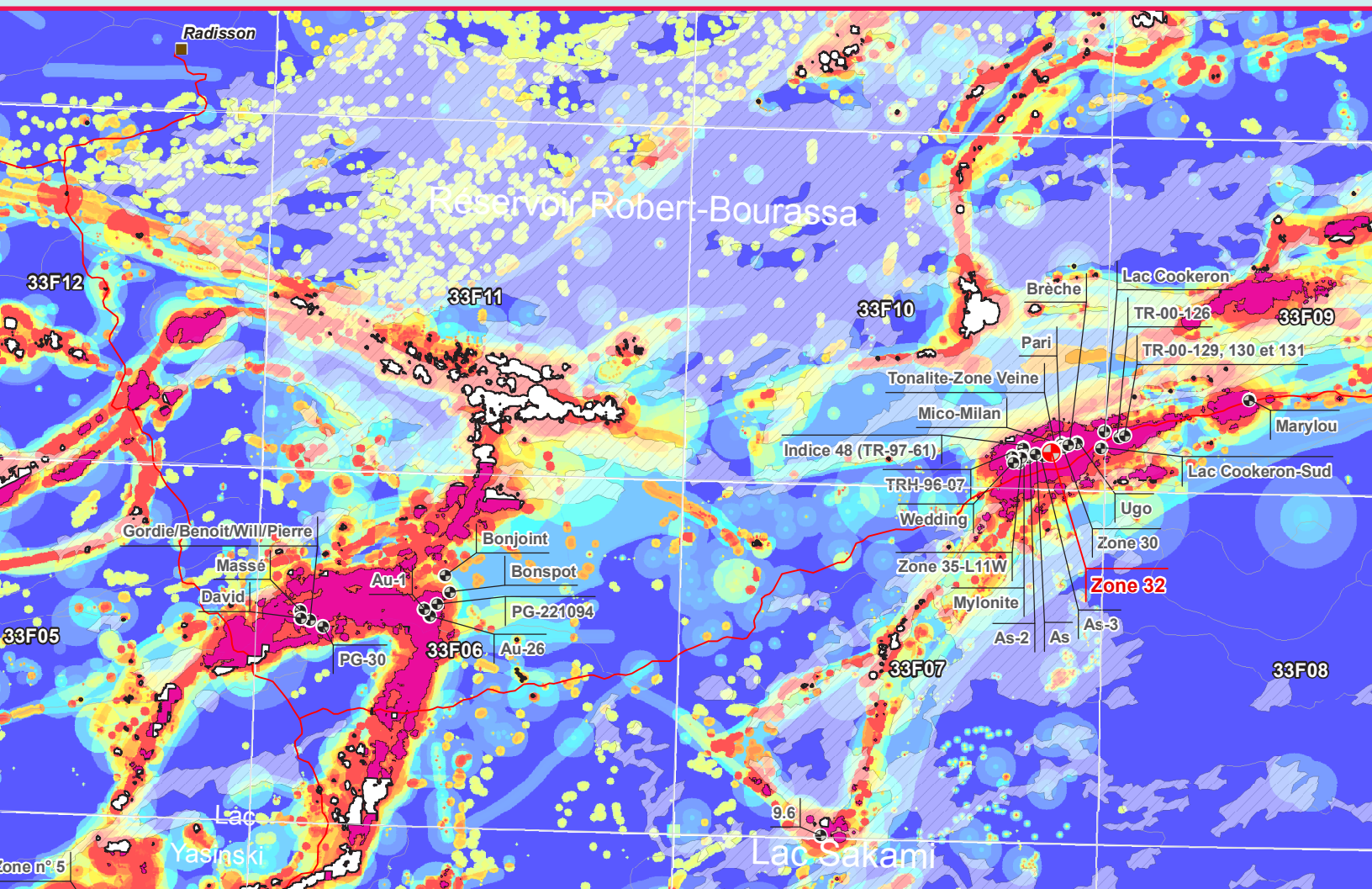


Évaluation du potentiel en minéralisations d'or de type orogénique, municipalité d'Eeyou Istchee Baie-James (version 2014)



Guillaume Allard, Jean Goutier et Daniel Lamothe

Évaluation du potentiel en minéralisations d'or de type orogénique, municipalité d'Eeyou Istchee Baie-James (version 2014)

Guillaume Allard, Jean Goutier et Daniel Lamothe

EP 2015-01

Résumé

Cette évaluation de potentiel vise à identifier les zones favorables à la découverte de nouvelles minéralisations aurifères dans la partie nord de la municipalité d'Eeyou Istchee Baie-James. Cette étude constitue une mise à jour du document EP 2008-01 qui couvrait le même secteur.

Le traitement des données a été entièrement réalisé dans le module *Model Builder* du logiciel ArcGIS version 10.1. Les calculs visant à quantifier l'intensité de l'altération (bilans de masse) ont été effectués à l'aide du logiciel LithoModeleur du Consortium de recherche en exploration minérale (CONSOREM). Les traitements d'analyse spatiale ont permis d'attribuer une valeur de contraste à 32 paramètres différents qui ont montré une association spatiale positive avec un ensemble de 113 gîtes aurifères (gîtes travaillés, gisements à tonnage évalué et mines) dans le secteur d'étude. Ces paramètres sont regroupés en six grandes classes : contrôle lithologique, contrôle structural, évidence d'activité hydrothermale, sulfures et métaux, géophysique et géochimie de l'environnement secondaire. À quelques détails près, les paramètres utilisés sont les mêmes que ceux du EP 2008-01. Cependant, avec 29 gîtes d'or supplémentaires, une base de données beaucoup plus importante et une meilleure compréhension de la géologie du secteur, les zones de haute favorabilité sont mieux définies, notamment dans les secteurs nouvellement cartographiés.

Les différents paramètres ont été pondérés par la technique du poids de la preuve (*WofE*) et combinés à l'aide des opérateurs de logique floue. La détermination du seuil minimal de haute favorabilité a été effectuée par une analyse statistique des gîtes connus de la Baie-James. Les zones de haute favorabilité sont principalement associées aux roches volcano-sédimentaires de la Sous-province de La Grande. Elles regroupent 93 % des gîtes d'or de type orogénique de la Baie-James (105 sur 113). Les gîtes dont la valeur de favorabilité est supérieure à 0,629 appartiennent à une population homogène qui répond aux critères du modèle (distribution gaussienne). Les huit gîtes situés sous cette limite répondent mal au modèle.

Les zones de haute favorabilité se trouvent principalement dans la Sous-province de La Grande, en périphérie de la Sous-province d'Opinaca. Le faciès métamorphique plus élevé de cette dernière sous-province ne semble être pas être favorable à la préservation de ce type de gisement, au-delà de la transition entre le faciès des schistes verts et celui des amphibolites.

Les zones de haute favorabilité couvrent une superficie de 1062 km², dont 27 % (288 km²) est libre de jalonnement en date du 18 octobre 2014. La localisation de ces zones de haute favorabilité est disponible dans le Système de Gestion des titres miniers (GESTIM) et le Système d'information géominière (SIGÉOM) sous la rubrique « Cibles d'exploration ».

Depuis 2008, les travaux de cartographie du Ministère ont mis en valeur de nouvelles ceintures volcano-sédimentaires auxquelles sont associées plusieurs zones de haute favorabilité, particulièrement dans le nord-est de la zone d'étude (feuilles SNRC 33H et 33G). Les futurs travaux de cartographie géologique et l'accès au territoire favorisé par l'extension de la route 167 devraient permettre une meilleure évaluation du potentiel minéral du secteur.

Direction générale

Robert Giguère

Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec

Patrice Roy, géo.

Direction de l'information géologique du Québec

Charles Roy, géo.

Direction de la promotion et du soutien aux opérations

Jean-Yves Labbé, géo.

Lecture critique

Mehdi Amine Guemache, géo.

Auteurs

Guillaume Allard, géo., Jean Goutier, géo. et Daniel Lamothe, géo.

Édition

Claude Dion, ing.

Graphisme

André Tremblay

TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	3
INTRODUCTION	7
Localisation	7
Contexte géologique régional	7
Potentiel en gîtes d'or de type orogénique de la Baie-James	10
MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉVALUATION DE LA FAVORABILITÉ.....	10
Introduction	10
Niveau de connaissance du secteur d'étude	11
Méthodologie	12
Traitement des paramètres	13
Contrôle lithologique.....	13
Unité lithologique favorable.....	13
Observation lithologique ponctuelle.....	13
Lithodiversité	13
Proximité de dykes porphyriques intermédiaires à felsiques	14
Contrôle structural.....	14
Proximité d'une faille.....	14
Densité de failles.....	14
Observation de fort pendage.....	14
Proximité de veines de quartz-carbonates	15
Évidences d'activité hydrothermale dans le substrat rocheux.....	15
Évidences chimiques d'altération.....	15
Carbonatation.....	16
Observation de minéraux d'altération	16
Sulfures et métaux.....	16
Proximité d'une minéralisation en sulfures	16
Analyses de métaux indicateurs	17
Géochimie de l'environnement secondaire	17
Indicateur géophysique	17
POTENTIEL EN MINÉRALISATIONS D'OR DE TYPE OROGÉNIQUE	
DE LA BAIE-JAMES.....	19
Carte de la favorabilité associée au contrôle lithologique.....	20
Carte de la favorabilité associée au contrôle structural.....	20
Carte de la favorabilité associée aux évidences d'activité hydrothermale	20
Carte de la favorabilité associée aux indicateurs de sulfures et de métaux	20
Carte de la favorabilité associée à la géochimie de l'environnement secondaire	20
Carte de la favorabilité associée à la géophysique.....	20
Potentiel en minéralisations d'or de type orogénique – carte finale.....	21
Détermination des zones de haute favorabilité	21
Validation des résultats.....	21
Cibles d'exploration	21
CONCLUSION.....	30
REMERCIEMENTS	30
RÉFÉRENCES	30

ANNEXE 1 – Modèle d’inférence du potentiel en minéralisations d’or de type orogénique de la Baie-James	34
ANNEXE 2 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères lithologiques	35
ANNEXE 3 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères structuraux	36
ANNEXE 4 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères évidences d’activité hydrothermale	37
ANNEXE 5 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères sulfures et métaux	38
ANNEXE 6 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères géochimie de l’environnement secondaire	40
ANNEXE 7 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères géophysiques	41

INTRODUCTION

Lamothe a publié en 2008 une première évaluation du potentiel pour les minéralisations en or de type orogénique dans la partie nord de la région de Baie-James (EP 2008-01). Depuis ce temps, les nombreux travaux des compagnies minières effectués dans ce secteur ont permis la découverte de plusieurs indices et gîtes de ce type. De plus, le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) a réalisé sur ce territoire plusieurs levés géologiques, géochimiques et géophysiques. Les travaux de Bandyayera et Lacoste (2009), Bandyayera *et al.* (2010, 2011, 2013), Hammouche *et al.* (2015 et en préparation), Goutier *et al.* (en préparation), Gigon *et al.* (en préparation), Burniaux *et al.* (en préparation) ont permis de mieux définir les ensembles géologiques du secteur et de mettre au jour de nouvelles ceintures volcano-sédimentaires. Bien que ces rapports ne soient pas tous publiés, toutes les données numériques et les cartes sont disponibles dans le Système d'information géomine du Québec (SIGÉOM).

En soutien aux différents projets de cartographie géologique, le secteur a été entièrement couvert par de nouveaux levés magnétiques aéroportés à haute résolution (D'Amours, 2011). De plus, le Ministère a entrepris la réanalyse par la méthode ICP-MS de 9786 échantillons de sédiments de fond de lac et de 3100 échantillons de roche. Ces nouvelles données justifient une mise à jour de l'évaluation de potentiel pour les minéralisations en or de type orogénique dans ce secteur.

Localisation

Le secteur à l'étude est localisé dans la partie nord de la municipalité d'Eeyou Istchee Baie-James et correspond à celui couvert par la précédente étude de potentiel (Lamothe, 2008), soit les feuillets SNRC 33A, 33B, 33C, 33F, 33G et 33H. Le secteur est accessible par la route de la Baie-James, la route Transtaïga et, plus récemment, par la route 167 qui rejoint maintenant le projet diamantifère Renard (figure 1).

Contexte géologique régional

La région d'étude est située dans la portion centrale de la Province géologique du Supérieur qui constitue le plus vaste craton archéen du monde. Cette province comprend des roches très variées, datées entre 4,2 et 2,57 Ga, qui ont subi plusieurs phases de déformation à l'Archéen. Le secteur d'intérêt touche à trois sous-provinces du Supérieur, soit les sous-provinces de La Grande, d'Opinaca et de Minto (figure 1a). Elle contient aussi des dykes de gabbro-diabase néoarchéens et paléopro-térozoïques, une série de bassins arénitiques paléopro-térozoïques, ainsi qu'une couverture de sédiments quaternaires. Les principales séquences volcano-sédimentaires du secteur mentionnées dans ce rapport sont présentées à la figure 1b.

La Sous-province de La Grande constitue un ensemble volcano-plutonique (Card et Ciesielski, 1986) composé d'un socle tonalitique ancien aussi vieux que 3452 Ma à l'ouest (feuillelet 33F03; Davis *et al.*, 2014), de plusieurs séquences volcano-sédimentaires sous-marines d'âge méso- à néoarchéen et de multiples intrusions ultramafiques à felsiques. Les séquences mésoarchéennes abondent dans la demie nord-est de la Sous-province de La Grande, alors que les séquences néoarchéennes sont présentes en bordure de la Sous-province d'Opinaca et à l'ouest (figure 1). Par endroits, le socle tonalitique mésoarchéen est recouvert en discordance par des unités archéennes composées de grès et de conglomérats. Les roches du La Grande sont comparables à celles du Terrane de la Baie d'Hudson et du Domaine d'Oxford-Stull du NW ontarien (Stott *et al.*, 2010).

La Sous-province d'Opinaca est un ensemble métasédimentaire et plutonique (Card et Ciesielski, 1986) comparable aux sous-provinces d'English River et de Quetico en Ontario. Dans la région étudiée, l'Opinaca est constitué de paragneiss à biotite injectés de multiples intrusions ultramafiques à felsiques, ces dernières fréquemment pegmatitiques. Ces paragneiss proviennent de la transformation d'une importante séquence de wacke déposé avant 2710 Ma et après 2672 Ma (Goutier *et al.*, en préparation).

Le contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca présente une orientation générale est-ouest et correspond généralement à une zone de cisaillement inclinée vers le nord. Ce contact peut être net, comme à l'indice Quentin (33H04), ou plus hétérogène (voir par exemple la photo de la page de couverture du rapport de Goutier *et al.*, 2000). Ce contact est par endroits masqué par des intrusions (Suite de Bezier et Granite du Vieux-Comptoir, Goutier *et al.*, 2002). Une petite partie

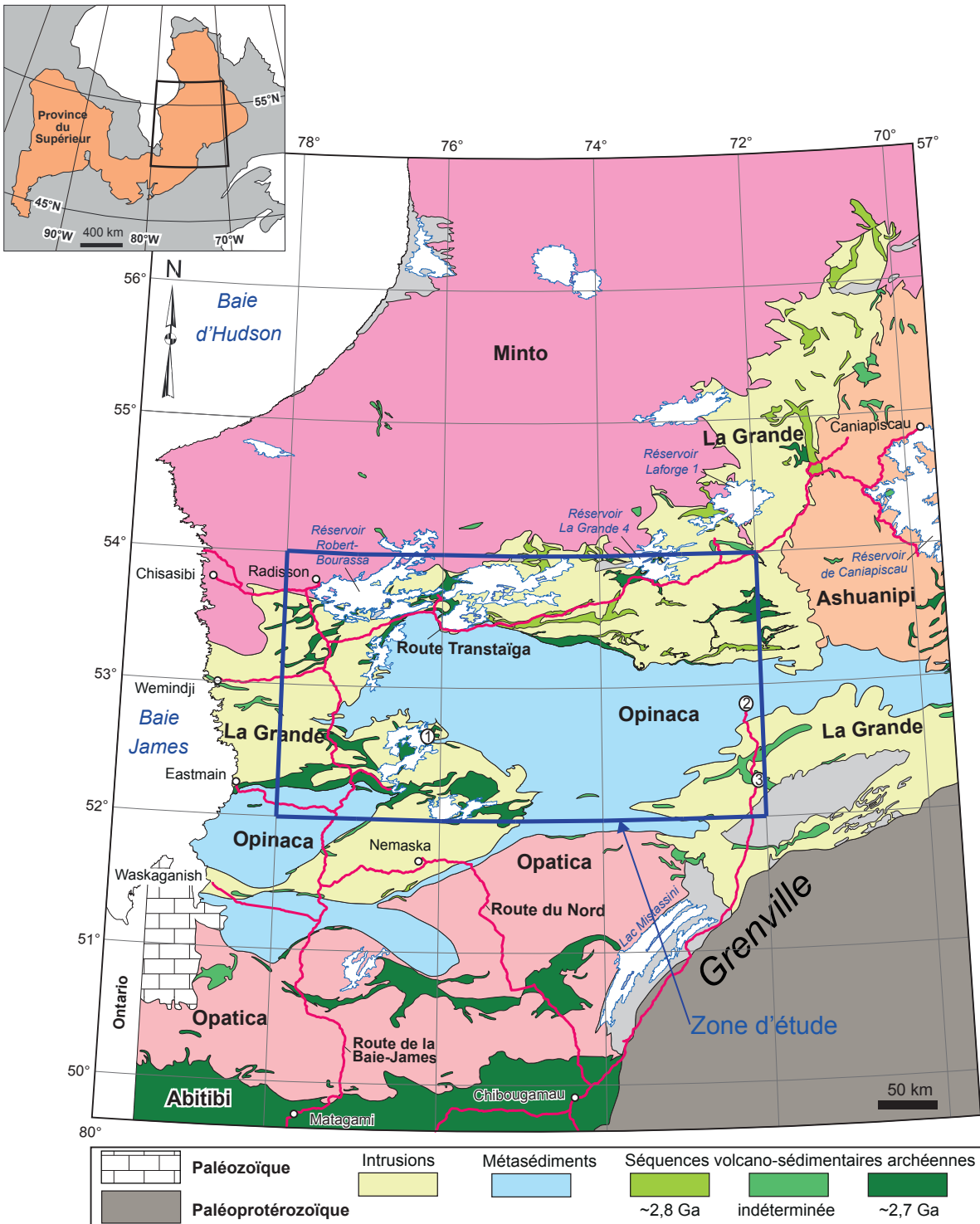


FIGURE 1A - Carte des grandes unités géologiques de la Baie-James. L'encadré en bleu représente les limites de la présente étude. 1 : Mine Éléonore (Goldcorp), 2 : Projet Renard (Stornoway Diamond), 3 : Mines Eastmain bloc A et B (mines fermées).

de la Sous-province de Minto est présente dans la partie nord du feuillet 33F où elle est représentée exclusivement par les monzodiorites quartzifères du Pluton de Radisson (Goutier *et al.*, 1999).

