EP 2013-01

Évaluation du potentiel pour les minéralisations de type or orogénique dans le Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava

Documents complémentaires

Additional Files





Licence



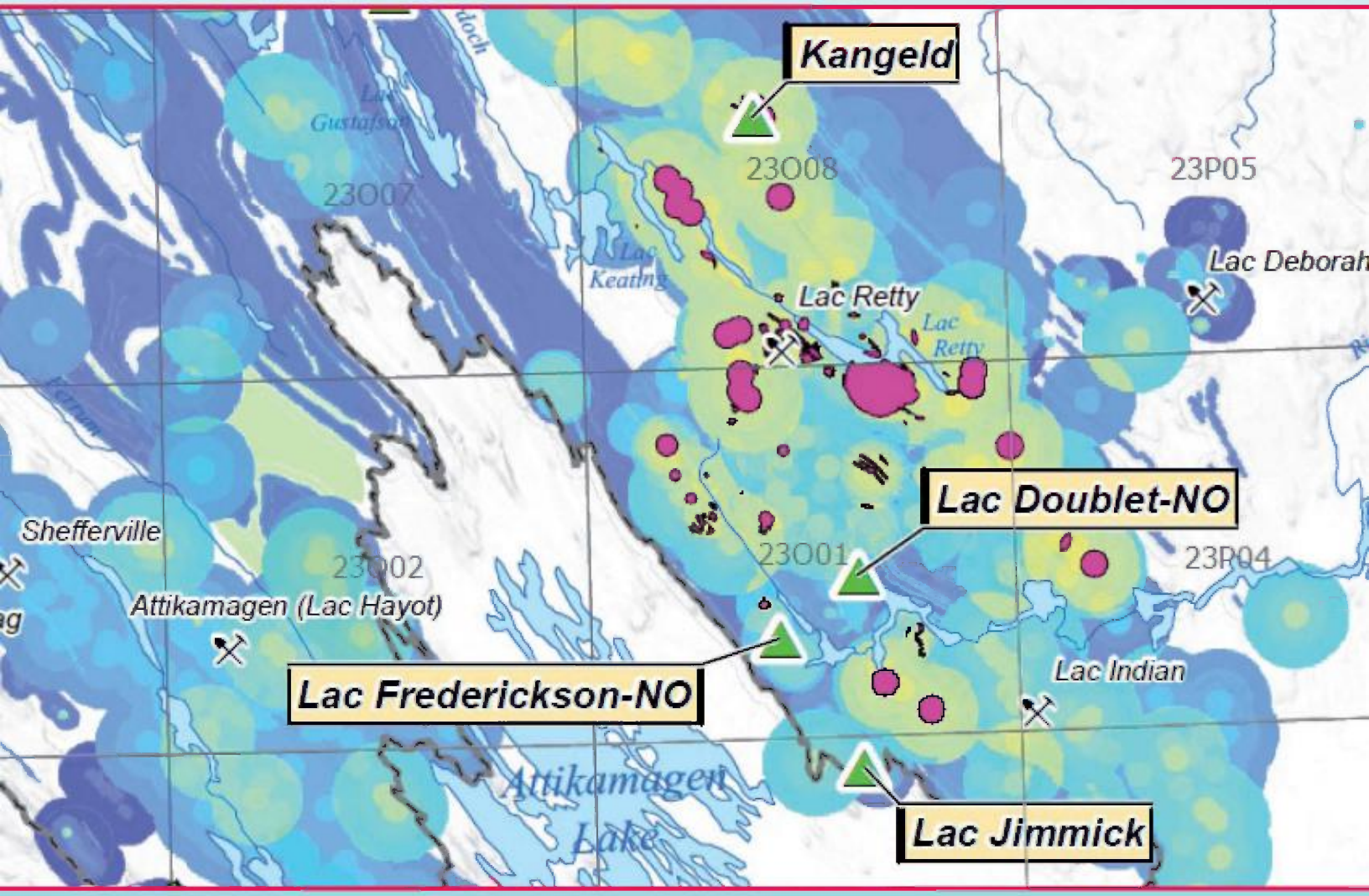
License

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

Énergie et Ressources naturelles
Québec

EP 2013-01

Évaluation du potentiel pour les minéralisations de type or orogénique dans le Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava



Daniel Lamothe

2014

Québec

Évaluation du potentiel pour les minéralisations de type or orogénique dans le Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava

Daniel Lamothe

EP 2013-01

Résumé

Cette évaluation de potentiel vise à délimiter les zones favorables à la découverte de nouvelles minéralisations aurifères dans le Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava. Basé sur le modèle métallogénique de l'or de type orogénique, le traitement consiste à pondérer et à combiner 27 paramètres géologiques pertinents à ce type de minéralisation afin de générer une carte prédictive du potentiel minéral aurifère. Le poids de chaque paramètre dans le modèle est calculé en fonction de son association spatiale avec les gîtes et anomalies aurifères connus et la combinaison de ces paramètres est réalisée à l'aide d'une approche de logique floue. Les zones favorables sont obtenues en sélectionnant les valeurs dépassant un seuil significatif dans le spectre des valeurs floues de la carte résultante. La version finale de la modélisation a généré 88 cibles, dont 35 non reconnues jusqu'à maintenant.

Le traitement a été effectué à l'aide du module Modelbuilder du logiciel ArcGIS 10. La possibilité de tester rapidement de nouveaux paramètres ou des ensembles de pondération différents représente une amélioration significative du processus d'évaluation du potentiel minéral. La plupart des opérations utilisent comme source de données les tables originales non modifiées de la géodatabase SIGÉOM. Cette approche permet de régénérer aisément une nouvelle carte de potentiel lors des mises à jour de SIGÉOM touchant les données sources du modèle.

Un test de robustesse sur le modèle montre qu'il est possible de soustraire du processus de pondération jusqu'à 25 % des corps aurifères présents dans la région d'étude sans affecter significativement le résultat final. Le traitement démontre aussi qu'il est possible de générer une carte de potentiel aurifère fiable malgré le faible niveau d'exploration du secteur d'intérêt, relativement à d'autres régions du Québec où des études de potentiel aurifère similaires ont été réalisées.

DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC

Direction générale de Géologie Québec
Robert Giguère

Direction de l'information géologique
Charles Roy

Direction de la promotion et soutien aux opérations
Jean-Yves Labbé

Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec
Patrice Roy

Édition
Claude Dion

Graphisme
Marie-Eve Lagacé

Document accepté pour publication le 20 janvier 2015

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationale du Québec, 2014
ISBN : 978-2-550-72157-4
© Gouvernement du Québec, 2014

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 7
Travaux antérieurs 7
Géologie générale 8
Potentiel pour les gîtes d'or de type orogénique du Domaine Nord 10

MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉVALUATION DU POTENTIEL MINÉRAL 12
Introduction 12
Choix des paramètres 13
Contrôle lithologique 13
Unité géologique favorable 13
Proximité d'une occurrence volcanique ponctuelle 14
Lithodiversité 14
Proximité d'une unité de roches intrusives de la Suite de Cap Smith 14
Proximité d'une occurrence ponctuelle de la Suite de Cap Smith 14
Contrôle structural 15
Proximité d'une faille 15
Densité de failles 15
Proximité de veines de quartz ou de carbonates 15
Évidences d'activité hydrothermale dans le substrat rocheux 16
Évidences chimiques d'altération 16
Altération potassique 16
Altération sodique 16
Altération magnésienne 16
Silicification 16
Carbonatation 16
Carbonates observés 17
Sulfures et métaux 17
Proximité d'une minéralisation en sulfures 17
Analyses de métaux indicateurs 17
Proximité d'une anomalie en argent 17
Proximité d'une anomalie en arsenic 17
Proximité d'une anomalie en or 17
Proximité d'une anomalie en cuivre 18
Proximité d'une anomalie en mercure 18
Proximité d'une anomalie en molybdène 18
Proximité d'une anomalie en antimoine 18
Environnement secondaire 18
Analyses de sédiments de fond de lac 18
Proximité d'une anomalie en or 18
Proximité d'une anomalie en cuivre 19
Proximité d'une anomalie en mercure 19
Proximité d'une anomalie en antimoine 19
Indicateur géophysique 20

POTENTIEL EN MINÉRALISATIONS D'OR OROGÉNIQUE DU DOMAINE NORD DE L'OROGÈNE DE L'UNGAVA 20
Carte de la favorabilité associée au contrôle lithologique 20
Carte de la favorabilité associée au contrôle structural 21
Carte de la favorabilité associée à l'altération 21
Carte de la favorabilité associée aux indicateurs de sulfures et de métaux 22
Carte de la favorabilité associée à l'environnement secondaire 23
Potentiel en or orogénique – carte finale 23
Détermination des zones de haute favorabilité 24
Validation des résultats 25

CONCLUSIONS 26

RÉFÉRENCES 27

ANNEXE 1 32

ANNEXE2 34

INTRODUCTION

Les travaux de cartographie de l'Orogène de l'Ungava réalisés par les prédécesseurs du MERNQ au cours des années 80 ont permis de mettre en évidence certaines caractéristiques géologiques du Domaine Nord favorables à la mise en place de minéralisations aurifères. Outre la présence de plusieurs indices aurifères et de métaux usuels découverts et étudiés à cette époque (Giovenazzo *et al.*, 1991), les travaux ont souligné la présence d'importantes zones de silicification et de carbonatation associées à un réseau de failles chevauchantes et de zones de cisaillement localisés près de la Faille Bergeron (figure 2) (Moorhead, 1989, 1996a, 1996b; Tremblay, 1989; Giovenazzo *et al.*, 1991). Ces facteurs nous ont convaincus de l'intérêt du Domaine Nord pour l'exploration aurifère et de la nécessité d'entreprendre cet exercice de modélisation.

Travaux antérieurs

La cartographie géologique de l'Orogène de l'Ungava a débuté au 19e siècle avec les travaux de reconnaissance de Bell (1885) et de Low (1899, 1902). Sur la base des observations de ce dernier, des travaux d'exploration furent entrepris par Cyril Knight Prospecting Company, Huronian Mining and Finance Company, Newmont Exploration et Quebec Prospectors. Ces travaux menèrent à la découverte des premiers gîtes de sulfures de Cu-Ni à l'extrémité ouest de l'orogène (appelé à l'époque Bande de Cap Smith ou Fosse de l'Ungava) juste au nord de la Baie Korak (Gunning, 1934). Ces premiers travaux furent poursuivis par Murray Watts dans les années cinquante pour mener à la découverte des dépôts d'amiante d'Asbestos Hill et du gisement de Ni-Cu de Raglan. Les découvertes subséquentes de Ni-Cu-ÉGP sont principalement le résultat des travaux d'exploration menés par Falconbridge et Canadian Royalties.

À la suite des découvertes de Murray Watts, des travaux de cartographie géologique furent entrepris par le Ministère dans la partie occidentale et centrale de la ceinture (Bergeron, 1957, 1959; deMontigny, 1959; Beall, 1959, 1960; Gold, 1962; Gélinas, 1962; Stam, 1961). Ces travaux furent suivis de 1983 à 1988 par une seconde phase de cartographie couvrant la demie ouest de la Fosse de l'Ungava (Lamothe *et al.*, 1984; Hervet, 1985; Roy, 1985, 1989; Moorhead, 1986, 1988, 1989, 1996a, 1996b; Tremblay, 1989, 1991; Barrette, 1990a, 1990b; Giovenazzo *et al.*, 1991; Togola, 1992; Picard *et al.*, 1994). La Commission géologique du Canada (CGC) entreprit en 1985 un programme triennal de cartographie au 1/50 000 de la moitié orientale de l'Orogène de l'Ungava (voir St-Onge et Lucas, 1993 pour la liste des publications). Cette campagne s'est poursuivie en 1989 par un second programme triennal afin de couvrir au 1/100 000 le territoire touchant à l'Arc de Narsajuaq et à l'Antiforme de Kovik (figure 1). Finalement, un programme triennal de cartographie du quaternaire a été réalisé par Daigneault (1996) sous l'égide de la CGC.

Le Domaine Sud (figure 1) est bien connu pour ses gisements de Ni-Cu-ÉGP, principalement localisés dans la moitié est du domaine. Les autres ensembles de l'orogène ont été beaucoup moins explorés et leur potentiel minéral est, à toutes fins utiles, pratiquement inconnu. Seul le Domaine Nord a été l'objet entre les années 60 et 90 de campagnes d'exploration par Asbestos Corporation pour l'amiante, ainsi que par Falconbridge et Glencaim Explorations pour les métaux usuels.

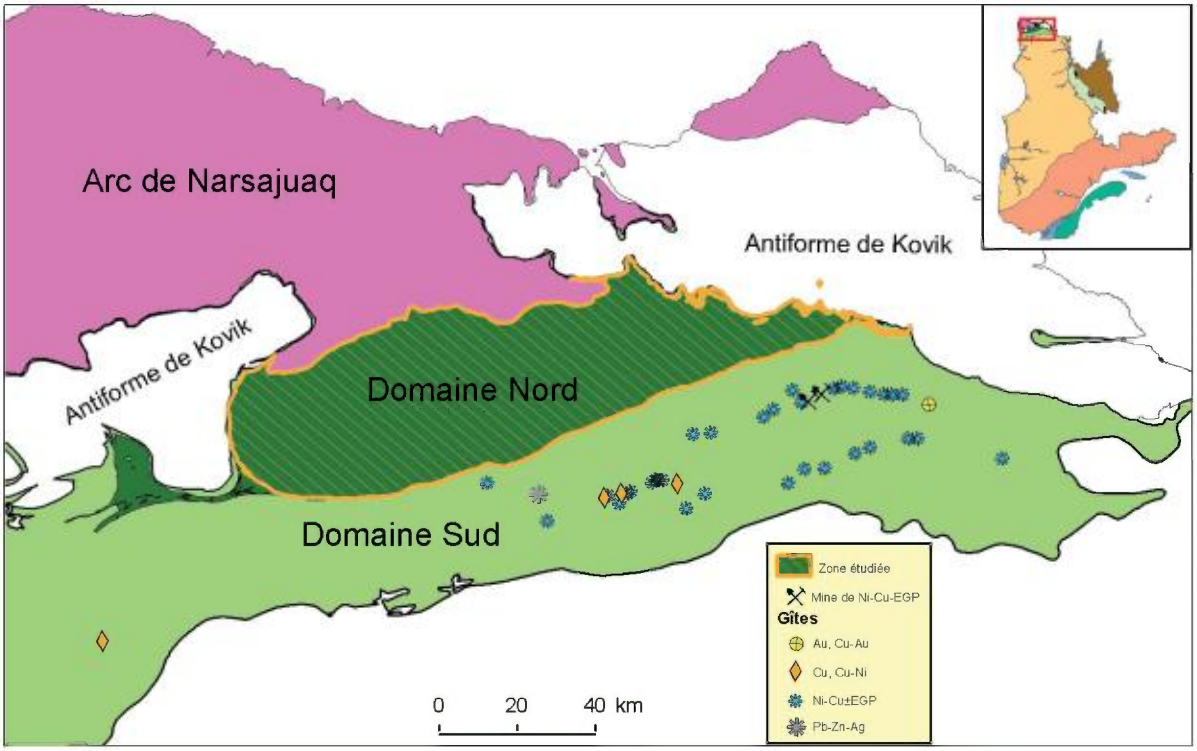


Figure 1 – Les trois grands ensembles tectonostratigraphiques de l'Orogène de l'Ungava. Le socle archéen est visible au sein de deux demi-fenêtres localisées au coeur de l'Antiforme de Kovik. La portion du Domaine Nord couverte par l'étude est en hachuré. L'orogène est connu principalement pour ses gîtes de Ni-Cu-ÉGP dans la portion orientale du Domaine Sud. Voir la figure 2 pour la répartition des gîtes aurifères du Domaine 2.

