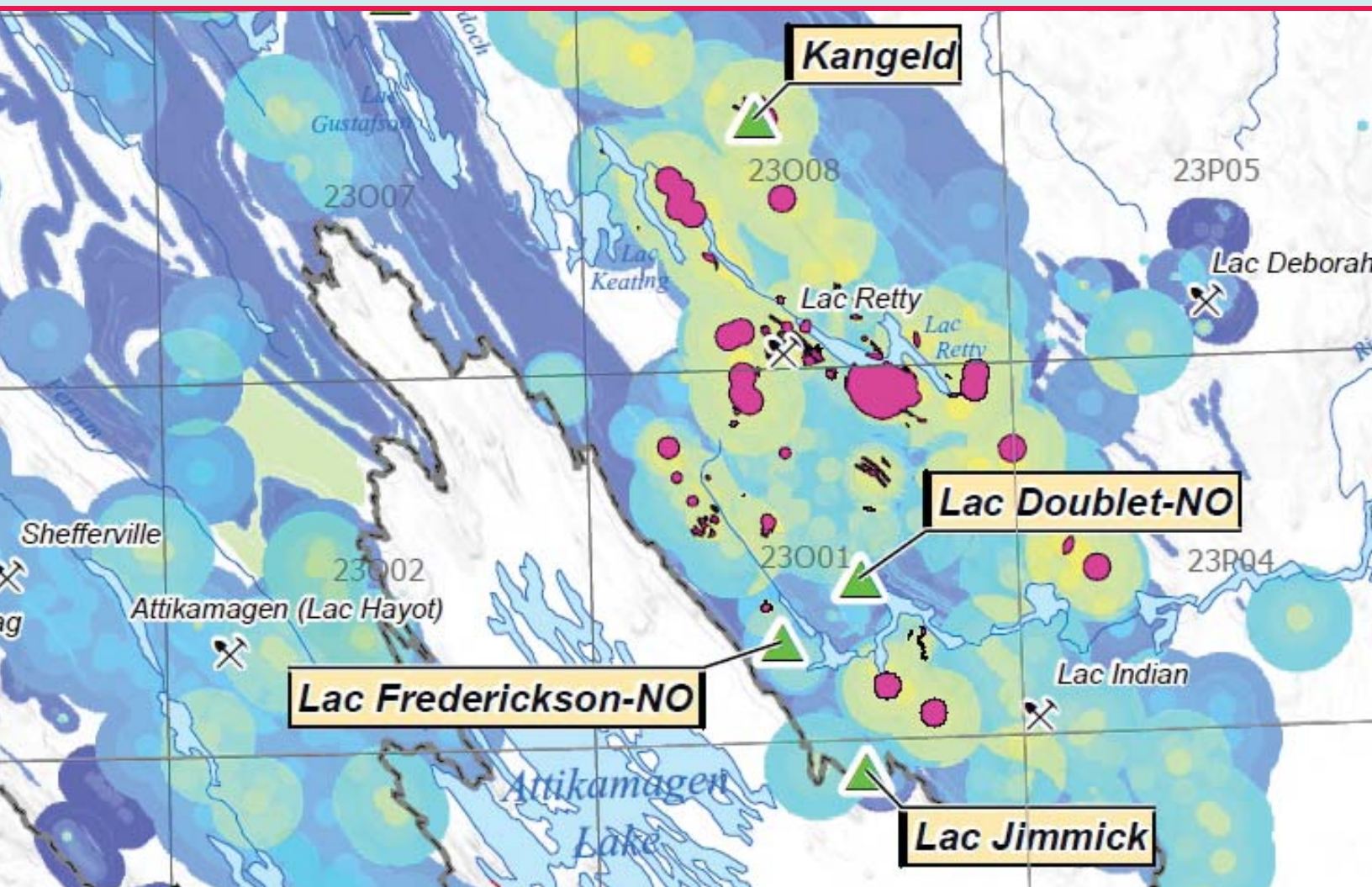


Évaluation du potentiel en minéralisations de sulfures massifs volcanogènes de type pélitique-mafique pour la Fosse du Labrador



Daniel Lamothe

DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC

Direction générale de Géologie Québec

Robert Giguère, par intérim

Direction de l'information géologique

Luc Charbonneau, par intérim

Service de la diffusion et de l'intégration

Jean-Yves Labbé, par intérim

Bureau de l'exploration géologique

Patrice Roy, par intérim

Édition

Charles Gosselin

Graphisme

André Tremblay

Document accepté pour publication le 17 juillet 2012

Résumé

La Fosse du Labrador contient plusieurs dépôts importants de sulfures massifs volcanogènes (SMV) de type pélitique-mafique (type Besshi). Formés dans un environnement volcanosédimentaire, ces gîtes sont caractérisés par des teneurs avoisinant les 3 à 5 % en Cu + Zn et par des tonnages pouvant parfois dépasser 100 Mt (Windy Craggy, Ducktown). Les deux dépôts les plus importants dans la région à l'étude sont Soucy 1 (5,44 Mt à 1,49 % Cu, 1,80 % Zn, 1,61 g/t Au, 13,7 g/t Ag) et Prud'homme 1 (5,31 Mt à 1,57 % Cu, 1,36 % Zn, 1,37 g/t Au et 21,9 g/t Ag). Ces deux gîtes sont situés dans la partie nord de la fosse, mais plusieurs autres gîtes sont aussi retrouvés dans la partie sud (Lac Murdoch-ouest, Lac Frederickson-NW).

Cette évaluation de potentiel vise à délimiter dans la Fosse du Labrador les zones favorables à la découverte de nouvelles minéralisations de sulfures massifs volcanogènes de type pélitique-mafique. Le traitement consiste à pondérer et à combiner 25 paramètres géologiques pertinents à ce type de minéralisation afin de générer une carte prédictive du potentiel minéral. Le poids de chaque paramètre dans le modèle est calculé en fonction de son association spatiale avec les gîtes connus du type recherché et la combinaison des paramètres est réalisée à l'aide d'une approche de logique floue. La création des zones favorables est obtenue par le choix d'un seuil significatif dans le spectre des valeurs floues de la carte résultante.

Le traitement a été modélisé dans l'extension Modelbuilder sous ArcGIS 9.3. La possibilité de tester rapidement de nouveaux paramètres ou des ensembles de calibration 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 affectant les données sources du modèle.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION | 5 |
| Géologie générale..... | 8 |
| Stratigraphie | 8 |
| Caractéristiques des gîtes de SMV de type pélitique-mafique | 8 |
| MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉVALUATION DE LA FAVORABILITÉ..... | 14 |
| Introduction | 14 |
| Méthodologie | 14 |
| Niveau de connaissance du secteur d'étude | 15 |
| TRAITEMENT DES PARAMÈTRES | 18 |
| Facteur de contrôle lithologique | 18 |
| Unité stratigraphique favorable | 18 |
| Proximité d'une intrusion de la Suite de Montagnais | 18 |
| Présence de brèches..... | 19 |
| Facteur d'altération hydrothermale..... | 20 |
| Indicateurs d'altération chimique | 20 |
| Minéraux indicateurs d'altération..... | 21 |
| Minéralisations en sulfures ou oxydes | 21 |
| Analyses de métaux indicateurs | 23 |
| Indicateurs dans l'environnement secondaire | 24 |
| Proximité d'une anomalie en cuivre | 24 |
| Proximité d'une anomalie en zinc | 24 |
| Proximité d'une anomalie en cobalt | 24 |
| POTENTIEL EN MINÉRALISATIONS DE SMV DE TYPE PÉLITIQUE-MAFIQUE DE LA FOSSE DU LABRADOR | 25 |
| Carte de la favorabilité associée au contrôle lithologique..... | 25 |
| Carte de favorabilité associée à l'altération | 25 |
| Carte de la favorabilité associée à l'altération chimique | 25 |
| Carte de la favorabilité associée aux minéraux d'altération | 25 |
| Création de la carte de favorabilité associée à l'altération..... | 25 |
| Carte de la favorabilité associée à la minéralisation | 26 |
| Carte de la favorabilité associée aux sulfures ou oxydes | 26 |
| Carte de la favorabilité associée aux métaux indicateurs..... | 26 |
| Création de la carte de favorabilité associée aux minéralisations | 27 |
| Carte de la favorabilité associée à l'environnement secondaire | 27 |
| Carte de la favorabilité associée aux facteurs géologiques | 27 |
| Carte de la favorabilité pour les minéralisations de SMV de type pélitique-mafique..... | 28 |
| Détermination des zones de haute favorabilité | 28 |
| Évaluation de l'efficacité de la carte..... | 31 |
| CONCLUSIONS | 31 |
| RÉFÉRENCES | 33 |
| ANNEXE 1 : Caractéristiques des gîtes utilisés pour le calcul de la pondération de la carte de potentiel en gîtes de SMV de type pélitique-mafique (descriptions tirées de Clark et Wares, 2004) | 40 |
| ANNEXE 2 : Évaluation de la favorabilité de chacun des paramètres utilisés | 41 |
| ANNEXE 3 : Modèle d'inférence du potentiel en gîtes de SMV de type pélitique-mafique de la Fosse du Labrador | 43 |

INTRODUCTION

L'avènement au début des années 1990 de plateformes SIG (Système d'Information Géographique) a permis le développement de plusieurs approches pour traiter et combiner de multiples paramètres géologiques dans le but de définir des zones favorables à l'exploration de substances économiques (Chung et Agterberg, 1980; Bonham-Carter *et al.*, 1988; Harris, 1989; Agterberg *et al.* 1990; Chung et Moon, 1991; Bonham-Carter, 1994; Rencz *et al.*, 1994; Harris *et al.*, 1995; Wright et Bonham-Carter, 1996; Singer et Kouda, 1997a et b; Raines, 1999; Harris *et al.*, 2001; Brown *et al.*, 2000; D'Ercole *et al.*, 2000; de Araujo et Macedo, 2002; Porwal *et al.*, 2003a et b). Plusieurs évaluations de potentiel par intégration de données géoréférencées traitant de divers modèles métallogéniques ont aussi été publiées, notamment :

- le modèle des sulfures massifs volcanogènes (SMV) (Wright et Bonham-Carter, 1996; Dion et Lamothe, 2002; Lamothe *et al.*, 2005; Lamothe, 2011);
- le modèle de l'or orogénique (Groves *et al.*, 2000; Knox-Robinson, 2000; Harris *et al.*, 2001; Rogge *et al.*, 2006; Lamothe et Harris, 2006; Lamothe, 2008)
- le modèle de l'or épithermal (Boleneus *et al.*, 2001);
- le modèle Mississippi Valley (D'Ercole *et al.*, 2000);
- le modèle Olympic Dam-Kiruna (Lamothe et Beaumier, 2001 et 2002);
- le potentiel en kimberlites (Labbé, 2002; Paganelli *et al.*, 2002; Wilkinson *et al.*, 2006);
- le potentiel pour les gîtes porphyriques de Cu-Au±Mo (Carranza et Hale, 2002; Tangestani et Moore, 2003; Labbé, *et al.*, 2006, Lamothe, 2009).

La production d'une carte de potentiel minéral implique plusieurs étapes (figure 1). En premier lieu, un modèle d'exploration approprié (sulfures massifs volcanogènes, or orogénique, etc.) pour la (ou les) substance(s) recherchée(s) doit être sélectionné. En fonction de ce modèle, des paramètres géologiques pertinents seront choisis et combinés pour créer une carte de **favorabilité**¹. Cette étape

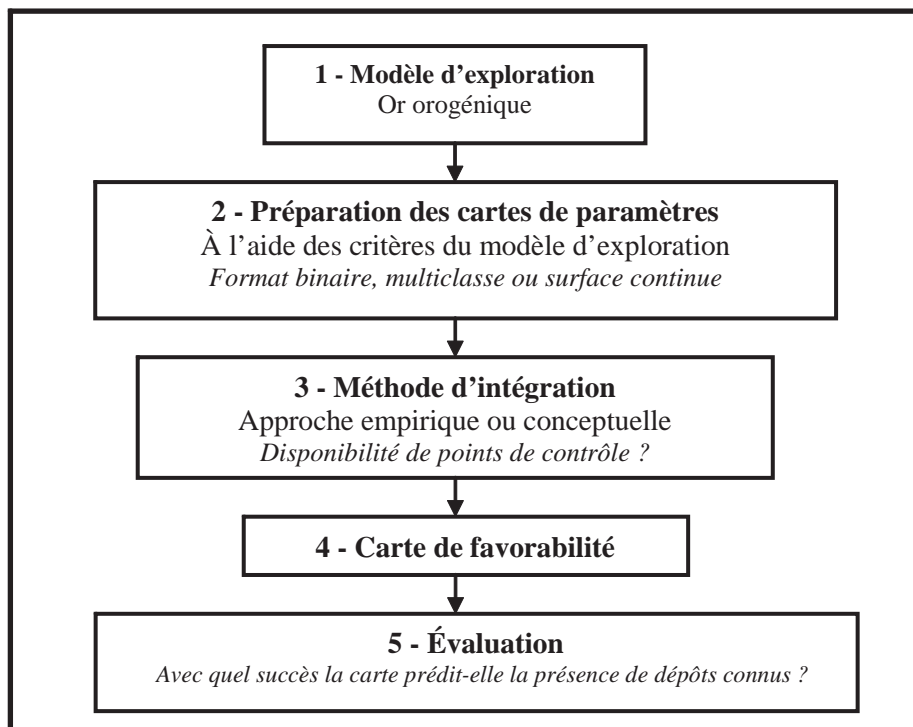


FIGURE 1 – Étapes de réalisation d'une carte de favorabilité par intégration de données géoréférencées (modifiée de Harris et Sanborn-Barrie, 2006).

¹ Ce terme n'est pas encore accepté en français; cependant, on l'utilise de plus en plus dans la littérature scientifique française et anglaise.

initiale est donc cruciale puisqu'elle permet au modélisateur d'évaluer la disponibilité des sources de données géoréférencées définissant chaque paramètre et, le cas échéant, de calculer le temps nécessaire à l'acquisition de nouvelles sources de données. C'est aussi à cette étape que sont effectués les choix d'un *système géodésique de référence* et d'une projection de carte appropriés.

La seconde étape consiste à réaliser pour chaque paramètre sélectionné une **carte de paramètres** qui sera intégrée dans le traitement du modèle d'exploration. Le format de chaque carte peut être soit binaire (0 ou 1), soit multiclasse ou soit continu (Harris *et al.*, 1999, 2000 et 2001). Cette étape du traitement nécessite généralement l'usage de logiciels d'analyse spatiale ou de traitement statistique souvent disponibles sous forme d'extensions au SIG utilisé.

La troisième étape du traitement consiste à intégrer les diverses cartes de paramètres pour produire une carte de favorabilité. Les méthodes d'intégration se subdivisent en deux catégories (tableau 1) : les méthodes empiriques et les méthodes conceptuelles (voir Bonham-Carter, 1994 et Wright et Bonham-Carter, 1996 pour une revue détaillée). Les approches empiriques nécessitent la présence dans la région d'étude d'un nombre suffisant de minéralisations appartenant au type recherché. Ces méthodes analysent les relations spatiales entre certains paramètres géologiques et l'emplacement des minéralisations connues, permettant ainsi de déterminer le poids de chaque paramètre. Les traitements de type « poids de la preuve » (*weight of evidence* ou *WofE*; Bonham-Carter, 1994), de régression logistique (Chung et Agterberg, 1980) et d'analyse de réseau neuronal (Singer et Kouda, 1996 et 1999; Harris et Pan, 1999; Brown *et al.*, 2000) appartiennent à ce type de méthode (tableau 1).

Les approches de type conceptuelles reposent sur l'expertise du modélisateur pour la détermination du poids des paramètres 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).

Il est possible de combiner les deux approches et d'élaborer des méthodes hybrides. Ainsi, pour évaluer le potentiel en gisements de type SEDEX en Inde (Porwal *et al.*, 2003b) ou en gisements de type SMV ou or orogénique en Abitibi et à la Baie-James (Lamothe *et al.*, 2005; Lamothe et Harris, 2006; Lamothe, 2008, 2011), ces auteurs ont utilisé la méthode du « poids de la preuve » pour pondérer les paramètres, convertissant ces valeurs en poids flous et combinant les cartes de paramètres à l'aide de la logique floue (cette approche est aussi utilisée dans le présent travail). Dans un autre cas, Brown *et al.* (2003) ont utilisé des cartes de paramètres pondérées par la logique floue et combinées à l'aide de réseaux neuronaux pour évaluer le potentiel en or orogénique de l'Australie occidentale.

TABEAU 1 – Méthodes d'intégration des cartes de paramètres dans un environnement SIG.

| Méthode | Traitement | Critères de combinaison |
|---|--|--|
| Méthodes empiriques | | |
| Pondération par évidences (WofE) | Points de contrôles (gisements ou occurrences déjà connus) | Établir la relation spatiale entre les occurrences connues et les variables testées (usage du théorème des probabilités de Bayes) |
| Régression logistique | Points de contrôles (gisements ou occurrences déjà connus) | Usage de zones spatiales autour des dépôts connus pour déterminer les critères statistiques d'application des couches de données servant à prédire la présence ou l'absence de dépôts minéraux |
| Réseaux neuronaux | Points de contrôles (gisements ou occurrences déjà connus) | Reproduction d'un ensemble anomalique (c.-à-d. gisements) par un processus de reconnaissance de formes |
| Méthodes conceptuelles | | |
| Opérations booléennes | Input du géologue | Somme de cartes binaires |
| Superposition de couches | Input du géologue | Somme de cartes binaires pondérées |
| Réseau d'inférence et arbre décisionnel de système expert | Input du géologue | |
| Théorie de croyance de Dempster-Shafer | Input du géologue | |
| Logique floue | Input du géologue | Assignment à chaque carte d'élément indicateur d'un facteur de pondération flou variant entre 0 et 1; combinaison des cartes à l'aide d'un opérateur flou (et, ou, gamma) |
| Processus d'analyse hiérarchique (AHP) | Input du géologue | Somme de favorabilité pondérée (cartes continues) |

Les études de favorabilité réalisées au MRN (Lamothe, 2008, 2011; Lamothe et Harris, 2006; Labbé *et al.*, 2006; Lamothe *et al.*, 2005) divergent toutefois de la grande majorité des études d'évaluation de potentiel minéral sur deux aspects principaux : 1) la définition de zones de haute favorabilité (ZHF) par la détermination objective d'un seuil minimal de favorabilité; et 2) la définition de **cibles**, constituées par les portions non jalonnées des ZHF au moment de la réalisation de l'étude (voir la section « Détermination des zones de hautes favorabilité »)².

Le résultat du processus d'intégration est une carte de potentiel géoréférencée illustrant des zones de haute favorabilité pour la substance recherchée. En plus de prédire adéquatement la présence des gisements connus, cette carte met à jour l'existence de nouvelles zones d'exploration.

Cette étude vise à déterminer la localisation des zones de haute favorabilité en minéralisations de SMV de type pélitique-mafique dans la Fosse du Labrador (figure 2).

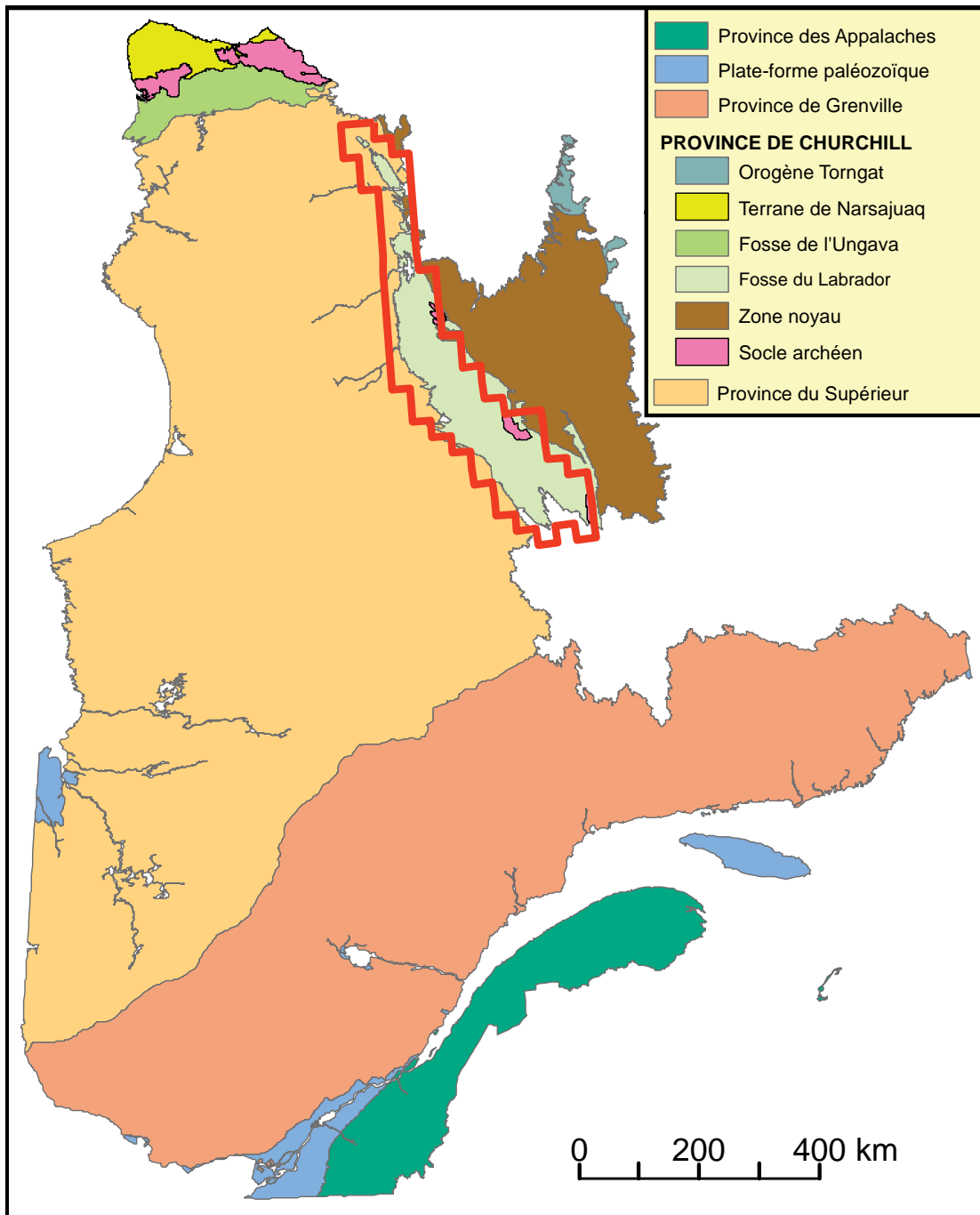


FIGURE 2 – Localisation de la région d'étude.