Le métamorphisme de la région varie du faciès des schistes verts, dans certaines ceintures de la Sous-province de La Grande, à celui des granulites dans la partie centrale et est de la Sous-province d'Opatica.

Les roches du secteur ont été déformées de façon ductile à l'Archéen. Dans la Sous-province de La Grande, la présence de noyaux anciens mésoarchéens et de plutons néoarchéens crée un arrangement structural en dômes et bassins. La base des séquences volcaniques est généralement marquée par des

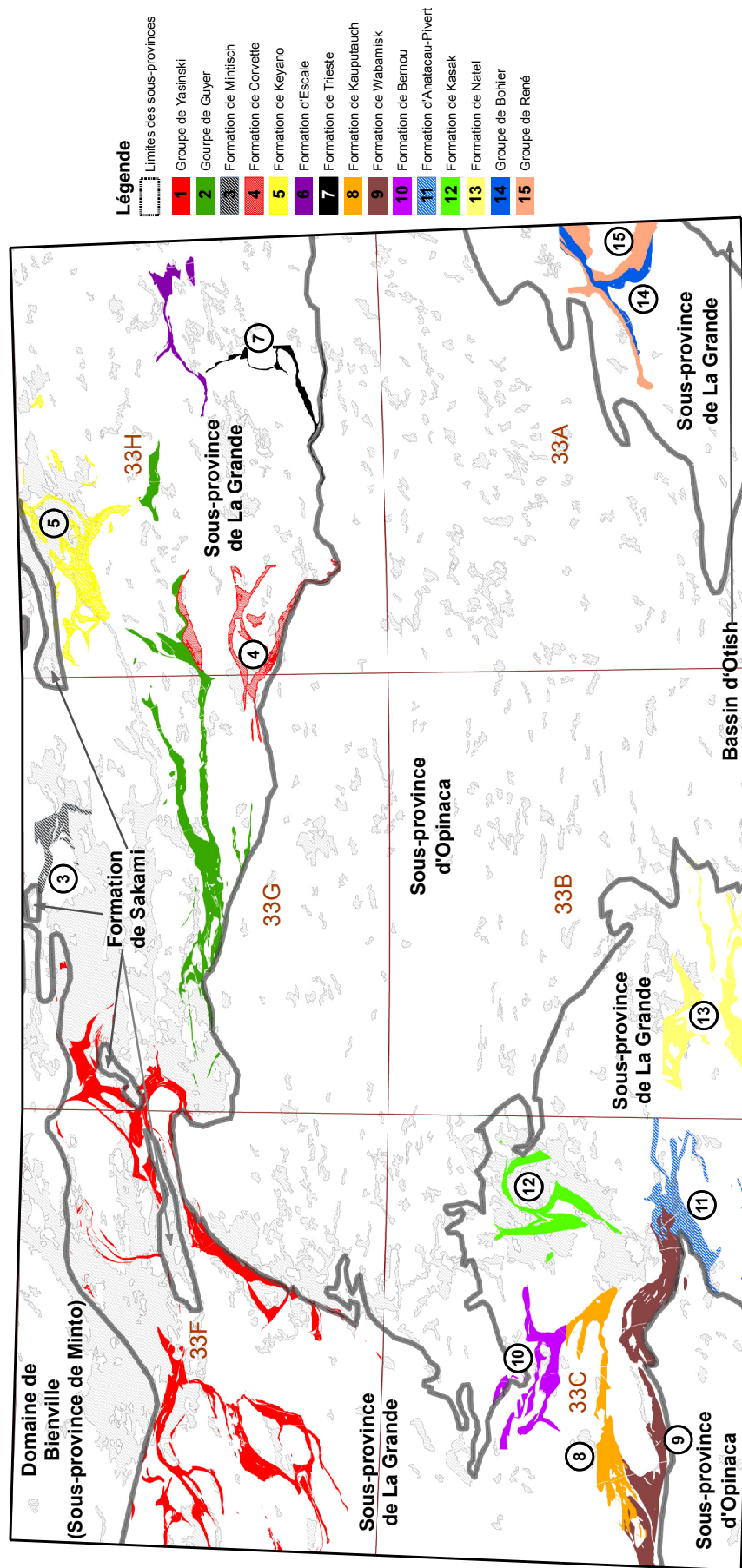


FIGURE 1B - Principales unités volcano-sédimentaires du secteur d'étude.

zones de cisaillement. La Sous-province d'Opinaca montre un style structural différent. Celle-ci forme un énorme dôme structural et métamorphique bordé au nord par une série de grandes synformes et antiformes ENE à ESE à plongement vers l'ENE qui affectent à la fois les intrusions et les paragneiss.

La région de la Baie-James est bien connue pour ses minéralisations aurifères archéennes. On trouve aussi des minéralisations archéennes de cuivre, de zinc, de plomb, de fer, de molybdène, de nickel, de chrome, d'éléments du groupe du platine, de lithium et d'uranium. Les minéralisations paléoproterozoïques sont principalement uranifères, tandis que les gîtes diamantifères sont en majeure partie néoproterozoïques.

Potentiel en gîtes d'or de type orogénique de la Baie-James

La mine Troilus, exploitée de 1997 à 2009 (67,9 Mt à 1,065 g/t Au et 0,1 % Cu; Marcoux *et al.*, 2010), démontre le potentiel aurifère de la partie sud de la région de la Baie-James. Toutefois, ce gîte Au-Cu est localisé dans la Sous-province d'Opatika et ne représente pas un gisement d'or de type orogénique. Depuis le début des grandes campagnes d'exploration du milieu des années 1990, le nombre d'indices aurifères dans le secteur plus au nord n'a cessé d'augmenter, en particulier en périphérie bien connue contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca. La découverte en 2004 du gîte Roberto (24,57 Mt à 6,3 g/t Au, réserves prouvées et probables; site internet de Goldcorp, décembre 2014) dans le secteur de la Eastmain et sa mise en production commerciale en 2015 sont des éléments significatifs qui soulignent le potentiel non négligeable de la région pour les minéralisations aurifères. La genèse du gîte aurifère Roberto est complexe et présente de multiples phases de minéralisations aurifères avec chacune leurs caractéristiques particulières (Fontaine, 2015). Quelques-unes de ces phases semblent présenter certains caractères des gisements d'or de type orogénique (par ex. zone de cisaillement, stockwerk de veinules de quartz-diopside-arsénopyrite, carbonatation, etc.). Pour cette raison, le gisement Roberto sera classé parmi les minéralisations de type orogénique dans cette étude. Des travaux sont actuellement en cours pour caractériser ce gisement et pourront peut-être apporter de nouveaux indices sur la genèse du dépôt.

MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉVALUATION DE LA FAVORABILITÉ

Introduction

Les méthodes d'évaluation de potentiel se divisent en quatre grandes classes :

1) Méthodes empiriques (data driven)

Pour attribuer des valeurs de favorabilité, les méthodes empiriques se basent essentiellement sur les relations spatiales entre les sites minéralisés (gîtes connus) et certains paramètres géologiques. L'utilisation des méthodes empiriques nécessite donc que le secteur d'étude comporte des gîtes de même nature que le type de minéralisations recherché. Parmi les méthodes empiriques couramment utilisées, on trouve la pondération par le poids de la preuve (*Weight of evidence* ou *WofE*) et l'analyse par réseaux neuronaux.

2) Méthodes conceptuelles (knowledge driven)

Les méthodes conceptuelles se basent essentiellement sur des concepts géologiques ou métallogéniques pour attribuer des valeurs de favorabilité à des paramètres géologiques dans une région donnée. Cette méthode est généralement utilisée en l'absence de gîtes connus. Elle repose sur la connaissance et l'expérience du modélisateur pour attribuer une pondération relative à chaque paramètre géologique (Lamothe, 2013). Parmi les méthodes conceptuelles, la logique floue (*Fuzzy logic*) est de loin la plus couramment utilisée, principalement en raison de sa flexibilité et de sa simplicité (Lamothe, 2013).

3) Méthodes hybrides (logique floue hybride)

Les méthodes conceptuelles sont fondées sur des concepts géologiques, alors que la modélisation par les méthodes empiriques utilise des points de contrôles. Les méthodes hybrides permettent de combiner la flexibilité des approches conceptuelles et la rigueur des approches empiriques. Les travaux de Porwal *et al.* (2003), de Lamothe *et al.* (2005) et de Lamothe (2008, 2011 et 2013) utilisent une

approche semi-empirique où la valeur de favorabilité repose sur des calculs de probabilité d'association par la méthode du poids de la preuve. Il s'agit de l'approche privilégiée dans cette étude.

4) Algorithmes complexes

Depuis quelques années, des entreprises mettent au point des algorithmes complexes permettant d'interroger de grandes banques de données et de réaliser des analyses prédictives. Des systèmes tels que *CARDS* (Diagnos) ou *HyperCube* (BearingPoint) en sont des exemples.

Niveau de connaissance du secteur d'étude

Cette portion de la Baie-James a fait l'objet de nombreux travaux durant les dernières années, tant par le secteur privé que par le Ministère. La figure 2 présente la densité de l'information géologique du secteur par cellule de 25 km². Le secteur présente une forte concentration de données, particulièrement le long du contact des sous-provinces d'Opinaca et de La Grande.

Depuis la publication du EP 2008-01 (Lamothe, 2008), le Ministère a réalisé de nombreux levés cartographiques et géophysiques dans le secteur d'étude. La Baie-James est maintenant entièrement couverte par des levés magnétiques aéroportés à haute résolution. L'ensemble des échantillons de sédiment de fond de lac ont été réanalysés (près de 10 000 échantillons pour 50 éléments chimiques). Ces analyses ont été réalisées par spectrométrie de masse à couplage inductif (ICP-MS) à la suite d'une dissolution partielle à l'eau régale.

Dans les besoins de cette étude, le Ministère a fait réanalyser près de 3100 échantillons de roches (poudres) provenant des campagnes de cartographie antérieures. Les analyses ont été effectuées au laboratoire Actlabs à Ancaster en Ontario. Tous les échantillons ont été réanalysés pour les éléments chimiques suivants (avec la méthode d'analyse) :

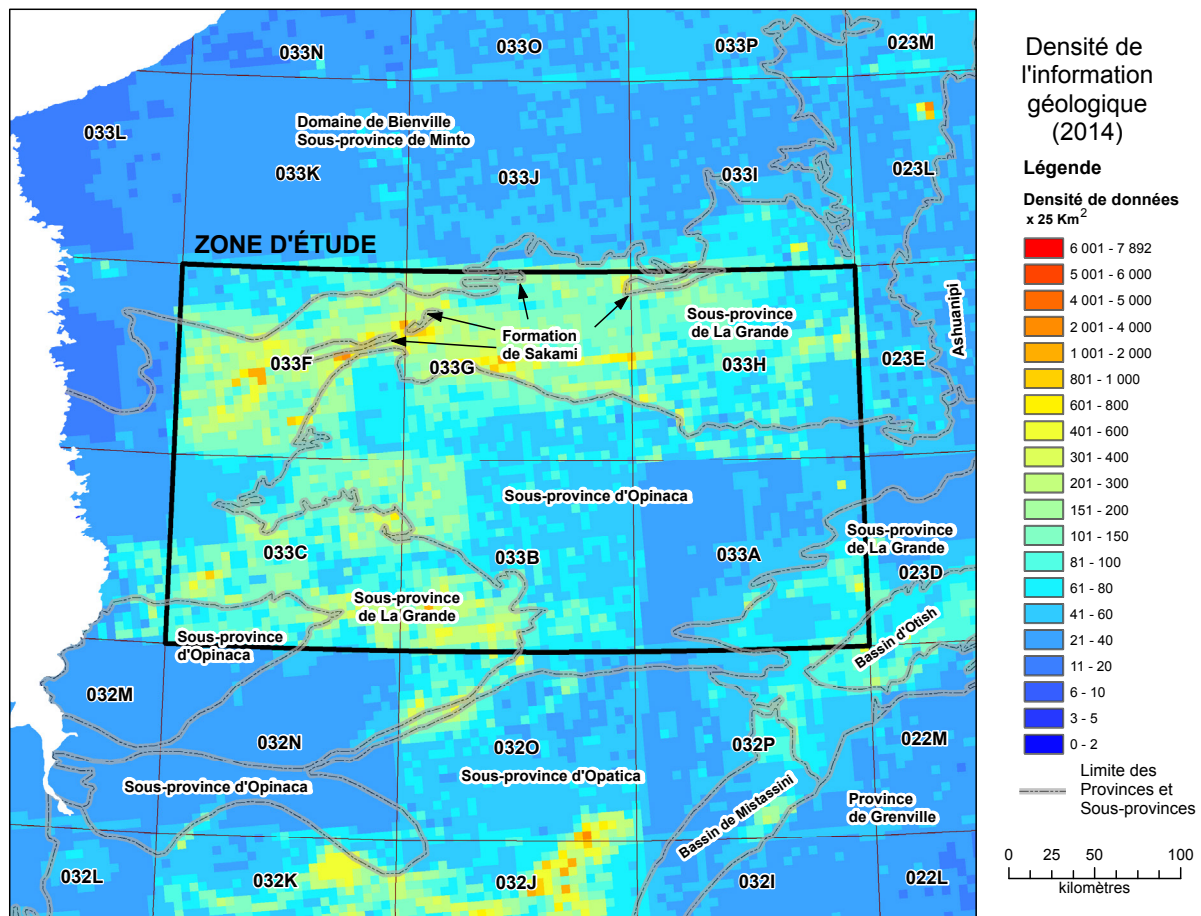


FIGURE 2 - Carte de la connaissance géologique. Densité de données géologiques du secteur d'étude par bloc de 25 km² (Roy et Allard, 2014).

- Ag, Ba, Be, Bi, Co, Cs, Ga, Ge, Hf, In, Pb, Sn, Ta, Th, Tl, V, V, U, W (méthode ICP-MS ou ICP-AES à la suite d'une fusion au métaborate ou tétraborate de lithium);
- As, Au, Br, Cr, Fe, Ir, Na, Sb, Sc, Se (méthode INAA);
- Cd, Cu, Mo, Ni, S, Zn (méthode ICP-AES à la suite d'une digestion totale par quatre acides à chaud). Les échantillons ayant des teneurs supérieures à 10 000 Cu, 100 000 ppm Zn ou 100 000 ppm S ont été réanalysés pour le cuivre et le zinc par la méthode ICP-OES et pour le soufre par la méthode IR.

Tous les échantillons qui avaient été analysés auparavant pour les éléments majeurs ont bénéficié d'un complément d'analyse pour les éléments en traces (Ba, Nb, Rb, Sr, Y, Zr) et les terres rares par ICP-MS à la suite d'une fusion. Les échantillons de roches mafiques et ultramafiques avec des valeurs manquantes pour le FeO, le Pt ou le Pd ont été analysés par titrage pour le FeO et par pyroanalyse – ICP-MS (ensemble 1C-EXP2 d'Actlabs) pour les métaux précieux (Au-Pt-Pd).

Nous avons présenté dans le document promotionnel PRO 2014-01 quelques cibles d'exploration associées à des échantillons anomaux montrant des teneurs dépassant les seuils pour la rédaction d'une fiche de gîte. Ces résultats d'analyses géochimiques ont été intégrés au SIGÉOM et ont été utilisés dans cette démarche d'évaluation du potentiel.

À l'exception du feuillet SNRC 33A, le territoire d'intérêt présente une couverture géologique relativement complète (figure 2). La portion est du feuillet 33A est maintenant accessible via la route 167 Nord menant au projet Renard. Cet accès devrait permettre de mieux décrire ce secteur de la Baie-James dans le futur.

Méthodologie

Le traitement de l'information géologique a été presque entièrement modélisé dans le module *Model Builder* du logiciel ArcGis version 10.1 à partir de l'information disponible dans le SIGÉOM. Les calculs visant à quantifier l'altération géochimique (bilans de masse) ont été réalisés dans le logiciel Lithomodeleur version 3.60 du Consortium de recherche en exploration minérale (CONSOREM, 2013).