Géologie générale

L'Orogène de l'Ungava est une structure géologique qui couvre l'extrémité nord de la péninsule de l'Ungava québécois. Cette structure constitue un segment d'un système orogénique beaucoup plus important, l'Orogène Trans-Hudsonien, l'une des plus importantes ceintures orogéniques d'âge paléoprotérozoïque au monde. L'Orogène de l'Ungava regroupe trois grands ensembles, soit le Domaine Sud, le Domaine Nord et l'Arc de Narsajuaq (figure 1). Ces ensembles ont été accrétés et chevauchés sur le socle archéen (daté à environ 2,80 Ga), exposé au sein des deux demi-fenêtres de l'Antiforme de Kovik.

Le Domaine Sud se compose de roches sédimentaires et volcaniques autochtones et allochtones dont l'âge varie entre 2,04 et 1,92 Ga de sa limite sud à sa bordure nord (groupes de Povungnituk et de Chukotat). Le domaine comprend de plus deux suites intrusives synvolcaniques composées de roches mafiques et/ou ultramafiques injectées sous la forme de filons-couches relativement abondants dans la partie orientale du domaine, lequel correspond à la partie profonde de l'assemblage stratigraphique. Leur présence se raréfie dans la portion occidentale stratigraphiquement plus superficielle du domaine.

Le Domaine Nord (figure 2) se compose de quatre assemblages géologiques :

- Le Groupe de Watts (Lamothe *et al.*, 1984; Lamothe, 1994), une suite litée de roches intrusives et volcaniques d'environ 9 km d'épaisseur (Scott *et al.*, 1992) datée à 1998 Ma (Parrish, 1989). Il est interprété comme un assemblage ophiolitique tectoniquement démembré et stratigraphiquement inversé (St-Onge et Lucas, 1990; Scott, 1990; Scott *et al.*, 1991). Le Groupe de Watts se compose : 1) de cumulats lités de dunite chromifère, de péridotite et de pyroxénite; 2) de gabbro et d'anorthosite lités; 3) de clinopyroxénite; 4) de diabase tholéiitique légèrement appauvrie en terres rares légères qui se présente localement sous forme de dykes en feuillets; et 5) de basalte massif ou coussiné.

- Le Groupe de Parent (Lamothe *et al.*, 1984; Lamothe, 1994) est dominé dans sa partie sud par un assemblage de laves généralement coussinées de composition surtout basaltique ou parfois andésitique associées à d'épais niveaux de tuf à blocs et/ou à lapillis. Dans sa portion nord, les niveaux de tufs sont rares et les coulées basaltiques – ou occasionnellement andésitiques – sont communément porphyriques et amygdalaires, montrant des phénocristaux de plagioclase ou d'augite (Tremblay, 1989). L'affinité lithochimique des laves est plus communément tholéiitique dans la portion est du Parent, alors qu'elle devient progressivement calco-alcaline vers l'ouest (Picard *et al.*, 1990), ce qui suggère deux sources magmatiques pour le volcanisme. Dans le Domaine Nord, le Groupe de Parent s'est probablement déposé sur la séquence ophiolitique du Groupe de Watts, bien que ce contact n'ait pas été observé sur le terrain (Lamothe, 2007). Un âge U-Pb de 1898 +12/-9 Ma a été publié pour une tonalite foliée injectée dans un niveau de volcanoclastites et un âge U-Pb approximatif de 1860 Ma a été obtenu pour une rhyolite (Machado *et al.*, 1993). Ce dernier âge est contemporain de la Suite de Cape Smith et appuie l'hypothèse que le Parent constitue la portion volcanique de l'Arc de Narsajuaq (St-Onge et Lucas, 1992; Dunphy et Ludden, 1995).
- Le Groupe de Spartan (Lamothe *et al.*, 1984; Lamothe, 1994) est constitué principalement dans sa portion orientale de phyllades interstratifiées avec des interlits de siltstone ou, plus rarement, des lits dolomitiques (Lamothe *et al.*, 1984; St-Onge et Lucas, 1993). Dans les segments central et occidental du Groupe de Spartan, les sédiments détritiques sont formés d'un assemblage de métawacke lithique ou feldspathique en lits décimétriques à métriques avec des niveaux de lave basaltique ou encore de tufs à cristaux et/ou à lapillis. La composition des sédiments suggère dans ce cas une source détritique plus proximale que pour le segment oriental. Selon Tremblay (1991), l'épaisseur des sédiments dans le segment occidental atteindrait environ 2000 mètres. Plusieurs filons-couches et dykes mafiques ou ultramafiques sont injectés dans les sédiments. Le Spartan est considéré comme un dépôt d'érosion déposé en bordure de l'arc magmatique formé par le Parent au centre du Domaine Nord.
- La Suite de Cape Smith (Dunphy et Ludden, 1998) forme un cortège de plutons de composition péridotitique à granitique principalement situés dans le Domaine Nord. Leur taille varie de quelques mètres à plus de 10 km de diamètre. Ils sont parfois massifs et homogènes, mais plus généralement foliés ou fortement déformés. Les plus gros corps présentent généralement une zonation compositionnelle. Les contacts intrusifs avec les roches encaissantes sont généralement clairement définis. Les quelques datations U-Pb obtenues en provenance d'intrusions appartenant à cette suite suggèrent deux phases de mise en place : 1) une phase ancienne de plutons foliés (1898 à 1860 Ma); et 2) une phase plus récente d'intrusions faiblement foliées (1848 à 1839 Ma). La suite ancienne serait donc contemporaine à la mise en place de l'arc magmatique paléoprotérozoïque formé par le Groupe de Parent.

Le métamorphisme des roches du Domaine Nord varie du faciès des schistes verts au sud au faciès des amphibolites dans sa moitié nord.

Le Domaine Nord présente une croûte océanique (Groupe de Watts, 1998 Ma) postdatant d'environ 40 Ma le début du rift continental dans le socle archéen (2038 Ma; Machado *et al.*, 1993). Ce domaine est interprété par St-Onge et Lucas (1992) comme un terrane exotique accrété le long d'une possible faille transformante sur les volcanites d'un plancher océanique transitionnel plus jeune représenté par le Groupe de Chukotat (1,88 à 1,87 Ga; Ernst et Bleeker, 2010) du Domaine Sud.

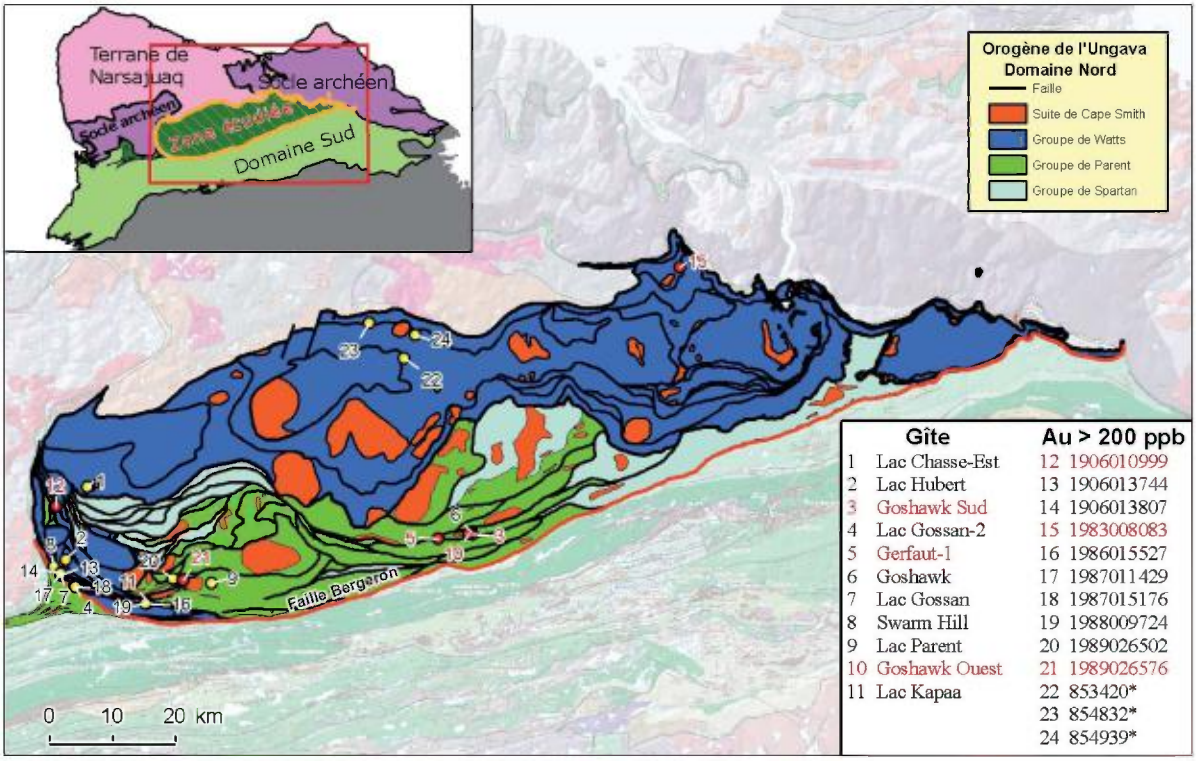


Figure 2 – Géologie générale du Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava (Lamothe, 2007). Un ensemble de 24 points de contrôle ont été utilisés pour la modélisation, soit 11 gîtes aurifères tirés de SIGÉOM et 13 échantillons de roche montrant des teneurs en Au supérieures à 200 ppb (voir la légende). Les points jaunes montrent la position des gîtes et des analyses aurifères utilisés pour pondérer le potentiel minéral de la région étudiée. Les points rouges indiquent la position des gîtes et analyses aurifères utilisés pour valider la prédictivité du traitement.

Potentiel pour les gîtes d'or de type orogénique du Domaine Nord

Le Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava présente certaines similarités avec la Zone de Reindeer (figure 3) située à l'extrémité ouest de l'Orogène Trans-Hudsonien, où se trouve notamment le camp minier de Flin Flon bien connu pour ses minéralisations de SMV. La Zone de Reindeer comprend cinq segments tectonostratigraphiques (Corrigan *et al.*, 2007), dont deux présentent un contexte géologique similaire du point de vue de la composition et de l'âge de mise en place au Domaine Nord. Ainsi, des vestiges d'un plancher océanique (2,07 à 1,92 Ma) potentiellement corrélés au Groupe de Watts (Corrigan *et al.*, 2007) sont retrouvés dans le Complexe de Glennie-Flin Flon et dans les ceintures de La Ronge – Lynn Lake. On observe aussi dans ces deux ensembles d'épaisses séquences de laves et de volcanoclastites felsiques à mafiques d'affinité calco-alcaline associées à un magmatisme d'arc insulaire (Maxeiner *et al.*, 2004). Ces séquences volcaniques d'arcs juvéniles (1,92 à 1,88 Ga) sont porteuses de nombreux gîtes d'or orogénique, notamment dans la ceinture de La Ronge (Corrigan *et al.*, 2007).

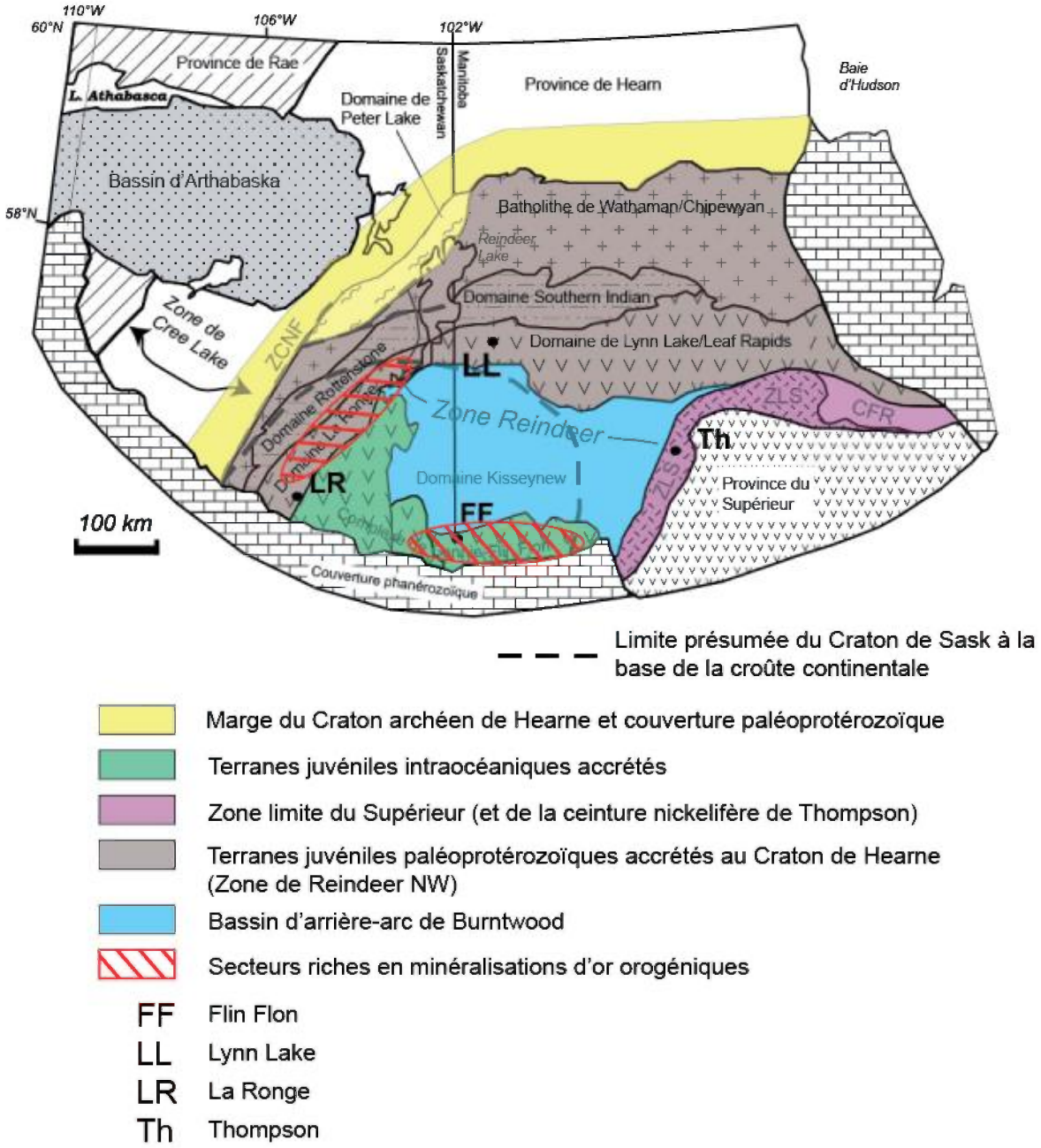


Figure 3 – Terminaison ouest de l'Orogène Trans-Hudsonien. La Zone de Reindeer forme le cœur de la structure (modifié de Corrigan *et al.*, 2007). Les zones en hachuré contiennent de nombreux gîtes d'or de type orogénique.

