives (%)							
	Pearson (r)	Spearman (rs)	n	2,5 %	25 %	Médiane	75 %	97,5 %	Moyenne	Écart-type	n (>10LD)
Ag	0,787	0,808	25	-43	5	18	55	83	24	37	25
Al	0,950	0,947	25	-52	-19	-9	3	27	-11	22	25
As	0,832	0,833	25	-103	-51	-21	-12	7	-32	34	15
B	0,023	0,405	11	-	-	-	-	-	-	-	0
Ba	0,414	0,503	25	-49	14	28	55	95	30	42	25
Bi	0,560	0,676	22	-	-	-	-	-	-	-	1
Ca	0,545	0,644	25	-70	-42	-30	-6	44	-21	33	25
Cd	0,705	0,654	25	-58	-23	5	23	83	5	40	25
Co	0,305	0,714	25	-170	-85	-24	5	92	-38	73	23
Cr	0,919	0,905	25	-69	-24	-10	5	32	-12	28	24
Cs	0,928	0,849	25	-30	-4	0	11	31	2	17	25
Cu	0,910	0,872	25	-49	-13	3	11	39	-1	22	25
Er	0,908	0,918	25	-42	-10	-4	2	15	-7	19	8
Eu	0,879	0,851	22	-	-	-	-	-	-	-	0
Dy	0,899	0,913	25	-53	-18	0	7	25	-6	23	17
Fe	0,655	0,701	22	-154	-52	-11	12	71	-26	62	22
Ga	0,881	0,887	24	-48	-20	-9	5	25	-10	20	25
K	0,786	0,734	25	-	-	-	-	-	-	-	0
La	0,911	0,933	24	-67	-26	-2	9	33	-9	28	23
Lu	0,447	0,464	8	-	-	-	-	-	-	-	0
Mg	0,840	0,806	24	-36	-15	-9	0	8	-11	18	5
Mn	0,791	0,912	24	-104	-57	-29	17	49	-23	47	25
Mo	0,762	0,841	24	-64	-23	-3	18	105	2	43	25
Na	-0,284	-0,213	25	7	17	35	58	84	39	25	25
Ni	0,687	0,690	25	-70	-23	-7	9	31	-9	29	25
P	0,904	0,926	25	-19	-6	13	35	68	18	27	25
Pb	0,523	0,690	24	-38	-11	16	40	97	15	39	25
S	0,400	0,648	20	-31	-10	23	35	105	21	39	20
Sb	0,068	0,155	19	-	-	-	-	-	-	-	0
Sc	0,794	0,824	25	-51	-32	-23	-19	23	-21	27	6
Se	0,583	0,577	24	-92	-51	-1	24	65	-11	49	22
Sr	0,709	0,513	24	-56	-4	3	14	51	5	27	24
Th	0,581	0,486	15	-63	-58	-53	-48	-43	-53	15	2
Ti	0,697	0,707	25	-63	-21	0	10	39	-5	30	25
Tl	0,832	0,816	18	-171	-95	-24	33	45	-43	85	9