Le traitement a utilisé uniquement les mines actives, les mines fermées, les gîtes travaillés et les gisements à tonnage évalué qui présentaient clairement les caractéristiques des gîtes d'or de type orogénique. Un ensemble de 113 gîtes a ainsi été extrait de la base de données du SIGÉOM. De ces 113 gîtes, un sous-ensemble aléatoire représentant 15 % de la population (17 sur 113) a été mis de côté et n'a pas été utilisé dans le traitement. Cet **ensemble de validation** a servi lors de l'évaluation de la carte finale. Les autres gîtes (96), constituant l'**ensemble de pondération**, ont été utilisés pour la modélisation.

La première étape de la modélisation consiste à choisir les paramètres géologiques diagnostiques des gîtes d'or de type orogénique parmi tous les paramètres ou critères disponibles. La méthode du poids de la preuve a permis de quantifier l'association spatiale de ces paramètres géologiques avec l'ensemble des gîtes de pondération. Pour évaluer cette association, nous avons utilisé l'extension ArcSDM (Bonham-Carter *et al.*, 1989; Kemp *et al.*, 2001) qui permet de calculer les valeurs de contraste¹ associées aux divers paramètres. La sélection des paramètres s'est fortement inspiré des versions antérieures des modèles réalisés à la Baie-James (EP 2008-01; Lamothe, 2008), en Abitibi (EP 2006-01; Lamothe et Harris, 2006) et dans la Fosse de l'Ungava (EP 2013-01; Lamothe, 2015), ainsi que des modèles métallogéniques récents appliqués à la Baie-James (Lapointe, 2008). Pour la production de la carte finale, nous avons retenu 32 paramètres géologiques distincts montrant une association spatiale significative (valeur de contraste supérieure à 1,5) avec l'ensemble de pondération des gîtes aurifères de la Baie-James. Nous avons aussi examiné l'aire d'influence de certains paramètres en testant l'association spatiale entre les minéralisations connues et une série de zones tampons (0 à 100 m, 100 à 200 m, etc.) entourant les polygones, les lignes ou les points figurant les paramètres en question. En ajoutant les aires d'influence des paramètres, un total de 86 critères calculés par la méthode *WofE* ont montré une association spatiale significative avec les gîtes de la région étudiée (annexes 2, 3, 4, 5, 6 et 7). Le détail touchant les différentes aires d'influence ne sera pas abordé dans le texte, mais cette information est donnée en annexe. Les plus fortes valeurs de contraste représentent les paramètres ayant une forte association spatiale avec ce type de

¹ Pour des explications sur la notion de « valeur de contraste », consulter le EP 2012-01 (Lamothe, 2013).

minéralisation dans la région. Les différents critères ont donc été classés en fonction de leur valeur de contraste, du rang 1 au rang 86, le rang 1 étant le critère le plus prédictif.

Les 32 paramètres géologiques utilisés pour le traitement sont regroupés en six grandes classes ou sous-modèles : 1) **Contrôle lithologique**; 2) **Contrôle structural**; 3) **Évidences d'activité hydrothermale**; 4) **Sulfures et métaux**; 5) **Géochimie de l'environnement secondaire**; et 6) **Géophysique**. Chaque classe regroupe un certain nombre de paramètres pour lesquels la prédictivité a pu être démontrée en fonction de leur association spatiale avec l'ensemble de 96 points de contrôle de l'ensemble de pondération.

Traitement des paramètres

Contrôle lithologique

Ce volet du modèle vise à identifier les unités lithologiques qui sont physiquement associées à la présence de gîtes aurifères. Selon les travaux de Robert *et al.* (2005), les lithologies les plus susceptibles de contenir des gîtes aurifères sont les roches ignées mafiques riches en fer, les roches métasédimentaires riches en fer et les dykes porphyriques de composition intermédiaire à felsique. Quatre paramètres ont été utilisés pour produire la carte de favorabilité lithologique : 1) le facteur **Unité lithologique favorable**; 2) le facteur **Observation lithologique ponctuelle**; 3) le facteur **Lithodiversité**; et 4) le facteur **Proximité de dykes porphyriques intermédiaires à felsiques**.

Unité lithologique favorable

Ce paramètre cible les polygones de la carte géologique représentant les unités lithologiques favorables à la présence de gîtes aurifères. Plusieurs études suggèrent que les gîtes d'or de type orogénique sont associés à certaines lithologies (Harris *et al.*, 2001; Harris *et al.*, 2006; Lamothe et Harris, 2006; Lamothe, 2008). Nous avons mesuré l'association spatiale entre les différentes unités lithologiques du secteur à l'étude et les gîtes d'or de l'ensemble de pondération.

À cause de l'importante surface occupée par ces unités, leur prédictivité est très faible (36^e au 87^e rang, annexe 2). Les unités volcaniques (36^e rang), les formations de fer (48^e rang) et les intrusions mafiques (52^e rang) ont montré les meilleures associations spatiales avec les gîtes de l'ensemble de pondération. Les intrusions ultramafiques (64^e rang), les amphibolites (70^e rang) et les wackes et conglomérats (78^e rang) présentent également une association spatiale avec ces gîtes. De plus, certaines aires d'influence d'unités lithologiques cartographiées montrent une association spatiale significative. En raison de l'importance des unités volcaniques dans les systèmes aurifères, le paramètre « Proximité d'une volcanite cartographiée » a été conservé, même si sa valeur de contraste tombe légèrement sous le seuil de 1,5 (87^e rang, valeur de contraste de 1,449).

Observation lithologique ponctuelle

Ce paramètre concerne les observations lithologiques ponctuelles (non cartographiables) favorables à la présence de gîtes aurifères. Les lithologies d'intérêt mentionnées précédemment qui proviennent des affleurements de géofiche ou des forages ont été combinées sur une même couche pour les tests de prédictivité. Nous avons soustrait de cette couche les sites associés aux unités lithologiques identifiées à l'étape précédente (codes lithologiques S9; S3, S4; V, V1, V2, V3, V4; M16; I3; I4).

Le test de prédictivité effectué avec *WofE* indique que ce critère occupe le premier rang parmi l'ensemble des paramètres géologiques étudiés (valeur de contraste de 9,445; annexe 2). Ceci est dû au fait que tous les gîtes de la Baie-James (à quelques exceptions près) ont été observés dans ces lithologies. De plus, en raison de la petite surface occupée par ces unités, leur prédictivité est très élevée. Les observations ponctuelles ont montré une association spatiale avec les gîtes jusqu'à une distance de 100 m.

Lithodiversité

Des études ont démontré qu'il existe une relation directe entre la diversité lithologique (complexité géologique) d'un secteur et la présence de gîtes aurifères (Hagemann et Cassidy, 2000; Mihalasky et Bonham-Carter, 2001; Lamothe, 2008). Ce concept est défini comme le nombre de lithologies par unité de surface. La diversité lithologique a été utilisée avec succès dans plusieurs projets de

modélisation antérieurs (Lamothe et Harris, 2006; Lamothe, 2008, 2015) où l'on a pu démontrer une relation positive entre ce paramètre et les gîtes d'or de type orogénique.

Pour réaliser ce traitement, nous avons créé à partir de la carte géologique un fichier matriciel des polygones des lithologies avec une résolution de 1 cellule/km². Par la suite, un traitement a assigné à chaque cellule une valeur correspondant au nombre de lithologies différentes contenues dans cette surface. L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré que les cellules montrant une densité supérieure ou égale à 5 lithologies/km² présentent une valeur de contraste significative. Ce paramètre se retrouve au 37^e rang (valeur de contraste de 3,941; annexe 2).

Proximité de dykes porphyriques intermédiaires à felsiques

Dans la Province du Supérieur, les intrusions porphyriques intermédiaires à felsiques sont souvent spatialement associées aux grandes failles et aux couloirs de déformation. Il semble que la précipitation de l'or soit associée à ces dykes qui agiraient comme des pièges structuraux ou chimiques (Lafrance, 2014). Les sites d'observation de dyke porphyrique ont donc été extraits de la base de données des géofiches et des forages du SIGÉOM. L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale entre ces sites d'observation et les gîtes de l'ensemble de pondération jusqu'à une distance de 1800 m. Les aires d'influence montrant des valeurs de contraste significatives se classent au 10^e, 27^e, 49^e et 85^e rang.

Contrôle structural

Les gîtes aurifères d'or de type orogénique se sont mis en place dans un régime tectonique actif. Ce type de gisement se forme à la transition des domaines ductiles et cassants, dans des structures secondaires associées à des accidents majeurs (Jébrak et Marcoux, 2008). Ces zones de cisaillement peuvent être observées à plusieurs niveaux de la croûte. Quatre paramètres ont été utilisés pour générer la carte de favorabilité structurale : 1) le facteur **Proximité d'une faille**; 2) le facteur **Densité de failles**; 3) le facteur **Observations de fort pendage**; et 4) le facteur **Proximité de veines de quartz-carbonates**.

Proximité d'une faille

Les failles et les zones de cisaillement représentent des structures permettant la circulation des fluides hydrothermaux dans les systèmes aurifères. Le facteur **Proximité d'une faille** concerne uniquement les failles régionales et les zones de cisaillement illustrées sur les cartes du SIGÉOM. L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale entre ces failles et ces zones de cisaillement et les gîtes aurifères jusqu'à une distance de 500 m. Deux aires d'influence (0 à 200 m et 200 à 500 m) se classent au 63^e et au 75^e rang (annexe 3).

Densité de failles

Le sous-modèle Contrôle structural comprend également un facteur exprimant la densité de failles illustrées sur les cartes. La densité de failles (nombre/km²) représente un indicateur de la déformation (Lamothe, 2008). Une image matricielle de la densité de failles a été réalisée en utilisant un rayon de recherche de 2000 m. L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré que les pixels correspondant à une densité supérieure ou égale à 0,5/km² présentent une valeur de contraste significative (2,917), ce qui place ce paramètre au 58^e rang (annexe 3).

Observation de fort pendage

Les travaux de Lapointe (2008) suggèrent que les zones montrant des gradients métamorphiques élevés localisées à la périphérie de la Sous-province d'Opinaca pourraient correspondre aux limites d'un complexe métamorphique central. D'après cette étude, les zones présentant une foliation principale et un litage à fort pendage localisées à proximité de linéaments géophysiques ou structuraux constitueraient des sites favorables à la présence de gîtes d'or de type orogénique. Les travaux de Dubé et Gosselin (2007) suggèrent également que ces gîtes sont généralement associés à des unités géologiques qui présentent un pendage moyen à fort relié à un régime compressif. Nous avons donc testé cette hypothèse avec les données structurales provenant des 40 336 affleurements de géofiche

du secteur d'étude. Divers intervalles de pendage ont été testés et l'intervalle compris entre 85° et 90° a montré la meilleure association spatiale avec les gîtes aurifères. L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale entre ces deux éléments jusqu'à une distance de 800 m. Deux aires d'influence (0 à 200 m et 200 à 800 m) se classent au 24^e et au 60^e rang (annexe 3).

Proximité de veines de quartz-carbonates

Les gîtes d'or de type orogénique à veines de quartz-carbonates constituent la principale source d'or au Canada (Dubé et Gosselin, 2007). L'association spatiale de ces veines avec les gîtes d'or a été testée dans le secteur d'étude. Nous avons donc extrait de la banque de données des affleurements de géofiche les sites d'observation de veines de quartz. L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale de ces sites d'observation avec les gîtes aurifères jusqu'à une distance de 500 mètres. Les aires d'influence présentant des valeurs de contraste significatives (0 à 100 m, 100 à 200 m et 200 à 500 m) se classent au 12^e, 46^e et 71^e rang (annexe 3).

Évidences d'activité hydrothermale dans le substrat rocheux

Évidences chimiques d'altération

Les gisements d'or de type orogénique sont communément caractérisés par une altération en carbonates, en micas (séricite, muscovite ou biotite) et en chlorite (Jébrak et Marcoux, 2008). Dans ce type de gisement, les zones de circulation affectées par les fluides hydrothermaux peuvent être ciblées grâce aux calculs de bilans de masse qui permettent d'évaluer les pertes ou les gains en éléments majeurs d'un échantillon de roche (Trépanier, 2013; Lamothe, 2013). Dans le cadre de cette étude, les calculs ont été effectués à l'aide du logiciel LithoModéleur version 3.60 (CONSOREM, 2013). Ce logiciel utilise une approche de modélisation des précurseurs par réseaux neuronaux calibrée à partir d'une banque de plusieurs milliers d'échantillons de roches ignées fraîches. Le traitement a été appliqué à une banque lithogéochimique de 4775 échantillons de roches ignées de la Baie-James. Le sous-modèle Évidences d'activité hydrothermale comporte quatre paramètres dont les résultats ont été obtenus par le calcul des bilans de masse. Ces paramètres sont : 1) le facteur **Altération potassique**; 2) le facteur **Altération sodique**; 3) le facteur **Altération magnésienne**; et 4) le facteur **Silicification**. Les seuils anomaux indiqués pour chacun des paramètres ont été obtenus à l'aide de diagrammes quantiles-quantiles.

Altération potassique

Les gisements d'or de type orogénique sont généralement associés à une altération proximale en séricite (mica blanc), en muscovite ou en biotite. C'est le cas également du gisement de Roberto (propriété Éléonore) où l'on observe deux types d'altération associés à la minéralisation : 1) une altération proximale à tourmaline-microcline-épidote-actinote-quartz (silicification)-sulfures, et 2) une altération à andalousite-sillimanite-muscovite-chlorite ± biotite ± cordiérite (Bandyayera *et al.*, 2010, Ravenelle *et al.*, 2010, Ravenelle, 2013, Fontaine *et al.*, 2015).

L'altération en mica représente un ajout de K₂O détectable par les calculs de bilans de masse. Un seuil basé sur une augmentation de 10 % du contenu en K₂O a été utilisé (1635 occurrences dans la base de données). L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale significative entre ces sites d'observation et les gîtes aurifères jusqu'à une distance de 800 m. Les aires d'influence associées à ces sites (0 à 100 m, 100 à 200 m et 200 à 800 m) se classent au 15^e, 25^e et 59^e rang (annexe 4).

Altération sodique

Dans la région de la Baie-James, des veines de quartz, carbonates, biotite et albite sont souvent associées aux grandes zones de déformation régionales (Bandyayera *et al.*, 2010). Nous avons noté une association spatiale entre le phénomène d'albitisation et les gîtes aurifères. Un seuil basé sur une augmentation de 43 % du Na₂O a été utilisé (236 occurrences dans la base de données). L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale entre ces sites d'observation et les gîtes aurifères jusqu'à une distance de 800 m. Les différentes aires d'influence (0 à 100 m, 100 à 200 m et 200 à 800 m) se classent au 13^e, 21^e et 38^e rang (annexe 4).

Altération magnésienne

Selon Vigneau (2011), certaines minéralisations d'or de type orogénique de la ceinture volcano-sédimentaire de la basse Eastmain présentent une association spatiale avec une altération en magnésium. Ainsi, les processus métasomatiques et de remplacement de la biotite par la chlorite entraînent un apport de magnésium dans les systèmes aurifères. Cette altération serait associée à la présence de dykes magnésiens mafiques et ultramafiques.

Nous avons mesuré l'association spatiale entre ce phénomène d'apport en magnésium et les gîtes aurifères. Un seuil basé sur une augmentation de 23 % du contenu en MgO a été utilisé (1158 occurrences dans la base de données). L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale entre ces sites d'observation et les gîtes aurifères jusqu'à une distance de 800 m. Les aires d'influence de ces sites (0 à 100 m, 100 à 200 m et 200 à 800 m) se classent au 17^e, 28^e et 40^e rang (annexe 4).

Silicification

La silicification est la principale altération aux minéralisations d'or de type orogénique. Ces minéralisations épigénétiques à contrôle structural complexe sont caractérisées par des réseaux simples à complexes de filons de quartz porteurs d'or résultant du remplissage de fractures (Dubé et Gosselin, 2007). L'altération en silice peut être quantifiée à l'aide des calculs de bilans de masse. Nous avons mesuré l'association spatiale entre ce phénomène et les gîtes aurifères. Un seuil basé sur une augmentation de 15 % du contenu en SiO₂ a été utilisé (1023 occurrences dans la base de données). L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale significative entre ces sites d'observation et les gîtes aurifères jusqu'à une distance de 1000 m. Les différentes aires d'influence (0 à 100 m, 100 à 200 m, 200 à 600 m et 600 à 1000 m) se classent au 16^e, 30^e, 35^e, 45^e et 72^e rang (annexe 4).

Carbonatation

La carbonatation (altération en carbonates) est très fréquemment associée aux gisements d'or de type orogénique. Les carbonates se trouvent souvent dans la roche encaissante ou dans les veines sous la forme de calcite ou d'ankérite. Nous avons donc extrait de la base de données des affleurements de géofiche et des forages au diamant les sites d'observation de carbonates (carbonates, calcite ou ankérite). L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale entre ces sites d'observation de carbonates et les gîtes aurifères jusqu'à une distance de 800 m. Ce paramètre est un très bon prédicteur pour les gîtes de la Baie-James. Les aires d'influence associées à des valeurs de contraste significatives (0 à 100 m, 100 à 200 m, 200 à 300 m et 300 à 800 m) se classent au 6^e, 22^e, 31^e et 51^e rang (annexe 4).