Lors des travaux de cartographie du Domaine Nord réalisés entre 1983 et 1986, trois indices aurifères ont été examinés dans la partie ouest du domaine, révélant pour la première fois dans l'orogène un potentiel pour des minéralisations autres que des gîtes magmatiques de Ni-Cu. À ces indices se sont ajoutés plusieurs autres au cours de travaux de prospection réalisés au cours des années 90. La publication en 2012 des résultats d'un levé de sédiments de lac par le MRN (Maurice et Lamothe, 2012), qui révélait plusieurs secteurs anomaux en Cu et en Au dans le Domaine Nord, mena à la découverte de plusieurs minéralisations de Cu-Au-Ag. Ainsi, Exploration Khalkos a publié en août 2012 un communiqué mentionnant un échantillon choisi titrant jusqu'à 35 g/t en or dans la portion nord du domaine, alors que Corvus Gold annonçait en octobre 2012 des teneurs atteignant jusqu'à 14,4 g/t en or pour des échantillons choisis sur des affleurements de leur propriété dans la portion sud du domaine.

Ces diverses découvertes, couplées à l'existence de nombreuses zones de cisaillement carbonatées et silicifiées observées par l'auteur au cours des travaux de cartographie dans la région, sont les principaux arguments qui justifient le présent travail.

MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉVALUATION DU POTENTIEL MINÉRAL

Introduction

Les méthodes de traitement pour l'évaluation de potentiel se divisent en deux grandes catégories : 1) les méthodes dites empiriques (*data-driven*), et 2) les méthodes conceptuelles (*knowledge-driven*). Les méthodes empiriques sont basées sur l'analyse des relations spatiales entre des occurrences minéralisées connues et certains paramètres géologiques. Les plus connues sont la pondération par le poids de la preuve (*Weight-of-Evidence* ou *WofE*) et l'analyse par réseau neuronal. Les méthodes conceptuelles sont généralement utilisées en l'absence de gîtes connus dans la région d'étude et reposent sur les connaissances et l'expérience d'un géologue pour établir la pondération relative à chaque paramètre en fonction du modèle d'exploration. Bien que subjectives, ces méthodes permettent d'incorporer au traitement les connaissances et l'expérience du géologue. On compte parmi ces méthodes la logique booléenne, la superposition de couches (Harris, 1989), la théorie de croyance de Dempster-Schafer (Chung et Moon, 1991; An *et al.*, 1992) et la logique floue (An *et al.*, 1991). La logique floue est de loin la plus couramment utilisée, principalement à cause de sa flexibilité et de sa simplicité.

Des approches hybrides combinant la flexibilité des approches conceptuelles et la rigueur des approches empiriques ont récemment été proposées (Brown *et al.*, 2003; Porwal *et al.*, 2003). L'une de celles-ci, la « logique floue hybride » permet de contourner une des principales difficultés concernant *WofE*. En effet, selon le postulat de base du théorème de Bayes, les données utilisées (paramètres ou facteurs) doivent être indépendantes entre elles. Cette condition peut difficilement être respectée dans un contexte géologique, alors que plusieurs catégories de données dérivent directement ou indirectement d'un des paramètres utilisés dans la modélisation (par exemple, les contacts sur une carte géologique tracés à partir de la carte du champ magnétique). Bien que l'approche soit valide pour chaque paramètre individuellement, le non-respect de la clause « d'indépendance conditionnelle » engendre des valeurs généralement trop élevées lors de la combinaison des cartes intermédiaires de favorabilité lors du calcul de la probabilité *a posteriori* (favorabilité résultante). Pour cette raison, il est apparu plus approprié de combiner les cartes de paramètres produites avec *WofE* à l'aide d'une méthode conceptuelle, soit celle de la logique floue (d'où l'expression « logique floue hybride »).

L'approche choisie découle des travaux de Porwal *et al.* (2003) qui proposent deux approches basées sur le concept de logique floue : 1) une approche conceptuelle (*knowledge-driven fuzzy logic*) reposant sur le jugement de l'évaluateur pour attribuer une valeur floue de favorabilité; et 2) une approche semi-empirique (*data-driven fuzzy logic*) où la valeur floue de favorabilité est établie à partir des calculs de la probabilité d'association par la méthode du poids de la preuve. Cette seconde approche, déjà utilisée antérieurement pour plusieurs modèles métallogéniques traités à Géologie Québec (Lamothe *et al.*, 2005, Lamothe, 2008, 2009, 2011, 2013), a aussi été appliquée lors de la production du présent modèle.

Le traitement a été entièrement effectué dans le module ModelBuilder du logiciel ArcGIS version 10 et a été appliqué à 27 paramètres géologiques qui ont montré une association spatiale positive avec un ensemble d'occurrences aurifères dans le Domaine Nord. La pondération des paramètres par la technique du poids de la preuve et leur combinaison séquentielle avec des opérateurs de logique floue ont été réalisées avec les outils de ArcSDM[1].

Choix des paramètres

Le traitement consiste à sélectionner les indicateurs les plus efficaces parmi tous les paramètres géologiques favorables à la présence de minéralisations de type or orogénique. Le choix des paramètres utilisables est basé sur les modèles métallogéniques appliqués antérieurement en Abitibi et à la Baie-James. Pour déterminer parmi ces paramètres lesquels sont les meilleurs indicateurs dans la région d'étude, la méthode dite du « poids de la preuve » ou *WofE* (Bonham-Carter *et al.*, 1989; Harris *et al.*, 2001; Lamothe *et al.*, 2005) a été utilisée afin d'évaluer l'association spatiale de chaque paramètre avec un groupe de 18 occurrences aurifères dans le secteur étudié. Seuls les paramètres présentant une valeur de contraste supérieure à 1,3[2] ont été retenus (annexe 1). Ces 18 occurrences aurifères utilisées pour évaluer la prédictivité des paramètres ont été extraites au hasard d'un ensemble de 24 points de contrôle composés de 11 indices aurifères auxquels ont été ajoutés 13 échantillons de roche titrant plus de 200 ppb d'or. Ces ajouts ont été jugés nécessaires afin d'obtenir un plus grand nombre de points de contrôle répartis plus uniformément sur l'ensemble du secteur d'étude[3]. Le nombre d'occurrences aurifères choisies pour la pondération (18 points) a été établi par des tests successifs de robustesse effectués en soustrayant aléatoirement des points de l'ensemble original de 24 occurrences et en mesurant la prédictivité de la carte finale résultante. On peut ainsi déterminer qu'il est possible de soustraire jusqu'à six points (25 %) de l'ensemble sans affecter significativement le résultat final.

Les 27 paramètres utilisés sont regroupés en six grandes familles : 1) Contrôle lithologique; 2) Contrôle structural; 3) Altération; 4) Sulfures et métaux; 5) Environnement secondaire; et 6) Géophysique. Chaque famille regroupe un certain nombre de paramètres dont la prédictivité a pu être démontrée en fonction de leur association spatiale avec l'ensemble de 18 points de contrôle (voir annexes 1 et 2).

Contrôle lithologique

Ce volet du modèle regroupe toutes les unités géologiques qui sont associées à la présence de gîtes aurifères. Cinq paramètres y sont exploités : a) le facteur **unité géologique favorable** (polygones géologiques) qui regroupe les types de roches où l'on retrouve généralement les gîtes aurifères; b) le facteur **proximité d'une occurrence ponctuelle de lithologie volcanique** (géofiches et affleurements de compilation); c) le facteur **lithodiversité**, le concept statistique qui suggère que les secteurs présentant une plus grande variété de lithologies tendent à montrer plus de gîtes aurifères; d) le facteur **proximité des unités de roches intrusives de la Suite de Cape Smith** (polygones géologiques), en tant que sources de chaleur pouvant initier des cellules de circulation hydrothermale menant à la déposition de minéraux aurifères; et e) le facteur **proximité d'une occurrence ponctuelle de roches intrusives de la Suite de Cape Smith** (données ponctuelles). Ces cinq facteurs ont été pour la plupart utilisés et validés dans les deux modèles précédents pour l'or de type orogénique en Abitibi (Lamothe et Harris, 2006) et à la Baie-James (Lamothe, 2008).

Unité géologique favorable

Il a été démontré dans plusieurs travaux portant sur le potentiel en or de type orogénique en Ontario et au Québec que les dépôts aurifères sont préférentiellement associés à certaines lithologies (Harris *et al.*, 2001; Harris *et al.*, 2006; Lamothe et Harris, 2006; Lamothe, 2008). Pour valider cette hypothèse dans le cas présent, la méthode du poids de la preuve (*WofE*) a été utilisée pour mesurer

1 ArcSDM est une boîte à outils ArcGIS servant à l'évaluation de potentiel minéral et est disponible gratuitement (http://www.ige.unicamp.br/sdm/ArcSDM10/).

2 Le seuil minimal de 1,3 s'applique à la classe la plus prédictive du paramètre. Pour des explications sur la notion de « valeur de contraste », consulter le EP 2012-01 (Lamothe, 2013).

3 Trois des 13 échantillons proviennent des travaux de terrain réalisés en 2012 par Khalkos Exploration dans la partie centrale du Domaine Nord.

l'association spatiale entre les différentes unités géologiques du Domaine Nord et les 18 points de l'ensemble de pondération. L'approche vise à déterminer la probabilité qu'une unité spécifique contienne un dépôt aurifère.

Suite au test de prédictivité effectué avec *WofE* sur les différentes unités géologiques du domaine, seules les unités volcaniques du Groupe de Parent et les unités ultramafiques du Groupe de Watts ont été utilisées dans le modèle. À cause de l'importante surface occupée par ces unités, leur prédictivité est faible (contraste de 1,394, 27e rang, annexe 1), mais il été jugé utile de les conserver malgré tout dans le traitement.

Proximité d'une occurrence volcanique ponctuelle

La plupart des gîtes aurifères au Québec se situent dans un contexte volcanique. Pour tester cette hypothèse dans la région de l'étude, les affleurements de compilation, ainsi que les données provenant des géofiches, des forages ou des gîtes minéraux ont été interrogés pour la présence d'une lithologie volcanique dans les champs lithologiques. Tous les résultats positifs ont été colligés et la mesure de leur association spatiale avec les gîtes aurifères qualifie ce paramètre au 16e rang (contraste de 3,070).

Lithodiversité

Certains chercheurs ont démontré qu'il existe une relation directe entre la complexité géologique et l'abondance de minéralisations d'un secteur, plus particulièrement avec le potentiel aurifère (Mihalasky et Bonham-Carter, 2001; Hagemann et Cassidy, 2000). Le concept de diversité lithologique (ou lithodiversité), défini par la fréquence des types de roche par unité de surface, a aussi été utilisé par Brown *et al.* (2003) pour évaluer le potentiel en dépôts d'or de type orogénique du terrane de Kalgoorlie (Australie de l'Ouest).

Ce traitement utilise un fichier matriciel obtenu par la conversion du fichier vectoriel des lithologies. Il assigne à chaque cellule de l'image une valeur indiquant le nombre de lithologies uniques présentes à l'intérieur d'une fenêtre dont la taille est déterminée par le modélisateur. Des essais effectués dans la région de la Baie-James avec des fenêtres de 5, 25 et 100 km² ont démontré qu'une taille de 25 km² était optimale compte tenu de l'échelle de cartographie variable dans ce secteur. L'évaluation de la favorabilité avec *WofE* montre que des résultats optimaux sont obtenus par un regroupement en classes suivant la méthode des seuils naturels de Jenks (1967). L'évaluation de la favorabilité calculée avec *WofE* montre que seules les classes de cellules ayant une densité égale ou supérieure à quatre lithologies uniques par km² présentent une valeur de contraste significative (annexe 1), avec un contraste de 1,879, ce qui place le paramètre au 23e rang.

Proximité d'une unité de roches intrusives de la Suite de Cap Smith

Les deux phases intrusives de la Suite de Cap Smith sont des sources de chaleur potentielles à l'origine de cellules hydrothermales. Elles constituent des vecteurs de minéralisation possibles pour le présent modèle. La mise en place de la phase ancienne a pris fin vers 1860 Ma, dans un contexte de collision entre le bloc de Sugluk au nord et le microcontinent de *Meta Incognita* vers 1865 Ma (Corrigan *et al.*, 2009). La mise en place de la seconde phase intrusive s'est terminée vers 1839 Ma, lors de la collision du Domaine Nord avec le bloc de Sugluk vers 1840 Ma, réactivant la suture de Bergeron (Corrigan *et al.*, 2009). Chaque phase intrusive est donc liée à un évènement orogénique propice à l'édification d'un système de fractures favorisant la circulation d'éventuels fluides aurifères.

Le critère de proximité des occurrences aurifères par rapport aux unités de la Suite de Cap Smith a été testé par *WofE* pour différentes classes de taille d'intrusions. Seules les intrusions d'une taille inférieure à 0,8 km² montrent une association spatiale certaine avec les gîtes aurifères et ont été conservées dans le traitement. Ce paramètre se classe au 17e rang avec une valeur de contraste de 4,177 pour une distance de 500 m autour des intrusions.

Proximité d'une occurrence ponctuelle de la Suite de Cap Smith

Les occurrences non cartographiées de la Suite de Cap Smith sont extraites à partir des affleurements de compilation de SIGÉOM. De cet ensemble sont exclus les affleurements contenus dans les unités de cette suite déjà présentes sur les cartes géologiques. Les occurrences conservées sont donc

des évidences locales de petites intrusions. Leur évaluation par *WofE* montre qu'elles constituent des indicateurs fiables de la présence de minéralisations aurifères jusqu'à 500 m de distance et se classent au 18e rang des paramètres (contraste de 2,988).

Contrôle structural

Les dépôts aurifères de type or orogénique sont mis en place dans un régime tectonique compressif le long de marges actives convergentes (Groves *et al.*, 1998). Ce contexte favorise la circulation des fluides hydrothermaux le long de zones de cisaillement importantes qui servent de pièges structuraux favorisant la précipitation des solutions aurifères.

Proximité d'une faille

L'association spatiale des gîtes aurifères avec les failles régionales du Domaine Nord a été testée avec *WofE*. Ce paramètre constitue un indicateur acceptable jusqu'à 100 m de distance. La multiplicité des failles dans le domaine diminue leur potentiel en tant qu'indicateur aurifère (contraste de 1,852). Il se classe au 24e rang des paramètres.

Densité de failles

La densité des failles (le nombre de failles par unité de surface) constitue un indicateur de la déformation régionale en régime fragile-ductile. Un facteur de densité élevé suggère la possibilité d'une circulation importante de solutions hydrothermales pouvant favoriser la précipitation de l'or (Hagemann et Cassidy, 2000).