² Le concept de cible n'a pas été utilisé dans le présent modèle; il a plutôt été remplacé par la diffusion des ZHF sur GESTIM.

Géologie générale

La Fosse du Labrador constitue la partie occidentale de l'Orogène du Nouveau-Québec (Hoffman, 1988). Ce dernier se situe à l'est de la Province archéenne du Supérieur et fait partie du «Géosynclinal circum-Ungava» qui borde, avec l'Orogène de l'Ungava, le nord-est du Supérieur au Québec (figure 2; Dimroth *et al.*, 1970; Baragar et Scoates, 1981). La Fosse du Labrador se compose de ceintures autochtones/paraautochtones et allochtones constituées de roches supracrustales d'âge paléoprotérozoïque (2,17–1,87 Ga; Stockwell, 1982; Machado *et al.*, 1989; Clark et Thorpe, 1990; Machado, 1990; Rohon *et al.*, 1993; Skulsky *et al.*, 1993; Machado *et al.*, 1997). Plus à l'est, l'orogène comprend aussi une zone métamorphique-plutonique interne et formée en grande partie de roches archéennes, la *Zone noyau* (figure 2; *core zone* de Wardle *et al.*, 2002; Hoffman, 1988; Poirier *et al.*, 1990; van der Leeden *et al.*, 1990; Wardle *et al.*, 1990a, 1990b, 2002; Girard, 1990; James et Dunning, 2000).

Les roches supracrustales constituent le Supergroupe de Kaniapiskau (Frarey et Duffell, 1964), subdivisé par Clark et Wares (2004) en onze zones lithotectoniques (figure 3). Cet assemblage forme un large synclinorium attribué à la collision oblique et dextre de la zone interne archéenne de l'orogène, à l'est, avec la Province du Supérieur à l'ouest (Hoffman, 1989, 1990; Wardle *et al.*, 1990b, 2002).

Stratigraphie

Le Supergroupe de Kaniapiskau comprend trois grands cycles volcanosédimentaires déposés durant un intervalle d'environ 300 Ma (figure 4). Les roches du premier cycle (2169 – *ca* 1940 Ma, Clark et Thorpe, 1990) reposent en discordance sur le craton du Supérieur et débutent avec une séquence de rift continental formée de grès et de conglomérat immatures du Groupe de Seward, suivie de la déposition des grès et dolomies du Groupe de Pistolet dans un environnement de plate-forme de marge passive. L'effondrement de celle-ci a favorisé le développement d'un bassin dans lequel se sont déposés les basaltes et les flyschs du Groupe de Swampy Bay. Le premier cycle prend fin avec la déposition du Groupe d'Attikamagen, formé d'un complexe récifal dolomitique de plate-forme signalant une régression marine (Hoffman et Grotzinger, 1989).

Le deuxième cycle (1880 à 1870 Ma) débute avec une séquence transgressive de sédiments de plate-forme qui repose en discordance sur le socle archéen et sur les roches du premier cycle. Dans la partie nord de l'orogène, cette séquence se compose du Groupe de Ferriman qui se corrèle chronostratigraphiquement avec les groupes volcanosédimentaires de Doublet, de Koksoak et de Le Moyne déposés dans un bassin plus à l'est, dans les parties centre-sud et sud de la fosse (Clark et Wares, 2004). L'approfondissement progressif de ce bassin à la fin du deuxième cycle est souligné par l'apparition d'un volcanisme basaltique significatif (Formation d'Hellancourt) et par la déposition de flyschs distaux (formations de Baby inférieur et supérieur).

La déposition des roches du deuxième cycle est associée à la mise en place de nombreux filons-couches mafiques-ultramafiques d'affinité tholéitique («filons-couches de Montagnais», Clark et Wares, 2004) contemporains et comagmatiques avec les roches volcaniques auxquelles ils sont spatialement associés (St. Seymour *et al.*, 1991; Rohon *et al.*, 1993; Skulski *et al.*, 1993; Findlay *et al.*, 1995). Une importante intrusion de carbonatite (l'intrusion de Le Moyne; Birkett et Clark, 1991) s'est mise en place dans la partie sommitale de la séquence vers la fin du deuxième cycle.

Déposé *ca* 1,8 Ga (Clark et Wares, 2004) en discordance sur les roches du deuxième cycle, le troisième cycle sédimentaire se compose de molasses synorogéniques des formations de Chioak au nord, et de Tamarack River au sud.

Caractéristiques des gîtes de SMV de type pélitique-mafique

La classe générale des gîtes de sulfures massifs volcanogènes (SMV) est caractérisée par des dépôts de sulfures massifs qui sont hébergés dans des roches volcaniques ou volcanosédimentaires. Ces dépôts se forment presque toujours dans un environnement de plancher océanique. Ils sont communément formés par la circulation concentrée de fluides hydrothermaux près de la surface (figure 5) et appartiennent à la classe générale des dépôts exhalatifs, qui comprend aussi les dépôts sédimentaires exhalatifs de type SEDEX (Eckstrand *et al.*, 1996). La classification des SMV de Franklin *et al.* (2005), basée sur les lithologies des roches hôtes dominantes et utilisée dans le présent ouvrage, reconnaît cinq catégories de gîtes SMV, soit : 1) bimodale mafique; 2) à dominance mafique; 3) pélitique-mafique; 4) bimodale felsique; et 5) siliciclastique-felsique.

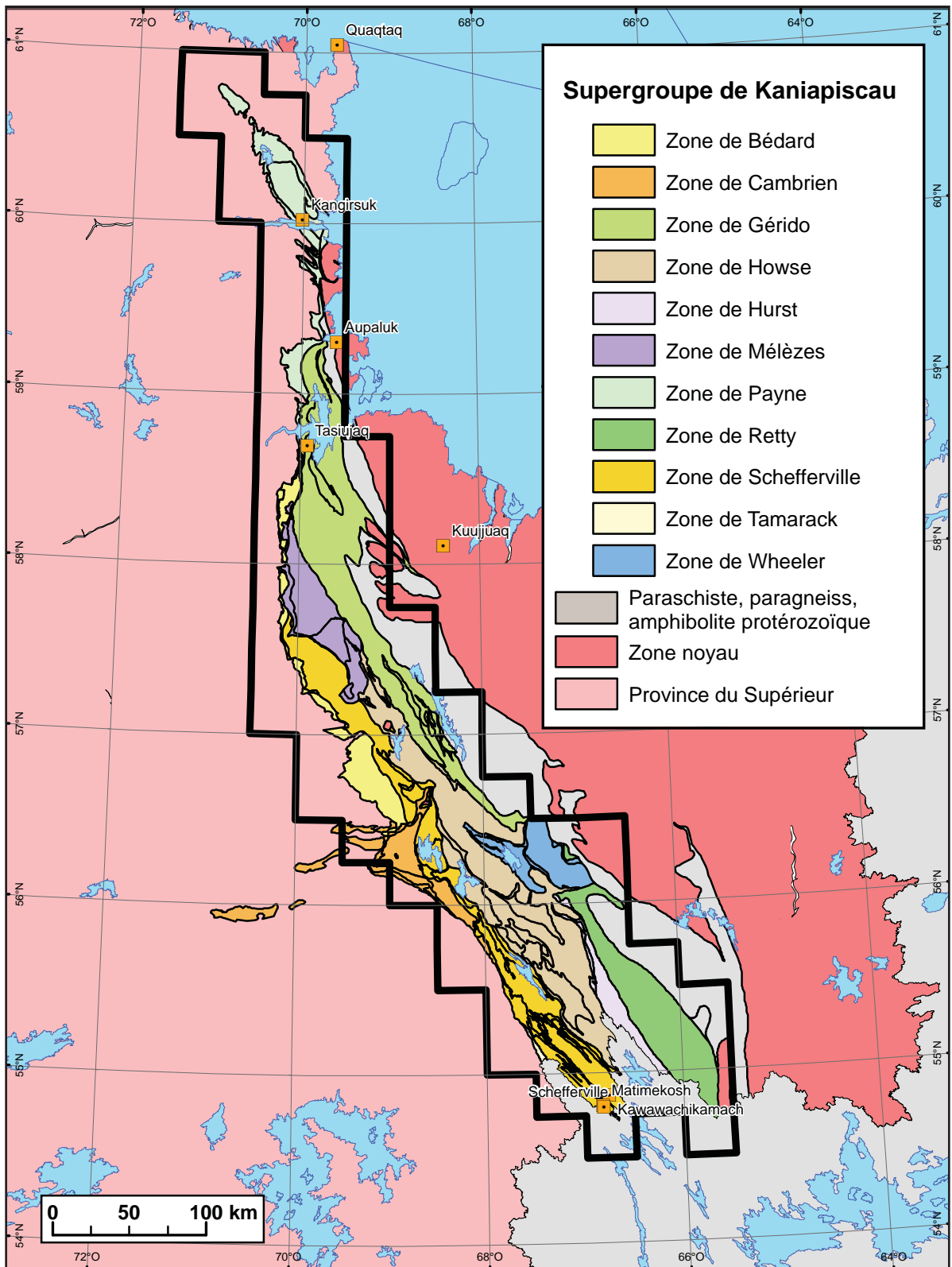


FIGURE 3 – Géologie générale de la Fosse du Labrador suivant la réinterprétation de Clark et Wares (2004). Les zones lithotectoniques (voir la légende) sont caractérisées par des assemblages lithologiques ou un style structural interne cohérent et sont limitées par des discontinuités tectoniques. La bordure en noir représente la limite de la zone d'évaluation de potentiel.

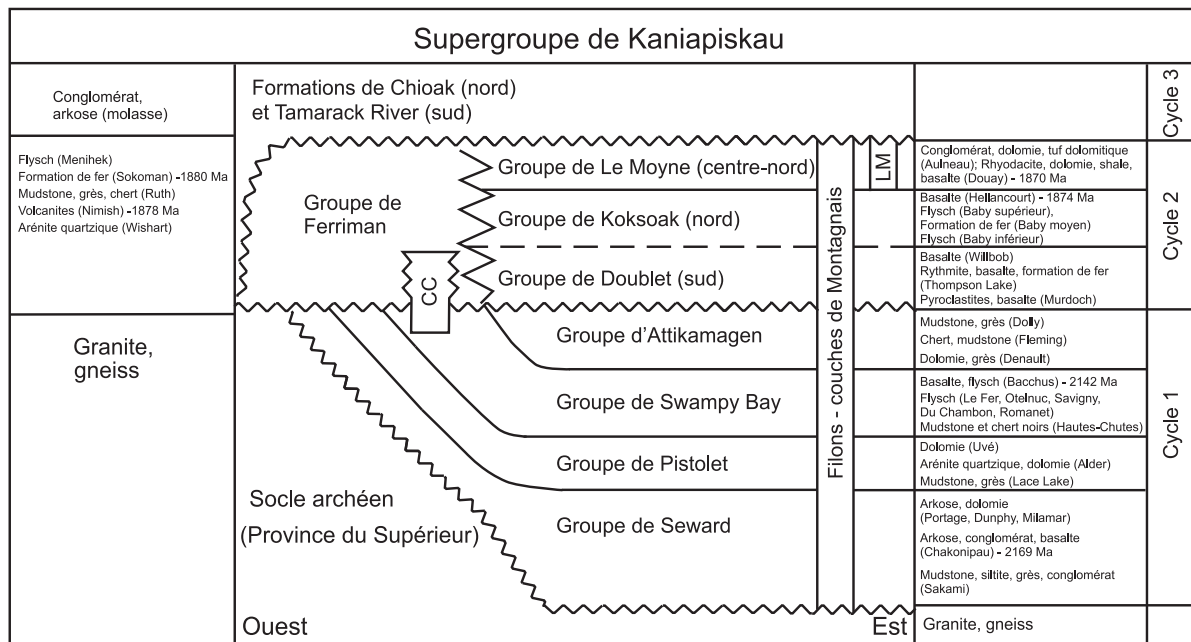


FIGURE 4 – Stratigraphie de l’avant-pays de l’Orogène du Nouveau-Québec schématisée en trois cycles (Clark et Wares, 2004). Dans cette nouvelle interprétation, l’ensemble des groupes composant les trois cycles correspond au Supergroupe de Kaniapiskau. La Formation de Sakami est corrélée avec le Groupe de Seward et est groupée avec cette unité dans la figure. Abréviations : CC, Complexe de Castignon; LM, Carbonatite de Le Moyne.

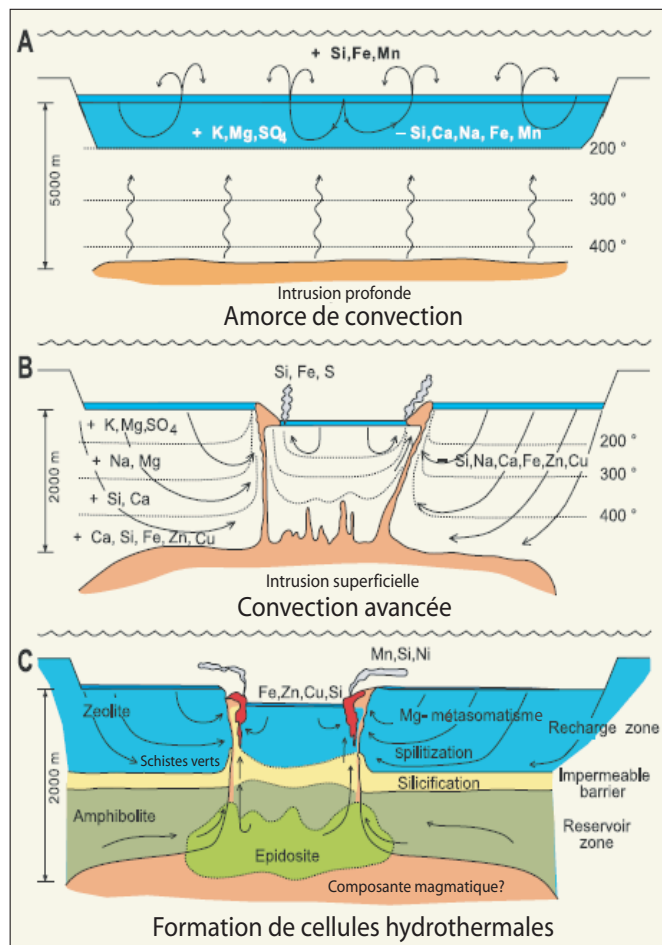


FIGURE 5 – Modèle général de la formation des dépôts de SMV (modifié de Galley *et al.*, 2007)

Le type de dépôt de SMV modélisé dans la présente étude appartient à la catégorie pélitique-mafique, aussi connu sous l'appellation de «type Besshi». Ces dépôts sont caractérisés par des minéralisations massives stratiformes concordantes et composées principalement de sphalérite, de chalcopryrite, de pyrrhotite et de pyrite. La minéralisation, d'origine exhalative et associée à une activité hydrothermale locale, est mise en place syngénétiquement dans un assemblage volcanosédimentaire de basalte et de pélites déposé dans un environnement de bassin d'arrière-arc ou de crête mid-océanique (Franklin *et al.*, 2005), dont l'exemple le plus connu est celui de Windy Craggy (>210 Mt à 1,66 % Cu, 0,09 % Co, 3,5 g/t Ag et 0,2 g/t Au) en Colombie-Britannique. L'équivalent moderne de ce type de dépôt est celui de Bent Hill, le long de la faille transformante de Middle Valley au nord de la crête de Juan de Fuca, au niveau de l'île de Vancouver (figure 6; site web de la CGC, 2008). Les critères les plus significatifs caractérisant les SMV de type pélitique-mafique sont listés au tableau 2.

La taille des gîtes SMV de type pélitique-mafique varie entre moins de 1 Mt à plus de 300 Mt, avec des concentrations se situant entre 0,64 % et 3,3 % Cu (Franklin *et al.*, 2005). La figure 7 illustre le modèle métallogénique des sulfures massifs volcanogènes de type pélitique-mafique. Au Québec, le plus important dépôt de ce type est celui de Soucy-1 (5,4 Mt à 1,49 % Cu, 1,80 % Zn, 1,61 g/t Au et 13,7 g/t Ag; Wares *et al.*, 1988), situé à environ 41 km au sud du village de Tasiujaq (figure 8). Ce gîte fait partie d'un ensemble de 18 dépôts de SMV de type pélitique-mafique, tous situés dans la Fosse du Labrador. Ces dépôts correspondent à ceux de type 3 de Clark et Wares (2004) et décrits sous l'étiquette « Minéralisations de Cu-Zn-Co-Ag-Au et de Zn-Pb-Cu-Ag-Au de type SMV ». Selon ces auteurs, ce type de minéralisation serait le plus intéressant économiquement de la fosse. Le gisement de Soucy-1, décrit par Barrett *et al.* (1988), a servi de modèle pour la plupart des paramètres utilisés dans ce traitement.

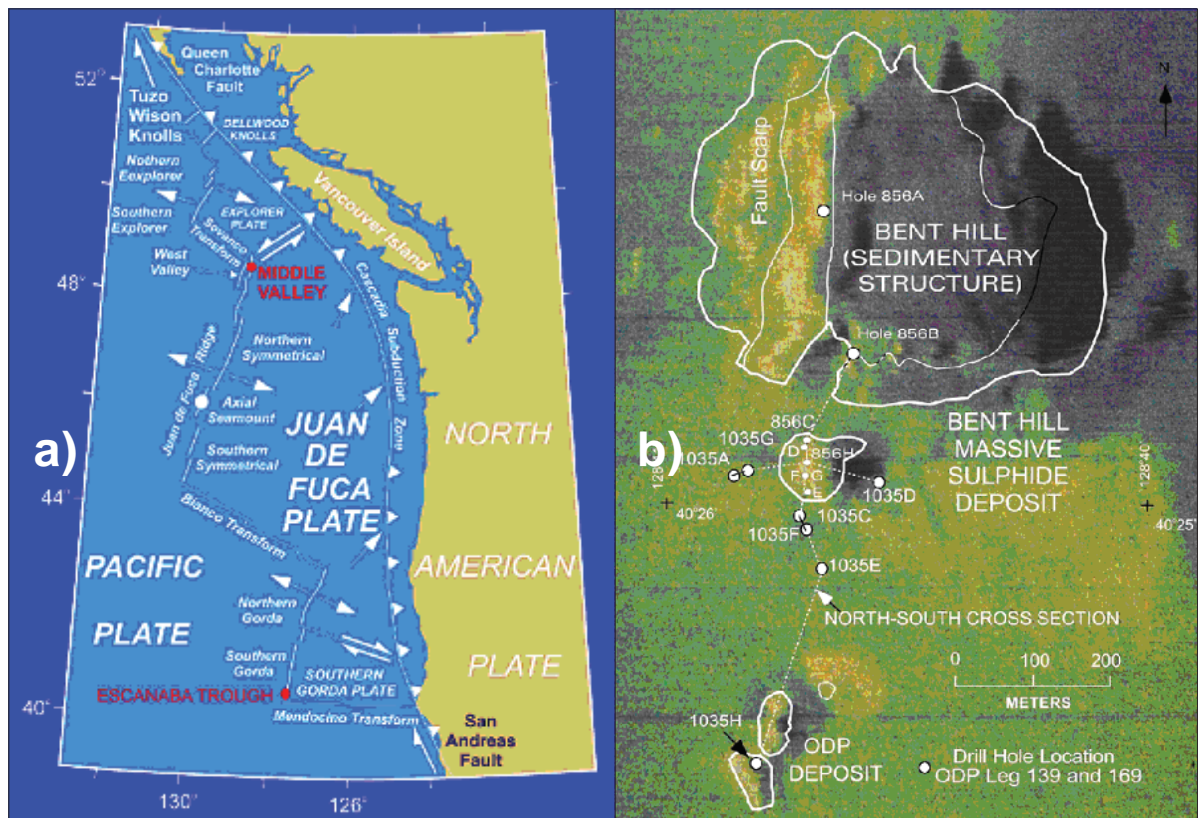


FIGURE 6 – a) Emplacement de Middle Valley dans le nord la crête de Juan de Fuca au large de la côte ouest de l'Amérique du nord; b) Géologie de surface de la région de Bent Hill qui montre la structure sédimentaire de Bent Hill avec escarpements de failles sur la bordure ouest, les buttes de sulfures massifs du Programme de forages océaniques et de Bent Hill, ainsi que les emplacements des Programmes de forages avec les campagnes 139 et 169 et les trous de sonde correspondants. La géologie générale a été relevée sur une image couleur du sonar à balayage latéral SeaMARC (Goodfellow *et al.* 1999). Source pour les deux images : site web de la Commission géologique du Canada.