Observation de minéraux d'altération

Le métasomatisme associé aux gîtes d'or de type orogénique se manifeste également par la présence de minéraux d'altération caractéristiques. Le paramètre **Observation de minéraux d'altération** traite des minéraux d'altération observés en affleurement (géofiche) et en forage. Au faciès des schistes verts, l'altération associée aux minéralisations d'or de type orogénique se signale par la présence de minéraux tels que l'albite, la séricite, la muscovite, la biotite, la chlorite, la tourmaline et la fuschite (en plus des carbonates déjà mentionnés à la section précédente). Nous avons donc testé cette association avec les données minéralogiques provenant des 40 336 affleurements de géofiche et des 5186 forages du secteur d'étude. L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a montré une association spatiale entre les sites d'observation de minéraux d'altération et les gîtes aurifères jusqu'à une distance de 300 m. Ce paramètre est un très bon prédicteur pour les gîtes de la Baie-James. Les différentes aires d'influence (0 à 100 m, 100 à 200 m et 200 à 300 m) se classent au 8^e, 42^e et 74^e rang (annexe 4).

Sulfures et métaux

Proximité d'une minéralisation en sulfures

Dans les zones de cisaillement aurifères, la pyrrhotite et la pyrite sont souvent présents en association avec d'autres sulfures accessoires comme la chalcopryrite, l'arsénopyrite et la sphalérite. Les observations ponctuelles de minéralisation ont été extraites de la base de données des géofiches et des forages et combinées sur une même couche (16 794 sites d'observation). L'évaluation de

la favorabilité avec *WofE* a montré une bonne association spatiale entre ces sites d'observation et les gîtes aurifères jusqu'à une distance de 300 m. Ce paramètre est un très bon prédicteur pour les gîtes de la Baie-James. Les différentes aires d'influence (0 à 100 m, 100 à 200 m et 200 à 300 m) se classent au 9^e, 41^e et 61^e rang (annexe 5).

Analyses de métaux indicateurs

Outre l'or, les gîtes d'or de type orogénique sont généralement enrichis en plusieurs éléments métalliques. La base de données lithogéochimiques de ce secteur de la Baie-James contient plus de 15 800 analyses de métaux. Le tableau 1 et l'annexe 5 présentent les différents éléments qui ont montré une association spatiale significative avec les gîtes d'or. Les seuils mentionnés pour chaque paramètre ont été obtenus à l'aide de diagrammes quantiles-quantiles (figure 3). Ces paramètres ont ensuite été évalués par aire d'influence.

L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* a démontré que les anomalies en antimoine, en tungstène, en bore et en arsenic sont d'excellents prédicteurs pour les gisements d'or de type orogénique dans la région de la Baie-James. Ces paramètres se classent respectivement au 2^e, 3^e, 4^e et 5^e rang. Mis à part le tungstène, ces éléments avaient déjà montré une forte association spatiale avec les gîtes d'or dans l'étude précédente de Lamothe (2008). D'autres éléments sont également de bons prédicteurs de la présence de gîtes aurifères. C'est le cas de l'or (7^e rang), de l'argent (11^e rang) et du cuivre (14^e rang).

TABEAU 1 : Éléments associés aux gîtes d'or de type orogénique du secteur

Élément	Seuil utilisé	Distance maximale de prédictivité	Rang
Antimoine (Sb)	7 ppm	4000 m	2 ^e , 18 ^e , 26 ^e , 39 ^e , 43 ^e , 57 ^e et 86 ^e
Argent (Ag)	1,8 ppm	1800 m	11 ^e , 29 ^e , 50 ^e et 73 ^e
Arsenic (As)	16 ppm	2000 m	5 ^e , 33 ^e , 44 ^e et 62 ^e
Bore (B)	20 ppm	3000 m	4 ^e , 55 ^e et 80 ^e
Cuivre (Cu)	274 ppm	3200 m	14 ^e , 32 ^e , 47 ^e et 79 ^e
Or (Au)	41 ppb	2000 m	7 ^e , 23 ^e , 53 ^e , 56 ^e et 84 ^e
Tungstène (W)	8 ppm	1400 m	3 ^e , 19 ^e , 34 ^e et 77 ^e

Géochimie de l'environnement secondaire

Comme mentionné précédemment, les gîtes d'or de type orogénique sont généralement enrichis en plusieurs éléments métalliques. Ces enrichissements en métaux se signalent souvent par des anomalies géochimiques de l'environnement secondaire. La base de données de ce secteur de la Baie-James comprend 16 698 échantillons de sédiments de fond de lac répartis de façon homogène dans toute la zone d'étude. Les échantillons de till, de sédiment de ruisseaux et de sol n'ont pas été utilisés dans le traitement, car leur distribution n'est pas homogène avec une concentration importante des prélèvements dans la portion ouest de la zone d'étude. Le tableau 2 et l'annexe 6 présentent les éléments qui ont montré une association spatiale significative avec les gîtes d'or. Les seuils mentionnés pour chaque paramètre ont été obtenus à l'aide de diagrammes quantiles-quantiles (figure 4). Ces éléments ont ensuite été évalués par aire d'influence.

TABEAU 2 : Éléments associés aux gîtes d'or de type orogénique du secteur

Élément	Seuil utilisé	Distance maximale de prédictivité	Rang
Antimoine (Sb)	0,4 ppm	4000 m	43 ^e , 57 ^e et 86 ^e
Arsenic (As)	8,4 ppm	2000 m	54 ^e et 67 ^e
Cuivre (Cu)	77 ppm	400 m	20 ^e et 68 ^e
Tungstène (W)	5,5 ppm	500 m	83 ^e

Indicateur géophysique

Depuis la publication du EP 2008-01 (Lamothe, 2008), la région de la Baie-James a été entièrement couverte par des levés aéromagnétiques à haute résolution (D'Amours, 2011). L'espacement entre les lignes vol est de 250 m pour une dimension de pixel d'environ 60 m. Une première tentative de modélisation utilisant le champ magnétique total résiduel n'a pas montré d'association spatiale significative entre ces données et les gîtes d'or. Le gradient magnétique vertical présente toutefois un lien avec les gîtes de l'ensemble de pondération. Les données ont d'abord été traitées afin

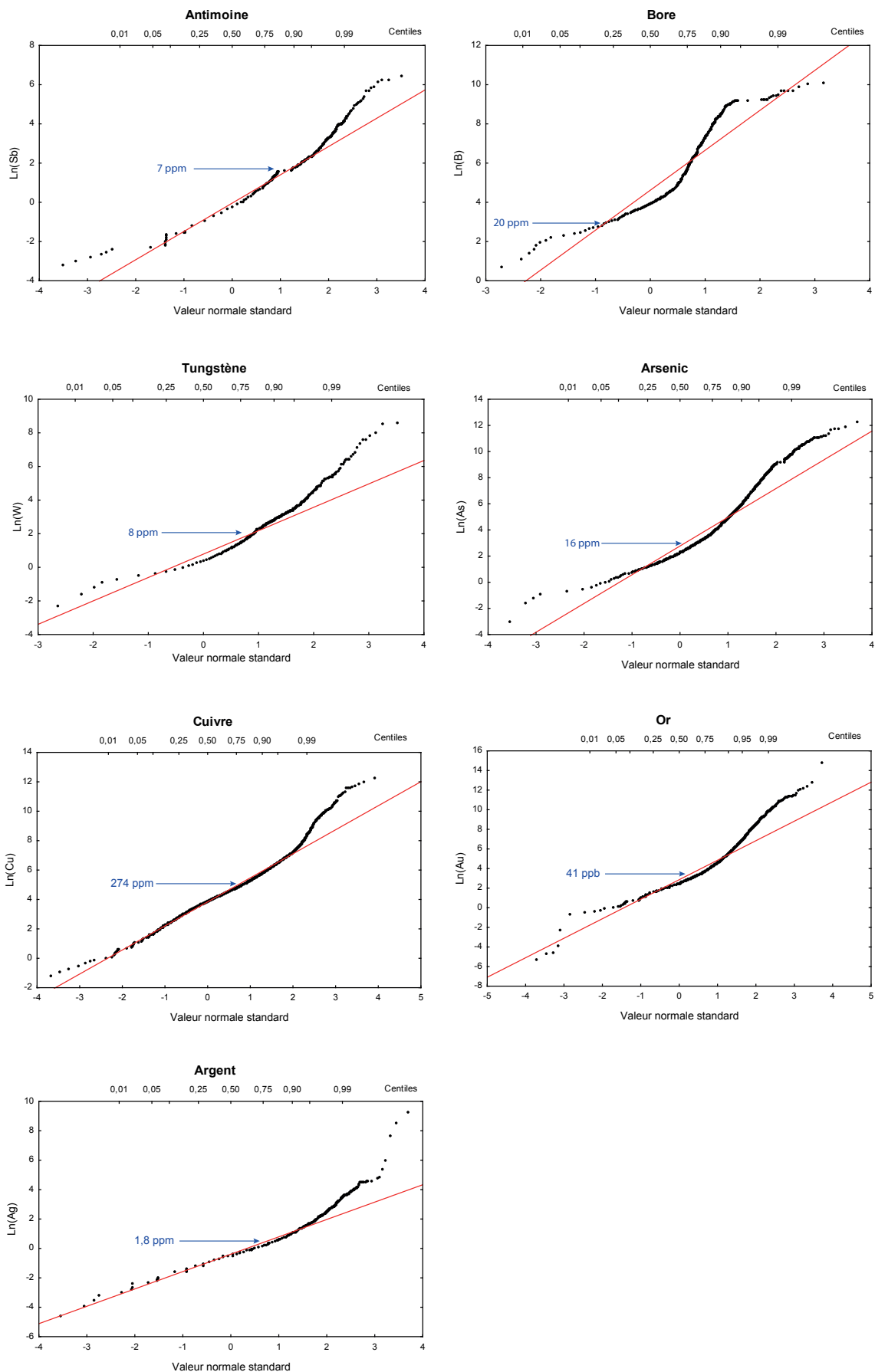


FIGURE 3 - Diagramme quantiles-quantiles montrant les seuils anomaux dans les analyses de roches pour les éléments ayant montré une association spatiale positive avec les gîtes d'or du secteur d'étude.

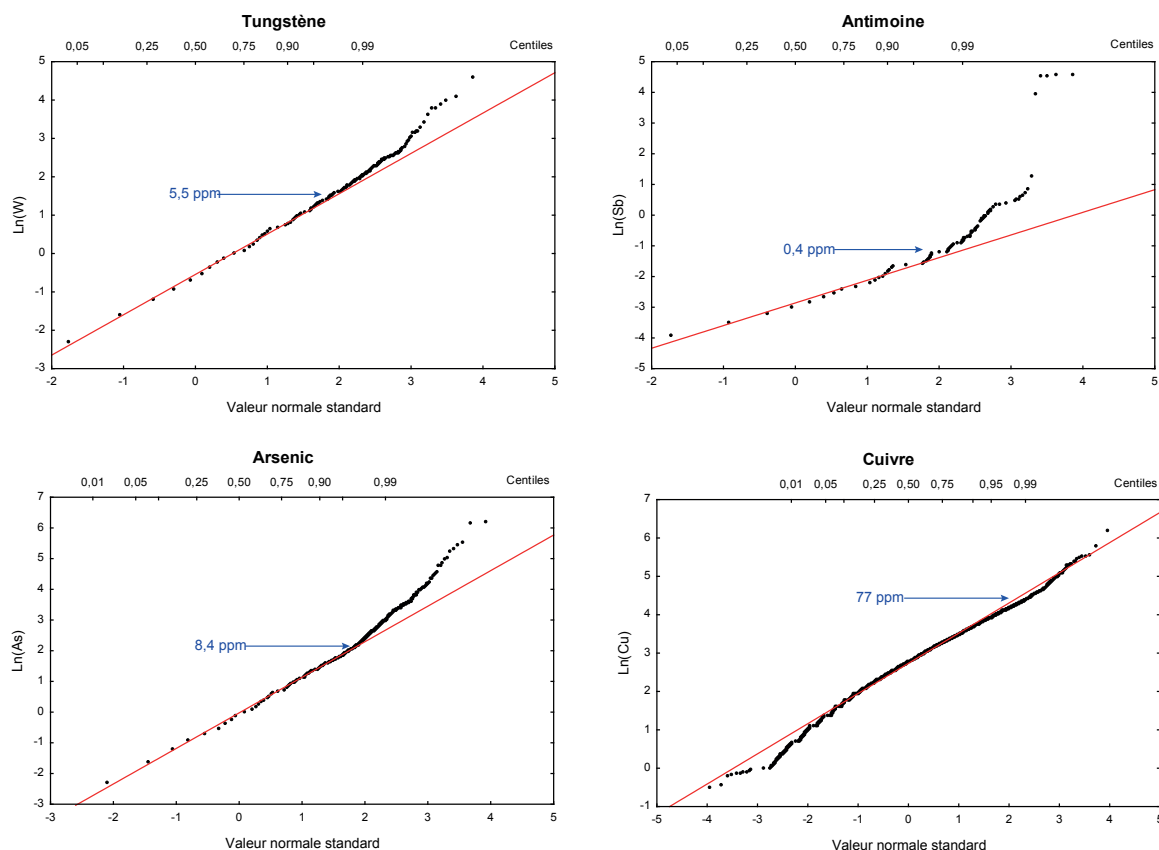


FIGURE 4 - Diagramme quantiles-quantiles montrant les seuils anomaux dans les analyses de sédiments pour les éléments ayant montré une association spatiale positive avec les gîtes d'or du secteur d'étude.

d'éliminer le signal associé aux dykes protérozoïques. Les valeurs du gradient vertical ont été ensuite subdivisées en 20 classes distinctes selon la méthode des seuils naturels (Jenks, 1967). Les secteurs caractérisés par des valeurs de gradient dépassant 1 nT/m ont montré une association spatiale significative avec les gîtes d'or. Ces zones à fort gradient présentent une aire d'influence s'étendant jusqu'à 300 mètres. Deux aires ont ainsi été définies (0 à 100 m et 100 à 300 m) qui se classent au 66^e et 81^e rang (annexe 7). Ce paramètre est un prédicteur faible pour les gîtes d'or.

POTENTIEL EN MINÉRALISATIONS D'OR DE TYPE OROGÉNIQUE DE LA BAIE-JAMES

La carte finale résulte d'une combinaison des cartes de paramètres produites lors des étapes précédentes. Les valeurs calculées avec *WofE* ont été converties en valeurs floues réparties proportionnellement entre la valeur la plus élevée et la plus faible de l'ensemble des paramètres. Cette étape permet de combiner les cartes de paramètres à l'aide d'une approche de logique floue. Pour combiner les différentes cartes, deux opérateurs ont été utilisés : l'opérateur flou GAMMA et l'opérateur flou OU. L'opérateur GAMMA permet « d'additionner » plusieurs valeurs floues provenant de cartes différentes. Cette opération favorisera les pixels qui contiennent plusieurs paramètres favorables. L'opérateur OU permet, quant à lui, de combiner les cartes en utilisant la valeur maximale de chaque pixel sans additionner les valeurs floues. Par exemple, la présence d'arsénopyrite en affleurement et d'une valeur élevée en arsenic dans la roche sont directement liées. Ces deux paramètres ne devraient donc pas être additionnés lors de la production de la carte finale. Dans ce cas, nous utiliserons l'opérateur OU.

Les cartes des sous-modèles, ainsi que la carte finale, sont calibrées de façon à obtenir des valeurs floues comprises entre 0 et 1. Les traitements ont été réalisés de façon à obtenir une valeur de fond avoisinant 0,5. Cette contrainte repose sur le principe que les secteurs peu explorés de la région d'étude, qui présentent donc peu de données permettant une évaluation du potentiel, ne sont considérés comme ni favorables ni défavorables à la présence de minéralisations.

Carte de la favorabilité associée au contrôle lithologique

Les unités identifiées à la suite des traitements **Unité lithologique favorable** et **Observation lithologique ponctuelle** ont été combinées pour chacun de ces paramètres en utilisant l'opérateur OU afin d'éviter d'additionner les polygones ou les observations ponctuelles contenant plusieurs lithologies favorables (par exemple un polygone lithologique ou un affleurement comportant à la fois des volcanites et des formations de fer). La combinaison des paramètres associés au contrôle lithologique a été réalisée avec un opérateur GAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,893. Les secteurs potentiels sont principalement associés aux ceintures volcano-sédimentaires des sous-provinces de La Grande et d'Opinaca (figure 5).

Carte de la favorabilité associée au contrôle structural

Les différents paramètres structuraux ont été combinés avec un opérateur GAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,893. La carte ainsi obtenue indique que les grandes structures est-ouest parallèles aux ceintures volcano-sédimentaires localisées au nord du contact La Grande-Opinaca se caractérisent par un fort potentiel aurifère. Ces secteurs montrent en effet une concentration élevée de failles et de zones de cisaillement en association avec des strates et des foliations à fort pendage, ainsi qu'à quelques observations de veines de quartz (figure 6).

Carte de la favorabilité associée aux évidences d'activité hydrothermale

La carte de la favorabilité associée à l'altération cible les secteurs de la région d'étude affectés significativement par l'activité hydrothermale dans le contexte du modèle des minéralisations aurifères de type orogénique. Elle est réalisée en combinant les cartes des altérations définies par la géochimie à l'aide d'un opérateur GAMMA de 0,922. La carte finale a été réalisée en combinant l'ensemble des paramètres à l'aide d'un opérateur OU. Sur la carte de ce sous-modèle, la Formation de Kauputauch, le Groupe de Yasinski et le Groupe de Guyer sont relativement bien représentés. De plus, les secteurs des mines Éléonore et Eastmain présentent également des altérations favorables (figure 7).