Plusieurs travaux suggèrent que les structures de deuxième et troisième ordre au sein du réseau de fracturation régional constituent des sites de déposition préférentiels, alors que relativement peu de dépôts sont situés directement au cœur des conduits principaux (Eisenlohr *et al.*, 1989; Groves *et al.*, 1989; Robert, 1990). Bien qu'il soit théoriquement possible de traiter la hiérarchie relative des failles en analyse spatiale, il n'est pas possible de l'appliquer au Domaine Nord à cause du manque de détails cartographiques de la région d'étude. Le concept de densité est toutefois applicable et permet de cibler régionalement les secteurs les plus susceptibles de contenir des dépôts.

Une image de la densité des failles par cellule de 2 km a été réalisée dans un premier temps. La distribution des valeurs de densité a été segmentée en 10 classes par la méthode des seuils naturels (Jenks, 1967) et chaque classe a été testée avec *WofE*. Toutes les classes dont la densité est supérieure à 1,223 faille/km² ont été regroupées en une seule classe qui, avec une valeur de contraste de 2,711, se classe au 20e rang des paramètres.

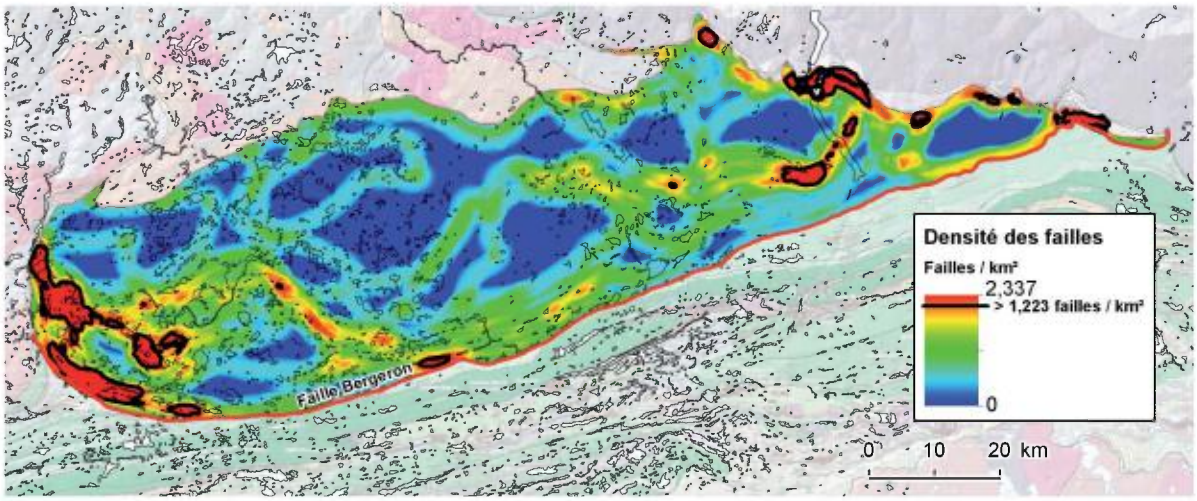


Figure 4 – Densité des failles dans le Domaine Nord. Les zones les plus denses se situent principalement à l'extrémité ouest du domaine, ainsi que le long du décollement nord au contact avec le socle archéen.

Proximité de veines de quartz ou de carbonates

Ce paramètre est constitué de toutes les observations sur le terrain de veines à remplissage de quartz ou de carbonates, qui constituent des indicateurs de la circulation de fluides hydrothermaux dans un contexte structural d'extension typique correspondant au modèle métallogénique traité. Ce paramètre est un fort indicateur (5,014) jusqu'à 100 m de distance et reste un indicateur efficace (2,051, 13e rang) jusqu'à 400 m de distance.

Évidences d'activité hydrothermale dans le substrat rocheux

Évidences chimiques d'altération

Il est possible de localiser les zones de circulation des fluides hydrothermaux où se forment les gisements aurifères à l'aide de calculs de bilans de masse qui permettent d'évaluer les pertes ou les gains en éléments majeurs d'un volume de roche. Ces calculs ont été effectués à l'aide du logiciel Lithomodeleur (version 3.5), conçu par le CONSOREM, qui utilise une approche de modélisation de précurseurs (ou protolites) à l'aide de réseaux neuronaux calibrés à partir d'une banque de plusieurs milliers d'échantillons de roches ignées fraîches. Le traitement a été appliqué à une banque lithochimique de 1536 échantillons de roches ignées provenant du Domaine Nord pour lesquelles les teneurs en oxydes et en éléments traces ont été analysées par ICP-MS en 2013.

Les cinq paramètres ci-dessous, obtenus à partir des calculs de bilan de masse, constituent des évidences d'altération et sont utilisés dans le modèle. Les seuils mentionnés pour chaque paramètre ont été sélectionnés à l'aide de diagramme quantile-quantile pour chacun des paramètres.

Altération potassique

La majorité des indices aurifères du Domaine Nord sont situés à proximité de zones de cisaillement caractérisées par une altération en séricite-ankérite (Moorhead, 1996a). Ces zones d'altération se distinguent par un ajout de K_2O détectable par le calcul de bilan de masse. Un ajout de 13 % de K_2O a été utilisé comme seuil (272 occurrences). Le paramètre est plutôt efficace (9e rang) pour une distance proximale de 100 m avec un contraste de 6,245, lequel chute rapidement à 1,872 à 400 m (annexe 1).

Altération sodique

La présence au nord de la Faille Bergeron (figure 2) d'unités continues de schistes à quartz-albite-ankérite-séricite-chlorite est mentionnée par Moorhead (1996a). Pour mesurer l'importance de l'association spatiale entre le phénomène d'albitisation et la présence de gîtes aurifères, les échantillons présentant un ajout de Na_2O supérieur à 21 % ont été sélectionnés (264 occurrences). Le paramètre montre un contraste de 6,804 à moins de 100 m (5e rang) et reste un bon indicateur jusqu'à 300 m (annexe 1).

Altération magnésienne

Un nombre significatif de gîtes aurifères du Domaine Nord présentent des évidences de chloritisation dans les épontes de la minéralisation. Les échantillons montrant des évidences d'altération magnésienne caractérisées par un gain de plus de 11,5 % de MgO ont été utilisés pour la modélisation (304 échantillons). Le paramètre montre un contraste de 5,918 (11e rang) à moins de 100 m et reste un bon indicateur jusqu'à 400 m (annexe 1).

Silicification

La plupart des gîtes d'or orogénique sont associés à des phénomènes de silicification soulignés notamment par la présence de nombreuses veines de quartz. Pour évaluer ce paramètre, 278 échantillons montrant un gain de plus de 10,5 % de SiO_2 ont été sélectionnés. Ces derniers possèdent un contraste de 6,709 à moins de 100 m de distance (6e rang) et conservent une favorabilité acceptable jusqu'à 400 m (annexe 1).

Carbonatation

De nombreux dépôts aurifères dans le monde sont associés à une carbonatation importante des roches encaissantes (Goldfarb *et al.*, 2005; Robert *et al.* 2005). Les travaux de cartographie du Ministère en 1985 et 1986 dans le Domaine Nord ont aussi mis en évidence la présence de zones fortement carbonatées dans les roches volcaniques du Groupe de Parent localement associées à des minéralisations de sulfures disséminés (Tremblay, 1989, 1991; Moorhead, 1996a).

L'intensité de la carbonatation est évaluée par l'ajout de CaO à la suite du calcul de bilan de masse. Tous les échantillons montrant un ajout de plus de 35 % de CaO ont été utilisés dans le modèle (153 échantillons). Le paramètre est plutôt efficace pour des distances inférieures à 100 m avec un contraste *WofE* de 6,141 (10e rang), lequel chute rapidement à 2,631 entre 200 et 300 m. La nature locale de ce facteur corrobore les observations de terrain qui montrent cette altération est généralement rencontrée dans l'environnement immédiat de la minéralisation.

Carbonates observés

Toutes les observations ponctuelles de carbonates dans les descriptions de terrain et dans les forages ont été extraites et utilisées dans le modèle. Ce paramètre est un indicateur acceptable qui se classe au 15e rang avec un contraste de 4,282 jusqu'à 200 m de distance.

Sulfures et métaux

Proximité d'une minéralisation en sulfures

Toutes les observations ponctuelles de pyrite, de pyrrhotite ou de chalcopyrite dans les géofiches ou dans les forages ont été regroupées et utilisées comme indicateurs. La plupart des occurrences se concentrent dans la partie occidentale du domaine. Leur prédictivité est bonne (4,880) jusqu'à 200 m et demeure efficace (2,726) jusqu'à 1400 m. Le paramètre se classe au 14e rang.

Analyses de métaux indicateurs

Les dépôts d'or orogénique sont communément enrichis en un certain nombre d'éléments métalliques (Hagemann et Cassidy, 2000). Puisés dans une banque de 5096 échantillons[4] et de 28 gîtes minéralisés disponibles dans la région d'étude, les éléments Ag, As, Au, Cu, Hg, Mo et Sb ont été testés et validés comme indicateurs de la présence de dépôts aurifères dans le Domaine Nord.

Proximité d'une anomalie en argent

Un seuil anomal de 2 ppm en Ag (centile 99,8) a été utilisé dans les analyses de roche, ce qui a permis de mettre en évidence 33 occurrences principalement situées dans la partie ouest du domaine. Cet élément est le meilleur indicateur de tous les paramètres, se classant au premier rang avec une valeur de contraste de 7,965 jusqu'à 400 m de distance et conservant une bonne prédictivité (2,426) jusqu'à 800 m.

Proximité d'une anomalie en arsenic

Pour l'arsenic, un seuil anomal de 10 ppm a été utilisé. Avec une prédictivité de 5,531 jusqu'à 100 m et de 3,076 jusqu'à 400 m, ce paramètre se classe au 12e rang.

4 La plupart de ces échantillons ont été réanalysés en 2012 par ICP-MS dans le cadre de ce projet.

Proximité d'une anomalie en or

Toutes les analyses contenant plus de 2 ppb et moins de 200 ppb en or ont été retenues[5], soit un total de 146 occurrences réparties à peu près également dans la partie centrale et dans la partie sud du Domaine Nord. Le paramètre est un indicateur efficace (contraste de 6,827), se classant au 4e rang parmi les paramètres considérés et conservant une excellente prédictivité jusqu'à 300 m de distance.

Proximité d'une anomalie en cuivre

Le seuil anomal utilisé pour le Cu est de 500 ppm (centile 99,3). Les échantillons retenus ont été filtrés pour éliminer les occurrences contenant plus de 200 ppm Ni. Ce filtre a pour but de retrancher les anomalies en Cu liées aux gîtes de Ni-Cu magmatiques très communs dans l'Orogène de l'Ungava. Les 73 occurrences extraites se situent très majoritairement dans la portion ouest du domaine, avec une concentration marquée près de sa terminaison ouest. Le paramètre constitue un très bon indicateur jusqu'à 300 m avec un fort contraste (7,282) qui le classe au 2e rang.

Proximité d'une anomalie en mercure

La réanalyse des échantillons par ICP-MS a permis d'utiliser cet élément qui n'était pas disponible jusque là. Un seuil anomal de 100 ppb a été utilisé (centile 99,5), ce qui a permis d'isoler 84 occurrences regroupées principalement dans la portion ouest du domaine. Avec une valeur de contraste de 6,447, le paramètre reste efficace jusqu'à 800 m de distance et se classe au 7e rang.

Proximité d'une anomalie en molybdène

Seuls les échantillons analysés par ICP-MS présentant des teneurs supérieures à 1 ppm ont été sélectionnés. Les 117 occurrences retenues sont dispersées dans la région d'étude, montrant toutefois une forte concentration dans la partie SW du domaine. Cet élément est un très bon indicateur avec un contraste de 7,016 à moins de 100 m, qui le classe au 3e rang. Le paramètre reste efficace jusqu'à 400 m de distance.

Proximité d'une anomalie en antimoine

Les échantillons analysés par ICP-MS présentant des teneurs supérieures à 0,1 ppm ont été retenus pour le traitement. L'antimoine s'avère être un bon indicateur (8e rang) avec un contraste de 6,330 qui décroît à 1,845 vers 400 m de distance.

Environnement secondaire

Analyses de sédiments de fond de lac

Bien que quelques analyses d'échantillons de till soient disponibles dans le secteur à l'étude, les échantillons de sédiments de lac sont la seule source de données de géochimie de l'environnement secondaire compatible avec ce type de modélisation. La valeur de contraste des sédiments de lac est presque toujours faible relativement aux autres paramètres, les lacs échantillonnés se situant généralement à plusieurs centaines ou plusieurs milliers de mètres des gîtes utilisés pour la calibration de la prédictivité. Malgré leur faible rang (19e, 21e 22e et 26e rang, annexe 1), ces paramètres restent toutefois des indicateurs intéressants, déterminés à partir d'un ensemble de 578 échantillons uniformément distribués dans l'ensemble de la région d'étude (Maurice et Lamothe, 2012).

Les éléments suivants ont été testés avec divers seuils anomaux : Ag, As[6], Au, Bi, Cu, Hg, Mo, Sb et Te. Seuls les éléments Au, Cu, Hg et Sb ont pu être utilisés comme indicateurs. Le choix du seuil anomal a été défini à l'aide de diagrammes de probabilité quantile-quantile (figure 5).

5 Le seuil inférieur est de 16 ppb pour les échantillons analysés par pyroanalyse ou activation neutronique, dont le seuil de détection était de 15 ppb. La limite supérieure de 200 ppb a été choisie pour éviter d'incorporer dans le traitement des échantillons qui auraient été utilisés dans l'ensemble de contrôle (voir la section « Sélection des paramètres »).

6 Bien que l'arsenic soit généralement un bon indicateur pour la modélisation de l'or orogénique (Lamothe, 2008), il semble que dans la présente région d'étude, cet élément soit ou bien peu présent dans les gîtes aurifères ou associé davantage à l'unité de pyroxénite du Groupe de Watts, dans laquelle très peu de gîtes aurifères sont connus.

Proximité d'une anomalie en or

Tous les échantillons contenant plus de 10 ppb en or (figure 5a) ont été retenus pour le traitement. Ce paramètre n'est pas un très bon indicateur (26e rang avec un contraste de 1,446) parce que l'or ne migre pas très loin de sa source dans l'environnement secondaire. La probabilité qu'un lac se situe à proximité d'un gîte aurifère dans le Domaine Nord est faible notamment à cause du faible nombre de lacs et de la densité relativement pauvre de l'échantillonnage dans ce secteur.

Proximité d'une anomalie en cuivre

Le seuil en cuivre de 368 ppm déterminé à partir de la figure 5b a permis de sélectionner 23 échantillons concentrés dans la partie centre nord et à l'extrémité ouest du domaine. Le paramètre conserve une prédictivité acceptable (2,372) jusqu'à 1000 m de distance et se classe au 21e rang.