TABLEAU 2 – Caractéristiques des gîtes de SMV de type pélitique-mafique

| | |
|---------------------------------------|---|
| Appellations synonymes | Gîtes SMV de type Besshi; Gîtes SMV de type siliciclastique-mafique |
| Géométrie de la minéralisation | Sulfures massifs stratiformes, d'épaisseur métrique et d'extension kilométrique. Peut aussi se composer de lentilles superposées. |
| Lithologies associées | Sédiments terrigènes clastiques; laves et pyroclastites basaltiques à andésitiques localement bréchiques; shale noir, formations de fer à oxydes ou silicatées, chert rouge (jaspillite). |
| Âge | Principalement au Paléozoïque et au Mésozoïque |
| Contexte géologique | Centre volcanique, cheminée hydrothermale de plancher océanique en extension, faille d'effondrement proximale. Présence de brèches dans le voisinage immédiat des dépôts. |
| Contexte tectonique | <ul style="list-style-type: none"> Bassins d'arrière-arc, rift de marge continentale, rift intracontinental, ride d'extension d'avant-arc proximale au continent. Séquence hôte de sédiments clastiques et de volcanites mafiques mixtes. Environnements de rifts océaniques ou de bassins de suprasubduction avec magmatisme mafique comportant d'épais niveaux de roches sédimentaires de milieu profond (argilite, siltstone, wacke) recoupée par des filons-couches mafiques-ultramafiques; Selon Skulski <i>et al.</i> (1993), les unités du second cycle de la Fosse du Labrador se sont déposées dans un bassin ouvert en transtension dextre développé le long de la marge continentale. |
| Substances économiques | Cu, Zn, Co, Ag, Au |
| Métaux indicateurs | Cu, Zn, Pb, Co, Ag, Au, Mn. On mentionne que le rapport Co/Ni est supérieur à 1. |
| Minéraux indicateurs | Pyrite, pyrrhotite, chalcopryrite, sphalérite, magnétite, vallérite, galène, bornite, tétrahédrite, cobaltine, cubanite, stannite, molybdénite, arsénopyrite, marcassite. |
| Gangue | Quartz, carbonate (calcite, ankérite, sidérite), albite, mica blanc (séricite), chlorite, biotite, amphibole, tourmaline, stilpnomélane, grunérite et magnétite. La stilpnomélane est considérée à Soucy #1 comme une altération rétrograde de la grunérite (Barrett <i>et al.</i> , 1988). |
| Altération | Chloritisation, silicification, carbonatation. Dans les sédiments, une albitisation de la roche est mentionnée. |
| Sources de chaleur | <ul style="list-style-type: none"> Les filons-couches regroupés dans le Groupe de Montagnais (Baragar, 1967; Dimroth, 1978) et renommés «Filons-couches de Montagnais» (Clark et Wares, 2004) ont été datés à trois reprises : 1) 1884 ± 2 Ma (Findlay <i>et al.</i>, 1995); 2) 1874 ± 3 Ma (Machado <i>et al.</i>, 1997); et 3) 1882 ± 4 Ma (Wodicka <i>et al.</i>, 2002). Cette fourchette de 10 Ma est contemporaine avec le magmatisme mafique du 2ème cycle du Groupe de Le Moyne et de la Formation d'Hellancourt. Ces filons-couches constituent des sources de chaleur potentielles. Le contact sédiment-gabbro est primordial dans ce modèle. Les solutions hydrothermales pourraient aussi utiliser les failles d'effondrement créées lors de la mise en place du bassin d'arrière-arc. La source de chaleur qui constitue le moteur de ces cellules est alimentée par la chambre magmatique sous le rift. Ces solutions s'enrichissent en métaux tels le Zn et le Cu par recirculation dans les unités sédimentaires interlitées avec les coulées mafiques et les filons-couches. Ces failles d'effondrement, plutôt rares dans la partie interne de la fosse, ont pu jouer en faille de chevauchement lors de la fermeture de l'orogène. |
| Pause dans le volcanisme | Des séquences assez épaisses de sédiments détritiques sont caractéristiques des dépôts pélitiques-mafiques de taille significative. Ces horizons marquent une pause dans le volcanisme pendant laquelle les dépôts de sulfures s'accumulent. |

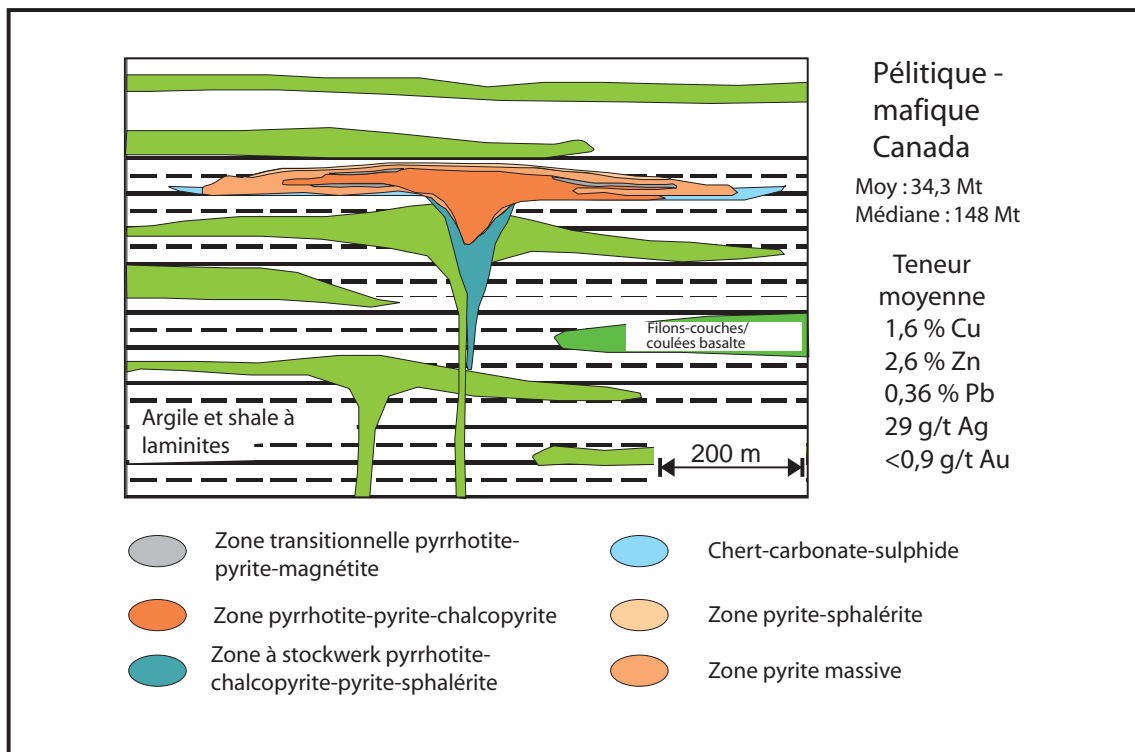


FIGURE 7 – Représentation schématique du modèle métallogénique des sulfures massifs volcanogènes de type pélitique-mafique (modifiée de Galley *et al.*, 2007).

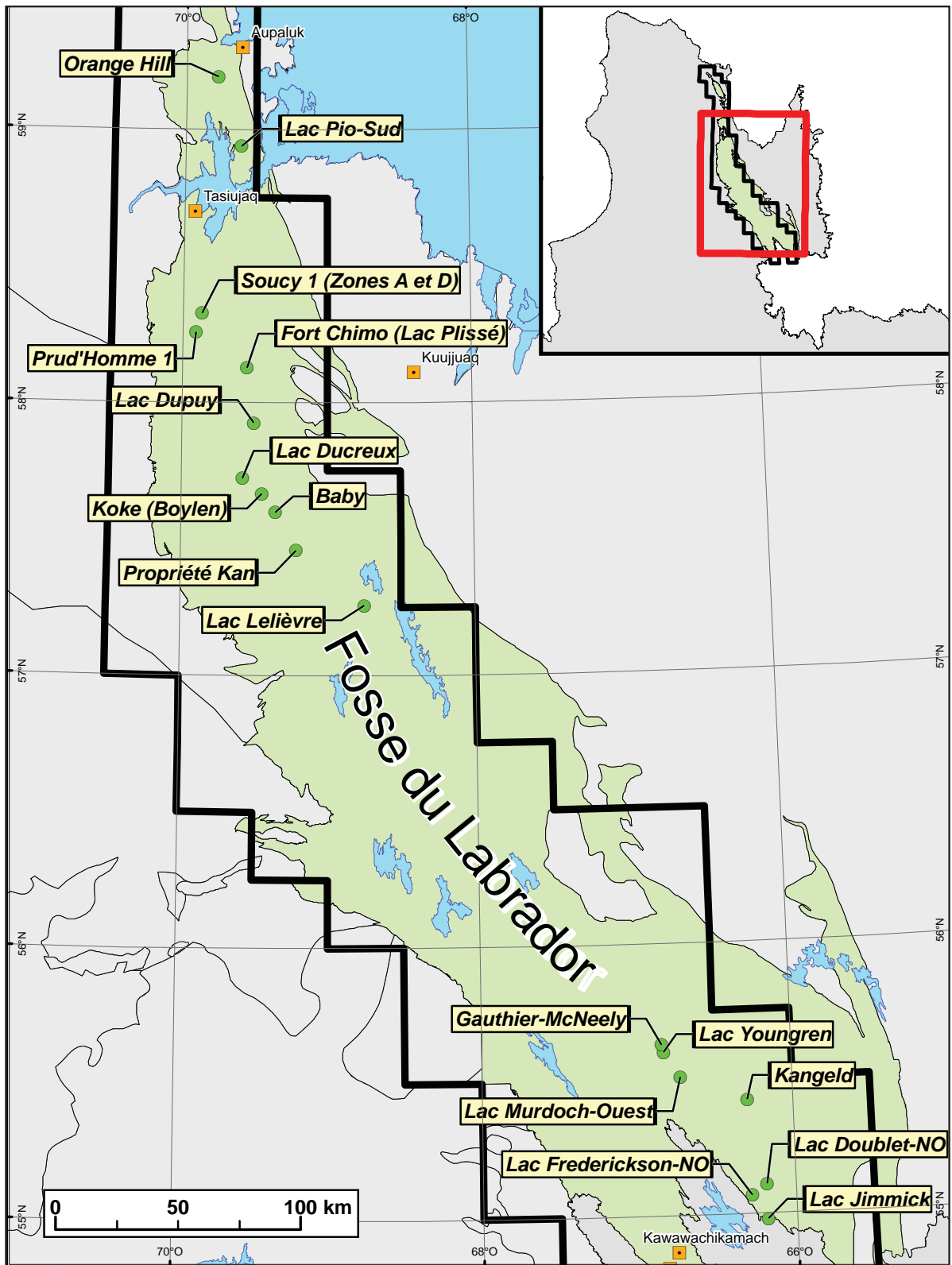


FIGURE 8 – Localisation des 18 gîtes de sulfures massifs volcanogènes de type pélitique-mafique utilisés dans le traitement et décrits à l'annexe 1.

MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉVALUATION DE LA FAVORABILITÉ

Introduction

Les méthodes de traitement pour l'évaluation de potentiel se divisent en deux grandes catégories (tableau 1) : 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 une pondération relative à chaque paramètre. Parmi ces méthodes, la logique floue est de loin la plus couramment utilisée, principalement à cause de sa flexibilité et de sa simplicité.

Des approches hybrides adaptant la flexibilité des approches conceptuelles et la rigueur des approches empiriques ont récemment été proposées (Brown *et al.*, 2003; Porwal *et al.*, 2003b). 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) doivent être indépendantes entre elles. Cette condition peut difficilement être respectée lors de l'application de la méthode dans un contexte géologique, alors que plusieurs catégories de données dérivent directement ou indirectement d'une 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'application de 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, pour calculer adéquatement la probabilité *a posteriori* (favorabilité résultante). Pour cette raison, il est apparu plus approprié de combiner les cartes de paramètres pondérées 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.* (2003b) 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 la plupart des autres modèles métallogéniques traités à Géologie Québec (Lamothe *et al.*, 2005, Lamothe, 2008, 2009, 2011), a aussi été appliquée au présent modèle.

Méthodologie

L'approche *WofE* pour évaluer le potentiel minéral en gîtes de SMV a été utilisée par Wright et Bonham-Carter (1996), Reddy *et al.* (1991) et Agterberg (1989). La méthode du poids de la preuve a aussi été utilisée pour évaluer le potentiel en or orogénique (Bonham-Carter *et al.*, 1988; Porwal et Hale, 2000; Harris *et al.*, 2001) et en or épithermal (Turner, 1997; Carranza et Hale, 2000; Boleneus *et al.*, 2001), ainsi que celui en porphyre cuprifère (Carranza et Hale, 2002)³.

Cette technique a été mise au point par Spiegelhalter (1986) et appliquée à l'exploration minérale par Bonham-Carter *et al.*, (1988), Harris *et al.*, (1995), Wright (1996), Wright et Bonham-Carter (1996) et Raines (1999). Selon cette approche, une série de cartes de paramètres (*evidential maps*) dérivées de données géophysiques, géochimiques et géologiques sont combinées pour produire une carte de favorabilité à l'aide de statistiques bayésiennes. L'association spatiale de chaque carte évidentielle est calculée par rapport à la localisation de gîtes connus. Une paire de poids, W_+ et W_- , est déterminée par le degré de superposition entre les gîtes connus et les diverses classes de la carte évidentielle. Si aucune association particulière n'existe entre les occurrences minérales connues et la carte évidentielle, alors $W_+ = W_- = 0$. Une valeur positive de W_+ indique une association positive entre les gîtes connus et la carte évidentielle. La valeur de contraste C (où $C = [W_+] - [W_-]$) représente le degré d'association spatiale entre la carte évidentielle et les occurrences connues (figure 9).

3 Le module ArcSDM, une extension de ArcGIS distribuée gratuitement par le ministère des Ressources naturelles du Canada, permet de calculer aisément les différentes variables de la méthode du poids de la preuve. Les valeurs de contraste calculées par *WofE* pour chaque paramètre sont présentées à l'annexe 2.

La description sommaire des gîtes utilisés pour la pondération est présentée à l'annexe 1. Tout comme pour la mise à jour du modèle des SMV de l'Abitibi (Lamothe, 2011), chaque gîte a été pondéré en fonction de son importance, tel qu'indiqué par son niveau d'exploration. Pour ce, chaque point représentant un gîte a été multiplié par un facteur de 1, 2 ou 3 suivant que le gîte est un indice, un gîte travaillé ou un gîte à tonnage évalué. Cette approche permet de rehausser la prédictivité des paramètres préférentiellement associés à des gîtes économiquement importants.

L'approche floue hybride utilise la méthode du poids de la preuve pour calculer la **valeur de favorabilité** (V_{favor}) en utilisant la valeur de contraste (C) dans la formule ci-dessous (Porwal *et al.*, 2003b)⁴. L'équation (1) est utilisée si la valeur de contraste est positive. Pour une valeur négative de contraste, c'est l'équation (2) qui est utilisée. Si la valeur de contraste est nulle, la valeur de favorabilité sera de 0,5 dans le cas des deux équations.

$$\begin{aligned} V_{favor} &= 0,5 + (C_{ij} / 2 \times C_{max}) \text{ si } 0 \leq C_{ij} \leq C_{max} & (1) \\ V_{favor} &= 0,5 - (C_{ij} / 2 \times C_{min}) \text{ si } C_{min} < C_{ij} \leq 0 & (2) \\ C_{ij} &= \text{valeur de contraste de la classe } j \text{ de la carte évidentielle } i \\ C_{max} &= \text{valeur de contraste maximale de l'ensemble des cartes évidentielles} \\ C_{min} &= \text{valeur de contraste minimale de l'ensemble des cartes évidentielles} \end{aligned}$$

Cette approche, presque similaire à celle utilisée par Cheng et Agterberg (1999), permet d'appliquer la notion de **pondération relative des cartes de paramètres** puisqu'elle redistribue la valeur de favorabilité de chaque paramètre en fonction des valeurs minimales et maximales de l'ensemble complet des cartes et classes utilisées⁵. Pour le modèle des gîtes de SMV de type péritique-mafique appliqué à la Fosse du Labrador, les valeurs C_{max} et C_{min} sont de 9,615 et -8,343 respectivement.

Les différentes cartes réalisées dans le traitement du modèle métallogénique sont combinées à l'aide d'opérateurs flous, dont certains sont équivalents aux opérateurs booléens. Les opérateurs utilisés dans le présent travail sont l'opérateur FUZZYGAMMA (GAMMA flou) et OU. L'emploi de l'opérateur OU génère en output la valeur de favorabilité maximale présente sur les cartes combinées. L'opérateur flou OU est utilisé pour combiner entre eux des paramètres qui pourraient représenter le même phénomène géologique (par exemple l'indice Normat ISER et l'indice de la Sérécite) exprimé de manière différente. L'opérateur FUZZYGAMMA permet au modélisateur de souligner l'importance de la superposition de certains paramètres favorables en générant un **résultat supérieur à la valeur maximale des cellules des cartes combinées**. L'opérateur FUZZYGAMMA est modulé à l'aide d'un facteur gamma F dont la valeur (généralement comprise entre 0,80 et 0,97) est déterminée par le modélisateur proportionnellement à l'importance du rehaussement qu'il désire obtenir.

L'abus de l'opérateur FUZZYGAMMA à diverses étapes de combinaison peut générer une surpondération artificielle de l'évaluation finale, puisque l'application d'un facteur F élevé tend à rehausser démesurément les valeurs favorables. Pour éviter ce piège, les différents facteurs des opérateurs FUZZYGAMMA utilisés ont été calibrés pour obtenir, pour toutes les combinaisons intermédiaires et finales, une valeur de bruit de fond approximant 0,5. Dans la présente approche, cette valeur représente un intermédiaire entre une association favorable (Contraste positif) et une association défavorable (Contraste négatif).

Le résultat final du processus est une carte des valeurs de favorabilité pour la présence de minéralisations de SMV dans un environnement péritique-mafique. Le processus d'intégration des différents paramètres (le modèle d'inférence) est illustré à l'annexe 3. Les paramètres sont regroupés en blocs définissant quatre facteurs principaux : 1) contrôle lithologique; 2) altération; 3) minéralisation; et 4) environnement secondaire. Le regroupement par facteur principal facilite la compréhension du processus et l'interprétation des résultats.

Niveau de connaissance du secteur d'étude

Outre son potentiel métallogénique significatif déjà connu, le degré avancé d'exploration géologique dans la Fosse du Labrador et l'important volume de données numériques (tableau 3) qui en a résulté sont deux facteurs qui ont fortement contribué au choix de cette région pour la présente étude.

4 Les valeurs absentes (*NoData*) ont été remplacées par des valeurs de favorabilité de 0,001 pour éviter leur propagation dans le résultat final lors de la combinaison des cartes de favorabilité.

5 Cette approche a pour conséquence qu'au moins une des classes dans les paramètres aura une valeur de favorabilité de 1 (recalculée à 0,999), alors qu'au moins une autre aura une valeur de 0 (recalculée à 0,001). Cette méthode a un inconvénient : il n'est pas possible de créer une carte intermédiaire de favorabilité pour un paramètre avant d'avoir complété le calcul de prédictivité de tous les paramètres utilisés dans le modèle, puisque la valeur de favorabilité calculée dépend des valeurs minimales et maximales de contraste calculées pour l'ensemble des paramètres.

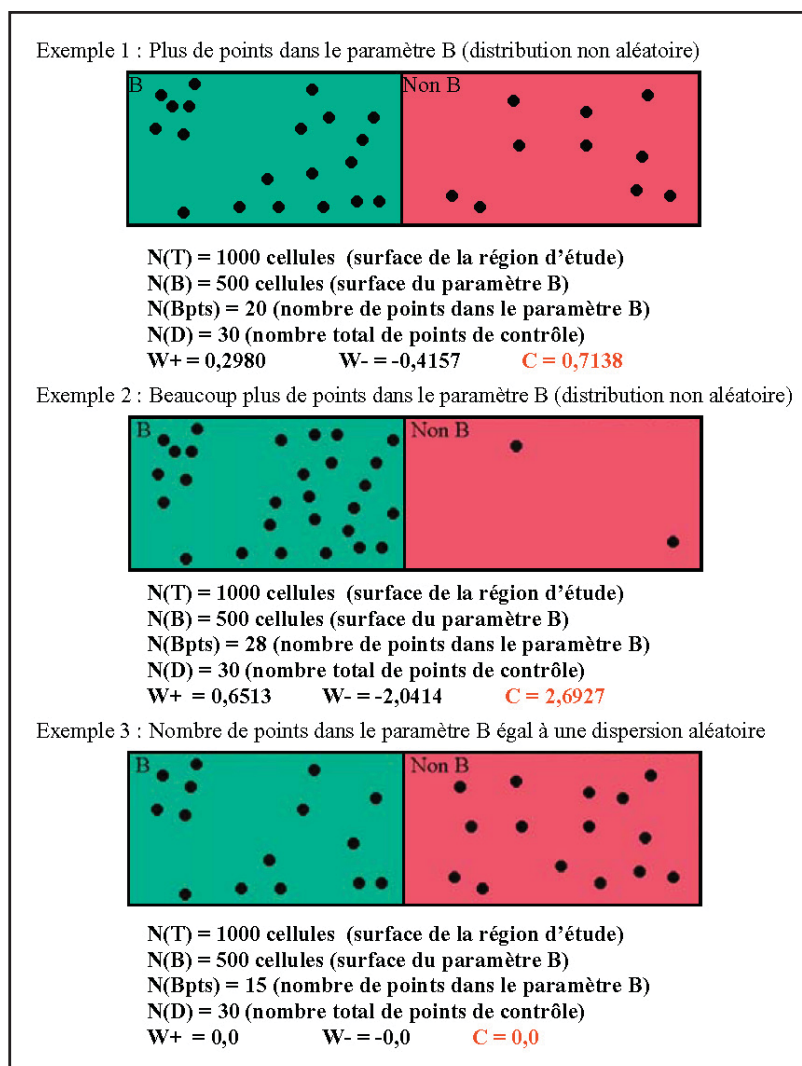


FIGURE 9 – Exemples de calcul de la valeur de contraste en fonction de l'association spatiale entre des points de contrôle et un paramètre (modifiée de Bonham-Carter, notes de formation, Denver 2002).