Carte de la favorabilité associée aux indicateurs de sulfures et de métaux

La carte de la favorabilité associée aux indicateurs de sulfures et de métaux cible les secteurs qui présentent des anomalies en métaux généralement associées à la présence de gîtes d'or de type orogénique. Les anomalies géochimiques (Ag, W, As, Cu, Au, B et Sb) ont été combinées en utilisant un facteur GAMMA de 0,934. Par la suite, la carte des anomalies en métaux a été combinée à la carte des minéralisations de sulfures à l'aide de l'opérateur OU. Les secteurs favorables sont principalement associés aux ceintures volcano-sédimentaires du secteur (figure 8).

Carte de la favorabilité associée à la géochimie de l'environnement secondaire

La carte de la favorabilité associée à l'environnement secondaire cible les secteurs favorables identifiés par la géochimie de sédiments de fond de lac (anomalies en Sb, Cu, As et W). Les différents paramètres géochimiques ont été combinés en utilisant un facteur GAMMA de 0,860. Le secteur de la Formation de Natel, au sud de la région d'étude, est particulièrement bien représenté. Les formations de l'Escale et de Trieste sont également mises en évidence par la géochimie de l'environnement secondaire (figure 9).

Carte de la favorabilité associée à la géophysique

La carte de favorabilité associée à la géophysique cible les valeurs élevées du gradient vertical qui ont montré une association spatiale significative avec les gîtes de l'ensemble de pondération. Ce paramètre a été utilisé tel quel pour la génération de la carte finale. Les classes de valeur favorables correspondent grossièrement aux unités volcano-sédimentaires. Les fortes valeurs de gradient représentent généralement des unités très magnétiques localisées près de la surface. Elles peuvent

également cibler des zones d'altération. La carte du gradient vertical montre un « bruit de fond » associé aux diorites quartzifères, aux granites et aux paragneiss de la Sous-province d'Opinaca, au centre de la zone d'étude. Ces lithologies généralement riches en magnétite présentent une signature magnétique semblable aux unités magnétiques favorables (figure 10). Même après plusieurs tentatives, nous n'avons pas été en mesure d'éliminer ce bruit de fond.

Potentiel en minéralisations d'or de type orogénique – carte finale

La carte finale de favorabilité est le résultat de la combinaison des cartes des six sous-modèles réalisées précédemment. Ces cartes intermédiaires ont été combinées en utilisant un facteur GAMMA de 0,849 en suivant le modèle d'inférence présenté à l'annexe 1. La carte du potentiel pour les minéralisations en or de type orogénique de la région de la Baie-James est présentée à la figure 11 et sur la figure hors texte accompagnant ce document.

Détermination des zones de haute favorabilité

Il est maintenant possible de définir à partir de la carte finale des zones de haute favorabilité (ZHF) associées aux gîtes d'or de type orogénique. L'identification de ces zones de haute favorabilité permet de générer des cibles d'exploration et d'orienter l'exploration minière.

La définition d'une ZHF implique la détermination d'un seuil de favorabilité minimal au-delà duquel on considère qu'une zone possède un potentiel significatif pour la présence de minéralisations du type recherché. Les ZHF ont été obtenues à la suite d'une analyse statistique utilisant les gîtes de la Baie-James (mines, gîtes travaillés ou à tonnage évalué). La valeur de favorabilité de chaque gîte mesurée sur la carte finale a été reportée sur un diagramme quantiles-quantiles afin de déterminer le seuil minimal de favorabilité (figure 12). La courbe ainsi obtenue présente nettement un bris entre les valeurs 0,600 et 0,629. Ce bris représente la limite entre les gîtes qui répondent bien au modèle d'or des minéralisations ($>0,629$) et les gîtes qui répondent mal à ce modèle ou pour lesquels l'information manque ($<0,600$). Les ZHF regroupent 93 % des gîtes d'or de la Baie-James (105 sur 113). Les gîtes dont la valeur est supérieure à 0,629 appartiennent à une population homogène qui répond aux critères du modèle (distribution gaussienne).

La figure 13 présente un diagramme de prédictivité de la carte finale en fonction des 113 gîtes utilisés dans le traitement. Ce graphique présente le pourcentage cumulé des gîtes ciblés en fonction de la surface occupée par les pixels triés par ordre de favorabilité décroissant. On y observe qu'une proportion de 93 % des gîtes d'or de type orogénique occupe une superficie représentant près de 1 % de la superficie totale de la carte.

Les zones de haute favorabilité représentent les secteurs les plus « statistiquement » favorables à la présence de gîtes d'or de type orogénique. Les zones situées sous le seuil de 0,629 (représentées sur la carte par des couleurs froides) ne doivent pas être interprétées comme étant des secteurs non favorables, mais plutôt comme des secteurs moins favorables ou des secteurs où le manque d'information ne permet pas d'évaluer adéquatement le potentiel minéral.

Validation des résultats

Avant la génération du modèle, 15 % des gîtes travaillés ou à tonnage évalué du secteur d'étude ont été sélectionnés aléatoirement pour constituer l'ensemble de validation. Cette sélection n'a pas été utilisée dans les calculs de contraste. Le modèle final cible 94 % (16 sur 17) des gîtes de cet ensemble.

Cibles d'exploration

Les cibles d'exploration sont définies comme les zones de haute favorabilité libres de jalonnement. Les cibles d'exploration provenant d'un même secteur et qui présentent les mêmes caractéristiques métallogéniques ont été regroupées. Les ZHF couvrent une superficie de 1062 km² dont 27 % (288 km²) sont libres de jalonnement en date du 18 octobre 2014. Le modèle d'évaluation de potentiel a permis de générer 218 nouvelles cibles d'exploration dans le secteur de la Baie-James. La localisation de ces cibles d'exploration est disponible dans le système GESTIM et le SIGÉOM sous la rubrique « Cibles d'exploration ».

Contrôle lithologique

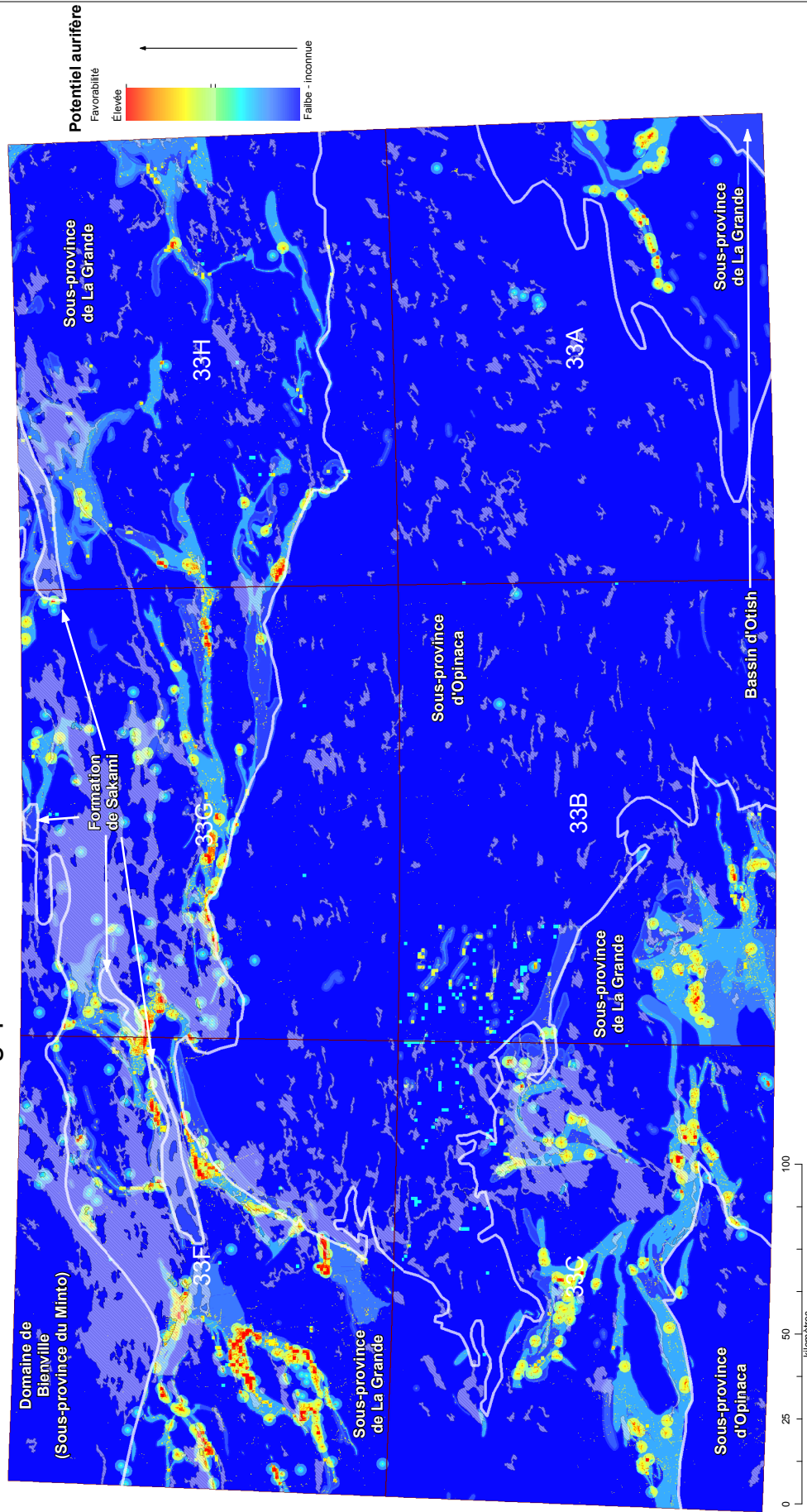


FIGURE 5 - Carte de favorabilité associée au contrôle lithologique.

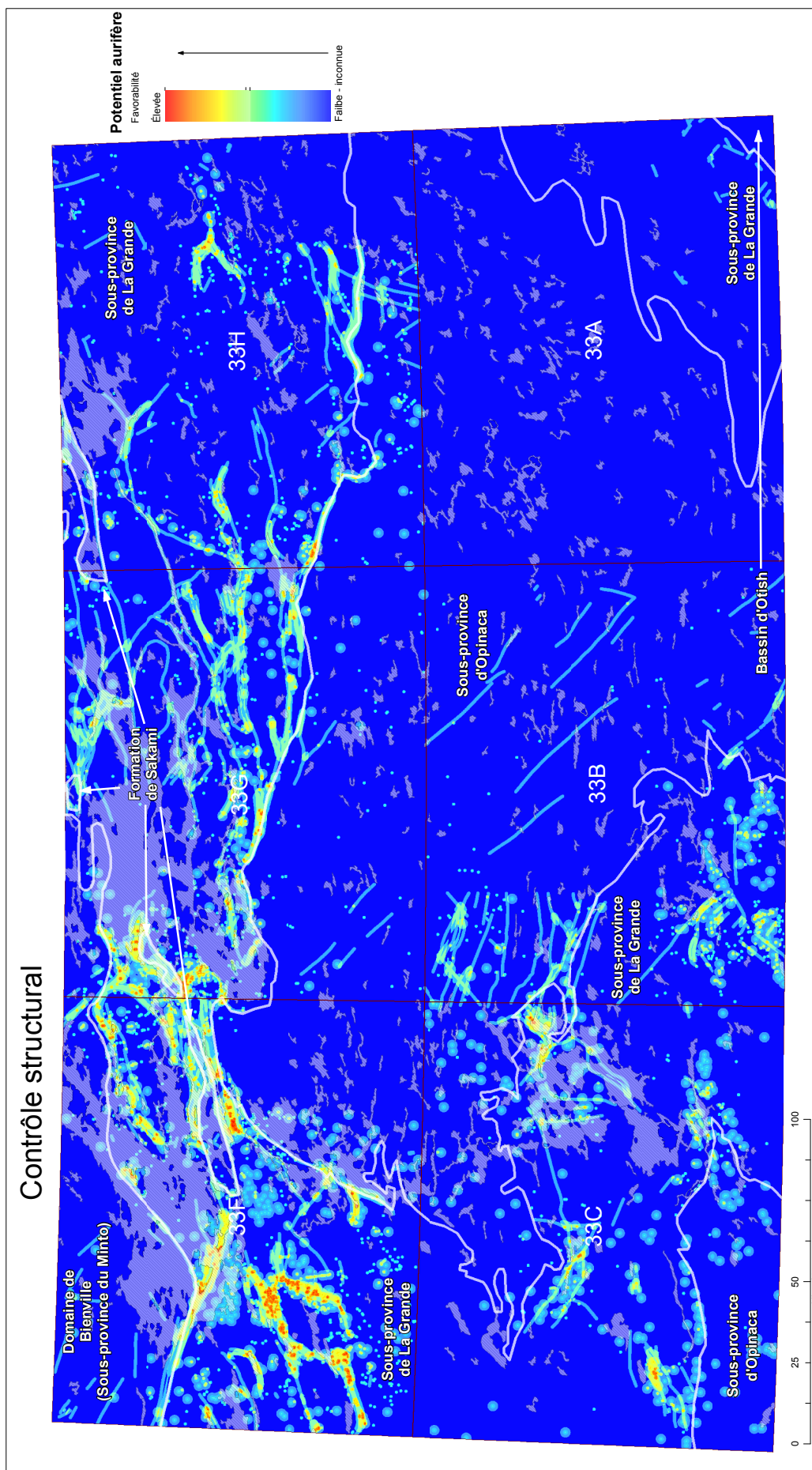


FIGURE 6 - Carte de favorabilité associée au contrôle structural.

Évidences d'activité hydrothermale

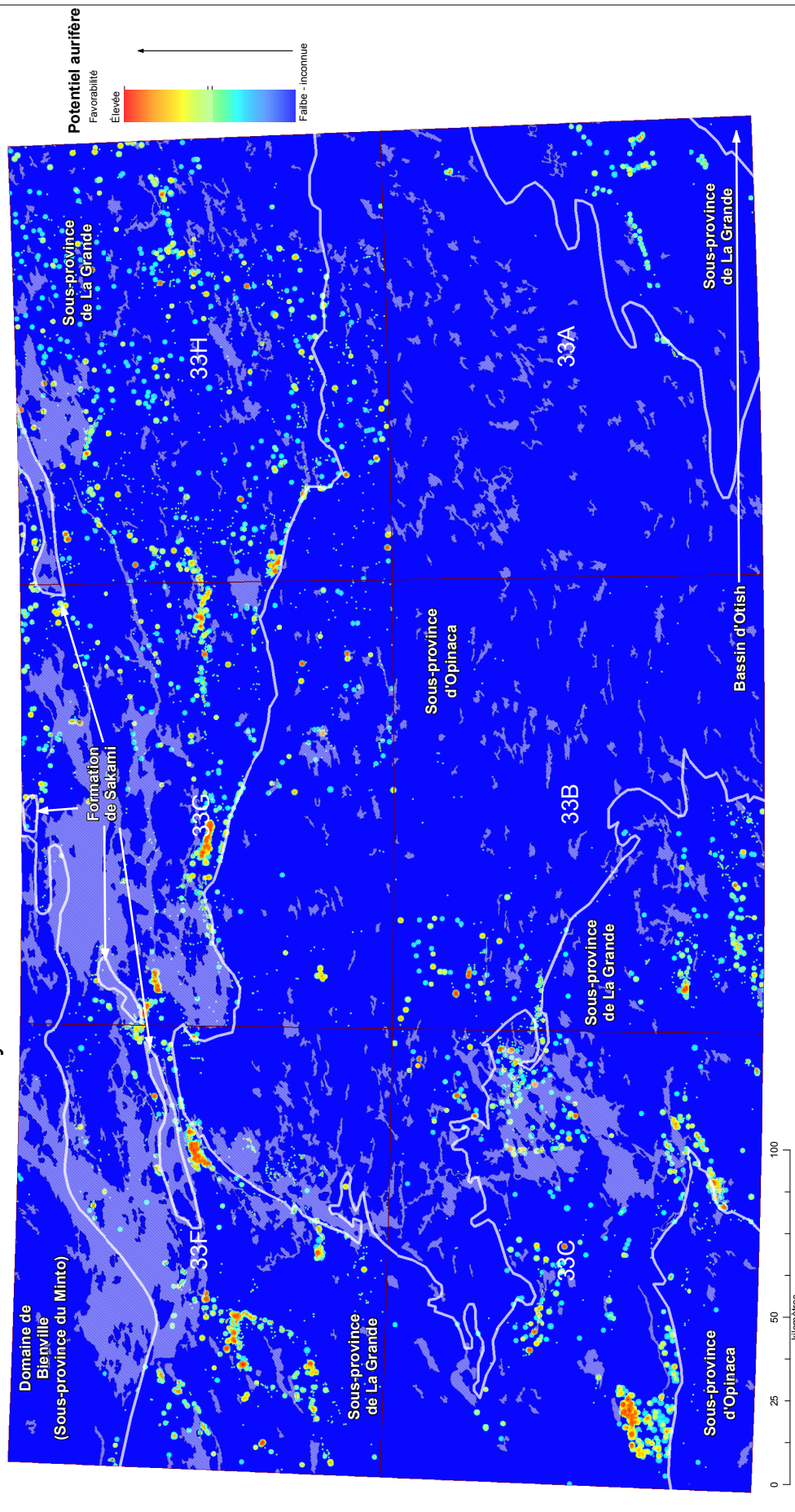


FIGURE 7 - Carte de favorabilité associée aux évidences d'activité hydrothermale.