Proximité d'une anomalie en mercure

Les 31 échantillons contenant une teneur supérieure à 166 ppb en mercure (figure 5c) ont été sélectionnés. Ils sont localisés dans le sud-ouest du domaine, ainsi que dans la partie centre nord comme le cuivre. Cet indicateur se classe au 22e rang avec un contraste de 2,147 sur une distance de 1000 m.

Proximité d'une anomalie en antimoine

Tous les échantillons avec des teneurs en antimoine supérieures ou égales à 0,5 ppm (figure 5d) ont été retenus. Ces 18 échantillons se distribuent dans le quart sud-ouest du domaine. Avec un contraste de 2,716 qui reste efficace jusqu'à 4 000 m de distance, l'antimoine se classe au 19e rang des paramètres et constitue le meilleur indicateur de l'environnement secondaire.

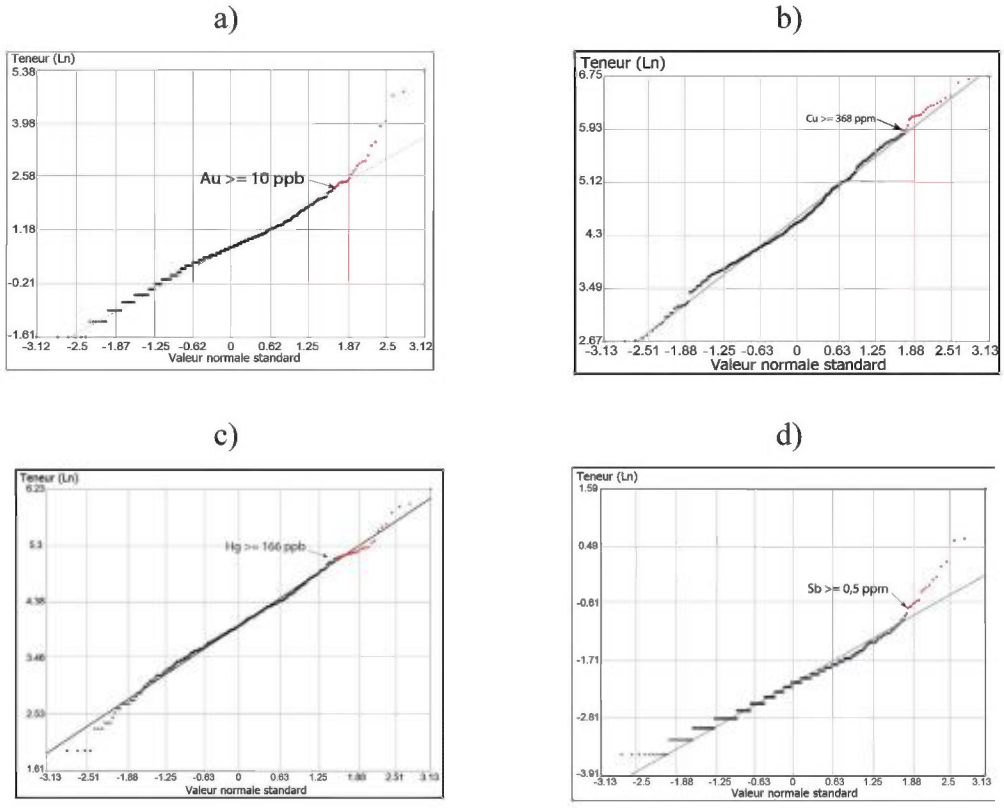


Figure 5 - Diagrammes de probabilité quantile-quantile pour les quatre éléments retenus pour les sédiments de fonds de lac : a) Distribution de l'or avec un seuil anomal à 10 ppb; b) Distribution du cuivre avec un seuil anomal à 368 ppm; c) Distribution du mercure avec un seuil anomal à 166 ppb; d) Distribution de l'antimoine avec un seuil anomal à 0,5 ppm.

Indicateur géophysique

Les données du levé magnétique fédéral interpolées à une maille de 200 m ont été utilisées pour ce traitement, le levé géophysique provincial à 75 m de résolution n'étant pas encore disponible lors de la réalisation de l'étude. Une première approche utilisant les données du champ magnétique total résiduel a été infructueuse. Le gradient magnétique vertical a donné toutefois des résultats plus intéressants. Dans un premier temps, les données ont été subdivisées en 10 classes par la méthode des seuils naturels (Jenks, 1967). La classe de valeurs comprises entre 0,02 et 1,32 nT/m a montré une association spatiale positive avec un contraste de 1,511, une valeur très faible qui se classe au 25e rang. Cette classe de valeur correspond grossièrement aux unités ultramafiques du Watts ou aux intrusions de la Suite de Cap Smith.

POTENTIEL EN MINÉRALISATIONS D'OR OROGÉNIQUE DU DOMAINE NORD DE L'OROGÈNE DE L'UNGAVA

La présente section aborde l'étape de la combinaison en sous-modèles intermédiaires des cartes de paramètres discutées dans les sections précédentes. Cette étape permet au modélisateur d'intervenir dans le traitement, alors que l'influence de chaque paramètre a été mesurée jusqu'ici empiriquement par l'association spatiale entre les données géologiques. Tel que mentionné dans la section *Méthodologie pour l'évaluation du potentiel minéral*, les valeurs de contraste calculées par *WofE* doivent auparavant être converties en valeurs floues. Ces valeurs sont réparties proportionnellement entre la valeur la plus élevée et la valeur la plus basse de l'ensemble des paramètres afin de permettre la combinaison des cartes de paramètres à l'aide d'une approche de logique floue. Une image matricielle floue utilisant les valeurs converties est subséquemment créée pour chaque paramètre.

Deux opérateurs flous ont été utilisés pour créer les sous-modèles intermédiaires (annexe 2), soit l'opérateur flou GAMMA et l'opérateur flou OU. Les différents facteurs des opérateurs GAMMA (entre parenthèses sur la figure de l'annexe 2) ont été calibrés en utilisant comme principale contrainte l'obligation d'atteindre, pour les cartes des sous-modèles ainsi que pour la carte finale, une valeur de base avoisinant 0,5[7].

Carte de la favorabilité associée au contrôle lithologique

La combinaison des trois cartes de paramètres associées au contrôle lithologique (annexe 2) est réalisée avec un opérateur GAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,889. La valeur maximale de cette carte est de 0,823. La figure 6 montre les secteurs de la région où le contrôle lithologique exerce la plus grande influence dans le contexte du modèle traité. Le traitement révèle que le contrôle lithologique est plus important dans la partie SW du Domaine Nord, notamment à proximité de la Faille Bergeron. On rencontre dans ce secteur une concentration importante de petites intrusions de la Suite de Cap Smith qui semblent spatialement associées à plusieurs gîtes aurifères.

7 Cette contrainte repose sur la présomption que les portions peu explorées de la région d'étude – donc sans évidences provenant des divers paramètres utilisés – sont considérées comme ni favorables, ni défavorables à la présence de minéralisations appartenant au modèle.

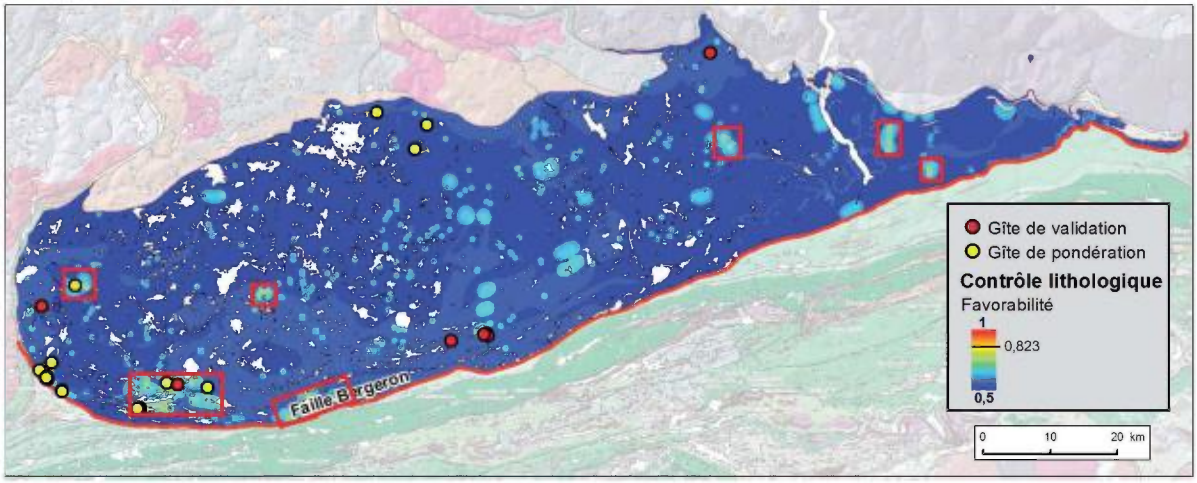


Figure 6 – Carte de la favorabilité associée au contrôle lithologique. Les polygones en rouge indiquent les secteurs les plus favorables.

Carte de la favorabilité associée au contrôle structural

L'image de la favorabilité reliée au contrôle structural est présentée à la figure 7. Le résultat est obtenu en combinant les trois cartes de paramètres de ce sous-modèle avec un opérateur GAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,885. La valeur maximale obtenue pour le contrôle structural est de 0,864.

Deux secteurs favorables ressortent en particulier, soit l'extrémité ouest du Domaine Nord, ainsi que sa bordure NE, près du contact avec les roches archéennes. Ces deux secteurs sont notamment caractérisés par une concentration élevée de failles de chevauchement couplée à quelques observations de veines de quartz dans la partie ouest.

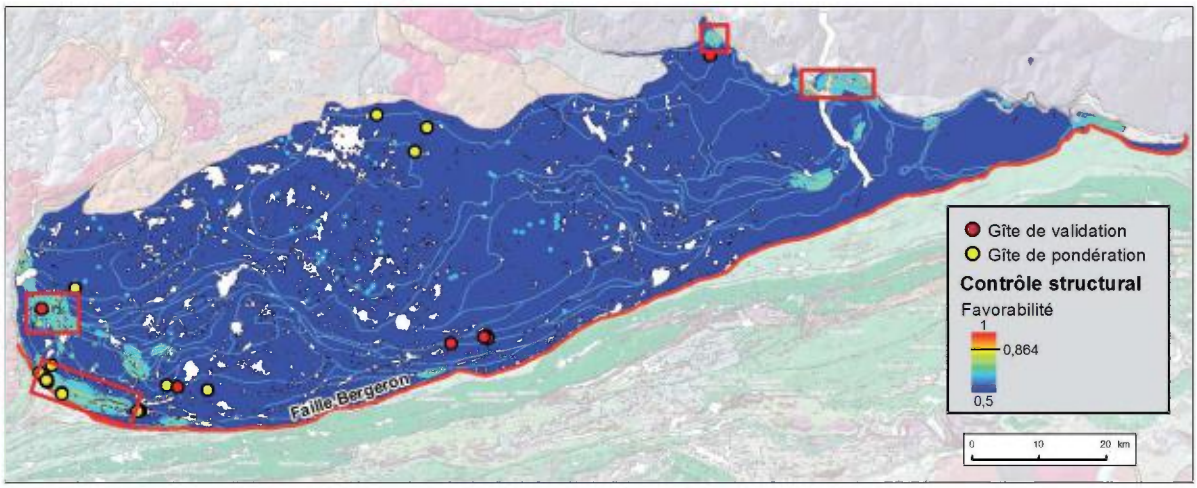


Figure 7 – Carte de la favorabilité associée au contrôle structural. Les extrémités ouest et NE du domaine sont les secteurs les plus favorables de ce sous-modèle.

Carte de la favorabilité associée à l'altération

La carte de la favorabilité associée à l'altération (figure 8) illustre les secteurs de la région d'étude affectés significativement par l'activité hydrothermale dans le contexte du modèle métallogénique traité. Elle est réalisée en combinant les cartes de l'altération chimique à l'aide d'un opérateur GAMMA auquel a été appliqué un facteur de 0,9723 (annexe 2). La valeur maximale dans la carte résultante est de 0,985. L'image finale de l'altération est réalisée en intégrant à l'image de l'altération chimique les observations locales de carbonates à l'aide d'un opérateur OU. Les zones les plus intéressantes se situent dans la moitié ouest du domaine, ainsi qu'à l'est du lac Serpentine et à l'extrémité est du domaine. Un des secteurs favorables associés au contrôle lithologique (figure 6) montre aussi une favorabilité élevée associée à l'altération (indiqué par la flèche, figure 8).

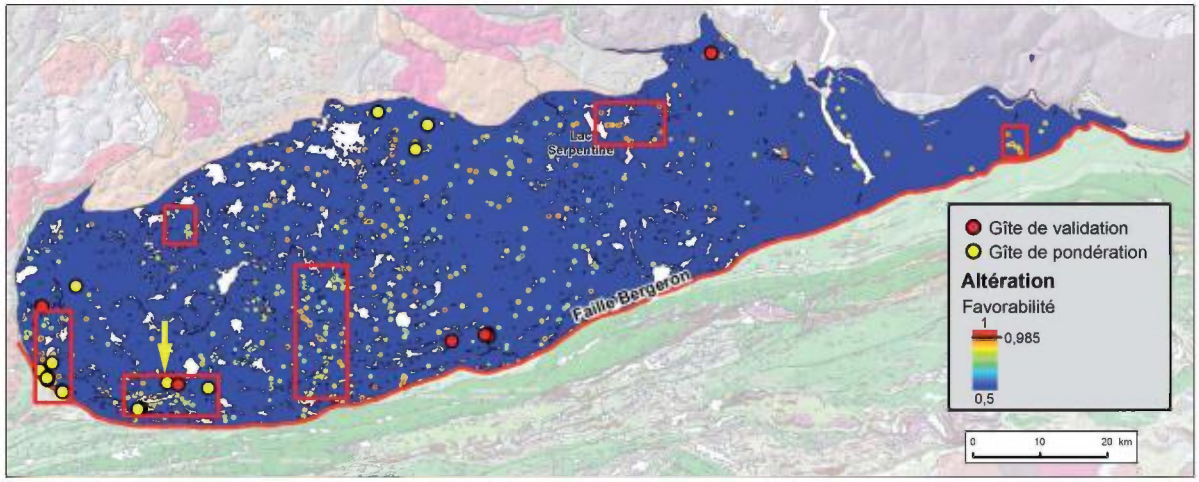


Figure 8 – Carte de la favorabilité associée à l'altération. Les polygones en rouge indiquent les secteurs les plus favorables. Le secteur ciblé par une flèche est identique à l'un des secteurs ciblés par le contrôle lithologique.

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

Les sept images de favorabilité des substances métalliques décrites au chapitre «Sulfures et métaux» ont été combinées en deux étapes distinctes. Dans un premier temps, l'argent , l'arsenic, l'antimoine et l'or, des éléments communément associés aux gîtes aurifères, ont été combinés avec un opérateur GAMMA de 0,9807 pour créer une image des métaux « primaires ». Le cuivre, le molybdène et le mercure, moins communs dans les dépôts d'or orogénique, ont été combinés avec un opérateur GAMMA de 0,9 pour créer une image des métaux « secondaires ». Les cartes des métaux primaires et secondaires ont ensuite été combinées avec un opérateur OU pour créer la carte des métaux indicateurs.