TABLEAU 3 – Données numériques disponibles dans SIGÉOM pour la modélisation.

| Type de donnée numérique | Nombre |
|------------------------------|--------|
| Polygones géologiques | 14 297 |
| Analyses de roche | 11 369 |
| Analyses de sédiments de lac | 20 825 |
| Forages | 6 228 |

La figure 10 illustre indirectement l'importance des travaux d'exploration réalisés dans la Fosse du Labrador en présentant la densité d'information disponible, à partir des données géologiques numériques compilées dans le SIGÉOM. Cet élément est significatif pour mettre en contexte les résultats de l'étude. Une grande densité d'information peut, selon les circonstances, expliquer la présence de zones favorables dans certains secteurs très explorés. La présence de telles zones dans des secteurs peu ou moyennement explorés présente un intérêt particulier, suggérant que malgré la carence relative d'information géologique, certains éléments actuellement connus sont suffisamment important pour y justifier un potentiel élevé.

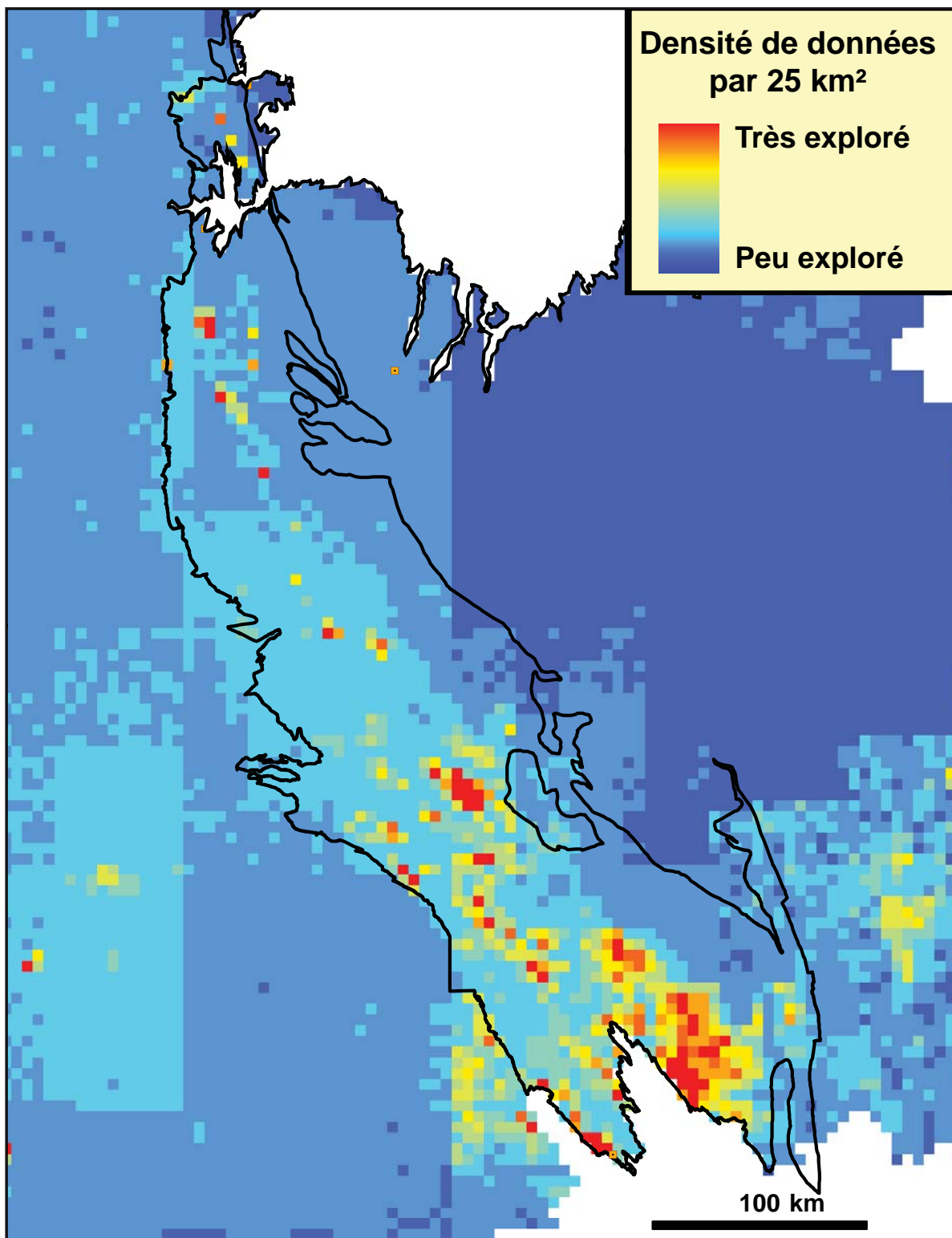


FIGURE 10 – Extrait de la carte de l'index de la connaissance géologique du Québec de D. Lamothe (carte inédite). Le calcul de la densité a été réalisé sur l'ensemble des données géologiques numériques de SIGÉOM.

TRAITEMENT DES PARAMÈTRES

La première étape consiste à sélectionner, parmi tous les paramètres géologiques favorables à la présence de minéralisations en SMV de type pélitique-mafique, ceux qui constituent les indicateurs les plus efficaces. Pour les déterminer, la méthode dite du « poids de la preuve » (*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 gîtes de SMV connus dans le secteur d'étude (type 3 de Clark et Wares, 2004). Seuls les paramètres présentant une valeur de contraste (C) supérieure à 1,5⁶ ont été retenus (annexe 2).

Facteur de contrôle lithologique

Sur la base du modèle métallogénique utilisé, les unités stratigraphiques pertinentes correspondraient à des séquences volcanosédimentaires déposées en milieu profond et synchrones à des intrusions servant de source de chaleur et pouvant activer des cellules hydrothermales ainsi que des processus de bréchification (Lydon, 1984; Franklin *et al.* 2005).

Unité stratigraphique favorable

Seules les unités stratigraphiques du cycle 2 (figure 4) de Clark et Wares (2004) correspondent au critère de déposition spécifié plus haut. Dans ces unités, typiques d'un environnement pélitique-mafique, les lithologies suivantes ont été utilisées.

- roche sédimentaire clastique terrigène
- tuf et de brèche tholéiitique ou andésitique
- formation de fer oxydée ou silicatée
- chert, chert rouge ou jaspilite
- volcanite basaltique

Suite au test de prédictivité effectué avec *WofE*, seules les unités listées à l'annexe 2 ont été conservées. Toutes ont une valeur de contraste (prédictivité) supérieure à 1,8 (annexe 2), la seule exception étant la Formation d'Hellancourt indifférenciée (code [ppro]he, tableau 4 et annexe 2), dont la prédictivité calculée est faible mais positive (0,448). Celle-ci, présente essentiellement dans la partie nord de la Fosse du Labrador, a été conservée parce qu'elle semble se corréliser vers le sud au lithodème [ppro]he1 du Hellancourt, qui est un bon prédicteur (3,481). Il convient de mentionner ici que le détail de cartographie utilisé dans la présente étude ne permet pas la représentation de minces (< 75 m) horizons sédimentaires interlités avec les unités volcaniques ou coincées entre les filons-couches de la Suite de Montagnais (section suivante). Cette situation explique la prédictivité positive d'unités volcaniques ou intrusives dans un modèle métallogénique où les gîtes se concentrent essentiellement dans les horizons sédimentaires. Ainsi, plusieurs des gîtes de SMV du type pélitique-mafique utilisés comme contrôles dans le modèle (Orange Hill, Prud'Homme 1, Fort Chimo, ...etc), se situent dans la Suite de Montagnais ou les unités volcaniques de la Formation d'Hellancourt, alors que la description détaillée de ces gîtes indique qu'ils sont tous associés à des assemblages sédimentaires de mudstone ou de formation de fer.

Proximité d'une intrusion de la Suite de Montagnais

La genèse des dépôts de SMV nécessite une source de chaleur capable de générer et d'entretenir l'activité hydrothermale par convection des fluides dans l'empilement volcanosédimentaire. La Suite de Montagnais est la seule source de chaleur magmatique contemporaine aux roches du cycle 2⁷ dans la Fosse du Labrador⁸. Ces intrusions ont en effet été datées à trois reprises, donnant des âges

6 Le seuil minimal de 1,5 s'applique à la classe la plus prédictive du paramètre.

7 Un âge de 2169 ± 4 Ma a été attribué à un filon-couche de la Suite de Montagnais (Rohon *et al.*, 1993) injecté dans la Formation de Chakonipau, une unité basale appartenant au cycle 1. Il est donc probable que la Suite de Montagnais se compose en réalité de 2 séquences intrusives distinctes séparées par un intervalle de près de 290 Ma. Il est possible que certains filons-couches situés dans les roches du cycle 1 et utilisés dans la modélisation soient incompatibles avec le contexte tectonostratigraphique spécifique au modèle métallogénique testé.

8 Le présent modèle n'incorpore pas la possibilité de sources hydrothermales profondes migrant le long de failles normales développées lors de l'approfondissement du bassin, qui pourraient aussi générer des dépôts de SMV. Des travaux de compilation présentement en cours dans la Fosse du Labrador pourraient définir ces failles, qui seront alors utilisées dans les prochaines versions du modèle.

TABEAU 4 – Liste des unités stratigraphiques utilisées dans le traitement.

| Unité stratigraphique | Code stratigraph. | Lithologie |
|----------------------------------|-------------------|---|
| Formation de Aulneau | [ppro]au3 | Argilite |
| Formation de Baby inférieure | [ppro]bb(i)1 | Mudstone, siltite, grès, grauwwacke, phyllade |
| | [ppro]bb(i)4 | Chert |
| | [ppro]bb(i)5 | Ardoise noire pyriteuse, siltite pyriteuse |
| | [ppro]bb(i)9 | Ardoise, siltite grise |
| | [ppro]bb(i)10 | Dolomie, roches calcosilicatées |
| Formation de Baby moyen | [ppro]bb(m) | Non subdivisé: formation de fer |
| | [ppro]bb(m)1 | Fm de fer: faciès silicaté, interlit de chert |
| | [ppro]bb(m)2 | Fm de fer: faciès carbonaté et silico-carbonaté |
| | [ppro]bb(m)3 | Formation de fer: faciès sulfuré |
| | [ppro]bb(m)4 | Formation de fer: faciès oxydé, chert |
| | [ppro]bb(m)5 | Schiste chloritique, metabasalte |
| | [ppro]bb(m)6 | Mudstone noir |
| Formation de Baby supérieure | [ppro]bb(m)7 | Shale, ardoise, siltstone, grès |
| | [ppro]bb(s)1 | Rythmites: mudstone, siltite, grès fin |
| | [ppro]bb(s)7 | Mudrock noir graphiteux, localement pyriteux |
| Formation de Baby indifférenciée | [ppro]bb(s)8 | Mudrock/ardoise noire ou gris foncé/grès |
| | [ppro]bb1 | Mudrock, phyllade, schiste ardoisier |
| Formation de Douay | [ppro]da4 | Basalte |
| | [ppro]da5 | Shale, ardoise, siltite, schiste pélitique |
| Formation d'Hellancourt | [ppro]he | Basalte, un peu de tuf et de brèche |
| | [ppro]he1 | Basalte coussiné |
| | [ppro]he2 | Basalte massif |
| | [ppro]he3 | Mudrock, localement pyriteux |
| | [ppro]he4 | Roches pyroclastiques mafiques |
| | [ppro]he5 | Basalte phyrique à plagioclase |
| Formation de Menihek | [ppro]me1 | Mudstone, siltite, phyllade, schiste ardoisier |
| | [ppro]me9 | Formation de fer au faciès sulfuré |
| Formation de Willbob | [ppro]wl | Basalte, brèches, tuf, sédiments fins et gabbro |
| | [ppro]wl4 | Mudrock, mudrock tufacé et mudrock pyriteux |
| | [ppro]wl5 | Formation de fer sulfurée |

de : 1) 1884 ± 2 Ma (Findlay *et al.*, 1995); 2) 1874 ± 3 Ma (Machado *et al.*, 1997); et 3) 1882 ± 4 Ma (Wodicka *et al.*, 2002), soit l'âge estimé des unités du deuxième cycle (Clark et Wares, 2004). Une confirmation indirecte du rôle de la Suite de Montagnais est que tous les gîtes de SMV reconnus dans la fosse, à l'exception du gîte de Koke, se situent à moins de 1 km d'une intrusion appartenant à cette unité. Toutefois, la faible prédictivité de ce paramètre (22^e rang, annexe 2) découle de l'importante surface (environ 16 %) qu'occupe cette unité dans la région d'étude, ce qui augmente fortement la probabilité qu'un gîte se trouve par hasard à proximité de ces roches.

Présence de brèches

La déposition de sulfures sur ou sous le plancher océanique mène parfois au scellement de l'évent hydrothermal qui s'accompagne alors de processus hydrothermaux ou hydrovolcaniques explosifs (Lydon, 1984; Franklin *et al.* 2005). Ces processus conduisent à une bréchification des dépôts de sulfures ainsi que des roches adjacentes, favorisant la mise en place d'un réseau de stockwerks. Un tel réseau est un indicateur significatif de la proximité possible de gîtes de SMV.

On peut extraire parmi les descriptions texturales des forages dans SIGÉOM de nombreux exemples de bréchification dans des roches volcaniques ou sédimentaires. Ces occurrences sont de bons indicateurs (9^e rang, annexe 2) de proximité de minéralisations de SMV.

Facteur d'altération hydrothermale

La déposition de sulfures massifs à proximité d'événements volcaniques en milieu sous-marin est liée à la circulation de larges cellules hydrothermales qui prélèvent à grande échelle les métaux, et les précipitent localement à la surface du plancher océanique (Galley, 1993; Franklin, 1995). L'action de ces cellules s'accompagne de processus d'altération mis en place en semi-concordance avec les roches encaissantes (figure 5).

En fonction des données disponibles dans la région de la Fosse de Labrador, les indicateurs de l'altération se regroupent principalement en deux sous-ensembles : 1) les indicateurs de l'altération chimique basés sur le calcul de divers indices pétrochimiques; et 2) les indicateurs minéraux de processus d'altération associés à des gîtes de SMV.

Indicateurs d'altération chimique

Deux indices d'altération se sont avérés de bons indicateurs parmi une banque de neuf indices calculés par le logiciel Lithomodeleur du CONSOREM. Les indices ont été calculés à partir d'un sous-ensemble de 443 échantillons volcaniques très majoritairement basaltiques.

Proximité d'un indice Hashimoto anomal

L'indice Hashimoto (Ishikawa *et al.*, 1976) repose sur le calcul suivant: $(FeOt+MgO+K_2O+4)/(MgO+K_2O+CaO+Na_2O)$. Il s'applique aux roches variant en composition de basaltique à rhyodacitique. Selon la classification de LithoModeleur, un total de 144 échantillons présentant un indice Hashimoto faible ou élevé ont été sélectionnés et leur prédictivité a été testée avec *WofE*. Celle-ci est importante jusqu'à 400 m et reste favorable jusqu'à 2 200 m, se classant au 19^e rang (annexe 2).

Proximité d'un indice Séricite anomal

Une variante de l'indice Séricite (Saeki et Date, 1980) est utilisée dans le logiciel Lithomodeleur, qui emploie l'équation suivante: K_2O+1 vs $0,5(K_2O+Na_2O)$. Seuls les 63 échantillons possédant un indice d'altération élevé ont été conservés pour le traitement et testés avec *WofE*. Le paramètre est très favorable jusqu'à une distance de 400 m et se classe au 16^e rang en terme de prédictivité (annexe 2).

Proximité d'un indice d'altération NORMAT anomal

Les évidences d'activité hydrothermale peuvent se traduire par la présence de concentrations anormales de minéraux normatifs dans les analyses de roches ignées. À cette fin, les indices de minéraux normatifs ISER et IFRAIS calculés par le logiciel NORMAT ont été utilisés⁹ pour quantifier l'altération sans tenir compte de l'effet de la composition originale des roches (Piché et Jébrak, 2004). Ces calculs sont effectués sur une banque de 4 789 analyses d'éléments majeurs composée de roches intrusives ou effusives.

Proximité d'un indice ISER anomal

Un diagramme quantile-quantile a été réalisé sur l'ensemble des 548 analyses possédant un indice ISER non nul. Le seuil anomal ainsi déterminé correspond aux valeurs d'ISER égales ou supérieures à 6,5 % (figure 11), ce qui correspond à un ensemble de 68 échantillons. Des classes de distance zonées par intervalles de 200 m ont été définies autour de ces derniers et le calcul du contraste a été réalisé avec *WofE* (annexe 2). Ce paramètre est efficace jusqu'à 600 m de distance et se classe au 20^e rang en terme de prédictivité.

Proximité d'un indice IFRAIS anomal

La procédure décrite pour déterminer le seuil anomal pour l'indice ISER a été appliquée aux 4 789 échantillons pour lesquels l'indice IFRAIS a été calculé. Les échantillons possédant un indice IFRAIS inférieur à 77 % ont été sélectionnés (figure 11). Les 3 545 échantillons sélectionnés ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé avec *WofE* (annexe 2). Ce paramètre est efficace jusqu'à 400 m de distance et sa prédictivité le classe au 18^e rang.

⁹ L'indice ICHLO de NORMAT a aussi été testé, mais ne s'est pas révélé un bon indicateur.

Minéraux indicateurs d'altération

Ce groupe de paramètres modélise la prédictivité des divers indicateurs minéralogiques des processus d'altération des roches encaissantes de la minéralisation. Les trois paramètres ci-dessous ont été définis principalement à partir des travaux de Barret *et al.* (1988) sur le gisement de Soucy-1. Chaque paramètre a été traité en fonction des occurrences locales (géofiches, compifiches et forages) du ou des minéraux spécifiques associés à chaque indicateur.

Proximité d'une altération en carbonates

Les descriptions de géofiches et de forages provenant de roches volcanosédimentaires et mentionnant une altération en carbonates sont extraites par requête (111 occurrences). Des classes de distance à intervalles de 200 mètres ont été créées et optimisées en trois classes de distance prédictives avec *WofE* (annexe 2). Le paramètre est efficace jusqu'à 2 800 m et se classe 13^e en terme de prédictivité.

Proximité d'une altération ferrière

Les descriptions d'altération en magnétite, stilpnomélane, grunérite, chlorite ou magnétite ont été extraites des géofiches, compifiches et forages situés dans des roches volcanosédimentaires. Les 353 occurrences ponctuelles obtenues ont été zonées par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé en trois classes de distance prédictives avec *WofE* (annexe 2). Ce paramètre est efficace jusqu'à 2 800 m de distance et se classe au 6^e rang en terme de prédictivité.

Présence de graphite

La présence de matériel graphiteux ou carbonacé est couramment mentionnée dans la plupart des grands gisements de SMV de type pélitique-mafique. C'est une composante des roches encaissantes du mégagisement de Windy Craggy ainsi que de la plupart des gîtes utilisés dans le présent modèle. La présence de graphite est mentionnée dans 909 occurrences de forages ou compifiches dans des roches volcanosédimentaires. Le paramètre est prédictif jusqu'à 400 m de distance et se classe au 11^e rang en terme de prédictivité.

Minéralisations en sulfures ou oxydes

Cette sous-famille du modèle regroupe les observations locales de minéralisations en sulfures ou oxydes provenant des géofiches, compifiches et forages de la région. Les minéraux recherchés sont la pyrite, la pyrrhotite, la chalcopirite, la sphalérite et la magnétite. Tous ces minéraux sont reconnus, parfois seuls mais plus communément en assemblage polyminéralique, en association avec les gîtes de SMV de type pélitique-mafique (Franklin *et al.*, 2005). Pour chaque indicateur ci-dessous, les occurrences ponctuelles provenant de géofiches, compifiches ou forages dans des roches volcanosédimentaires ont été zonées par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé avec *WofE* (annexe 2).

Proximité d'une minéralisation en pyrite

La pyrite est un des sulfures les plus communs, ayant été noté à 1 111 endroits différents dans la fosse. C'est un bon indicateur proximal, qui reste malgré tout performant jusqu'à 2000 m de distance. Il se classe au 12^e rang des paramètres.

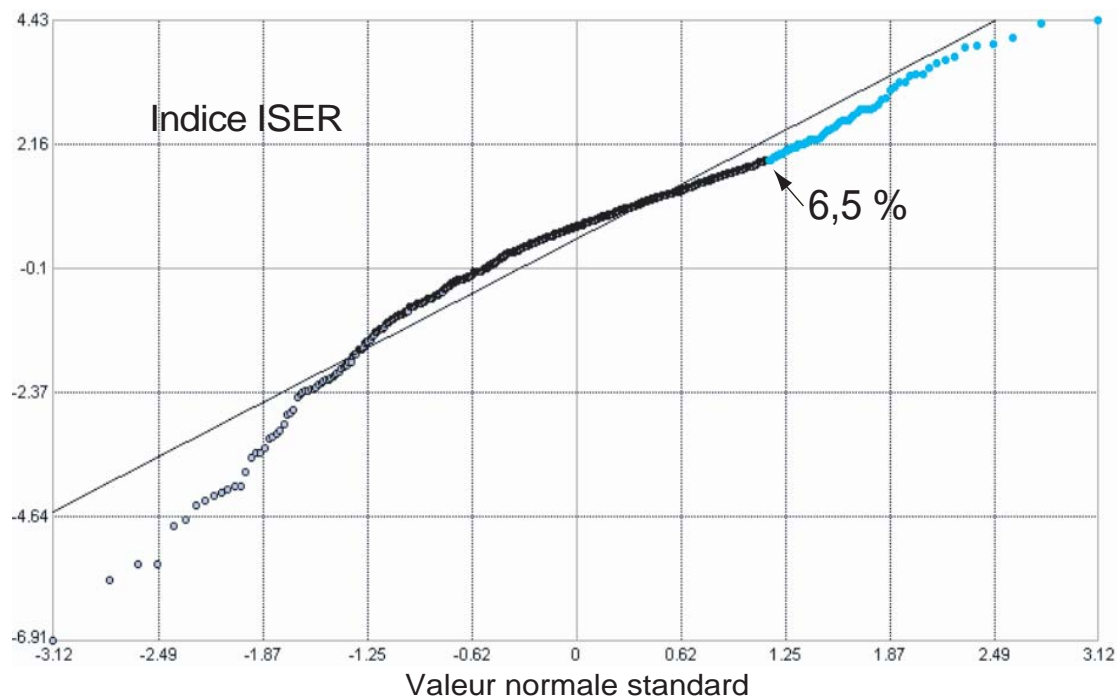
Proximité d'une minéralisation en pyrrhotite

Tout comme la pyrite, la pyrrhotite est communément notée dans la région (1 045 observations). C'est aussi un très bon indicateur proximal qui reste fiable jusqu'à 2 400 mètres. Le paramètre se classe au 7^e rang.