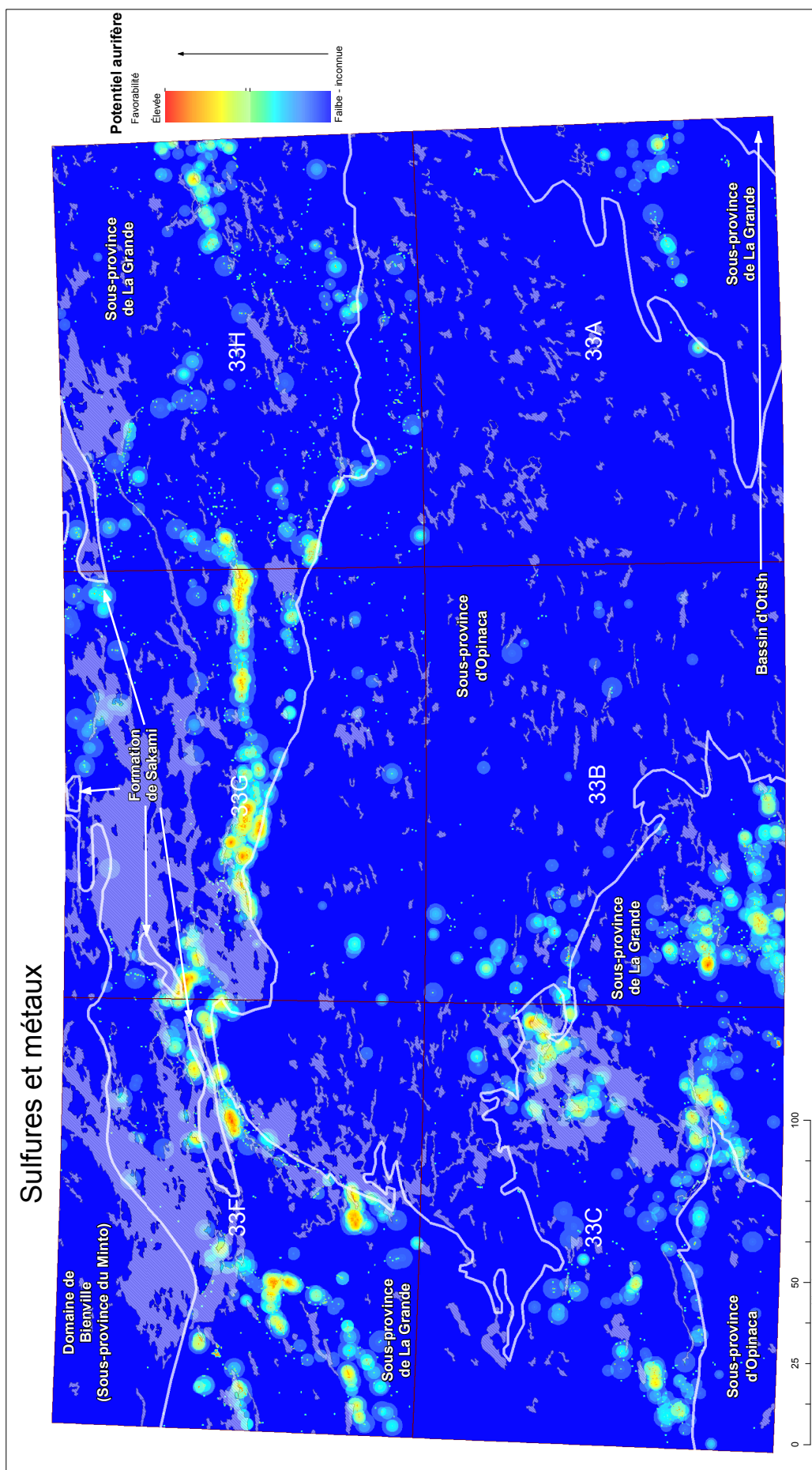


FIGURE 8 - Carte de favorabilité associée aux indicateurs de sulfures et de métaux.

Géochimie de l'environnement secondaire

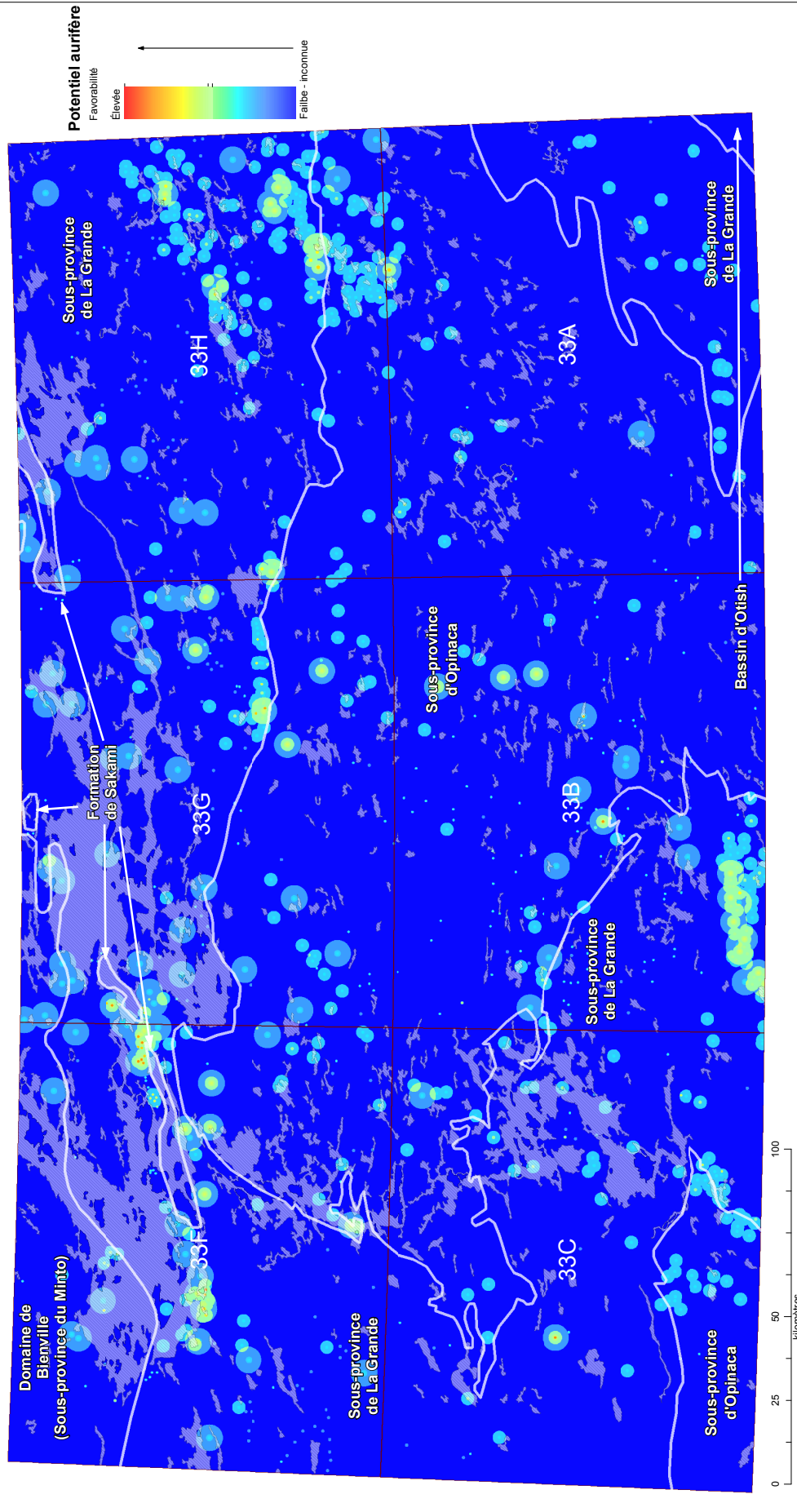


FIGURE 9 - Carte de favorabilité associée à la géochimie de l'environnement secondaire.

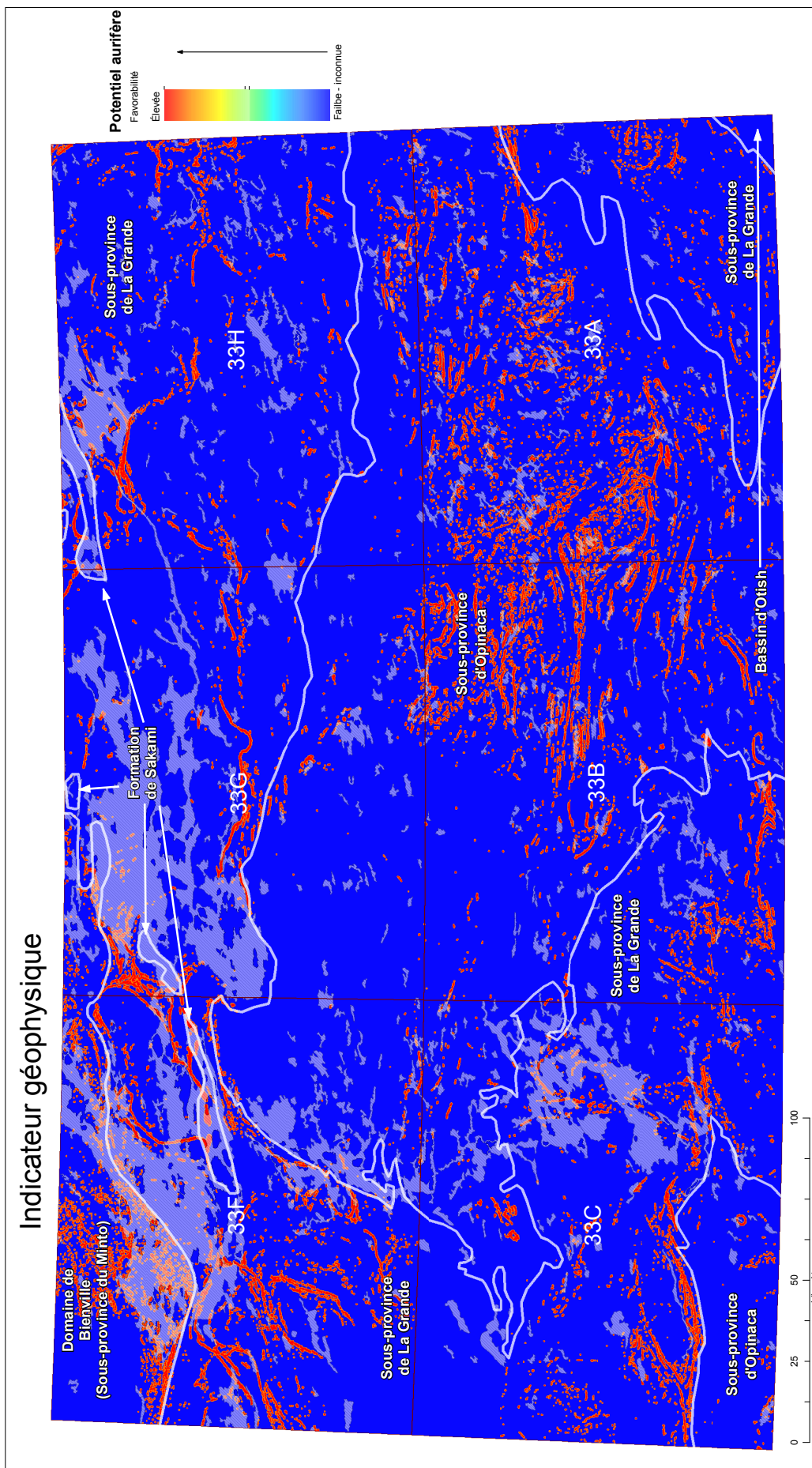


FIGURE 10 - Carte de favorabilité associée à la géophysique.

Potentiel en minéralisations d'or de type orogénique

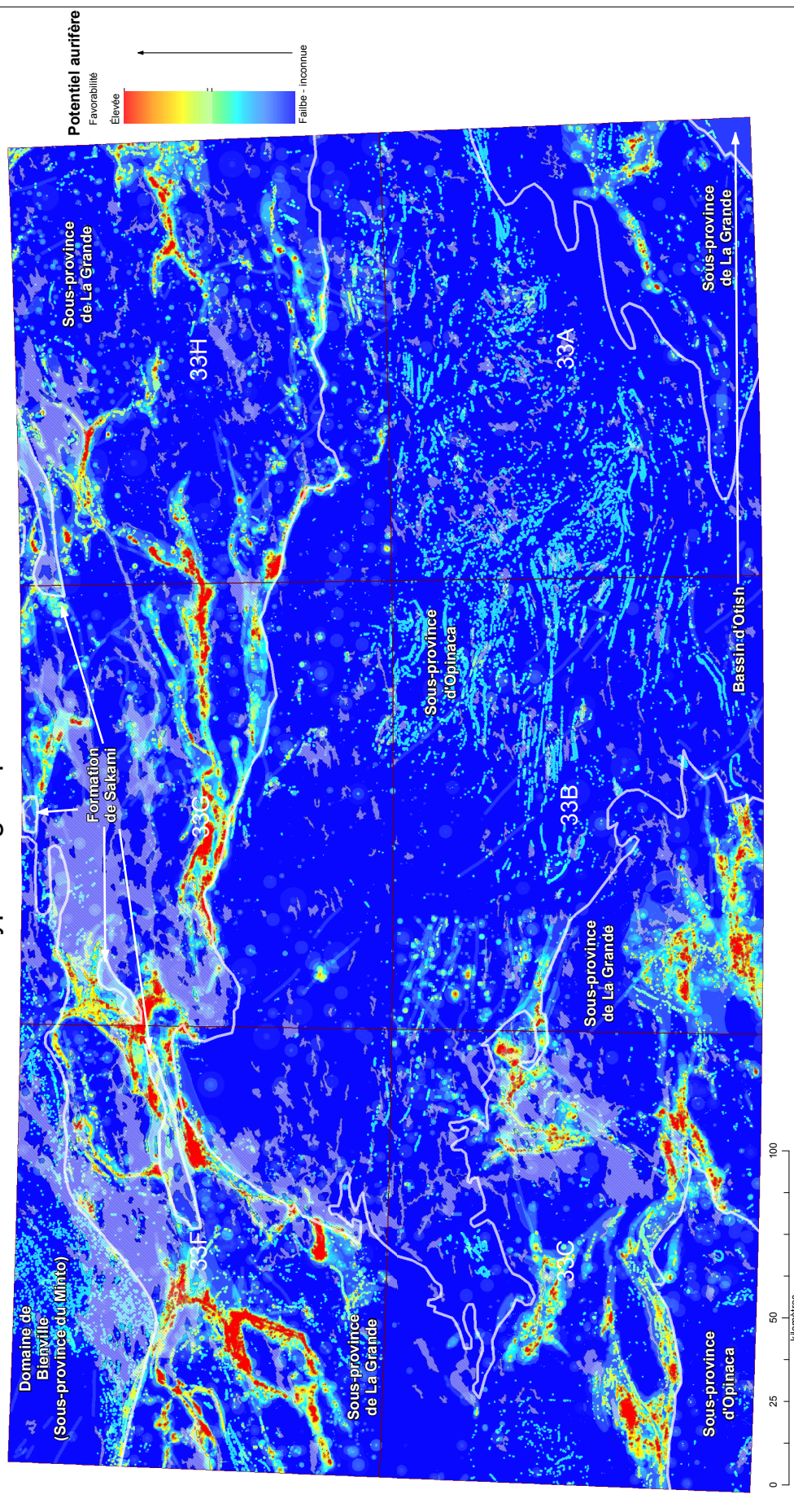


FIGURE 11 - Carte finale : Favorabilité en minéralisations d'or de type orogénique.

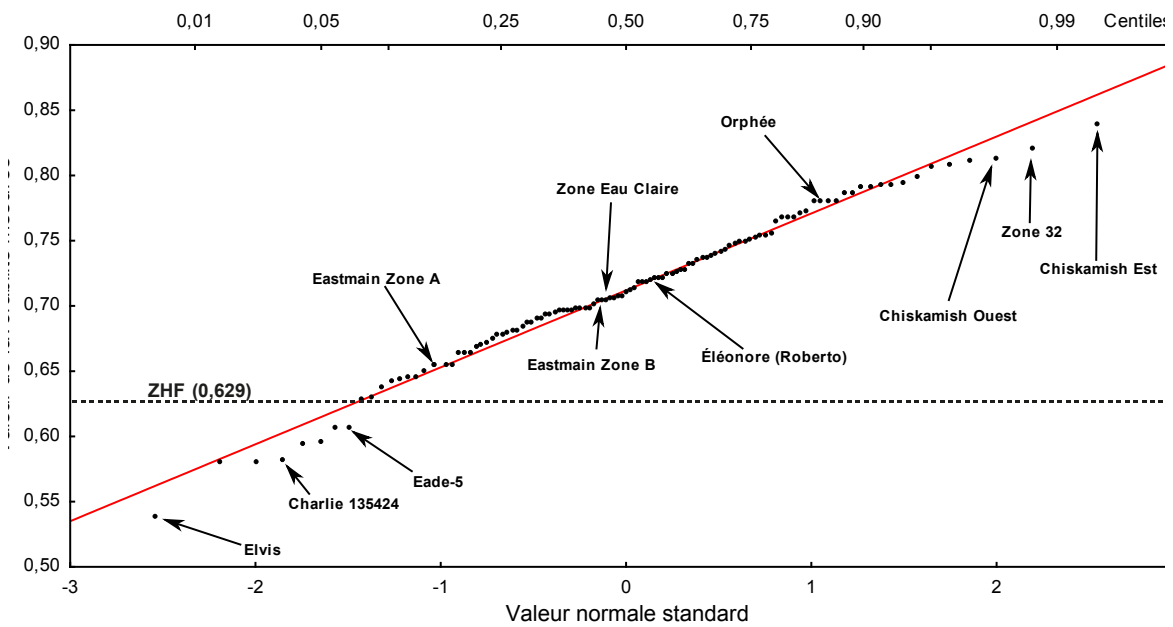


FIGURE 12 - Détermination du seuil minimal de haute favorabilité à l'aide d'un diagramme de probabilité normale. La valeur quantile des données (axe y) correspond à la valeur de favorabilité mesurée sur la carte finale. La valeur normale standard (axe x) correspond à la position du gîte dans la population théorique.