L'image du sous-modèle des sulfures et métaux (figure 9) a ensuite été générée par la combinaison à l'aide d'un opérateur OU des cartes de deux sous-modèles intermédiaires, soit celle des sulfures et celle des métaux indicateurs. La valeur maximale obtenue par la combinaison est de 0,961.

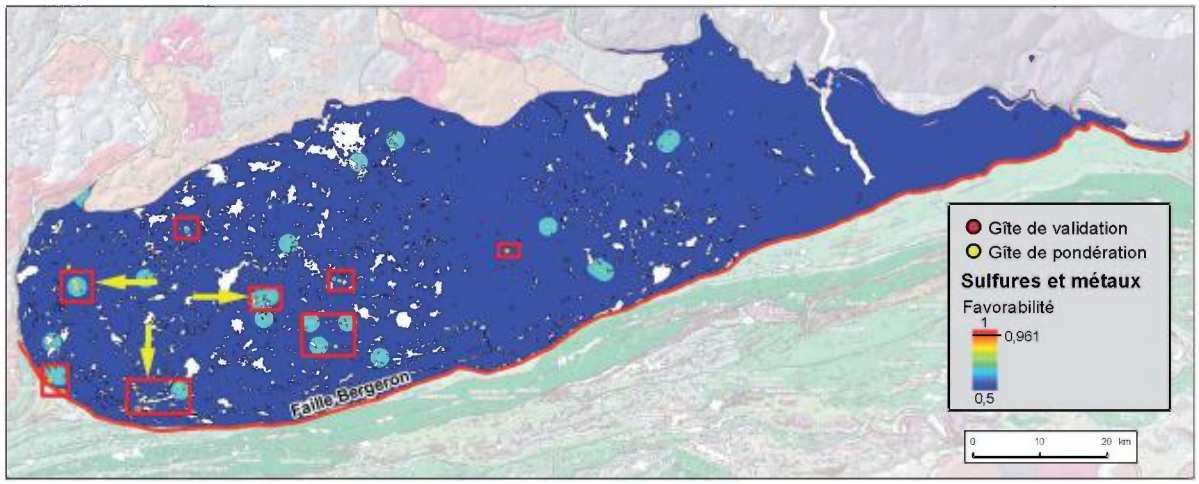


Figure 9 – Carte de la favorabilité associée à la présence de sulfures ou de teneurs élevées en métaux indicateurs. Les zones les plus favorables (polygones rouges) se situent essentiellement dans la partie ouest du domaine.

Carte de la favorabilité associée à l'environnement secondaire

La carte de la favorabilité associée à l'environnement secondaire (figure 10) est obtenue en combinant, à l'aide d'un opérateur GAMMA de 0,876, les quatre cartes de sédiments de lac pour l'or, le cuivre, le mercure et l'antimoine (annexe 2). Deux zones favorables se situent dans la partie centre nord du domaine, ainsi qu'à l'extrémité ouest. La zone nord a été ciblée par Maurice et Lamothe (2012) pour ses concentrations élevées en cuivre dans les sédiments de lacs. Quelques échantillons anomaux en or y sont aussi présents.

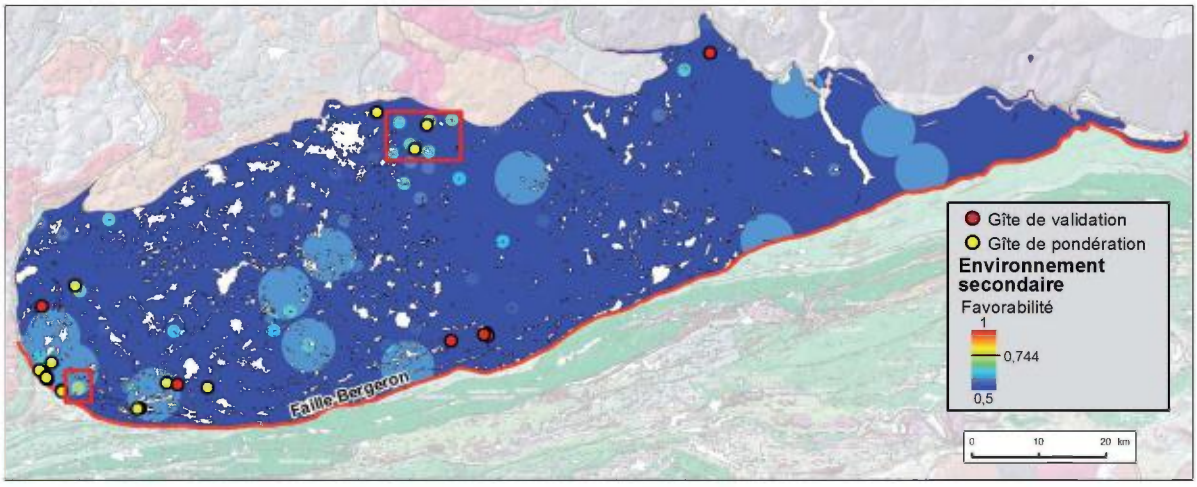


Figure 10 – Carte de la favorabilité associée aux indicateurs de l'environnement secondaire. Les zones les plus favorables (polygones rouges) se situent essentiellement dans les bordures ouest et nord du domaine.

Potentiel en or orogénique – carte finale

La carte du potentiel en minéralisations de type or orogénique dans le Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava est présentée à la figure 11 et sur la carte hors texte accompagnant ce document. Cette carte représente le résultat final de la combinaison des cartes des six grandes familles composant le traitement. L'image finale est obtenue en combinant tous les sous-modèles intermédiaires à l'aide d'un opérateur flou GAMMA avec un facteur de 0,846. Le spectre de valeurs floues générées à cette étape se répartit entre 0,500 et 0,758.

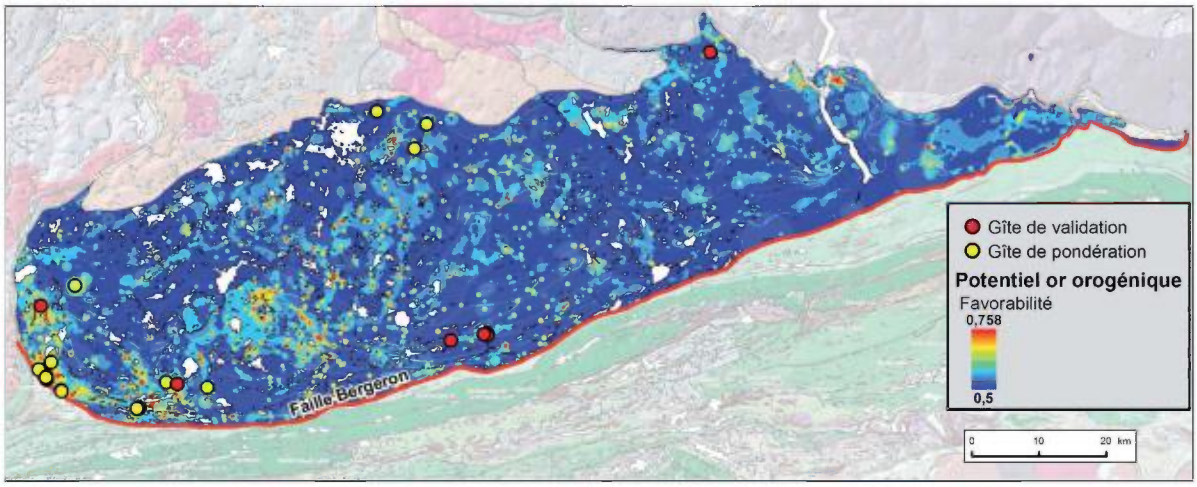


Figure 11 – Potentiel en minéralisations de type or orogénique dans le Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava. Voir la carte hors texte pour plus de détails.

Détermination des zones de haute favorabilité

Il est maintenant possible de définir à partir de la carte finale de favorabilité (ou de potentiel) présentée à l'étape précédente des zones de haute favorabilité (ZHF) associées aux minéralisations aurifères de type or orogénique. La création de ces zones devrait permettre d'orienter l'exploration minière en ciblant spécifiquement les secteurs les plus favorables.

La définition d'une ZHF implique la détermination d'un seuil de favorabilité minimale au-delà duquel on considère qu'une zone possède un potentiel significatif pour la présence de minéralisations du type recherché. Pour définir ce seuil, les valeurs de favorabilité finale correspondant aux 24 gîtes aurifères du Domaine Nord ont été reportées sur un diagramme de probabilité normale quantile-quantile (figure 12). Un seuil de favorabilité minimale incorporant arbitrairement les deux tiers (67 %) des gîtes ou anomalies aurifères (points rouges) du Domaine Nord a été fixé à la valeur de 0,647 (figure 12). Les huit gîtes ou anomalies se situant sous ce seuil de favorabilité minimale correspondent à une population mal ciblée par le modèle parce que les données disponibles pour ces minéralisations sont insuffisantes ou contradictoires.

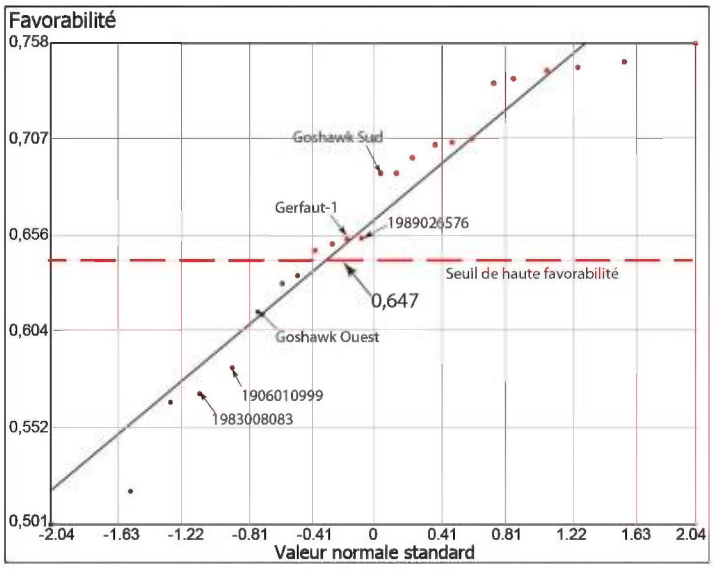


Figure 12 - Détermination du seuil minimal de haute favorabilité à l'aide d'un diagramme de probabilité normale quantile-quantile. Les valeurs observées (en ordonnée) correspondent à la valeur de favorabilité mesurée sur la carte finale de favorabilité pour chacun des 24 gîtes aurifères. Ce type de diagramme permet de distinguer les différentes populations d'un ensemble. Regroupant 67 % (16 sur 24) des gîtes aurifères du Domaine Nord, le groupe de gîtes dont la valeur de favorabilité est supérieure à 0,647 (en rouge) définit une population homogène distincte qui répond bien aux critères du modèle. Les huit gîtes identifiés en grisé sont situés sous le seuil de haute favorabilité et répondent mal au modèle. Les gîtes ou anomalies aurifères identifiés sur le diagramme correspondent à ceux utilisés pour valider le résultat final.

Il est possible de définir, à partir de la carte finale de favorabilité, un ensemble de cellules dont les valeurs sont égales ou supérieures au seuil de favorabilité minimale de 0,647 et de convertir ces groupes de cellules en polygones. Ceux-ci ont été regroupés pour constituer 101 zones de haute favorabilité subdivisées en cinq classes de potentiel (figure 13, carte hors texte). Cette nouvelle version diffère de celle publiée en novembre 2012 qui ne comprenait que 54 cibles. Cela est dû principalement à l'ajout de nouvelles données analytiques dans SIGÉOM depuis la première version de la carte, ainsi qu'à un ajustement des opérateurs pour mieux respecter le principe d'une valeur de fond à 0,5. Les ajustements des divers opérateurs lors de la génération des divers sous-modèles ont modifié le résultat de la carte finale, de sorte que la géométrie des nouvelles cibles diffère sensiblement des anciennes. Toutes les cibles proposées sont le résultat de la combinaison d'au moins deux des six grandes familles de paramètres.

La nouvelle version comprend donc 47 cibles supplémentaires non publiées antérieurement, notamment à l'est et à l'ouest du lac Watts, ainsi qu'au NE et au SE du lac Belleau (figure 13 et carte hors texte). Ce dernier secteur est particulièrement intéressant, puisqu'il montre une concentration marquée de ZHF dont le potentiel varie de bon à élevé. La bordure nord et est de la Faille Bergeron, à l'extrémité ouest du Domaine Nord, demeure toutefois la zone la plus prometteuse, avec une forte concentration de zones à potentiel très bon ou élevé.

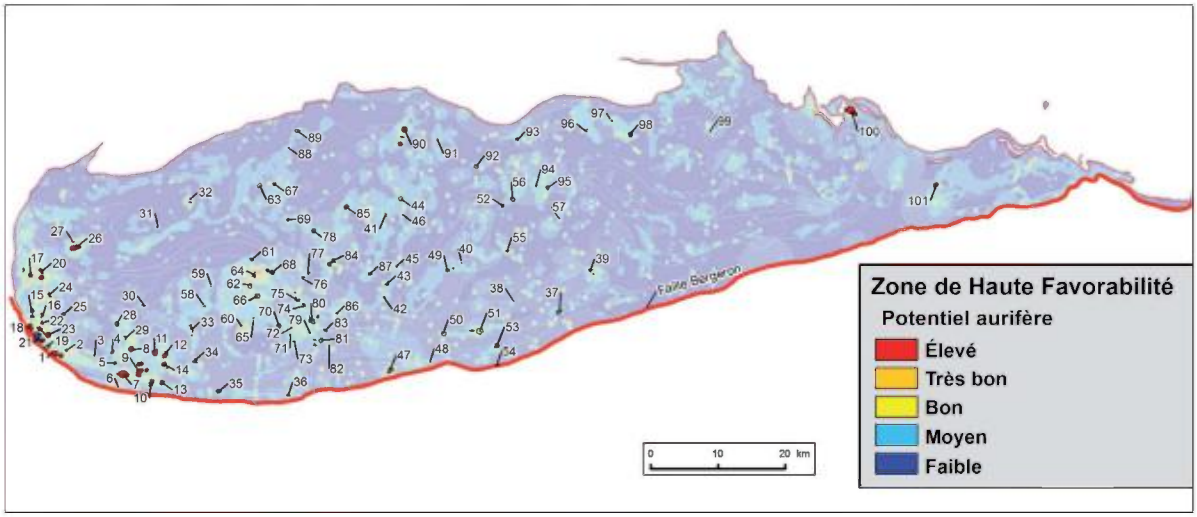


Figure 13 - Localisation des 101 zones de haute favorabilité pour les minéralisations aurifères de type or orogénique dans le Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava.

Validation des résultats

La figure 14 présente un diagramme illustrant la prédictivité de la carte de favorabilité pour les 24 gîtes ou anomalies aurifères utilisés dans cette étude. Il indique le pourcentage cumulé des gîtes ciblés (en ordonnée) en fonction de la surface occupée (en pourcentage cumulé) par les cellules de la carte triées par ordre décroissant de valeur de favorabilité (en abscisse). La portion gauche agrandie du diagramme montre que 84 % des corps aurifères se retrouvent dans 5 % de la surface de favorabilité supérieure.