Proximité d'une minéralisation en chalcopirite

On documente 678 observations de chalcopirite dans la fosse. Le paramètre est très proximal, restant prédictif jusqu'à 2 000 mètres. Il se classe au 5^e rang pour la prédictivité (annexe 2). Son association proximale et sa bonne prédictivité en font un paramètre très efficace dans le modèle.

Quantile des données (log)



Quantile des données (log)

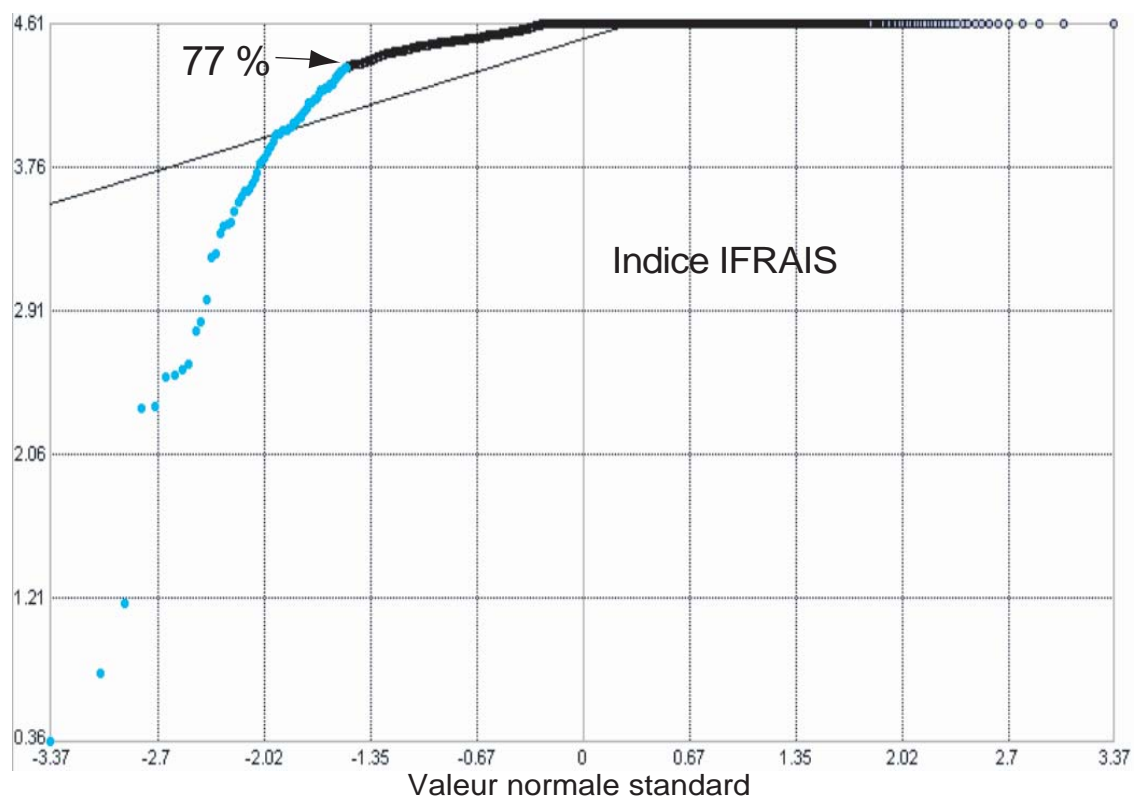


FIGURE 11 – Diagrammes quantile-quantile des indices normatifs ISER et IFRAIS calculés par NORMAT (Piché et Jébrak, 2004). Les seuils anormaux sont respectivement supérieur à 6,5 % pour ISER et inférieur à 77 % pour IFRAIS.

Proximité d'une minéralisation en sphalérite

Les observations de sphalérite ne constituent que 71 occurrences, provenant toutes de divers forages dans la région. Le paramètre est un excellent indicateur jusqu'à 800 m de distance. Le faible nombre d'observations ne permet pas toutefois de bien calibrer la distance effective de ce paramètre en tant qu'indicateur.

Proximité d'une minéralisation en magnétite

Ce paramètre repose sur toutes les observations ponctuelles de magnétite en tant que minéral accessoire et non en tant qu'altération. Le très grand nombre d'occurrences (1 501 cas) confirme que le minéral est très commun. Le paramètre est un prédicteur valide jusqu'à 1 000 m, se classant au 21^e rang.

Analyses de métaux indicateurs

Cette sous-famille de paramètres regroupe les indicateurs métalliques dérivés des analyses litho-chimiques disponibles dans la région d'étude. Ces analyses proviennent soit de levés géologiques, soit de forages ou de résultats issus de travaux statutaires. Les 7 éléments métalliques ci-après se sont avérés être d'excellents prédicteurs de proximité des gîtes de SMV. Le cuivre, le zinc, le plomb, le cobalt, l'argent, l'or et le manganèse sont des métaux communément associés aux gîtes de SMV de type péritique-mafique (Franklin *et al.*, 2005; Galley *et al.*, 2007). Ils sont tous présents en forte concentration dans le gisement de Soucy-1 (Barret *et al.*, 1988). Tous les résultats utilisés dans cette section ont été filtrés pour éliminer les échantillons contenant des teneurs en Ni > 200 ppm, en U > 1 ppm ou en Th > 2 ppm, dans le but d'éliminer des assemblages métalliques non appropriés pour le modèle traité et dont la présence est bien connue dans la Fosse du Labrador (Cu-Ni magmatique, U ± Cu ± Au filonien, ...etc). Seules les données provenant de roches volcanosédimentaires ont été utilisées. Tous les seuils utilisés pour l'extraction des résultats ont été établis sur la base des travaux de Barret *et al.* (1998) portant sur les principales lithologies du gîte de Soucy-1.

Proximité d'une anomalie en cuivre

Le seuil utilisé pour le Cu est de 500 ppm, ce qui correspond à 214 occurrences en tenant compte des contraintes spécifiées dans la section précédente. Les échantillons anomaux ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé avec *WofE*. Cette étape a permis de déterminer que le paramètre est prédictif jusqu'à une distance de 2 500 m (annexe 2).

Proximité d'une anomalie en zinc

Le seuil anormal pour le zinc a été fixé à 500 ppm, ce qui correspond à 142 occurrences principalement situées dans les parties centre et sud de la fosse. Le paramètre conserve une bonne prédictivité jusqu'à 1000 m et une prédictivité acceptable jusqu'à 2 800 m (annexe 2). Sa grande prédictivité proximale (< 400 m) lui confère le troisième rang parmi les paramètres utilisés.

Proximité d'une anomalie en plomb

Dans la base de données SIGÉOM, 92 analyses contenant plus de 100 ppm de plomb sont répertoriées et la plupart sont situées dans la partie centrale de la fosse. Ce paramètre est fortement prédictif (1^{er} rang) à moins de 400 m et reste efficace jusqu'à 1000 m (annexe 2). La grande prédictivité de ce paramètre tient au très petit nombre (92) d'analyses dépassant le seuil choisi et à leur proximité avec la plupart des gîtes considérés dans le modèle.

Proximité d'une anomalie en cobalt

Le cobalt se situe au 8^e rang de prédictivité, avec un seuil de 100 ppm et une distance effective de 400 m. La très grande majorité des occurrences se trouve dans la partie centrale de la fosse.

Proximité d'une anomalie en argent

En utilisant pour l'argent un seuil de 2 ppm, on obtient 159 occurrences dispersées du nord au sud de la fosse, avec une légère concentration dans la partie centrale. Le paramètre reste prédictif jusqu'à 2 800 m de distance et se classe au 15^e rang.

Proximité d'une anomalie en or

Toutes les analyses contenant plus de 100 ppb en or ont été retenues, soit un total de 146 occurrences réparties à peu près également dans la partie centrale et dans la partie sud de la fosse. Le paramètre est un des plus efficaces, se classant au deuxième rang et conservant une excellente prédictivité jusqu'à 800 m de distance.

Proximité d'une anomalie en manganèse

Les lithologies hôtes de la minéralisation dans le gîte de Soucy-1 présentent d'importantes anomalies en manganèse (Barret *et al.*, 1998). En utilisant un seuil de 1000 ppm, 1095 occurrences ont été retenues pour le calcul de prédictivité. Le paramètre conserve une bonne prédictivité jusqu'à 400 m de distance et se classe quatorzième dans la liste.

Indicateurs dans l'environnement secondaire

Cette section a fait l'objet de nombreuses tentatives pour définir un ensemble d'échantillons constituant les meilleurs indicateurs possible de la présence de gîtes SMV. Des techniques de régression spatiale (Trépanier, 2007; Lamothe, 2010), de ciblage par la méthode de la statistique U (Cheng *et al.*, 1996; Cheng, 1999) et d'analyses en composantes principales ont été testées et rejetées à cause leur faible prédictivité lors de la validation avec *WofE*. De fait, la méthode ayant généré les meilleurs résultats de prédictivité est celle consistant à utiliser un seuil de deux écart-types au-dessus de la moyenne obtenu à partir des valeurs recalculées au log naturel. Parmi les 7 éléments utilisés pour les échantillons de roche (section précédente), seuls trois éléments (Cu, Zn et Co) dans la banque de sédiments de lac de la Fosse du Labrador ont déjà été nivelés en fonction des différentes méthodes analytiques utilisées (Lamothe, 2010).

La valeur de contraste des sédiments de lac est presque toujours relativement faible par rapport 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 (23^e, 24^e et 25^e rang, annexe 2), ces paramètres restent toutefois de bons indicateurs constitués de données objectives distribuées dans l'ensemble de la région d'étude.

La Fosse du Labrador comprend plus de 5 600 échantillons de sédiments de ruisseau. Toutefois, ces derniers n'ont pas été incorporés dans le traitement. Ils ne couvrent pas la région de façon homogène et la majorité des gîtes de SMV n'ont aucun échantillon de ce type dans un rayon de plusieurs kilomètres. De ce fait, il est impossible de calculer de façon appropriée la prédictivité de ce paramètre.

Proximité d'une anomalie en cuivre

Le seuil de 2 écarts-types a permis de sélectionner 217 échantillons dont la teneur en cuivre est supérieure à 254 ppm. Ces échantillons se répartissent dans toute la région, mais près de la moitié d'entre eux se concentrent dans le Groupe de Doublet, à l'extrémité sud-est de la fosse. Le paramètre conserve une prédictivité acceptable jusqu'à 3500 m de distance et se classe au dernier rang de l'ensemble (25^e rang, annexe 2).

Proximité d'une anomalie en zinc

Le paramètre se compose de 391 échantillons anomaux dont la teneur en zinc est supérieure à 473 ppm. Ils se concentrent principalement dans le Groupe de Ferriman des zones de Schefferville et de Cambrien (Clark et Wares, 2004), dans l'extrémité sud-ouest de la fosse. La valeur de contraste est efficace jusqu'à 1000 m et se maintient à un niveau acceptable jusqu'à 4000 m.

Proximité d'une anomalie en cobalt

Le seuil de 2σ utilisé permet d'extraire 223 échantillons dont la teneur en cobalt est supérieure à 60,7 ppm. Ces échantillons se distribuent à peu près uniformément du nord au sud de la fosse, avec une légère concentration supérieure dans le Groupe de Doublet. C'est le meilleur indicateur proximal des trois paramètres de l'environnement secondaire et il conserve son efficacité jusqu'à 2000 m de distance.

POTENTIEL EN MINÉRALISATIONS DE SMV DE TYPE PÉLITIQUE-MAFIQUE DE LA FOSSE DU LABRADOR

La présente section aborde l'étape de la combinaison en sous-modèles intermédiaires des cartes de paramètres générées à la section précédente. 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 précédemment, pour permettre la combinaison des cartes de paramètres entre elles à l'aide d'une approche de logique floue, les valeurs de contraste calculées par *WofE* doivent auparavant être converties en valeurs floues réparties proportionnellement entre la valeur la plus élevée et la valeur la plus basse de l'ensemble des paramètres. Cette transformation est effectuée après le calcul empirique effectué par *WofE* de tous les paramètres dans le traitement Modelbuilder et une image matricielle floue utilisant les valeurs converties est créée pour chaque paramètre.

Deux opérateurs flous ont été utilisés pour créer les sous-modèles intermédiaires (annexe 3), soit l'opérateur flou GAMMA et l'opérateur flou OU¹⁰. Les différents facteurs des opérateurs GAMMA (entre parenthèses sur la figure de l'annexe 3) 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 d'arrière-plan avoisinant 0,5¹¹.

Carte de la favorabilité associée au contrôle lithologique

La figure 12a montre les divers secteurs de la région où le contrôle lithologique exerce la plus grande influence dans le contexte du modèle traité. La combinaison des trois cartes de paramètres associées au contrôle lithologique est réalisée avec un opérateur GAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,918. La valeur maximale de cette carte est de 0,908.

Carte de favorabilité associée à l'altération

L'image du sous-modèle de l'altération (figure 12b) est générée par la combinaison de deux sous-modèles intermédiaires, soit celui de l'altération chimique et celui des minéraux d'altération.

Carte de la favorabilité associée à l'altération chimique

La carte de l'altération chimique est réalisée en deux temps: la carte de l'indice Séricite est combinée à la carte de l'indice de minéraux normatifs ISER à l'aide d'un opérateur OU (ces deux indices mesurant le même type d'altération potassique); le produit de l'opération est ensuite combiné aux cartes des indices d'altération Hashimoto et IFRAIS. Cette dernière opération est réalisée avec un opérateur GAMMA utilisant un facteur de 0,9615. La valeur maximale enregistrée sur cette carte est de 0,962.

Carte de la favorabilité associée aux minéraux d'altération

La carte de favorabilité associée aux minéraux d'altération est obtenue en combinant les 3 paramètres de cette famille (annexe 3) avec un opérateur GAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,9615. La valeur maximale enregistrée sur cette carte est de 0,983.

Création de la carte de favorabilité associée à l'altération

La carte de la favorabilité associée à l'altération (figure 12b) documente les secteurs de la région d'étude où l'activité hydrothermale a joué un rôle significatif dans le contexte du modèle métallogénique traité. Elle est réalisée en combinant les cartes de l'altération chimique et des minéraux d'altération à l'aide d'un opérateur OU (ces deux cartes représentant des évidences similaires de l'altération).

La plupart des secteurs les plus favorables coïncident avec la position de gîtes de SMV de type pélitique-mafique. Quelques exceptions notables : deux zones se situant entre 50 et 80 km au NW de Kangirsuk et une zone située à 55 km au NW de Schefferville; ces zones ne correspondent à aucun gîte de SMV connu.

¹⁰ Voir la section 2.2 pour une explication l'utilisation de ces opérateurs.

¹¹ Cette contrainte repose sur la présomption que les portions peu explorées de la région d'étude (voir figure 10) sont considérées comme ni favorables, ni défavorables à la présence de minéralisations appartenant au modèle.

Carte de la favorabilité associée à la minéralisation

L'image du sous-modèle de la minéralisation (figure 13a) est générée par la combinaison des cartes de deux sous-modèles intermédiaires, soit celle des sulfures ou oxydes et celle des métaux indicateurs.

Carte de la favorabilité associée aux sulfures ou oxydes

La carte de la favorabilité associée aux sulfures ou oxydes provient de la combinaison des cinq paramètres de cette famille (annexe 3) avec un opérateur GAMMA doté d'un facteur de 0,9727. À l'exception de la chalcopryrite, de la sphalérite et de la pyrrhotite qui se classent dans le premier tiers des paramètres pour la prédictivité, les autres minéraux sont des indicateurs moins efficaces plutôt situés dans le deuxième ou le troisième tiers des paramètres.

Carte de la favorabilité associée aux métaux indicateurs

Cette carte de favorabilité est issue de la combinaison des sept métaux indicateurs spécifiés à la section « Carte de la favorabilité associée aux métaux indicateurs ». La combinaison des cartes est réalisée avec un opérateur GAMMA doté d'un facteur de 0,9455 et la valeur maximale de la carte résultante est de 0,947. La combinaison met en emphase les secteurs où plus de quatre métaux se superposent.

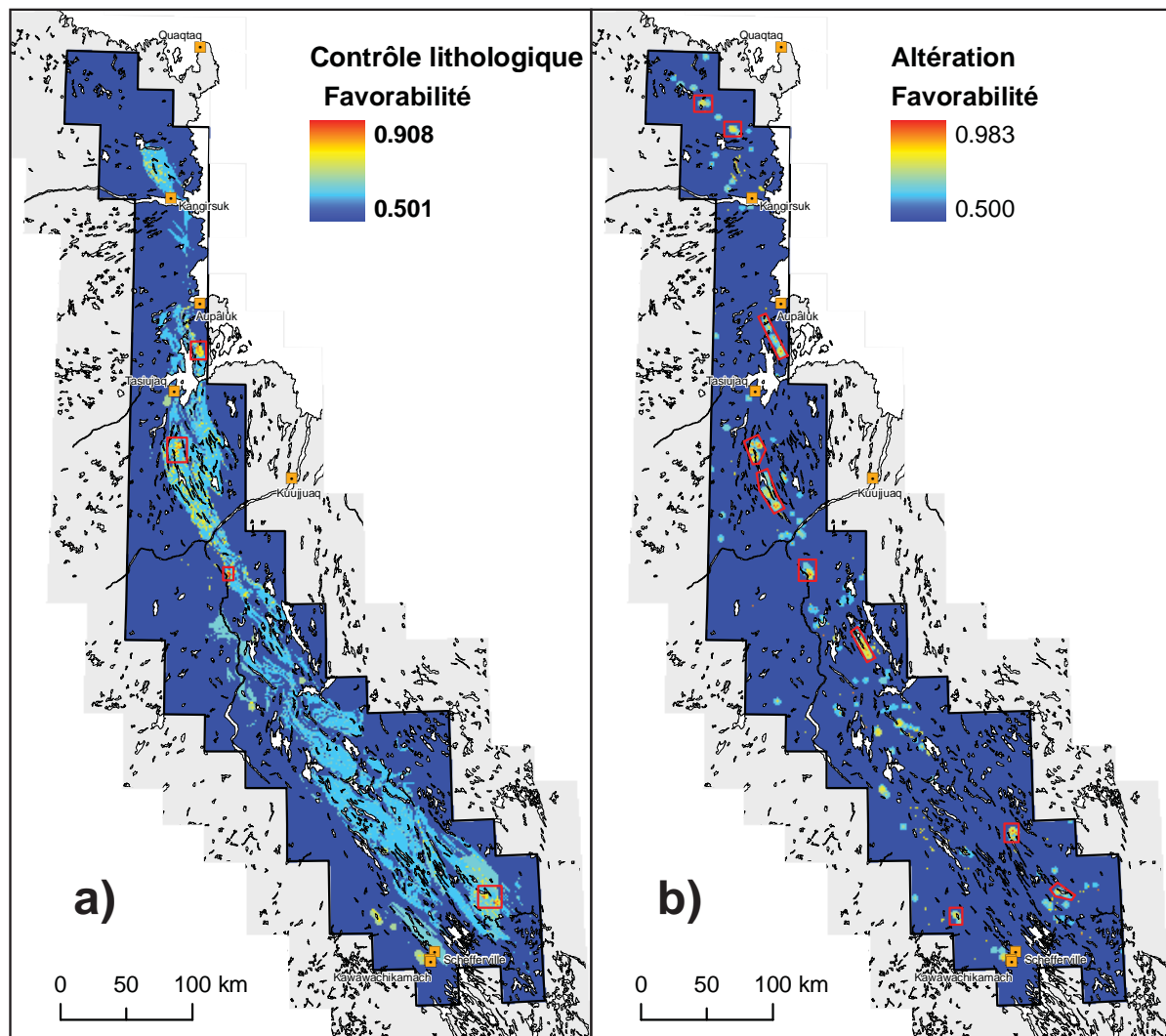


FIGURE 12 – Cartes de la favorabilité : **a)** du contrôle lithologique et; **b)** de l'altération (chimique et minéralogique). Les polygones en rouge localisent les secteurs les plus favorables.

Création de la carte de favorabilité associée aux minéralisations

La carte de favorabilité associée aux minéralisations (figure 13a) est réalisée à l'aide d'un opérateur OU, considérant que les deux cartes combinées représentent des données reflétant une nature commune (sulfures vs contenu métallique). L'image résultante cible une dizaine de secteurs se regroupant principalement à la base des zones de Retty et de Gériido (Clark et Wares, 2004).

Carte de la favorabilité associée à l'environnement secondaire

La carte de la favorabilité associée à l'environnement secondaire (figure 13b) est obtenue en combinant, à l'aide d'un opérateur GAMMA avec un facteur de 0,819, les trois cartes de sédiments de lac pour le cuivre, le zinc et le cobalt présentées à la section « Indicateurs dans l'environnement secondaire ». La majorité des zones les plus favorables se concentrent dans les zones de Gériido et de Retty, cette dernière contenant notamment une très vaste zone anormale de plus de 60 km de longueur par 25 km de largeur.