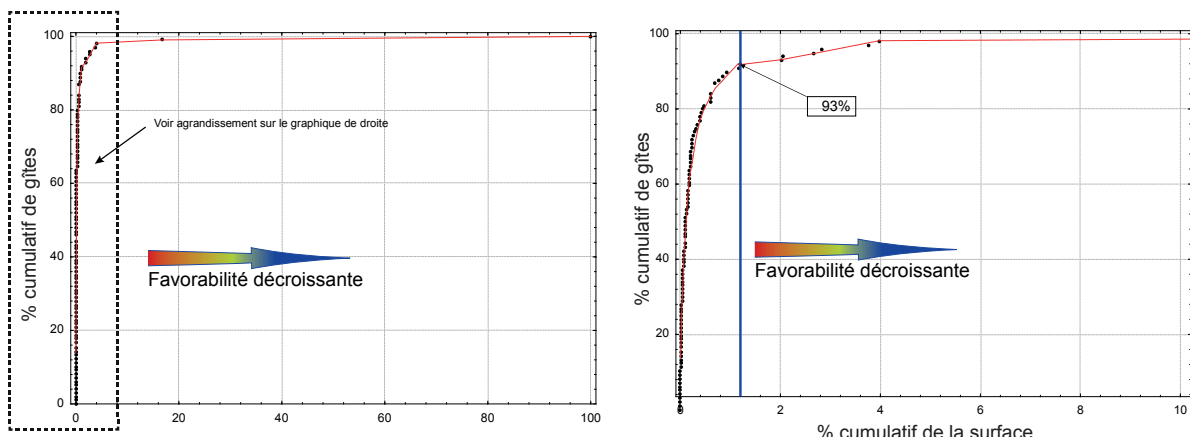


FIGURE 13 - Graphique illustrant la prédictivité de la carte de favorabilité finale. Les zones de haute favorabilité regroupent 93 % des gîtes d'or de type orogénique. Ces zones représentent près de 1 % de la surface de la carte.

CONCLUSION

La modélisation à l'aide de la méthode hybride du poids de la preuve combinée à la logique floue a permis de réaliser une carte de favorabilité pour les gîtes d'or de type orogénique de la région de la Baie-James. Les zones favorables mises en évidence sur cette carte sont principalement associées aux roches volcano-sédimentaires de La Sous-province de La Grande en périphérie de la Sous-province d'Opinaca. Le faciès métamorphique plus élevé de cette sous-province ne semble pas être favorable à la préservation de ce type de gisement au-delà de la transition entre le faciès des schistes verts et celui des amphibolites.

Les zones de haute favorabilité regroupent 93 % des mines, des gîtes travaillés ou à tonnage évalué du secteur (105 sur 113). Ces gîtes appartiennent à une population homogène qui répond aux critères du modèle (distribution gaussienne). Les cinq critères les plus prédictifs pour l'exploration de l'or de type orogénique à la Baie-James sont les suivants :

1. Moins de 100 m d'une lithologie favorable (codes lithologiques S9; S3, S4; V, V1, V2 V3, V4; M16; I3; I4);
2. Moins de 100 m d'une anomalie en antimoine (7 ppm) dans les analyses de roches;
3. Moins de 100 m d'une anomalie en tungstène (8 ppm) dans les analyses de roches;
4. Moins de 500 m d'une anomalie en bore (20 ppm) dans les analyses de roches;
5. Moins de 100 m d'une anomalie en arsenic (16 ppm) dans les analyses de roches.

Ces critères peuvent être utilisés comme guide d'exploration dans les secteurs moins explorés de la Baie-James. Depuis 2008, les travaux de cartographie du MERN ont permis de mettre en valeur de nouvelles ceintures volcano-sédimentaires auxquelles sont associées plusieurs zones de haute favorabilité, particulièrement dans le nord-est du secteur d'étude (feuillet 33H et 33G). Les projets de cartographie géologique toujours en cours devraient contribuer à améliorer la compréhension de la géologie et de la métallogénie du secteur et d' étoffer la base de données. Ces travaux futurs et l'accès au territoire facilité par l'extension vers le nord de la route 167 permettront notamment une meilleure évaluation du secteur de la haute Eastmain.

REMERCIEMENTS

Merci à Marie-France Beaulieu, Charles Brien et Simon Anctil-Raymond pour la compilation des gîtes de la Baie-James. Merci à Olivier Rabeau, Siham Benahmed et Rachid Intissar pour leur aide à diverses étapes du processus. Merci à Mehdi Guemache pour la lecture critique du manuscrit.

RÉFÉRENCES

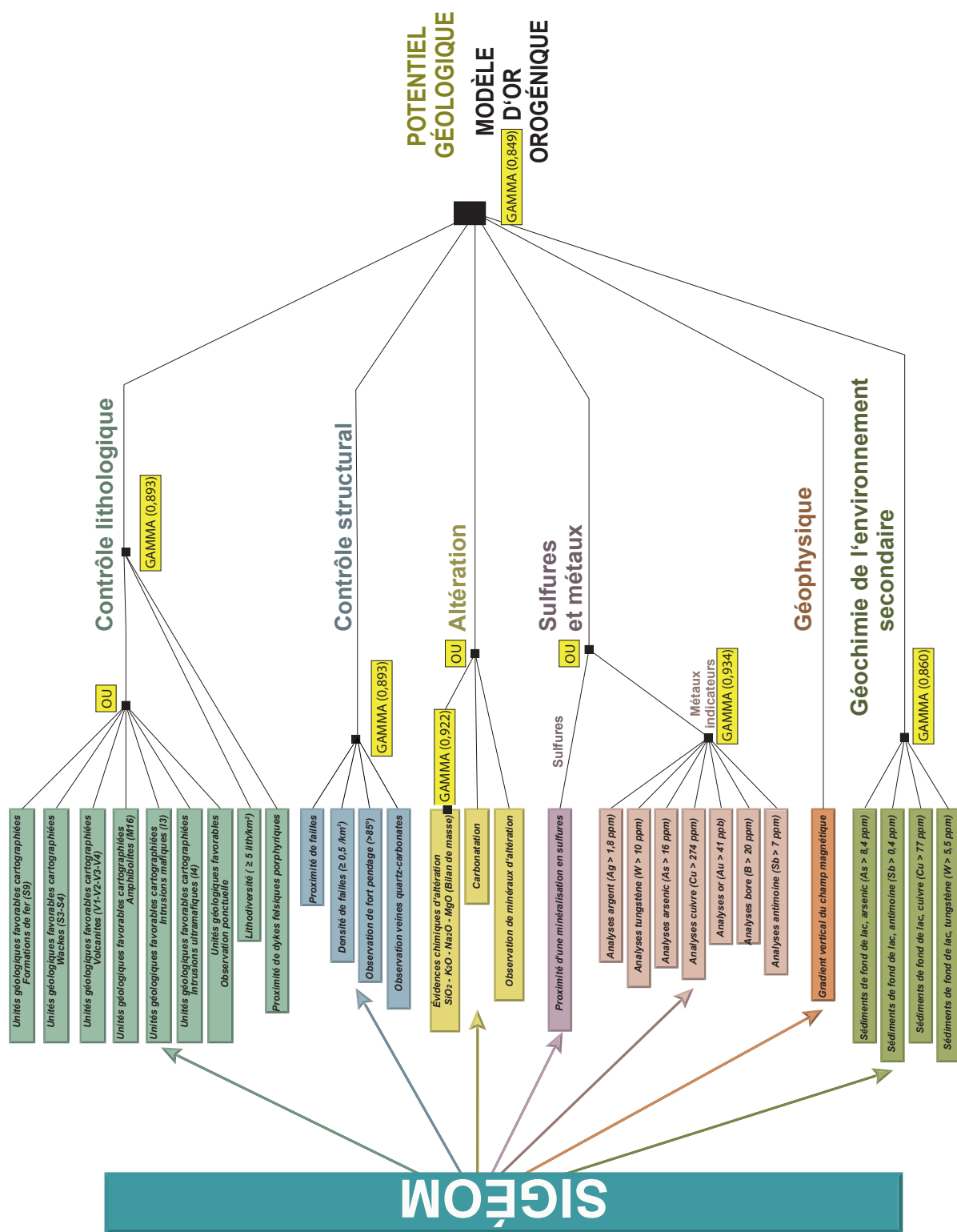
- BANDYAYERA, D. – LACOSTE, P., 2009 – Géologie de la région du lac Rotis (33C10), du lac Bernou (33C110) et du lac Boyd (33C15). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; RP 2009-06, 15 pages, 3 plans.
- BANDYAYERA, D. – RHÉAUME, P. – MAURICE, C. – BÉDARD, É. – MORFIN, S. – SAWYER, E. W., 2010 - Synthèse géologique du secteur du réservoir Opinaca, Baie-James. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; RG 2010-02, 46 pages, 1 plan.
- BANDYAYERA, D. – BURNIAUX, P. – MORFIN, S., 2011 – Géologie de la région du lac Brune (33G07) et de la baie Gavaudan (33G10). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; RG 2011-01, 25 pages, 2 plans.
- BANDYAYERA, D. – BURNIAUX, P. – CHAPON, B., 2013 – Géologie de la région du lac Magin (33G09), de la colline Captel (33G15), et du lac Fontay (33G16), Baie-James, Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; RP 2013-01, 32 pages, 3 plans.
- BONHAM-CARTER, G.F. – AGTERBERG, F.P. – WRIGHT, D.F., 1989 – Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. Statistical applications in the Earth Sciences. Geological Survey of Canada; Paper 89-9, pages 171-183.

- BURNIAUX, P. – GUEMACHE, M.A. – GIGON, J. – GOUTIER, J., en préparation – Géologie de la région du lac Dalmas (33H08, 33H09, 23E05, 23E12), Eeyou Istchee Baie-James, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec.
- CARD, K.D. – CIESIELSKI, A., 1986 – Subdivisions of the Superior Province of the Canadian Shield. Geoscience Canada; volume 13, pages 5-13.
- D'AMOURS, I., 2011 – Synthèse des levés magnétiques de la Baie-James. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; DP 2011-08, 5 pages, 2 plans.
- DAVIS, D. W. – SIMARD, M. – HAMMOUCHE, H. – BANDYAYERA, D. – GOUTIER, J. – PILOTE, P. – LECLERC, F. – DION, C., 2014 – Datations U-Pb effectuées dans les provinces du Supérieur et de Churchill en 2011-2012. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; RP 2014-05, 62 pages.
- DUBÉ, B., – GOSSELIN, P., 2007 – Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits. *In* : Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods (Goodfellow, W.D., editor). Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division; Special Publication No. 5, pages 49-73.
- FONTAINE, A. – DUBÉ, B. – MALO, M. – McNICOLL, V. – BRISSON, T. – DOUCET, D. – GOUTIER, J., 2015 – Geology of the metamorphosed Roberto gold deposit (Éléonore Mine), Baie-James Region, Québec: Diversity of mineralization styles in a in a polyphase tectonometamorphic setting. *In* : Targeted Geoscience Initiative 4: Contributions to the understanding of Precambrian lode gold deposits and implications for exploration (Dubé, B. and Mercier-Langevin, P., editors). Geological Survey of Canada; Open File 7852, pages 209-225.
- GIGON, J. – GOUTIER, J., en préparation – Géologie de la région du lac Richardie (33H02, 33H03 et 33H07). Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec.
- GOUTIER, J. – DION, C. – DAVID, J. – DION, D.-J., 1999 – Géologie de la région de la passe Shimusuminu et du lac Vion (33F/11 et 33F/12). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 98-17, 43 pages, 2 plans.
- GOUTIER, J. – DION, C. – OUELLET, M.-C. – DAVIS, D.W. – DAVID, J. – PARENT, M., 2002 – Géologie de la région du lac Guyer (33G/05, 33G/06 et 33G/11). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 2001-15, 55 pages, 3 plans.
- GOUTIER, J. – GIGON, J. – BURNIAUX, P. – DION, C. – TALLA TAKAM, F. – CHARTIER-MONTREUIL, W. – BANDYAYERA, D., en préparation – Géologie de la région du lac de la Corvette, Eeyou Istchee Baie-James. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 1 plan.
- HAGEMANN, S. G. – CASSIDY, K. F., 2000 – Archean orogenic lode gold deposits. *In*: Gold in 2000 (Hagemann, S.G. and Brown, P.E., editors). Reviews in Economic Geology; volume 13, pages 9-68.
- HAMMOUCHE, H. – BURNIAUX, P. – KHARIS, A.-A., 2015 – Géologie de la région du lac Carmoy, Baie-James (SNRC 33H06, 33H11, 33H14). Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; RG 2015-02.
- HAMMOUCHE, H. – BURNIAUX, P. – KHARIS, A.-A., en préparation – Géologie de la région du lac des Vœux (33H10, 33H15, 33H16), Baie-James, Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec.
- HARRIS, J. R. – WILKINSON, L. – HEATHER, K. – FUMERTON, S. – BERNIER, M. A. – AYER, J. – DAHN, R., 2001 – Application of GIS processing techniques for producing mineral prospectivity maps – A case study: Mesothermal Au in the Swayze greenstone belt, Ontario, Canada. Natural Resources Research; volume 10, pages 91-124.
- HARRIS, J. R. – SANBORN-BARRIE, M. – PANAGAPKO, D. A. – SKULSKI, T. – PARKER, J. R., 2006 – Gold prospectivity maps of the Red Lake greenstone belt: Application of GIS technology. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 43, pages 865-893.

- JÉBRAK, M. – MARCOUX, É., 2008 – Géologie des ressources minérales. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; MM 2008-01, 667 pages.
- JENKS, G.F., 1967 – The Data Model Concept in Statistical Mapping. International Yearbook of Cartography; volume 7, pages 186-190.
- KEMP, L.D. – BONHAM-CARTER, G.F. – RAINES, G.L. – LOONEY, C.G., 2001 – Arc-SDM: Arcview extension for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural network analysis. <http://www.ige.unicamp.br/sdm/>.
- LAFRANCE, B., 2014 – Typologie des intrusions associées aux grands couloirs de déformation de l'Abitibi et relation avec les minéralisations aurifères. CONSOREM; rapport public, projet 2011-02, 26 pages. https://consorem.uqac.ca/production_scien/2011_02/2011-02.pdf
- LAMOTHE, D., 2008 – Évaluation du potentiel en minéralisations de type or mésothermal de la Baie James. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; EP 2008-01, 54 pages, 1 cédérom.
- LAMOTHE, D., 2011 – Potentiel en minéralisations de sulfures massifs volcanogènes de l'Abitibi – version 2011. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; EP 2011-01, 18 pages, 1 plan.
- LAMOTHE, D., 2013 – Évaluation du potentiel en minéralisations de sulfures massifs volcanogènes de type pélitique-mafique pour la Fosse du Labrador. Ministère des Ressources naturelles; EP 2012-01, 43 pages, 1 plan.
- LAMOTHE, D., 2015 – Évaluation du potentiel pour les minéralisations de type or orogénique dans le domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles; EP 2013-01, 36 pages, 1 plan.
- LAMOTHE, D. – HARRIS, J. R., 2006 – Évaluation du potentiel en minéralisations de type or orogénique des roches archéennes de l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; EP 2006-01, 1 cédérom.
- LAMOTHE, D. – HARRIS, J.R. – LABBÉ, J.-Y. – DOUCET, P. – HOULE, P. – MOORHEAD, J. – DION, C. – SAVARD, R. – MÉLANÇON, M., 2005 – Évaluation du potentiel en minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes (SMV) pour l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs; EP 2005-01, 99 pages, 1 plan, 1 cédérom.
- LAPOINTE, I., 2008 – Environnements sédimentaires aurifères en terrain de haut grade métamorphique : le cas des bassins sédimentaires d'Opinaca-Némiscau, Baie-James. CONSOREM; rapport public, projet 2007-07, 36 pages. https://consorem.uqac.ca/production_scien/2007_2008/2007-07_Or%20haut%20grade.pdf
- MARCOUX, P. – BERGERON, K. – MOORHEAD, J. – LESAGE, D. – CÔTÉ, S. – NANTEL, S. – OUELLET, S. – MADORE, L., 2009 – Chapitre 6 – Exploitation minière. Dans : Rapport sur les activités minières au Québec 2009. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; DV 2010-01, pages 55-74.
- MIHALASKY, M.J. – BONHAM-CARTER, G.F., 2001 – Lithodiversity and spatial association within metallic mineral sites, Great Basin of Nevada. Natural Resources Research; volume 10, pages 209-225.
- PORWAL, A. – CARRANZA E.J.M. – HALE, M., 2003 – Knowledge-driven and data-driven fuzzy models for predictive mineral potential mapping. Natural Resources Research; volume 12, pages 1-25.
- RAVENELLE, J.-F. – DUBÉ, B. – MALO, M. – McNICOLL, V. – NADEAU, L. – SIMONEAU, J., 2010 – Insights on the geology of the world-class Roberto gold deposit, Éléonore property, James Bay area, Québec. Geological Survey Canada; Current Research 2010-1, 26 pages.
- RAVENELLE, J.-F., 2013. Amphibolite Facies Gold Mineralization : An example from the Roberto deposit, Eleonore property, James Bay, Quebec. Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement; thèse de doctorat, 283 pages.