Les diverses courbes représentées sur le diagramme illustrent la prédictivité du résultat final en fonction de modélisations utilisant un nombre décroissant de corps aurifères sélectionnés au hasard. Alors qu'il y a relativement peu de différences entre les traitements utilisant 24 ou 18 points, on remarque une baisse significative de prédictivité pour les traitements utilisant 12 ou 7 points. Ce type de diagramme permet d'évaluer la robustesse du modèle et de fixer le nombre de corps aurifères qu'il est possible de soustraire du traitement, dans le but d'évaluer la validité de la carte finale, tout en conservant la meilleure prédictivité possible. On constate qu'il est possible d'enlever aléatoirement jusqu'à six corps de l'ensemble total et de réaliser la pondération complète des paramètres avec seulement 18 points sans affecter indûment le résultat final, ce qui a été fait dans la présente étude.

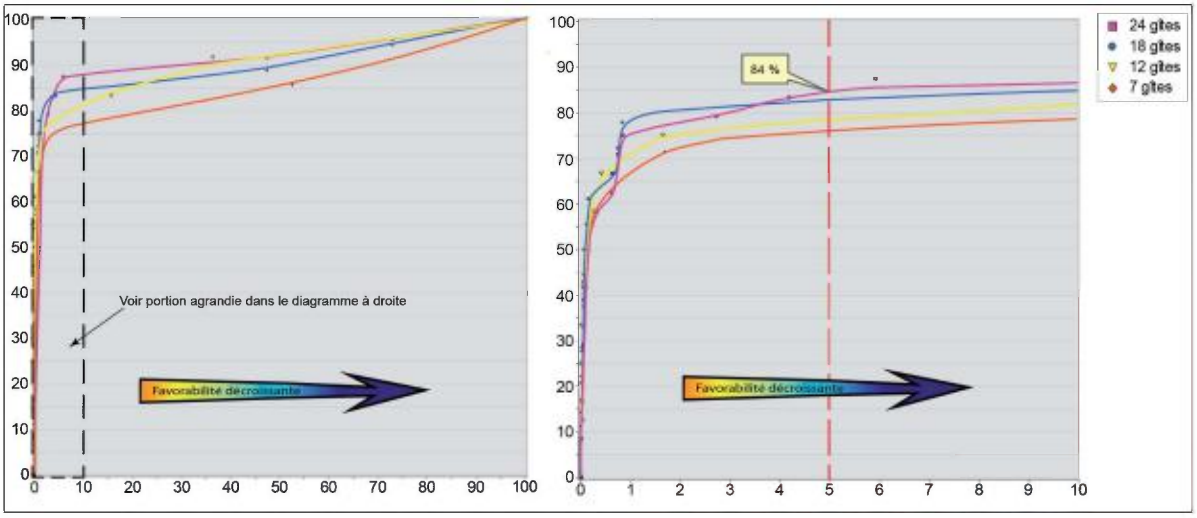


Figure 14 - Diagramme illustrant la prédictivité et la robustesse de la carte de favorabilité finale. La prédictivité de la carte est maximale avec un ensemble de pondération de 24 corps aurifères, 84 % d'entre eux se situant dans le groupe des cellules les plus favorables équivalant à 5 % de la surface de la carte. Si le traitement est réalisé avec des ensembles de pondération progressivement moins nombreux, la prédictivité de la carte diminue proportionnellement. La réalisation du traitement avec des nombres décroissants de corps aurifères permet d'évaluer la robustesse du modèle et de déterminer le nombre de corps qui peuvent être soustraits du traitement (dans un but ultérieur de validation) sans diminuer significativement la prédictivité du résultat final.

CONCLUSIONS

La modélisation du potentiel de type or orogénique du Domaine Nord de l'Orogène de l'Ungava a permis de déterminer qu'il est possible d'évaluer le potentiel aurifère de ce secteur en utilisant 27 paramètres géologiques. La modélisation a permis d'identifier 101 cibles (zones de haute favorabilité) largement concentrées dans la partie ouest du domaine. Le traitement amélioré a permis de générer 47 cibles de plus que la première version du traitement diffusée dans GESTIM en novembre 2012.

Les résultats confirment que la zone bordant la Faille Bergeron, de même que le territoire au SE du lac Belleau, constituent deux secteurs prioritaires pour l'exploration aurifère

L'approche utilisée s'est avérée robuste, alors qu'il a été démontré qu'il est possible de soustraire jusqu'à 25 % de la population des corps aurifères (6 sur 24) sans affecter significativement la prédictibilité des résultats finaux. Le traitement démontre aussi qu'il est possible de générer une carte de potentiel aurifère fiable malgré le faible niveau d'exploration du secteur choisi relativement aux régions de l'Abitibi (Lamothe et Harris, 2006) et de la Baie-James (Lamothe, 2008). La différence entre les différents degrés d'exploration de ces régions s'exprime essentiellement dans l'intensité proportionnellement décroissante de la favorabilité maximale (0,900 pour l'Abitibi; 0,872 pour la Baie-James; 0,758 pour le Domaine Nord) en fonction de la quantité d'information disponible. Cette variation est, dans une certaine mesure, une indication de la fiabilité relative des résultats finaux, statistiquement corroborés avec moins de certitude dans les cas où les données sont plus rares. En contrepartie, un facteur de favorabilité peu élevé n'est pas nécessairement une indication de potentiel nul, mais peut aussi être la conséquence d'une absence d'informations géologiques.

RÉFÉRENCES

AN, P. – MOON, W. – RENCZ, A.N., 1991 – Application of fuzzy theory for integration of geological, geophysical and remotely sensed data. Canadian Journal of Exploration Geophysics; volume 27, pages 1-11.

AN, P. – MOON, W.M. – BONHAM-CARTER, G.F., 1992 – On a knowledge-based approach of integrating remote sensing, geophysical and geological information. Proceedings IGARSS'92; pages 34-38.

BARRETTE, P.D., 1990a – Géologie de la région du lac Bilson (Fosse de l'Ungava). Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 85-15, 28 pages.

BARRETTE, P.D., 1990b – Géologie de la région du lac Bolduc (Fosse de l'Ungava). Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 89-03, 39 pages.

BEALL, G.H., 1959. Rapport préliminaire sur la région du lac Cross, Nouveau-Québec. Ministère des Mines, Québec; RP-396.

BEALL, G.H., 1960. Rapport préliminaire sur la région du lac Laflamme, Nouveau-Québec. Ministère des Mines, Québec; RP-435.

BELL, R., 1885 – Observations on the geology, mineralogy, zoology and botany of the Labrador Coast, Hudson Strait and Bay. Geological Survey of Canada; Report of Progress, pages 1882-84.

BERGERON, R., 1957. Rapport préliminaire sur la bande de Cap-Smith - Wakeham, Nouveau Québec. Ministère des Mines, Québec; RP-355.

BERGERON, R. 1959. Rapport préliminaire sur la région des monts Povungnituk, Nouveau-Québec. Ministère des Mines, Québec; RP-392.

BONHAM-CARTER, G.F. – AGTERBERG, F.P. – WRIGHT, D.F., 1989 – Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. *In:* Statistical applications in the Earth Sciences. Geological Survey of Canada; Paper 89-9, pages 171-183.

BROWN, W. – GROVES, D.I. – GEDEON, T., 2003 – Use of fuzzy membership input layers to combine subjective geological knowledge and empirical data in a neural network method for mineral-potential mapping. Natural Resources Research; volume 12, numéro 3, pages 183-200.

CHUNG, C.F. – MOON, W.M., 1991 – Combination rules of spatial geoscience data for mineral exploration. Geoinformatics; volume 2, pages 159-169.

CORRIGAN, D., – GALLEY, A.G. – PEHRSSON, S., 2007 – Tectonic evolution and metallogeny of the southwestern Trans-Hudson Orogen. *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 881-902.

CORRIGAN, D. – PEHRSSON, S. – WODICKA, S. – de KEMP, E., 2009 – The Palaeoproterozoic Trans-Hudson Orogen: a prototype of modern accretionary processes. *In:* Ancient Orogens and Modern Analogues (Murphy, J.B., Keppie, J.D. and Hynes, A.J., editors). Geological Society, London; Special Publications, volume 327, pages 457-479.

DAIGNEAULT, R., 1996 – Géologie des Formations en Surface, Région du Cap Wolstenholme et de Kovik Bay, Québec-Territoires du Nord-Ouest. Commission géologique du Canada; carte 1861A.

DeMONTIGNY, P.A., 1959. Rapport préliminaire sur la région de la rivière Déception, Nouveau-Québec. Ministère des Mines, Québec; RP 398.

DUNPHY, J.M. – LUDDEN, J.N. – PARRISH, R.R., 1995 – Stitching together the Ungava Orogen, northern Quebec: geochronological (TIMS and ICP-MS) and geochemical constraints on late magmatic events. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 32, pages 2115-2127.

DUNPHY, J.M. – LUDDEN, J.N., 1998 – Petrological and geochemical characteristics of a Paleoproterozoic magmatic arc (Narsajuaq terrane, Ungava Orogen, Canada) and comparisons to Superior Province granitoids. Precambrian Research; volume 91, pages 109-142.

EISENLOHR, B.N. – GROVES, D.I. – PARTINGTON, G.A., 1989 – Crustal-scale shear zonesand their significance to Archean gold mineralization in Western Australia. Mineralium Deposita; volume 24, pages 1-8.

ERNST, R. – BLEEKER, W., 2010 – Large igneous provinces (LIPs), giant dyke swarms, and mantle plumes: significance for breakup events within Canada and adjacent regions from 2.5 Ga to the Canadian Present. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 47, pages 695-739.

GÉLINAS, L., 1962. Rapport préliminaire sur la région du lac Watts, Nouveau-Québec. Ministère des Richesses Naturelles, Québec; RP-471.

GIOVENAZZO, D. – PICARD, D. – TREMBLAY, C. – LEFEBVRE, C., 1991 – Gîtologie de la partie occidentale de la Fosse de l'Ungava: Régions des lacs Chukotat, Vanasse, Hubert et Lessard. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MB 91-23, 102 pages.

GOLD, D.P., 1962. Rapport préliminaire sur la région du lac Brisebois, Nouveau-Québec. Ministère des Richesses Naturelles, Québec; RP-470.

GOLDFARB R.J. – BAKER, T. – DUBÉ, B. – GROVES, D.I. – HART, C.J.R. – GOSSELIN, P., 2005 – Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *In:* Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume (Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. and Richard, J.P., editors). Society of Economic Geologists; pages 407-450.

GROVES D.I. – BARLEY, M.E. – HO, S.E., 1989 – Nature, genesis and tectonic setting of mesothermal gold mineralization in the Yilgarn block, Western Australia. *In:* The geology of gold deposits : The perspective in 1988 (Kays, R.R., Ramsay W.R.H., Groves, D.I., editors). The Economic Geology Publishing Company; Economic Geology Monograph 6, pages 71-85.

GROVES, D.I. – GOLDFARB, R.J. – GEBRE-MARIAM, M. – HAGEMANN, S.G. – ROBERT, F., 1998 – Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. Ore Geology Reviews; volume 13, pages 7-27.

GUNNING, H.C., 1934 – Sulphide deposits at Cape Smith, east coast of Hudson Bay; Geological Survey of Canada; Summary Report 1933, Part D, pages 139-154.

HAGEMANN, S.G. – CASSIDY, K.F., 2000 – Archean orogenic lode gold deposits. *In:* Gold in 2000 (Hagemann, S.G. and Brown, P.E., editors). Society of Economic Geologists; Reviews in Economic Geology volume 13, pages 9-68.

HARRIS, J.R., 1989 – Data Integration for gold exploration in eastern Nova Scotia using a GIS. *In:* Proceedings of Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary, Alberta. Environmental Research Institute of Michigan; pages 233-249.

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, numéro 2, 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.

HERVET, M., 1985 – Géologie de la région de la vallée Narsajuaq, Fosse de l'Ungava. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DV 85-05 (carte annotée).

JENKS, G.F., 1967 – The Data Model Concept in Statistical Mapping. International Yearbook of Cartography; volume 7, pages 186-190.

LAMOTHE, D., 1994 – Géologie de la Fosse de l'Ungava, Nouveau-Québec. *In :* Géologie du Québec (Hocq, M, éditeur). Ministère des Ressources naturelles, Québec; MM 94-01, pages 67-74.

LAMOTHE, D., 2007 – Lexique stratigraphique de l'Orogène de l'Ungava. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DV 2007-03, 66 pages.

LAMOTHE, D., 2008 – Évaluation du potentiel en minéralisations de type or mésothermal de la Baie James. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; EP 2008-01, 1 cédérom.

LAMOTHE, D., 2009 – Évaluation du potentiel minéral pour les gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie James. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; EP 2009-01, 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, Québec; EP 2011-01, 18 pages, 1 cédérom.

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, Québec; EP 2012-01, 44 pages, 1 cédérom.

LAMOTHE, D. – PICARD, C. – MOORHEAD, J., 1984 – Bande de Cap Smith-Maricourt, région du lac Beauparlant. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DV 84-39 (carte annotée).

LAMOTHE, D. – HARRIS, J.R. – LABBÉ, J.-Y. – DOUCET, P. – HOULE, P. – MOORHEAD, J., 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, Québec; EP 2005-01, 1 cédérom.

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, Québec; EP 2006-01, 1 cédérom.

LOW, A.P., 1899 – Report on an exploration of part of the south shore of Hudson Strait and Ungava Bay; Geological Survey of Canada; Annual Report, Volume XI, Part L.

LOW, A.P., 1902 – Report on an exploration of the east coast of Hudson Bay from Cape Wolstenholme to the south end of James Bay; Geological Survey of Canada; Annual Report, Volume XIII, Part D.

MACHADO, N. – DAVID, J. – SCOTT, D.J. – LAMOTHE, D. – PHILIPPE, S. – GARIÉPY, C., 1993 – U-Pb geochronology of the western Cape Smith Belt, Canada: new insights on the age of initial rifting and arc magmatism. Precambrian Research; volume 63, pages 211-223.

MAXEINER, R.O. – HARPER, C. – CORRIGAN, D. – MacDOUGALL, D.G., 2004 – La Ronge-Lynn Lake Bridge Project: Geology of the Southern Reindeer Lake area. Saskatchewan Industry and Resources; Open File Report 2003-1, 2 CD-ROM et 3 cartes.

MAURICE, C., – LAMOTHE, D., 2012 – Nouveau levé géochimique de sédiments de lac dans l'extrême nord du Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; PRO 2012-03, 10 pages.

MIHALASKI, M.J. – BONHAM-CARTER, G.F., 2001 – Lithodiversity and its spatial association with metallic mineral sites, Great Basin of Nevada. Natural Resources Research; volume 10, numéro 3, pages 1-30.

MOORHEAD, J. 1986 – Géologie de la région du lac Chukotat, Fosse de l'Ungava. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DP 86-01 (carte annotée).

MOORHEAD, J. 1988 – Géologie de la région du lac Vigneau, Fosse de l'Ungava. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DP 88-05 (carte annotée).