Carte de la favorabilité associée aux facteurs géologiques

La carte de favorabilité associée aux facteurs géologiques (figure 14a) représente la contribution combinée de tous les indicateurs géologiques proximaux associés à la présence de minéralisations de SMV de type pélitique-mafique. Cette carte est obtenue en combinant les cartes du contrôle

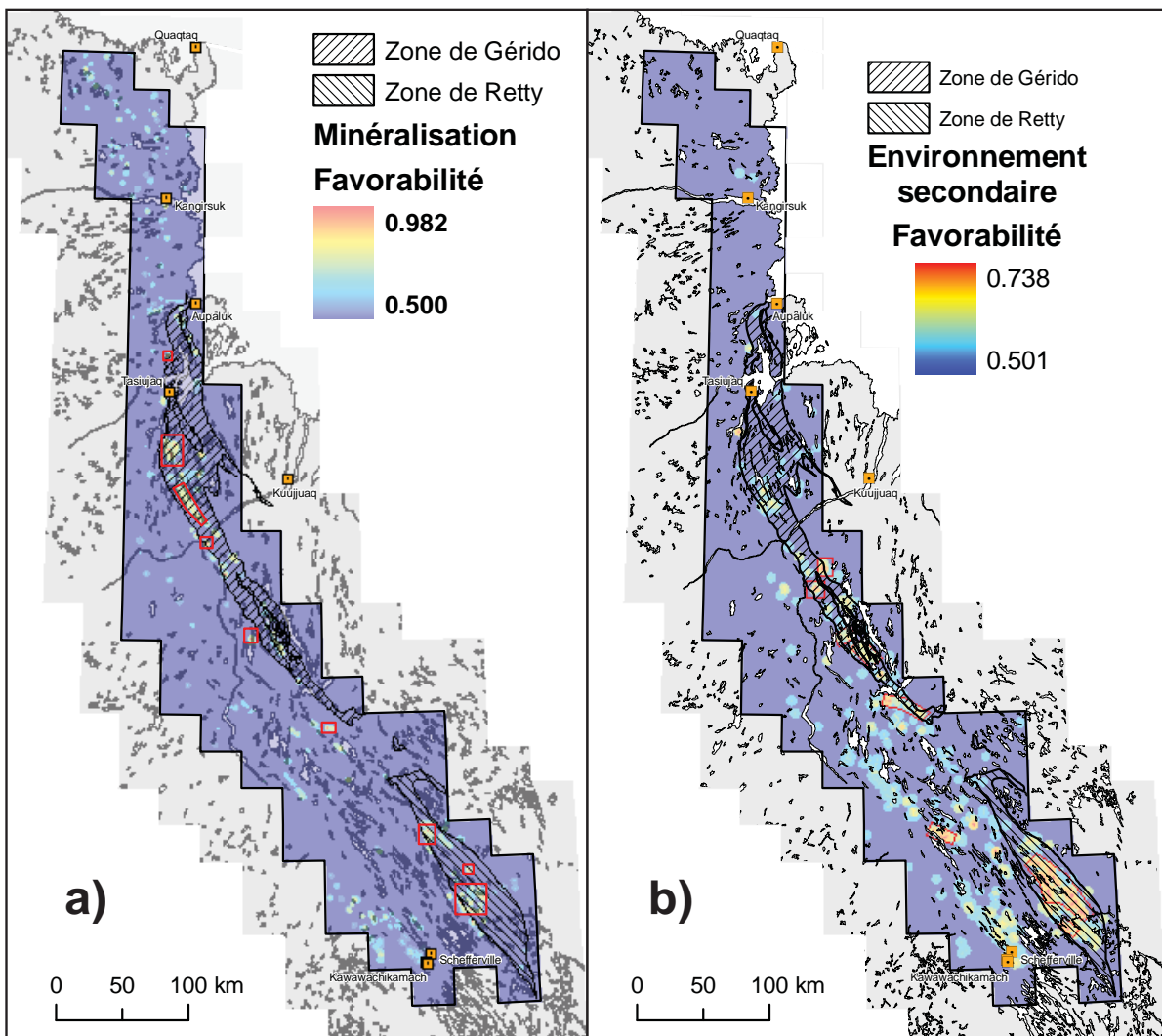


FIGURE 13 – Cartes de la favorabilité : **a)** du facteur minéralisation (sulfures ou oxydes et métaux indicateurs et; **b)** de l'environnement secondaire. Les polygones en rouge localisent les secteurs les plus favorables.

lithologique, de l'altération et de la minéralisation. Un opérateur GAMMA avec un facteur de 0,713 est utilisé à cette fin.

Carte de la favorabilité pour les minéralisations de SMV de type pélitique-mafique

La figure 14b présente la carte de la favorabilité pour les minéralisations obtenue par combinaison avec un opérateur OU de la carte de favorabilité des facteurs géologiques proximaux avec celle de l'environnement secondaire. Cette carte représente l'objectif final dans la combinaison des cartes des quatre grandes familles du modèle et correspond à la carte finale présentant le potentiel de la Fosse du Labrador pour les minéralisations de SMV de type pélitique-mafique. La valeur maximale de la carte est de 0,957.

Détermination des zones de haute favorabilité

Il est maintenant possible de définir, à partir de la carte finale de favorabilité (ou de potentiel), des zones de haute favorabilité (ZHF) associée aux minéralisations de SMV de type pélitique-mafique qui permettront de focaliser l'exploration minière.

La définition d'une zone de haute favorabilité implique la détermination du seuil de la valeur de favorabilité minimale au-delà duquel la favorabilité d'une zone possède une prédictivité significative

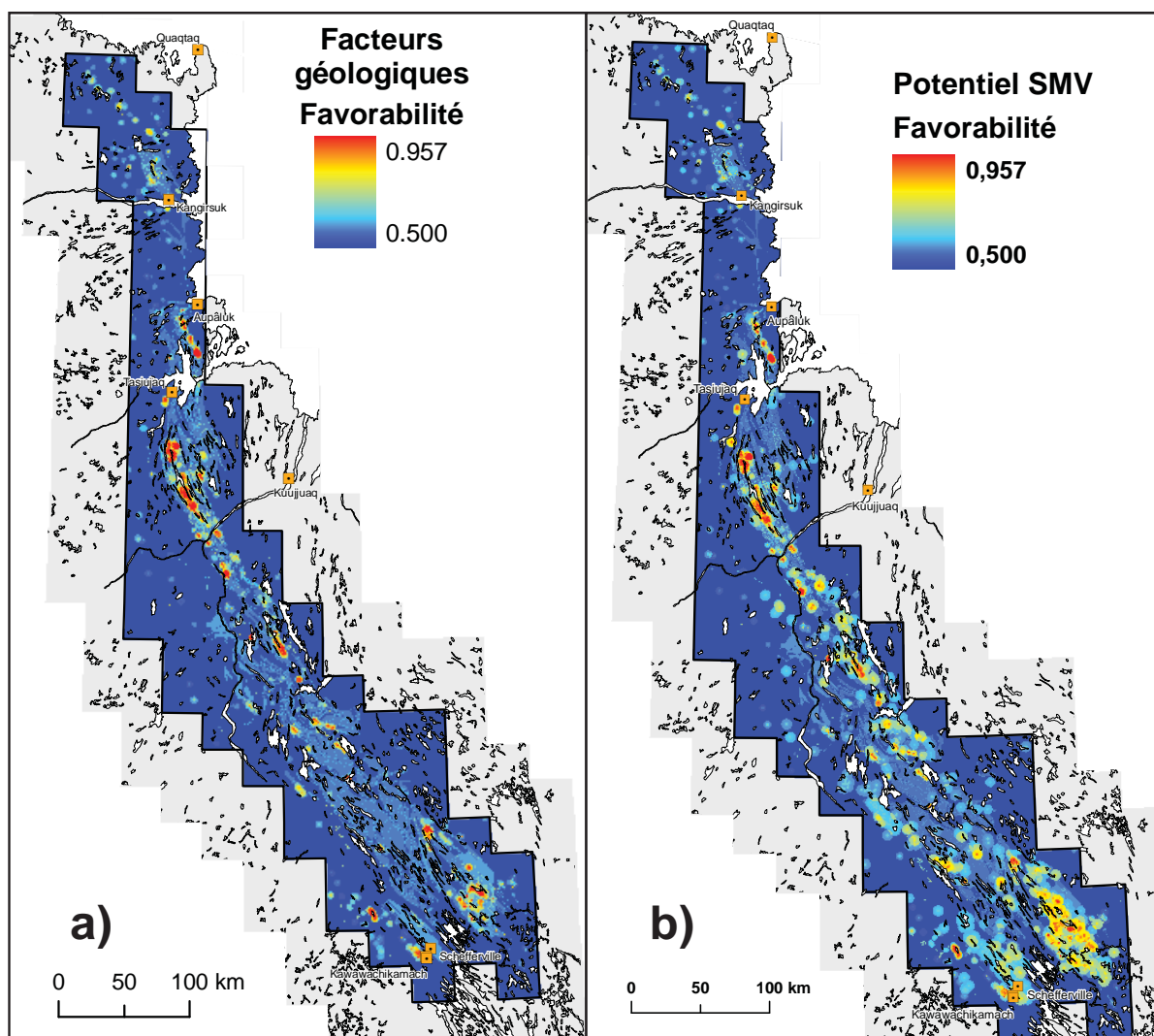


FIGURE 14 – Cartes de la favorabilité : a) des facteurs géologiques proximaux; et b) en minéralisations de SMV de type pélitique-mafique obtenue après la combinaison avec la carte de favorabilité des facteurs géologiques proximaux avec celle de l'environnement secondaire..

de la présence de minéralisations du type recherché. Pour définir ce seuil, les valeurs de favorabilité finale associées aux 18 gîtes de SMV de la Fosse du Labrador ont été reportées sur un diagramme de probabilité normale (figure 15). On y distingue deux populations normales différentes. La plus importante (points rouges) comprend 8 (44 %) des 18 gîtes de SMV documentés dans la région et se situe au-dessus du seuil de valeur normale standard de 0,729 (figure 15). Tous ces gîtes sont des gîtes travaillés ou des gisements à tonnage évalué; les connaissances géologiques les définissant sont donc suffisantes pour les cibler adéquatement dans le modèle. Inversement, les six indices utilisés dans le modèle se situent sous le seuil de favorabilité minimale, ainsi que trois gîtes travaillés (Lac Youngren, Gauthier-McNeely et Lac Lelièvre) et un gisement à tonnage évalué (Lac Jimmick). Cette seconde population est mal ciblée par le modèle parce que les données disponibles pour ces minéralisations sont insuffisantes ou contradictoires.

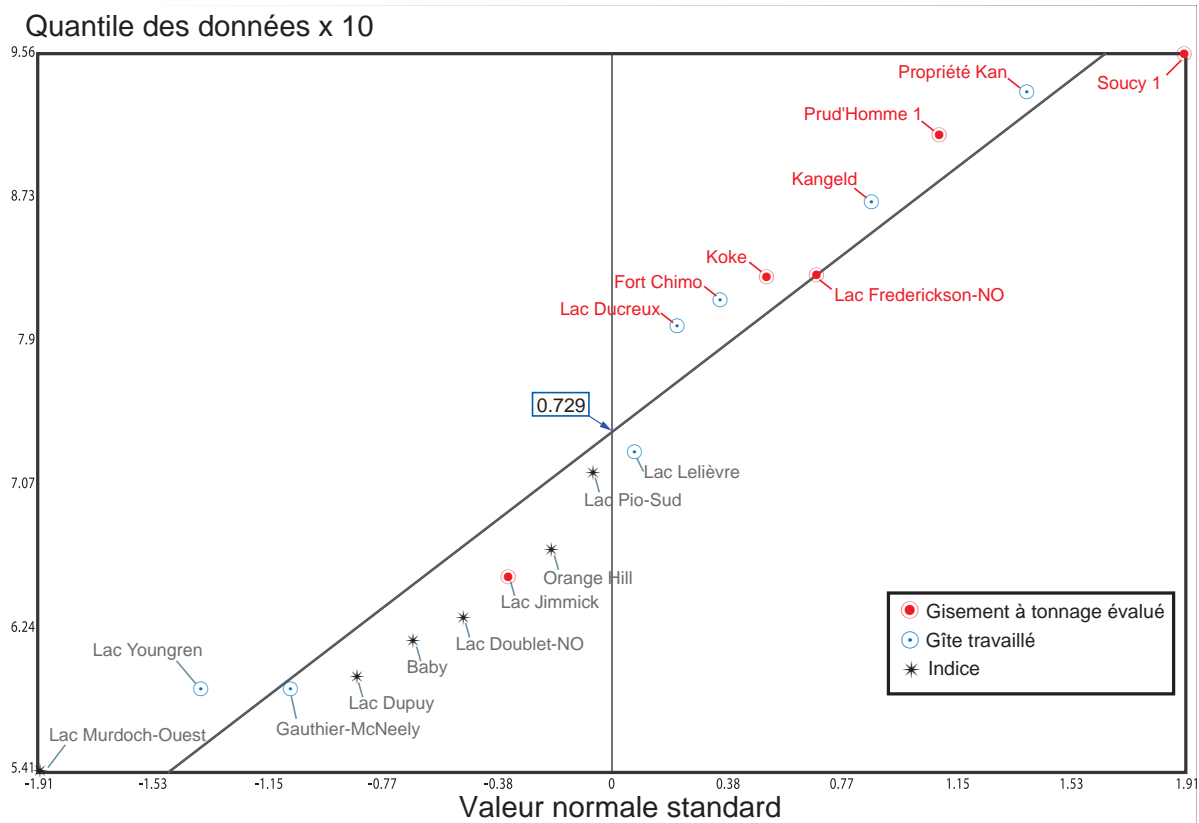


FIGURE 15 – Détermination du seuil minimal de haute favorabilité à l’aide d’un diagramme de probabilité normale. Les valeurs observées (en ordonnée) correspondent à la valeur de favorabilité mesurée sur la carte finale de favorabilité pour chacun des 18 gîtes de SMV. Ce type de diagramme permet de distinguer les différentes populations d’un ensemble. Regroupant 44 % de l’ensemble des gîtes de SMV de la Fosse du Labrador, les gîtes dont la valeur de favorabilité est supérieure à 0,729 (en rouge) appartiennent à une population homogène qui répond aux critères du modèle en respectant une distribution gaussienne de leur valeur de favorabilité mesurée. Les 10 gîtes identifiés en gris sont situés sous le seuil de haute favorabilité et répondent mal au modèle.

Utilisant le seuil de valeur minimale, il est possible de définir, à partir de la carte finale de favorabilité, un ensemble de cellules dont les valeurs sont égales ou supérieures à 0,729 et de convertir ces groupes de cellules en polygones. Ceux-ci ont été regroupés pour constituer 79 zones de haute favorabilité (figure 16). Chaque zone incorpore dans sa table d’attributs les valeurs maximales de cinq sous-modèles (Contrôle lithologique, altération, minéralisation, contenu en métaux indicateurs et environnement secondaire) ainsi que la valeur maximale de potentiel SMV couverte par la zone.

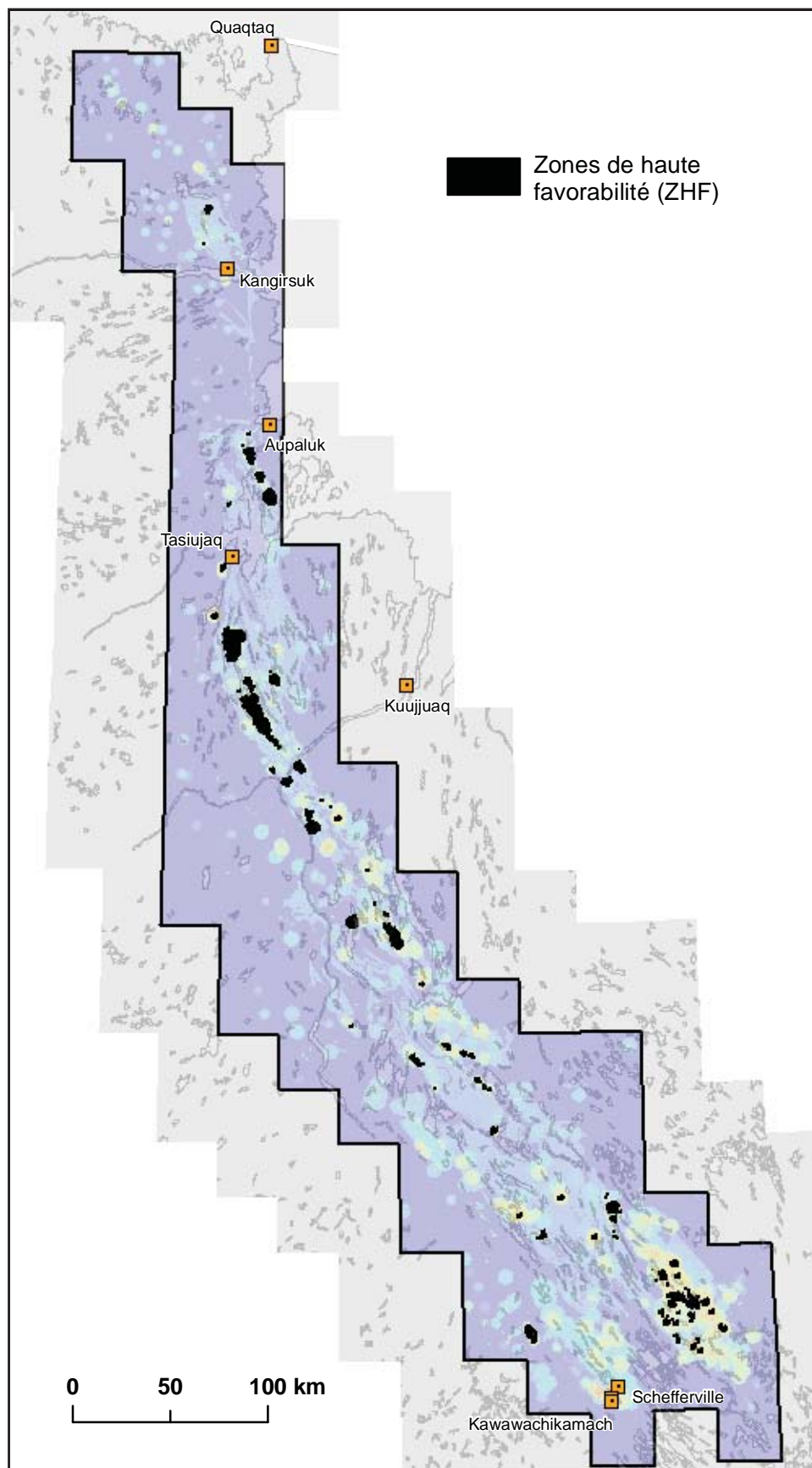


FIGURE 16 – Localisation des 79 zones de haute favorabilité (en noir) pour les minéralisations de SMV de type pélitique-mafique dans la Fosse du Labrador. Pour plus de détail, voir la carte hors-texte.

Évaluation de l'efficacité de la carte

Tel que présenté à la figure 15, tous les corps minéralisés en SMV connus situés au-dessus du seuil de haute favorabilité sont composés de gisements à tonnage évalué et de gîtes travaillés. Le modèle est donc plutôt efficace pour cibler ce type de gîte, alors qu'un seul gisement à tonnage évalué sur cinq et trois gîtes travaillés sur sept se situent sous le seuil minimal. Aucun indice n'est ciblé par les ZHF créées à l'étape précédente.

La figure 17 présente le diagramme illustrant la prédictivité de la carte de favorabilité en fonction des 18 gîtes de SMV utilisés dans cette étude. Il indique le pourcentage cumulatif des gîtes ciblées (en ordonnée) en fonction de la surface occupée (en pourcentage cumulatif) par les cellules de la carte triées par ordre décroissant de valeur de favorabilité (en abscisse). La portion gauche agrandie du diagramme montre que 71 % des gîtes de SMV y sont prédits avec 5 % de la surface de favorabilité supérieure. L'efficacité de cette carte est moindre que celle des études antérieures de potentiel (Lamothe *et al.*, 2005; Lamothe et Harris, 2006; Lamothe, 2008; Lamothe, 2009; Lamothe, 2011), qui obtenaient des proportions variant entre 89 et 100 % des gîtes avec ce même 5 % de la surface de favorabilité supérieure. Cette différence découle vraisemblablement de l'utilisation, pour le calcul de prédictivité, d'une forte proportion de gîtes correspondant à des indices. En effet, l'efficacité très supérieure de certains types de gîtes (en particulier des mines et gisements à tonnage évalué) à définir la favorabilité minérale d'un secteur a été démontrée par Lamothe et Harris (2006) et par Harris et Sanborn-Barrie (2006). Les mines, les gisements à tonnage évalué, les gîtes travaillés et les indices sont généralement caractérisés par une abondance respectivement décroissante de données spatiales, notamment en termes de forages et d'analyses de roche. En particulier, le volume élevé de données associé aux mines et aux gisements à tonnage évalué contribue à définir avec robustesse leurs attributs géologiques ainsi que leur association éventuelle à un paramètre. À l'inverse, les indices sont généralement associés à un niveau beaucoup moindre de connaissances, ce qui contribue à diluer la prédictivité de la plupart des paramètres.

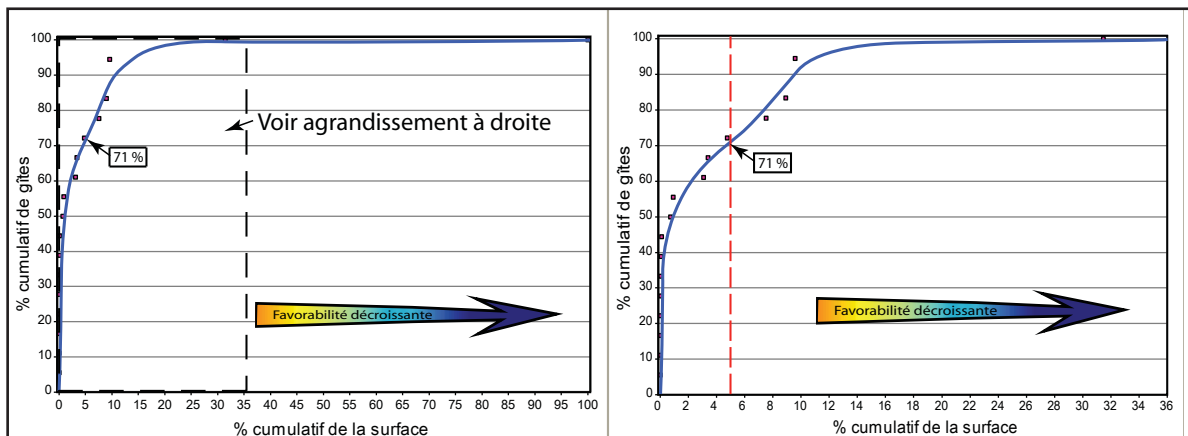


FIGURE 17 – Diagramme illustrant la prédictivité de la carte de favorabilité finale. Environ 71 % des 18 gîtes de type SMV utilisés pour le traitement se situent dans le groupe des cellules les plus favorables équivalant à 5 % de la surface de la carte.