- ROBERT, F. – POULSEN, H., – CASSIDY, K.F. – HODGSON, C.J., 2005 – Gold Metallogeny of the Yilgarn and Superior cratons. *Economic Geology*; 100th Anniversary volume, pages 1001-1034
- ROY, P. – ALLARD, G., 2014 – Carte de la connaissance géoscientifique du Québec (carte non-publiée). Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; Photoprésentation Congrès Québec mines 2014.
- TRÉPANIÉ, S., 2013 – Norme LithoModéleur. CONSOREM, projet 2011-04. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; MB 2014-27, 103 pages.
- STOTT, G.M. – CORKERY, M.T. – PERCIVAL, J.A. – SIMARD, M. – GOUTIER, J., 2010 – A revised terrane subdivision of the Superior Province, in: Summary of field work and other activities 2010. Ontario Geological Survey; Open file report 6260, pages 20-1 à 20-7.
- VIGNEAU, S., 2011 – Métallogénie des minéralisations aurifères de la propriété Opinaca, Baie-James, Québec. Université du Québec à Chicoutimi; mémoire de maîtrise, 211 pages.

ANNEXE 1 – Modèle d'inférence du potentiel en minéralisations d'or de type orogénique de la Baie-James



ANNEXE 2 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères lithologiques

Rang	Relation spatiale avec les gîtes	Paramètre	Distance/densité d'association	Valeur de contraste	Valeur floue	Superficie (km²)	Nombre de gîtes ciblés
1	Très forte	Observations lithologiques favorables ponctuelles	0 à 100 m	9,445	0,999	684,8	291
10	Très forte	Proximité d'un dyke porphyrique intermédiaire à felsique (observation ponctuelle)	0 à 100 m	6,909	0,866	24,4	52
27	Forte	Proximité d'un dyke porphyrique intermédiaire à felsique (observation ponctuelle)	100 à 300 m	4,734	0,751	142,7	44
36	Forte	Volcanite cartographiée	0 à 100 m	3,953	0,709	6006,7	232
37	Forte	Lithodiversité	≥ 5 lithologies/km²	3,941	0,709	598,0	225
48	Forte	Formation de fer cartographiée	0 à 100 m	3,323	0,676	1424,9	91
49	Forte	Proximité d'un dyke porphyrique intermédiaire à felsique (observation ponctuelle)	300 à 900 m	3,307	0,675	946,3	66
52	Forte	Intrusion mafique cartographiée	Inclusion*	3,027	0,660	1387,7	72
64	Moyenne	Intrusion ultramafique cartographiée	0 à 200 m	2,531	0,634	544,6	21
65	Moyenne	Proximité d'un wacke ou conglomérat cartographié	200 à 800 m	2,510	0,633	2179,9	71
69	Moyenne	Proximité d'une intrusion mafique cartographiée	0 à 200 m	2,315	0,623	278,4	9
70	Moyenne	Amphibolite cartographiée	0 à 100 m	2,303	0,622	2715,4	70
76	Moyenne	Proximité d'une formation de fer cartographiée	100 à 800 m	2,156	0,614	2029,1	49
78	Faible	Wacke ou conglomérat cartographié	0 à 200 m	1,964	0,604	3830,9	69
82	Faible	Proximité d'une int. ultramafique cartographiée	200 à 800 m	1,792	0,595	963,7	18
85	Faible	Proximité d'un dyke porphyrique intermédiaire à felsique (observation ponctuelle)	900 à 1800 m	1,733	0,592	2360,8	39
87	Faible	Proximité d'une volcanite cartographiée	100 à 500 m	1,449	0,577	2581,7	33
90	Très faible	Proximité d'une amphibolite cartographiée	100 à 500 m	1,184	0,563	1752,5	18
93	Nulle	Lithologies non M16	exclusion*	-2,097	0,389	85143,3	206
94	Nulle	Lithologies non I4	exclusion*	-2,190	0,384	88102,7	255
95	Nulle	Lithologies non S3-S4	exclusion*	-2,537	0,366	83600,4	154
100	Nulle	Lithologies non I3A	exclusion*	-3,000	0,341	87945,1	213
102	Nulle	Lithologies non S9	exclusion*	-3,122	0,335	86156,6	154
108	Nulle	Lithodiversité	Moins de 4 lithologies/km²	-3,941	0,291	89013,0	69
110	Nulle	Proximité d'un dyke porphyrique intermédiaire à felsique (observation ponctuelle)	Plus de 1800 m	-3,987	0,289	86136,7	93
114	Nulle	Lithologies non volcaniques	exclusion*	-4,457	0,264	81022,4	29
122	Nulle	Observation lithologiques favorables ponctuelles	Plus de 100 m	-9,445	0,001	88926,2	3

ANNEXE 3 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères structuraux

Rang	Relation spatiale avec les gîtes	Paramètre	Distance/densité d'association	Valeur de contraste	Valeur floue	Superficie (km ²)	Nombre de gîtes ciblés
12	Très forte	Proximité d'une veine de quartz (observation ponctuelle)	0 à 100 m	6,550	0,847	97,6	118
24	Très forte	Proximité d'un point de pendage élevé (> 85°)	0 à 200 m	5,243	0,778	202,4	66
46	Forte	Proximité d'une veine de quartz (observation ponctuelle)	100 à 200 m	3,372	0,678	238,0	21
58	Moyenne	Densité de faille/cisaillement (par km ²)	≥ 0,5 faille/km ²	2,917	0,654	3754,2	165
60	Moyenne	Proximité d'un point de pendage élevé (> 85°)	200 à 800 m	2,863	0,652	2179,7	87
63	Moyenne	Proximité d'une faille ou d'une zone de cisaillement	0 à 200 m	2,547	0,635	2752,1	83
71	Moyenne	Proximité d'une veine de quartz (observation ponctuelle)	200 à 500 m	2,287	0,621	1374,6	39
75	Moyenne	Proximité d'une faille ou d'une zone de cisaillement	200 à 500 m	2,157	0,614	3420,4	74
88	Très faible	Proximité d'un point de pendage élevé (> 85°)	800 à 1600 m	1,313	0,569	4503,6	48
98	Nulle	Proximité d'une faille ou d'une zone de cisaillement	Plus de 500 m	-2,764	0,354	83438,5	137
99	Nulle	Densité de faille/zone de cisaillement (par km ²)	< 0,5 faille/km ²	-2,917	0,346	85856,8	129
103	Nulle	Proximité d'un point de pendage élevé (> 85°)	Plus de 1600 m	-3,285	0,326	82725,3	93
112	Nulle	Proximité d'une veine de quartz (observation ponctuelle)	Plus de 500 m	-4,378	0,268	87900,8	116

ANNEXE 4 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères évidences d'activité hydrothermale

Rang	Relation spatiale avec les gîtes	Paramètre	Distance/densité d'association	Valeur de contraste	Valeur floue	Superficie (km²)	Nombre de gîtes ciblés
6	Très forte	Observation carbonatation	0 à 100 m	7,381	0,891	32,1	105
8	Très forte	Observation minéraux altération	0 à 100 m	7,013	0,871	160,5	195
13	Très forte	Bilans de masse Na ₂ O favorable	0 à 100 m	6,542	0,846	10,5	22
15	Très forte	Bilans de masse K ₂ O favorable	0 à 100 m	5,990	0,817	38,4	43
16	Très forte	Bilans de masse SiO ₂ favorable	0 à 100 m	5,957	0,815	24,4	28
17	Très forte	Bilans de masse MgO favorable	0 à 100 m	5,826	0,808	24,5	25
21	Très forte	Bilans de masse Na ₂ O favorable	100 à 200 m	5,530	0,793	27,4	21
22	Très forte	Observation carbonatation	100 à 200 m	5,346	0,783	65,7	39
25	Forte	Bilans de masse K ₂ O favorable	100 à 200 m	4,887	0,759	94,1	36
28	Forte	Bilans de masse MgO favorable	100 à 200 m	4,605	0,744	58,4	18
30	Forte	Bilans de masse SiO ₂ favorable	100 à 200 m	4,415	0,734	58,2	15
31	Forte	Observation carbonatation	200 à 300 m	4,367	0,731	96,6	23
35	Forte	Bilans de masse SiO ₂ favorable	200 à 400 m	4,044	0,714	200,5	33
38	Forte	Bilans de masse Na ₂ O favorable	200 à 800 m	3,933	0,708	478,8	63
40	Forte	Bilans de masse MgO favorable	200 à 800 m	3,725	0,697	903,5	87
42	Forte	Observation minéraux altération	100 à 200 m	3,570	0,689	351,0	36
45	Forte	Bilan de masse SiO ₂ favorable	400 à 600 m	3,487	0,685	277,3	27
51	Forte	Observation carbonatation	300 à 800 m	3,078	0,663	759,3	46
59	Moyenne	Bilan de masse K ₂ O favorable	200 à 800 m	2,867	0,652	1543,6	69
72	Moyenne	Bilan de masse SiO ₂ favorable	600 à 1000 m	2,283	0,621	771,1	23
74	Moyenne	Observation minéraux altération	200 à 300 m	2,206	0,617	527,7	15
107	Nulle	Bilan de masse SiO ₂ favorable	Plus de 1000 m	-3,911	0,293	88279,2	168
109	Nulle	Bilan de masse K ₂ O favorable	Plus de 800 m	-3,978	0,289	87935,1	146
111	Nulle	Bilan de masse MgO favorable	Plus de 800 m	-4,271	0,274	88625,0	164
116	Nulle	Bilan de masse Na ₂ O favorable	Plus de 800 m	-4,583	0,257	89094,0	188
119	Nulle	Observation carbonatation	Plus de 800 m	-5,501	0,209	88657,4	81
120	Nulle	Observation minéraux altération	Plus de 300 m	-6,082	0,178	88571,7	48

ANNEXE 5 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères sulfures et métaux

Rang	Relation spatiale avec les gîtes	Paramètre	Distance/densité d'association	Valeur de contraste	Valeur floue	Superficie (km ²)	Nombre de gîtes ciblés
2	Très forte	Valeur en antimoine anormale dans les analyses de roche	0 à 100 m	8,481	0,949	4,8	55
3	Très forte	Valeur en tungstène anormale dans les analyses de roche	0 à 100 m	7,834	0,915	8,9	56
4	Très forte	Valeur en bore anormale dans les analyses de roche	0 à 500 m	7,789	0,912	86,4	74
5	Très forte	Valeur en arsenic anormale dans les analyses de roche	0 à 100 m	7,401	0,892	33,3	109
7	Très forte	Valeur en or anormale dans les analyses de roche	0 à 100 m	7,374	0,890	29,1	98
9	Très forte	Observation sulfures (observation ponctuelle)	0 à 100 m	6,936	0,867	145,2	183
11	Très forte	Valeur en argent anormale dans les analyses de roche	0 à 100 m	6,768	0,858	18,6	44
14	Très forte	Valeur en cuivre anormale dans les analyses de roche	0 à 100 m	6,381	0,838	22,9	38
18	Très forte	Valeur en antimoine anormale dans les analyses de roche	100 à 200 m	5,777	0,806	11,9	12
19	Très forte	Valeur en tungstène anormale dans les analyses de roche	100 à 200 m	5,770	0,805	21,7	21
23	Très forte	Valeur en or anormale dans les analyses de roche	100 à 200 m	5,316	0,781	61,8	36
26	Forte	Valeur en antimoine anormale dans les analyses de roche	200 à 400 m	4,823	0,755	41,6	16
29	Forte	Valeur en argent anormale dans les analyses de roche	100 à 200 m	4,429	0,734	45,6	12
32	Forte	Valeur en cuivre anormale dans les analyses de roche	100 à 200 m	4,299	0,728	51,9	12
33	Forte	Valeur en arsenic anormale dans les analyses de roche	100 à 200 m	4,228	0,724	70,4	15
34	Forte	Valeur en tungstène anormale dans les analyses de roche	200 à 800 m	4,166	0,721	348,4	59
39	Forte	Valeur en antimoine anormale dans les analyses de roche	400 à 1600 m	3,880	0,705	554,3	68
41	Forte	Observation sulfures (observation ponctuelle)	100 à 200 m	3,689	0,695	311,8	36
44	Forte	Valeur en arsenic anormale dans les analyses de roche	200 à 400 m	3,490	0,685	220,7	22
47	Forte	Valeur en cuivre anormale dans les analyses de roche	200 à 1200 m	3,346	0,677	1438,1	93
50	Forte	Valeur en argent anormale dans les analyses de roche	200 à 800 m	3,106	0,664	719,6	45
53	Forte	Valeur en or anormale dans les analyses de roche	400 à 1000 m	3,004	0,659	967,1	12
55	Moyenne	Valeur en bore anormale dans les analyses de roche	500 à 1000 m	2,997	0,659	184,1	11
56	Moyenne	Valeur en or anormale dans les analyses de roche	200 à 400 m	2,966	0,657	196,1	53
61	Moyenne	Observation sulfures (observation ponctuelle)	200 à 300 m	2,842	0,650	462,2	24
62	Moyenne	Valeur en arsenic anormale dans les analyses de roche	400 à 2000 m	2,549	0,635	3522,3	101
73	Moyenne	Valeur en argent anormale dans les analyses de roche	800 à 1800 m	2,259	0,620	2291,2	59
77	Moyenne	Valeur en tungstène anormale dans les analyses de roche	800 à 1400 m	2,024	0,607	632,4	15
79	Faible	Valeur en cuivre anormale dans les analyses de roche	1200 à 3200 m	1,945	0,603	5645,7	94
80	Faible	Valeur en bore anormale dans les analyses de roche	1000 à 3000 m	1,935	0,602	1156,6	24
84	Faible	Valeur en or anormale dans les analyses de roche	1000 à 2000 m	1,734	0,592	2357,5	39

ANNEXE 5 (SUITE) – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères sulfures et métaux

Rang	Relation spatiale avec les gîtes	Paramètre	Distance/densité d'association	Valeur de contraste	Valeur floue	Superficie (km ²)	Nombre de gîtes ciblés
89	Très faible	Valeur en antimoine anormale dans les analyses de roche	1600 à 2400 m	1,189	0,563	565,2	8
104	Nulle	Valeur en argent anormale dans les analyses de roche	Plus de 1800 m	-3,515	0,314	86536,1	134
105	Nulle	Valeur en bore anormale dans les analyses de roche	Plus de 3000 m	-3,672	0,306	88183,8	185
106	Nulle	Valeur en cuivre anormale dans les analyses de roche	Plus de 3200 m	-3,869	0,295	82452,4	57
113	Nulle	Valeur en antimoine anormale dans les analyses de roche	Plus de 2400 m	-4,456	0,264	88433,2	137
115	Nulle	Valeur en tungstène anormale dans les analyses de roche	Plus de 1400 m	-4,529	0,260	88599,6	143
117	Nulle	Valeur en or anormale dans les analyses de roche	Plus de 2000 m	-4,618	0,256	85999,4	56
118	Nulle	Valeur en arsenic anormale dans les analyses de roche	Plus de 2000 m	-4,764	0,248	85764,3	47
121	Nulle	Observation sulfures (observation ponctuelle)	Plus de 300 m	-6,133	0,175	88691,8	51

ANNEXE 6 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères géochimie de l'environnement secondaire

Rang	Relation spatiale avec les gîtes	Paramètre	Distance/densité d'association	Valeur de contraste	Valeur floue	Superficie (km²)	Nombre de gîtes ciblés
20	Très forte	Valeur en cuivre anormale dans les sédiments de fond de lac	0 à 100 m	5,610	0,797	6,4	3
43	Forte	Valeur en antimoine anormale dans les sédiments de fond de lac	0 à 500 m	3,539	0,687	90,9	9
54	Moyenne	Valeur en arsenic anormale dans les sédiments de fond de lac	0 à 500 m	2,997	0,659	362,7	21
57	Moyenne	Valeur en antimoine anormale dans les sédiments de fond de lac	500 à 1000 m	2,957	0,657	264,0	15
67	Moyenne	Valeur en arsenic anormale dans les sédiments de fond de lac	500 à 2000 m	2,379	0,626	4231,0	101
68	Moyenne	Valeur en cuivre anormale dans les sédiments de fond de lac	100 à 400 m	2,357	0,625	90,1	3
83	Faible	Valeur en tungstène anormale dans les sédiments de fond de lac	0 à 500 m	1,752	0,593	162,4	3
86	Faible	Valeur en antimoine anormale dans les sédiments de fond de lac	1000 à 4000 m	1,705	0,590	4529,3	66
91	Nulle	Valeur en tungstène anormale dans les sédiments de fond de lac	Plus de 500 m	-1,752	0,407	89448,7	291
92	Nulle	Valeur en antimoine anormale dans les sédiments de fond de lac	Plus de 4000 m	-2,051	0,391	84726,9	204
96	Nulle	Valeur en arsenic anormale dans les sédiments de fond de lac	Plus de 2000 m	-2,600	0,362	85017,3	172
101	Nulle	Valeur en cuivre anormale dans les sédiments de fond de lac	Plus de 400 m	-3,023	0,340	89514,6	288

ANNEXE 7 – Pondération des paramètres géologiques utilisés : Critères géophysiques

Rang	Relation spatiale avec les gîtes	Paramètre	Distance/densité d'association	Valeur de contraste	Valeur floue	Superficie (km ²)	Nombre de gîtes ciblés
66	Moyenne	Gradient vertical du champ magnétique favorable	0 à 100 m	2,502	0,632	3174,2	91
81	Faible	Gradient vertical du champ magnétique favorable	100 à 300 m	1,864	0,599	5235,0	84
97	Nulle	Gradient vertical du champ magnétique favorable	Plus de 300 m	-2,654	0,360	81201,8	119