MOORHEAD, J., 1989 – Géologie de la région du lac Chukotat, Fosse de l'Ungava. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 87-10.

MOORHEAD, J., 1996a – Géologie de la région du lac Hubert, Fosse de l'Ungava. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 91-06, 120 pages.

MOORHEAD, J., 1996b – Géologie de la région du lac Vigneau, Fosse de l'Ungava. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MB 91-21, 93 pages.

PARRISH, R.R., 1989 – U-Pb geochronology of the Cape Smith Belt and Sugluk block, northern Quebec. Geoscience Canada; volume 16, pages 126-130.

PICARD, C. – LAMOTHE, D. – PIBOULE, M. – OLIVIER, R. 1990 – Magmatic and geotectonic evolution of a Proterozoic oceanic basin system: the Cape Smith Thrust-Fold Belt (New Quebec). Precambrian Research; volume 47, pages 223-249.

PICARD, C. – GIOVENAZZO, D. – THIBERT, F. – TREMBLAY, C., 1994 – Pétrographie, géochimie et gîtologie des roches plutoniques ultramafiques et mafiques protérozoïques de la partie centrale de la Fosse de l'Ungava : implications sur la distribution des éléments du groupe des platinoïdes. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 94-30, 402 pages.

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, numéro 1, pages 1-25.

ROBERT, F., 1990 – An Overview of Gold Deposits in the Eastern Abitibi Belt. In: The Northeastern Quebec Polymetallic belt: A Summary of 60 Years of Mining Exploration (Rive, M., Verpaelst, P., Gagnon, Y., Lulin, J., Riverin, G. and Simard, A., editors). Canadian Institute of Mining and Metallurgy; Special Volume 43, pages 93-105.

ROBERT, F. – POULSEN, K.H. – CASSIDY, K.F. – HODGSON, C.J., 2005 – Gold metallogeny of the Superior and Yilgarn Cratons. *In:* Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume (Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. and Richard, J.P., editors). Society of Economic Geologists; pages 407-450.

ROY, C., 1985 – Géologie de la région du lac Bélanger, Fosse de l'Ungava. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. DP 85-15 (carte annotée).

ROY, C., 1989 – Géologie de la région du lac Bélanger, Fosse de l'Ungava. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MB 89-13.

SCOTT, D.J., 1990 – Geology and geochemistry of the Early Proterozoic Purtuniq ophiolite, Cape Smith Belt, northern Quebec, Canada. Thèse de doctorat, Université Queen's, Kingston, Ontario.

SCOTT, D.J. – ST-ONGE, M.R. – LUCAS, S.B. – HELMSTEADT, H., 1991 – Geology and chemistry of the Early Proterozoic Purtuniq ophiolite, Cape Smith Belt, northern Quebec, Canada. *In* : Ophiolite genesis and evolution of the oceanic lithosphere (Peters, T., editor). Kluwer Academic Publishers, Amsterdam; pages 825-857.

SCOTT, D.J. – HELMSTEADT, H. – BICKLE, M.J., 1992 – Purtuniq ophiolite, Cape Smith Belt, northern Quebec, Canada : a reconstructed section of early Proterozoic oceanic crust. Geology; volume 20, pages 173-176.

ST-ONGE, M.R. – LUCAS, S.B, 1990 – Evolution of the Cape Smith belt: Early Proterozoic continental underthrusting, ophiolite obduction and thick-skinned folding. *In:* The Early Proterozoic Trans-Hudson Orogen of North America (Lewry, J.F. and Stauffer, M.R., editors). Geological Association of Canada; Special Paper 37, pages 313-351.

ST-ONGE, M.R. – LUCAS, S.B, 1992 – New insight on the crustal structure and tectonic history of the Ungava Orogen, Kovik Bay and Cap Wolstenholme, Quebec. Geological Survey of Canada; Current Research, part C, Paper 92-1C, pages 31-41.

ST-ONGE, M.R. – LUCAS, S.B, 1993 – Geology of the Eastern Cape Smith Belt: Parts of the Kangiqssujuaq, Cratère du Nouveau-Québec, and Lacs Nuvilik map areas, Quebec. Geological Survey of Canada; Memoir 438, 110 pages.

STAM, J.C., 1961. On the geology and petrology of the Cape Smith - Wakeham Bay belt, Ungava, New Quebec; Géologie en Mijnbouw; volume 40, pages. 412-421.

TOGOLA, N., 1992 – Géologie de la région de la Baie Korak (Fosse de l'Ungava). Ministère de l'Énergie et des Ressources; Québec, ET 91-07, 39 pages.

TREMBLAY, G., 1989 – Géologie de la région du lac Vanasse. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 87-08, 21 pages.

TREMBLAY, G., 1991 – Géologie de la région du lac Lessard. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 88-09, 24 pages.

Annexe 1 – Évaluation de la favorabilité de chacun des paramètres utilisés

Propriété ou distance (m)	Contraste	Valeur floue	Rang
Contrôle lithologique			
Unité stratigraphique favorable			
Unités volcaniques du Groupe de Parent et unités ultramafiques du Groupe de Watts	1,394	0,588	27
Autres unités	-1,394	0,404	
Proximité d'une occurrence volcanique ponctuelle			
0 - 100	3,070	0,693	16
100 - 200	1,717	0,608	
> 200	-2,482	0,330	
Lithodiversité			
>= 4 lithologies/km²	1,879	0,618	23
< 4 lithologies/km²	-1,879	0,371	
Proximité d'une unité de roches intrusives de la Suite de Cape Smith			
0 - 500	4,177	0,762	17
500 - 1000	1,983	0,624	
> 1000	-3,568	0,255	
Proximité d'une occurrence ponctuelle de la Suite de Cape Smith			
0 - 500	2,988	0,688	18
> 500	-2,988	0,295	
Contrôle structural			
Proximité d'une faille			
0 - 100	1,852	0,616	24
> 100	-1,852	0,373	
Densité de failles			
Densité de faille > 1,223	2,711	0,670	20
Densité de faille <= 1,223	-2,711	0,314	
Proximité de veines de quartz ou de carbonates			
0 -100	5,014	0,815	13
100 - 400	2,051	0,629	
> 400	-2,754	0,311	
Évidences d'activité hydrothermale			
Altération chimique			
Altération potassique			
0 - 100	6,245	0,892	9
100 - 200	4,382	0,775	
200 - 300	3,390	0,713	
300 - 400	1,872	0,618	
> 400	-4,849	0,167	
Altération sodique			
0 - 100	6,804	0,927	5
100 - 200	4,423	0,778	
200 - 300	2,932	0,684	
> 300	-5,230	0,141	
Altération magnésienne			
0 - 100	5,918	0,872	11
100 - 200	3,309	0,708	
200 - 300	2,741	0,672	
300 - 400	2,976	0,687	
> 400	-4,413	0,197	
Silicification			
0 - 100	6,709	0,921	6
100 - 200	3,978	0,750	
200 - 400	2,529	0,659	
> 400	-4,583	0,185	
Carbonatation			
0 - 100	6,141	0,929	10
100 - 200	4,045	0,670	
200 - 300	2,631	0,639	
> 300	-4,286	0,133	

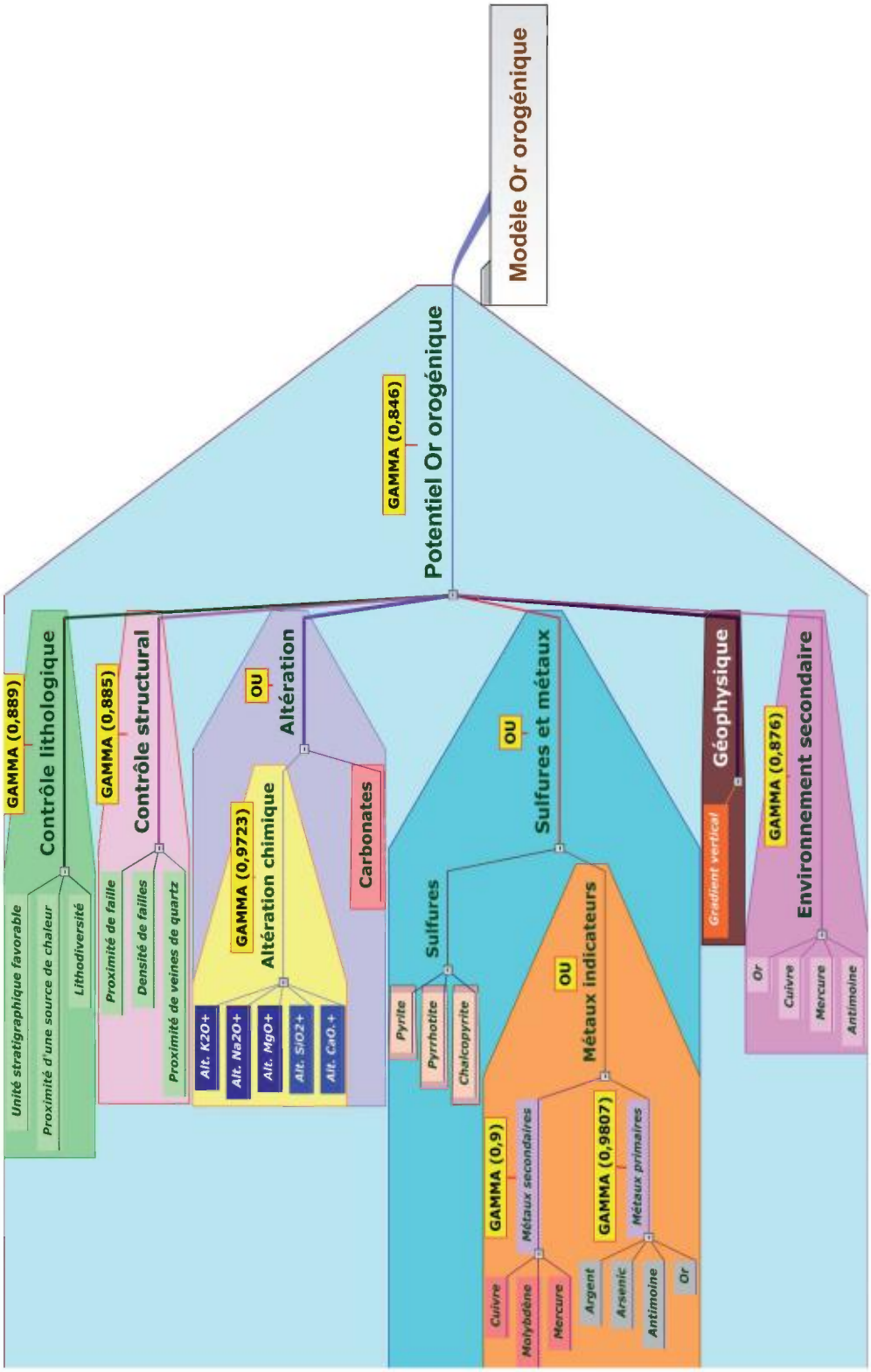
Unité ou Distance = Nom des unités favorables retenues ou classes de distance utilisées; **Contraste** = mesure de prédictivité calculée par *WofE* ; **Valeur floue** = Valeur obtenue par la transformation du contraste en valeur floue; **Rang** = ordre de favorabilité du paramètre.

Annexe 1 – Évaluation de la favorabilité de chacun des paramètres utilisés (suite et fin)

Propriété ou distance (m)	Contraste	Valeur floue	Rang	Perti-nence
Évidences d'activité hydrothermale (suite)				
Minéraux d'altération				
Carbonates observés				
0 - 200	4,282	0,769	15	9%
> 200	-4,282	0,135		
Présence de sulfures				
Proximité d'une minéralisation en sulfures				
0 - 200	4,880	0,806	14	37%
200 - 1400	2,726	0,671		
> 1400	-2,970	0,247		
Métaux indicateurs				
Proximité d'une anomalie en argent				
0 - 400	7,965	0,999	1	22%
400 - 800	2,426	0,652		
> 800	-5,630	0,020		
Proximité d'une anomalie en arsenic				
0 - 100	5,531	0,847	12	44%
100 - 400	3,076	0,693		
> 400	-3,677	0,248		
Proximité d'une anomalie en or				
0 - 50	6,827	0,929	4	96%
50 - 100	2,922	0,683		
100 - 300	2,352	0,648		
> 300	-4,448	0,195		
Proximité d'une anomalie en cuivre				
0 - 300	7,282	0,957	2	37%
> 300	-7,282	0,001		
Proximité d'une anomalie en mercure				
0 - 300	6,447	0,905	7	43%
300 - 400	3,495	0,719		
400 - 800	1,621	0,602		
> 800	-4,646	0,181		
Proximité d'une anomalie en molybdène				
0 - 200	7,016	0,940	3	50%
200 - 400	3,523	0,721		
> 400	-5,682	0,110		
Proximité d'une anomalie en antimoine				
0 - 100	6,330	0,897	8	76%
100 - 200	3,870	0,743		
200 - 300	2,827	0,677		
300 - 400	1,845	0,616		
> 400	-4,506	0,191		
Environnement secondaire				
Proximité d'une anomalie en or dans les sédiments de lac				
0 - 1000	1,446	0,591	26	0%
> 1000	-1,446	0,401		
Proximité d'une anomalie en cuivre dans les sédiments de lac				
0 - 1000	2,372	0,649	21	2%
> 1000	-2,372	0,298		
Proximité d'une anomalie en mercure dans les sédiments de lac				
0 - 1000	2,147	0,635	22	6%
> 1000	-2,147	0,317		
Proximité d'une anomalie en antimoine dans les sédiments de lac				
0 - 4000	2,716	0,671	19	46%
> 4000	-2,716	0,269		
Indicateur géophysique				
Gradient vertical				
0,02 - 1,32 gamma/mètre	1,511	0,616	25	80%
autres valeurs	-1,511	0,342		

Distance = classes de distance utilisées; **Contraste** = mesure de prédictivité calculée par *WofE*; **Valeur floue** = Valeur obtenue par la transformation du contraste en valeur floue; **Rang** = ordre de favorabilité du paramètre.

Annexe 2 – Modèle d'inférence du potentiel pour les minéralisations aurifères de type orogénique dans le Domaine Nord de la Fosse de l'Ungava



Ce modèle d'inférence illustre le processus de combinaison des 27 paramètres géologiques utilisés dans le traitement. Les divers paramètres ainsi que les sous-modèles ont tous été combinés à l'aide d'opérateurs de logique floue. Le chiffre entre parenthèses après les opérateurs FUZZYGAMMA représente le facteur utilisé pour calibrer le sous-modèle afin que la valeur de bruit de fond de la carte finale se situe autour de 0,5. Dans un but de simplification, les paramètres « Unité géologique favorable » et « Proximité d'une occurrence volcanique ponctuelle » ont été regroupés dans le niveau « Unité stratigraphique favorable », et les paramètres « Proximité d'une unité de roches intrusives de la Suite de Cap Smith » et « Proximité d'une occurrence ponctuelle de la Suite de Cap Smith » d'autre part, ont été regroupés dans le niveau « Proximité d'une source de chaleur ».

Énergie et Ressources naturelles
Québec