CONCLUSIONS

L'intégration modélisée de 25 paramètres géologiques par logique floue hybride a permis de réaliser une carte de potentiel minéral prédisant la probabilité de trouver un gîte de sulfures massif volcanogène de type pélitique-mafique dans la Fosse du Labrador.

La figure 18 présente une combinaison de la carte de distribution des ZHF (figure 16) avec celle de la connaissance (figure 10). Cette représentation permet de tirer les deux conclusions suivantes : 1) le niveau plus élevé de connaissances peut expliquer l'abondance des ZHF dans la moitié sud de la fosse ainsi qu'au sud de Tasiujaq (gîtes Soucy 1 et Prud'homme 1); et 2) il existe un certain nombre de ZHF (polygones rouges sur la figure 18) dans des secteurs où le niveau d'exploration est relativement peu élevé et autour desquels aucun gîte de SMV n'est connu. Ces secteurs sont théoriquement plus favorables à la découverte de nouveaux dépôts.

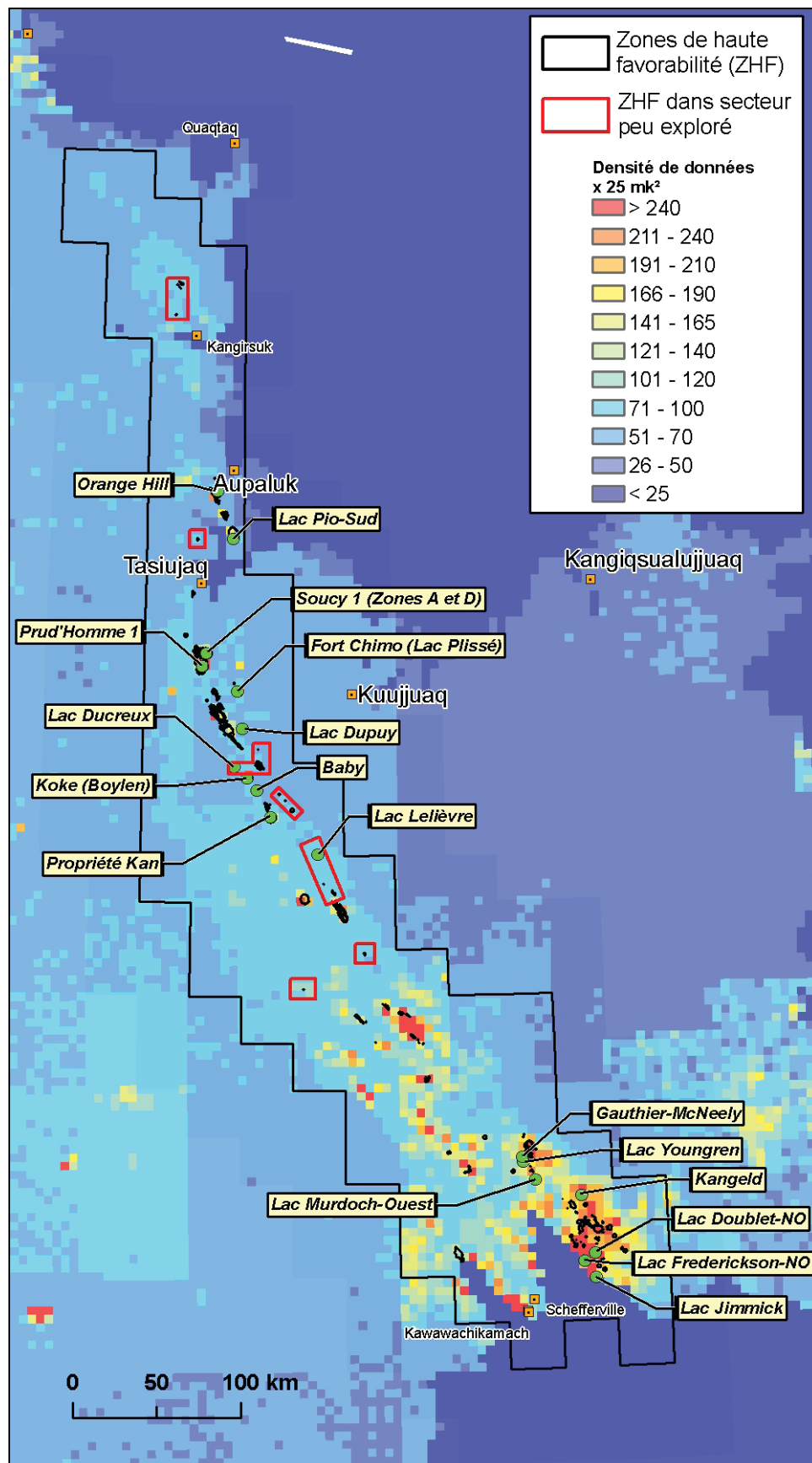


FIGURE 18 – Localisation des ZHF en fonction du niveau de connaissance du secteur d'étude. Les polygones rouges identifient les ZHF situées dans des zones relativement peu explorées et où le potentiel de découverte de gîtes de SMV est favorable.

RÉFÉRENCES

- AGTERBERG, F.P., 1989 – Systematic approach to dealing with uncertainty of geoscience information in mineral exploration. Proceedings 21st APCOM Symposium, Las Vegas, march 1989; Chapter 18, pages 165-178.
- AGTERBERG, F.P. – BONHAM-CARTER, G.F. – WRIGHT, D.F., 1990 – Statistical pattern integration for mineral exploration. *In*: Computer Applications in Resource Estimation Prediction and Assessment for Metals and Petroleum (Gaal, G. and Merriam, D.F., editors). Pergamon Press, Oxford; pages 1-21.
- AN, P. – MOON, W.M. – 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.
- BARAGAR, W.R.A., 1967 – Wakuach Lake map-area, Quebec-Labrador (23 O). Commission géologique de Canada, Mémoire 344, 174 pages.
- BARAGAR, W.R.A. – SCOATES, R.F.J., 1981 – The circum-Superior belt : a Proterozoic plate margin? *In*: Precambrian Plate Tectonics (Kröner, A., editor). Developments in Precambrian Geology 4. Elsevier Scientific, Amsterdam; pages 297-330.
- BARRETT, T.J. – WARES, R.P. – FOX, J.S., 1988 – Two-stage hydrothermal formation of a Lower Proterozoic sedimenthosted massive sulfide deposit, northern Labrador Trough, Quebec. Canadian Mineralogist; volume 26, pages 871-888.
- BIRKETT, T.C. – CLARK, T., 1991 – Géologie et potentiel métallifère de la carbonatite protérozoïque du lac LeMoyne dans le nord du Québec. Commission géologique de Canada; Forum des travaux en cours, Programme et Résumés, page 20.
- BOLENEUS, D.E. – RAINES, G.L. – CAUSEY, D. – BOOKSTROM, A.A. – FROST, T.P. – HYNDMAN, P.C., 2001 – Assessment method for epithermal gold deposits in northeast Washington State using weights-of-evidence GIS modelling. USGS; Open File report 01-501, 53 pages.
- BONHAM-CARTER, G.F., 1994 – Geographic Information Systems for geoscientists: Modelling with GIS. Pergamon Press, Oxford; 398 pages.
- BONHAM-CARTER, G.F. – AGTERBERG, F.P. – WRIGHT, D.F., 1988 – Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing; Volume 54, No.77, pages 1585-1592.
- 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.
- 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, No.3, pages 183-200.
- BROWN, W.M. – GEDEON, T.D. – GROVES, D.I. – BARNES, R.G., 2000 – Artificial neural networks; a new method for mineral prospectivity mapping. Australian Journal of Earth Sciences; Volume 47, No.4, pages 757-770.
- CARRANZA, E.J.M. – HALE, M., 2002 – Where are Porphyry Copper Deposits Spatially localized? A case study in Benguet Province, Phillipines. Natural Resources Research; Volume 11, No. 1, pages 45-59.

- CHENG, Q., 1999 – Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 65, pages 175-194.
- CHENG, Q. – AGTERBERG, F.P. – BONHAM-CARTER, G.F., 1996. – A spatial analysis method for geochemical anomaly separation. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 56, pages 183-195.
- CHENG, Q. – AGTERBERG, E P., 1999 – Fuzzy weights of evidence and its application in mineral potential mapping. *Natural Resources Research*; Volume 8, No. 1, pages 27-35.
- CHUNG, C.F. – AGTERBERG, F.P., 1980 – Regression models for estimating mineral resources from geological map data. *Mathematical Geology*; Volume 12, No.5, pages 473-488.
- CHUNG, C.F. – MOON, W.M., 1991 – Combination rules of spatial geoscience data for mineral exploration. *Geoinformatics*; Volume 2, pages 159-169.
- CLARK, T. – THORPE, R.I., 1990 – Model lead ages from the Labrador Trough and their stratigraphic implications. *In: The Early Proterozoic Trans-Hudson Orogen of North America : Lithotectonic Correlations and Evolution* (Lewry, J.F. and Stauffer, M.R., editors). Geological Association of Canada; Special Paper 37, pages 413-432.
- CLARK, T. – WARES, R., 2004 – Synthèse lithotectonique et métallogénique de l'Orogène du Nouveau-Québec (Fosse du Labrador). Ministère des Ressources naturelles; MM 2004-01, 180 pages.
- D'ERCOLE, C. – GROVES, D.I. – KNOX-ROBINSON C.M., 2000 – Using fuzzy logic in a Geographic Information System environment to enhance conceptually based prospectivity analysis of Mississippi Valley-type mineralization. *Australian Journal of Earth Sciences*; Volume 47, pages 913-927.
- DE ARAUJO, C.C. – MACEDO, A.B., 2002 – Multicriteria geologic data analysis for mineral favourability mapping: Application to a metal sulphide mineralized area, Ribeira Valley Metallogenic Province, Brazil. *Natural Resources Research*; Volume 11, No. 1, pages 29-43.
- DIMROTH, E., 1978 – Région de la Fosse du Labrador entre les latitudes 54° 30' et 56° 30'. Ministère des Ressources naturelles; RG 193, 412 pages.
- DIMROTH, E. – BARAGAR, W.R.A. – BERGERON, R. – JACKSON, G.D. – 1970 – The filling of the Circum-Ungava geosyncline. *In: Symposium on Basins and Geosynclines of the Canadian Shield* (Baer, A.J., editor). Geological Survey of Canada; Paper 70-40, pages 45-142.
- DION, C. – LAMOTHE, D., 2002 – Évaluation du potentiel en minéralisations de sulfures massifs volcanogènes de la région de Chibougamau (32G) - Intégration de géodonnées par la technologie d'analyse spatiale. Ministère des Ressources naturelles; EP 2002-04, 1 cédérom.
- ECKSTRAND, O.R. – SINCLAIR, W.D. – THORPE, R.I., 1996 – Geology of Canadian Mineral Deposit Types, Decade in North American Geology, 8, Geological Survey of Canada. P-1, pages 129-196.
- FINDLAY, J.M. – PARRISH, R.R. – BIRKETT, T. – WATANABE, D.H., 1995 – U-Pb ages from the Nimish Formation and Montagnais glomeroporphyritic gabbro of the central New Québec Orogen, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*; Volume 32, pages 1208-1220.
- FRANKLIN, J.M., 1995 – Volcanic-associated massive sulphide base metals. Geological Survey of Canada, *Geology of Canada* no.8, pages 158-183.
- FRANKLIN, J.M. – GIBSON, H.L. – JONASSON, I.R. – GALLEY, A.G., 2005 – Volcanogenic Massive Sulfide Deposits. Society of Economic Geology; *Economic Geology* 100th Anniversary Volume; pages 523-560.
- FRAREY, M.J. – DUFFELL, S., 1964 – Revised stratigraphic nomenclature for the central part of the Labrador Trough. Geological Survey of Canada; Paper 64-25, 13 pages.
- GALLEY, A.G., 1993 – Characteristics of semi-conformable alteration zones associated with volcanogenic massive sulphide districts. *Journal of Geochemical Exploration*; volume 48, pages 175-200.
- GALLEY, A.G. – HANNINGTON, M.D. – JONASSON, I.R., 2007 – Volcanogenic massive sulphide deposits. *In: Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metal-*

- logeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods (Goodfellow, W.D., editor). Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division; Special Publication No.5, pages 141-161.
- GIRARD, R., 1990 – Les cisaillements latéraux dans l'arrière-pays des orogènes du Nouveau-Québec et de Torngat : une revue. *Geoscience Canada*; Volume 17, pages 301-304.
- GOODFELLOW, W.D. – ZIERENBERG, R.A., – ODP 196 SHIPBOARDS SCIENCE PARTY, 1999 – Genesis of massive sulfide deposits at sediment-covered spreading centers. *In: Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings* (Barrie, C.T., and Hannington, M.D., editors). *Reviews in Economic Geology*; volume 8, Society of Economic Geologists, pages 297-324.
- GROVES, D.I. – GOLDFARB, R.J. – KNOX-ROBINSON, C.M. – OJALA, V.J. – GARDOLL, S.J. – YUN G. Y. – HOLYLAND P.W., 2000 – Late-kinematic timing of orogenic gold deposits and significance for computer based exploration techniques with emphasis on the Yilgarn Block, Western Australia. *Ore Geology Reviews*; Volume 17, pages 1-38.
- 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. Published by Environmental Research Institute of Michigan; pages 233-249.
- HARRIS, D.A. – PAN, R., 1999 – Mineral favourability mapping: a comparison of artificial networks, logistic regression and discriminant analysis. *Natural Resources Research*; Volume 8, No.2, pages 93-109.
- HARRIS, J.R. – SANBORN-BARRIE, M., 2006 – Mineral potential mapping : Examples from the Red Lake greenstone belt, northwest Ontario. *In: GIS for the Earth Sciences* (Harris, J.R., editor). Geological Association of Canada; Special Paper 44, pages 1-22.
- HARRIS, J.R. – WILKINSON, L. – BROOME, J., 1995 – Mineral exploration using GIS-based favourability analysis, Swayze Greenstone Belt, Northern Ontario. *In: Proceedings of the Canadian Geomatics Conference (CD-ROM)*, National Defense Canada.
- HARRIS, J.R. – WILKINSON, L. – GRUNSKY, E., 2000 – Effective use and interpretation of lithogeochemical data in regional mineral exploration programs: Application of Geographic Information System (GIS) technology. *Ore Geology Reviews*; Volume 16, pages 107-143.
- HARRIS, J.R. – WILKINSON, L. – GRUNSKY, G. – HEATHER, K., AYER, J., 1999 – Techniques for analysis and visualization of lithogeochemical data with applications to the Swayze greenstone belt, Ontario. *Journal of Geochemical Exploration*; Volume 67, No.1-3, pages 301-334.
- 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, No.2, pages 91-124.
- HOFFMAN, P., 1988 – United Plates of America, the birth of a Craton: Early Proterozoic assembly and growth of Proto-Laurentia. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*; Volume 16, pages 543-603.
- HOFFMAN, P., 1989 – Precambrian geology and tectonic history of North America. *In : The Geology of North America - An Overview* (A.W. Bally and A.R. Palmer, editors). Geological Society of America, *The Geology of North America*; Volume A, pages 447-512.
- HOFFMAN, P., 1990 – Dynamics of the tectonic assembly of northeast Laurentia in geon 18 (1.9-1.8 Ga). *Geoscience Canada*; Volume 17, pages 222-226.
- HOFFMAN, P. – GROTZINGER, J.P., 1989 – Abner-Denault reef complex (2.1 Ga), Labrador Trough, N.E. Québec. *In: Reefs, Canada and Adjacent Area* (Geldsetzer, H.H.J., James, N.P. and Tebbutt, G.E., editors). Canadian Society of Petroleum Geologists; Memoir 13, pages 49-54.

- ISHIKAWA, Y. – SAWAGUCHI, T. – IWAYA, S. – HORIOCHI, M., 1976 – Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on models of volcanism of underlying dacite and alteration halos: *Mining Geology*, 26, 105-117
- JAMES, D.T. – DUNNING, G.R., 2000 – U-Pb geochronological constraints for Paleoproterozoic evolution of the Core Zone : southeastern Churchill Province, northeastern Laurentia. *Precambrian Research*; Volume 103, pages 31-54.
- KNOX-ROBINSON, C.M., 2000 – Vectorial fuzzy logic: a novel technique for enhanced mineral prospectivity mapping, with reference to the orogenic gold mineralization potential of the Kalgoorlie Terrane, Western Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*; Volume 57, No. 5, pages 929-942.
- LABBÉ, J.-Y., 2002 – Évaluation du potentiel de découverte de kimberlites de la région du Grand-Nord du Québec - Intégration de géodonnées par la technologie d'analyse spatiale. Ministère des Ressources naturelles; EP 2002-05, 1 cédérom.
- LABBÉ, J.-Y. – PILOTE, P. – LAMOTHE, D., 2006 – Évaluation du potentiel minéral pour les gîtes porphyriques de Cu-Au-Mo de l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; EP 2006-03, 47 pages, 1 cédérom.
- LAMOTHE, D., 2008 – Évaluation du potentiel en minéralisations de type or orogénique de la Baie James. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; EP 2008-01, 54 pages, 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; EP 2009-01, 54 pages, 1 cédérom.
- LAMOTHE, D., 2010 – Modélisation de cibles de l'environnement secondaire par des techniques de seuils naturels et de régression spatiale multiple. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune; EP 2010-01, 28 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 cédérom.
- LAMOTHE, D. – BEAUMIER, M., 2001 – Évaluation du potentiel régional en minéralisations de type Olympic Dam-Kiruna dans la région du lac Manitou (SNRC 22I). Ministère des Ressources naturelles; EP 2001-01, 1 cédérom.
- LAMOTHE, D. – BEAUMIER, M., 2002 – Évaluation du potentiel régional en minéralisations de type Olympic Dam-Kiruna dans la région du lac Fournier (SNRC 22P). Ministère des Ressources naturelles; EP 2002-01, 45 pages, 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; EP 2006-01, 64 pages, 1 cédérom.
- 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; EP 2005-01, 99 pages, 1 cédérom.
- LYDON, J. W., 1984 – Some observations on the morphology and ore textures of volcanogenic sulfide deposits of Cyprus. Geological Survey of Canada, Current Research, Paper 84-01A, pages 601-610.
- MACHADO, N., 1990 – Timing of collisional events in the Trans-Hudson Orogen : evidence from U-Pb geochronology for the New Quebec Orogen, the Thompson Belt and the Reindeer Zone (Manitoba and Saskatchewan). *In: The Early Proterozoic Trans-Hudson Orogen of North America : Lithotectonic Correlations and Evolution* (Lewry, J.F. and Stauffer, M.R., editors). Geological Association of Canada; Special Paper 37, pages 433-441.
- MACHADO, N. – CLARK, T. – DAVID, J. – GOULET, N., 1997 – U-Pb ages for magmatism and deformation in the New Quebec Orogen. *Canadian Journal of Earth Sciences*; Volume 34, pages 716-723.

- MACHADO, N. – GOULET, N. – GARIÉPY, C., 1989 – U-Pb geochronology of reactivated Archean basement and of Hudsonian metamorphism in the northern Labrador Trough. *Canadian Journal of Earth Sciences*; Volume 26, pages 1-15.
- PAGANELLI, F. – RICHARDS, J.P. – GRUNSKY, E.C., 2002 – Integration of Structural, Gravity and Magnetic Data Using the Weights of Evidence Method as a tool for Kimberlite Exploration in the Buffalo Head Hills, Northern Central Alberta, Canada. *Natural Resources Research*; Volume 11, No. 3, pages 219-236.
- PICHÉ, M. – JÉBRAK, M., 2004 – Normative minerals and alteration indices developed for mineral exploration. *Journal of Geochemical Exploration*; Volume 82, pages 59-77.
- POIRIER, G. – PERREAULT, S. – HYNES, A., 1990 – The Nature of the eastern Boundary of the Labrador Trough Near Kuujuaq, Quebec. *In: The Early Proterozoic Trans-Hudson Orogen of North America : Lithotectonic Correlations and Evolution* (Lewry, J.F. and Stauffer, M.R., editors). Geological Association of Canada; Special Paper 37, pages 397-412.
- PORWAL, A. – CARRANZA E.J.M. – HALE, M., 2003a – Artificial neural networks for mineral-potential mapping: A case study from the Aravalli Province, western India. *Natural Resources Research*; Volume 12, No. 3, pages 155-171.
- PORWAL, A. – CARRANZA E.J.M. – HALE, M., 2003b – Knowledge-driven and data-driven fuzzy models for predictive mineral potential mapping. *Natural Resources Research*; Volume 12, No. 1, pages 1-25.
- PORWAL, A. – HALE, M., 2000 – GIS-based weights-of-evidence analysis of multiclass spatial data for predictive mineral mapping: a case study from Aravalli province, western India: *Proc. XIV Intern. Con. Applied Geologic Remote Sensing*, (Las Vegas, Nevada); pages 377-384.
- RAINES, G.L., 1999 – Evaluation of Weights of Evidence to predict epithermal gold deposits in the Great Basin of the western United States. *Natural Resources Research*; Volume 8, No.4, pages 257-276.
- REDDY, R.K.T. – AGTERBERG, F.P. – BONHAM-CARTER, G.F., 1991 – Application of GIS-based logistic models to base-metal potential mapping in Snow Lake area, Manitoba. *In: Proceedings Canadian Conference on GIS*, Ottawa, Canada, March 18-22, 1991; pages 607-618.
- RENCZ, A.N. – HARRIS, J.R. – WATSON, G.P. – MURPHY, B., 1994 – Data Integration for Mineral Exploration in the Antigonish Highlands, Nova Scotia. *Canadian Journal of Remote Sensing*; Volume 20, No.3, pages 258-267.
- ROGGE, D.M. – HALDEN, N.M. – BEAUMONT-SMITH, C., 2006 – Application of Data Integration for Shear-Hosted Au Potential Modelling Linn Lake Greenstone Belt, Northwestern Manitoba, Canada. *In: GIS for the Earth Sciences* (Harris, J.R., editor). Geological Association of Canada; Special Paper 44, pages 191-210.
- ROHON, M.-L. – VIALLETTE, Y. – CLARK, T. – ROGER, G. – OHNENSTETTER, D. – VIDAL, P., 1993 – Apeh-bian mafic-ultramafic magmatism in the Labrador Trough (New Quebec): its age and the nature of its mantle source. *Canadian Journal of Earth Sciences*; Volume 30, pages 1582-1593.
- SAEKI, Y. – DATE, J., 1980 – Computer applications to the alteration data of the footwall dacite lava at the Ezuri kuroko deposits, Akita Prefecture: *Mining Geology*, **30**, 4, 241-250.
- SINGER, D.A. – KOUDA, R., 1996 – Application of feedforward neural network in search for Kuoroko deposits in the Hokuroku district, Japan. *Mathematical Geology*; Volume 28, No.3, pages 1017-1023.
- SINGER, D.A. – KOUDA, R., 1997a – Use of a neural network to integrate geoscience information in the classification of mineral deposits and occurrences. *In: Proceedings of Exploration 97: 4th Decennial International Conference on Mineral Exploration* (Gubins, A.G., editor) pages 127-134.
- SINGER, D.A. – KOUDA, R., 1997b – Classification of mineral deposits into types using mineralogy with a probabilistic neural network. *Nonrenewable Resources*; Volume 6, pages 27-32.

- SINGER, D.A. – KOUDA, R., 1999 – A comparison of the weights-of-evidence method and probabilistic neural networks. *Natural Resources Research*; Volume 8, No. 4, pages 287-298.
- SKULSKY, T. – WARES, R.P. – SMITH, A.D., 1993 – Early Proterozoic (1.88-1.87) tholeiitic magmatism in the New Québec Orogen. *Canadian Journal of Earth Sciences*; Volume 30, pages 1505-1520.
- SPIEGELHALTER, D.J., 1986 – Uncertainty in expert systems. *In: Artificial Intelligence and Statistics* (Gale, W.A., editor). Addison-Wesley, Reading, Massachusetts; pages 17-25.
- ST. SEYMOUR, K. – KIDDIE, A. – WARES, R., 1991 – Basalts and gabbros of the Labrador Trough : remnants of a Proterozoic failed ocean? *Neues Jahrbuch fuer Mineralogie, Monatshefte*, 1991; Hefte 6, pages 271-280.
- STOCKWELL, C.H., 1982 - Proposals for time classification and correlation of Precambrian rocks and events in Canada and adjacent areas of the Canadian Shield. Geological Survey of Canada; Study 80-19, 135 pages.
- TANGESTANI, M.H. – MOORE, F., 2003 – Mapping porphyry copper potential with a fuzzy model, northern Shar-e-Babak, Iran. *Australian Journal of Earth Sciences*; Volume 50, pages 311-317.
- TRÉPANIÉ, S., 2007 – Identification de domaines géochimiques à partir des levés régionaux de sédiments de lac. Ministère des Ressources naturelles, Québec; GM 62922, 95 pages.
- TURNER, D.D., 1997 – Predictive GIS Model for Sediment-Hosted Gold Deposits, North-Central Nevada, U.S.A. *In: Proceedings of Exploration 97 : Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration* (Gubins, A.G., editor). Exploration Information Management; Paper 13, pages 115-126.
- VAN DER LEEDEN, J. – BÉLANGER, M. – DANIS, D. – GIRARD, R. – MARTELAIN, J., 1990 – Lithotectonic domains in the high-grade terrain east of the Labrador Trough (Quebec). *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 371-386.
- WARDLE, R.J. – JAMES, D.T. – SCOTT, D.J. – HALL, J., 2002 – The southeastern Churchill Province : synthesis of a Paleoproterozoic transpressional orogen. *Canadian Journal of Earth Sciences*; Volume 9, pages 639-663.

- WARDLE, R.J. – RYAN, B. – ERMANOVICS, I., 1990a – The eastern Churchill Province, Torngat and New Québec orogens : an overview. *Geoscience Canada*; Volume 17, pages 217-222.
- WARDLE, R.J. – RYAN, B. – NUNN, G.A.G. – MENGEL, F.C., 1990b – Labrador segment of the Trans-Hudson orogen : crustal development through oblique convergence and collision. *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 353-369.
- WARES, R., – BERGER, J. – ST. SEYMOUR, K., 1988 – Synthèse métallogénique des indices de sulfures au nord du 57e parallèle, Fosse du Labrador : Étape I. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; MB 88-05, 186 pages.
- WILKINSON, L. – HARRIS, J.R. – KEATING, P. – KJARSGAARD, B., 2006 – GIS spatial analysis tools to assist in the search for kimberlite: Weights of evidence applied to the Lac de Gras region. *In: GIS for the Earth Sciences* (Harris, J.R., editor). Geological Association of Canada; Special Paper 44, pages 211-228.
- WODICKA, N. – MADORE, L. – LARBI, Y. – VICKER, P., 2002 – Géochronologie U-Pb de filons-couches mafiques de la Ceinture de Cape Smith et de la Fosse du Labrador. Programme et résumés, 23e Séminaire d'information sur la recherche géologique. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DV 2002-10, page 48.
- WRIGHT, D.F., 1996 – Evaluating volcanic hosted massive sulphide favourability using GIS-based spatial data integration models, Snow Lake area, Manitoba. Unpublished Ph. D. thesis, University of Ottawa; 338 p.
- WRIGHT, D.F. – BONHAM-CARTER, G.F., 1996 – VHMS Favourability Mapping with GIS-Based Integration Models, Chisel Lake-Anderson Lake Area. *In: EXTECH I: A Multidisciplinary Approach to Massive Sulphide Research in the Rusty Lake- Snow Lake Greenstone Belts, Manitoba* (Bonham-Carter, G.F., Galley, A.G., Hall, G.E.M., editors). Geological Survey of Canada; Bulletin 426, pages 339 -376 et 387-401.

ANNEXE 1

Caractéristiques des gîtes utilisés pour le calcul de la pondération de la carte de potentiel en gîtes de SMV de type pélitique-mafique (descriptions tirées de Clark et Wares, 2004).

| NOM DU GÎTE | SNRC | ESTANT | NORDANT | DESCRIPTION | MULT. |
|---------------------------|-------|--------|---------|---|-------|
| Baby | 24F11 | 478736 | 6384165 | PY, PO dans des shales graphiteux intercalés avec des formations de fer carbonatées et silicatées et des gabbros. | 1 |
| Fort Chimo (Lac Plissé) | 24K04 | 467168 | 6443164 | PO, CP, PY, SP massives et disséminées dans de l'argilite rubanée, cherteuse et carbonatisée près du contact avec un gabbro; basalte localement. | 2 |
| Gauthier-McNeely | 23O10 | 636421 | 6166954 | PO, SP, CP disséminées à massives; SF concordants et filoniens dans des conglomérats et des argilites graphiteuses. | 2 |
| Kangeld | 23O08 | 671271 | 6144729 | Zone de PO et PY, massive et concordante, avec disséminations, veinules et stringers de CP, SP, GL, dans des argilites graphiteuses et pyriteuses. Les SF sont stratigraphiquement au-dessus d'une zone de schiste à séricite et chlorite, et sont surmontés de basaltes. | 2 |
| Koke (Boylen) | 24F11 | 473195 | 6391629 | SF massifs stratiformes, concordants avec la stratification, dans une ardoise graphiteuse (avec du basalte associé) près du sommet d'une formation de fer. Les SF se composent de PY, SP, GL, PO et CP, dans une matrice de chert et carbonate à grain très fin. Ils contiennent des lits et fragments de chert et des fragments de dolomie. Le gîte est très déformé et situé au cœur d'un synclinal isoclinal (pli P1) repris par des plis P2 ouverts à serrés. | 3 |
| Lac Doublet-NO | 23O01 | 679496 | 6110478 | SF semimassifs et disséminés (CP, PO) dans de l'ardoise et SF disséminés dans du basalte et dans les bordures des coussins. La minéralisation est plus forte près du contact avec de l'ardoise. | 1 |
| Lac Ducreux | 24F12 | 465232 | 6398060 | PO, PY massives (lamines, nodules) dans une formation de fer silicatée avec lits de chert; PY disséminée dans des veines de QZ coupant un shale graphiteux et un schiste séricitique. | 2 |
| Lac Dupuy | 24F13 | 470045 | 6420729 | SF massifs (PO, PY, CP, SP) dans un shale noir au contact avec un gabbro. | 1 |
| Lac Frederickson-NO | 23O01 | 673596 | 6105629 | Plusieurs lentilles concordantes de SF semi-massifs (CP, PO, SP, PY, GL), dans des argilites cherteuses de la Formation de Menihék et bordées par des filons-couches de gabbro. | 3 |
| Lac Jimmick | 23J16 | 680121 | 6096129 | SP, CP dans des grauwackes et des mudstones fracturés et carbonatisés. | 3 |
| Lac Lelièvre | 24F07 | 515145 | 6346229 | PY, PO, CP disséminées dans du gabbro (type non défini); PY, PO massives en lentilles et PY, PO disséminées syngénétiques dans les métasédiments; veines épigénétiques de PY, PO massives et de SP, CP disséminées coupant les métasédiments. | 2 |
| Lac Murdoch-Ouest | 23O10 | 644045 | 6153729 | SF massifs en lentille (50 % PO, 50 % CP) dans un mince horizon de schiste argileux (+siltstone, quartzite, grauwacke), entre un gabbro glomérporphyrique et un gabbro aphyrique (indice de faible dimension). | 1 |
| Lac Pio-Sud (HR96-3293) | 24K13 | 464991 | 6533567 | CP disséminée dans une formation de fer riche en PO. | 1 |
| Lac Youngren | 23O10 | 637045 | 6164028 | Veinules de QZ-FP-CB et de PO-CP-SP recoupant ou parallèles au litage, sur plus de 12 m de longueur, dans des quartzites et des argilites à proximité du contact avec un gabbro à grain fin; PO à grain fin localement. Plusieurs sondages ont fait ressortir des sections riches en Cu, Zn, Au, Ag mais leurs dimensions étaient limitées. | 2 |
| Orange Hill | 24N04 | 455804 | 6561878 | SF massifs de 1 m d'épaisseur (longueur inconnue) dans une formation de fer. | 1 |
| Propriété Kan | 24F06 | 487195 | 6368379 | Lentille de SF massifs (PY, PO, GL, SP) suivie sur 40 m (N-S) dans des shales carbonatés (phyllade graphiteux) en contact avec un schiste séricitisé et carbonaté (métabasalte) et formation de fer, carbonatée; présence de lits de shale graphiteux. Altération des basaltes à proximité en CB, AK, SR, CL (phyllades et schistes). Les SF massifs se trouvent dans un horizon minéralisé en sulfures disséminés de 3 m d'épaisseur et traçable sur 400 m vers le nord. Le gîte semble être localisé dans le nez d'un synclinal mineur plongeant vers le sud-est. | 2 |
| Prud'Homme No 1: Zone Sud | 24K05 | 446596 | 6457930 | Zone Sud : lentille de SF massifs (PO, CP, SP, traces GL) orientée NNW-SSE et mesurant 180 m x 55 m, en contact cisailé avec un gabbro; présence de framboïdes de PY; 5 à 10 % de gangue composée de CB de fer, QZ, SE, GN, SR. Zone Nord : une série d'amas et de lentilles de SF massifs (PY, PO, CP, SP, traces GL) dans des schistes à CB, CL, QZ bordés par des gabbros; la zone minéralisée est orientée N-S et mesure de 200 à 300 m de longueur sur des épaisseurs décimétriques. | 3 |
| Soucy No 1 (Zones A et D) | 24K05 | 449053 | 6465574 | Zone A : SF massifs (PY, PO, CP, SP, GL), concordants, dans une gangue de QZ-CC, 400 m de longueur, 40 m d'épaisseur maximale (forages); SF très fins dans un schiste noir; framboïdes de PY. Zone D : PY, PO, CP, SP, gîte concordant d'au moins 130 m de longueur et de 10 m d'épaisseur maximale (forages), dans une ardoise noire. | 3 |

Les 18 gîtes sont localisés sur la figure 8. Le calcul des pondérations pour chaque paramètre est évalué à partir d'un ensemble de points représentant les gîtes de SMV de la région. L'ensemble a été pondéré en fonction de l'importance de chaque gîte. Les indices sont représentés par des points simples, les gîtes travaillées par des points doubles et les gîtes à tonnage évalué par des points triples. La description de chaque gîte est tirée de Clark et Wares (2004).

ANNEXE 2

Évaluation de la favorabilité de chacun des paramètres utilisés

| Unité ou distance (m) | Contraste | Valeur floue | Rang |
|---|-----------|--------------|------|
| Contrôle lithologique | | | |
| Unité stratigraphique favorable | | | |
| Formation de Baby moyen (formation de fer : faciès carbonaté et silico-carbonaté, interlits de chert) | 5.749 | 0.799 | 17 |
| Formation de Baby inférieur (ardoise noire pyriteuse, siltite pyriteuse) | 5.728 | 0.798 | |
| Formation d'Hellancourt (basalte massif) | 3.481 | 0.681 | |
| Formation de Baby supérieur (rythmites : mudstone, siltite, grès fin) | 3.118 | 0.662 | |
| Formation de Menihék (mudstone, siltite, phyllade et schiste ardoisier, avec un peu de grès) | 2.027 | 0.605 | |
| Formation de Willbob | 1.897 | 0.599 | |
| Formation d'Hellancourt (basalte, un peu de tuf et de brèche) | 0.448 | 0.523 | |
| Autres unités | -3.425 | 0.295 | |
| Proximité d'une intrusion de la Suite de Montagnais | | | |
| 0 | 1.261 | 0.566 | 22 |
| 0 - 200 | 2.884 | 0.650 | |
| > 200 | -2.755 | 0.335 | |
| Présence de brèches | | | |
| < 200 | 6.992 | 0.864 | 9 |
| 200 - 1200 | 3.523 | 0.683 | |
| 1200 - 2600 | 3.366 | 0.675 | |
| > 2600 | -3.999 | 0.260 | |
| Évidences d'activité hydrothermale | | | |
| Altération chimique | | | |
| Indice Hashimoto anomal | | | |
| < 400 | 5.121 | 0.766 | 19 |
| 400 - 2200 | 1.504 | 0.578 | |
| > 2200 | -2.474 | 0.352 | |
| Indice Séricite anomal | | | |
| < 400 | 5.841 | 0.804 | 16 |
| > 400 | -5.841 | 0.150 | |
| Indice ISER anomal | | | |
| < 600 | 4.987 | 0.759 | 20 |
| > 600 | -4.987 | 0.201 | |
| Indice IFRAIS anomal | | | |
| < 400 | 5.238 | 0.772 | 18 |
| > 400 | -5.238 | 0.186 | |
| Minéraux d'altération | | | |
| Proximité d'une altération en carbonates | | | |
| < 200 | 6.712 | 0.849 | 13 |
| 200 - 400 | 6.076 | 0.816 | |
| 400 - 2800 | 2.037 | 0.606 | |
| > 2800 | -3.164 | 0.310 | |
| Proximité d'une altération ferrifère | | | |
| < 200 | 8.094 | 0.921 | 6 |
| 200 - 1400 | 3.177 | 0.665 | |
| 1400 - 2800 | 0.629 | 0.533 | |
| > 2800 | -3.601 | 0.284 | |
| Présence de graphite | | | |
| < 200 | 6.928 | 0.860 | 11 |
| 200 - 400 | 3.588 | 0.687 | |
| > 400 | -5.889 | 0.147 | |
| Présence de sulfures ou oxydes | | | |
| Présence de pyrite | | | |
| < 200 | 6.839 | 0.856 | 12 |
| 200 - 800 | 2.923 | 0.652 | |
| 800 - 2000 | 2.307 | 0.620 | |
| > 2000 | -3.829 | 0.271 | |
| Présence de pyrrhotite | | | |
| < 200 | 7.813 | 0.906 | 7 |
| 200 - 600 | 2.908 | 0.651 | |
| 600 - 1000 | 2.955 | 0.654 | |
| 1000 - 1600 | 2.367 | 0.623 | |
| 1600 - 2400 | 1.446 | 0.575 | |
| > 2400 | -4.816 | 0.211 | |
| Présence de chalcopryrite | | | |
| < 200 | 8.327 | 0.933 | 5 |
| 200 - 2000 | 2.698 | 0.640 | |
| > 2000 | -4.600 | 0.224 | |
| Présence de sphalérite | | | |
| < 800 | 8.343 | 0.934 | 4 |
| > 800 | -8.343 | 0.001 | |
| Présence de magnétite | | | |
| < 200 | 4.547 | 0.736 | 21 |
| 200 - 1000 | 2.374 | 0.623 | |
| > 1000 | -3.056 | 0.317 | |

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 2

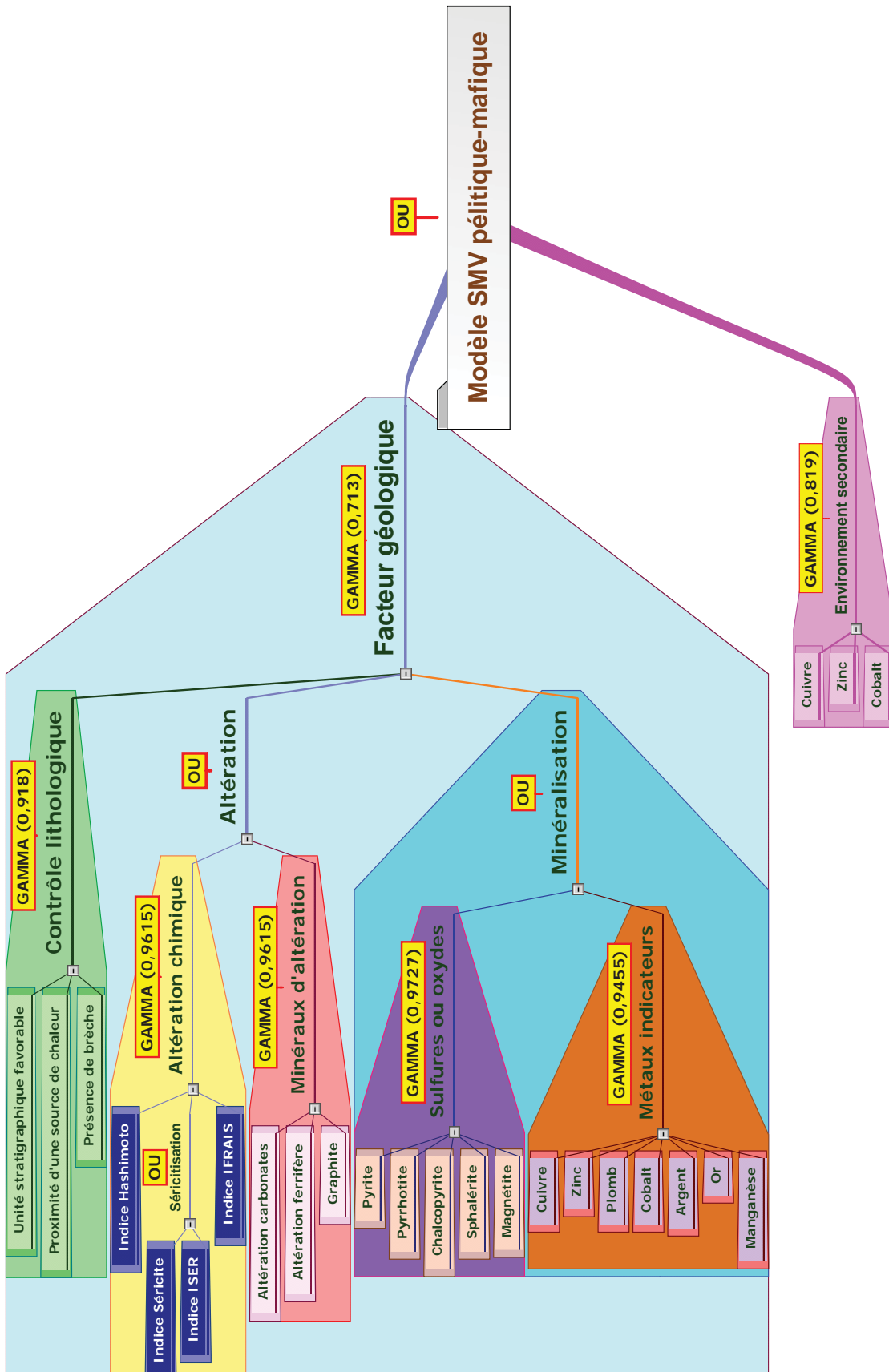
Évaluation de la favorabilité de chacun des paramètres utilisés (suite et fin)

| Distance (m) | Contraste | Valeur floue | Rang |
|--|-----------|--------------|------|
| Évidences d'activité hydrothermale (suite) | | | |
| Métaux indicateurs | | | |
| Contenu anomal en cuivre | | | |
| < 500 | 6.940 | 0.861 | 10 |
| 500 - 2500 | 0.857 | 0.545 | |
| > 2500 | -3.932 | 0.264 | |
| Contenu anomal en zinc | | | |
| < 400 | 8.585 | 0.950 | 3 |
| 400 - 1000 | 4.268 | 0.722 | |
| 1000 - 2800 | 1.251 | 0.565 | |
| > 2800 | -4.788 | 0.213 | |
| Contenu anomal en plomb | | | |
| < 400 | 9.615 | 0.999 | 1 |
| 400 - 1000 | 4.801 | 0.750 | |
| > 1000 | -4.833 | 0.210 | |
| Contenu anomal en cobalt | | | |
| < 400 | 7.294 | 0.879 | 8 |
| > 400 | -4.336 | 0.240 | |
| Contenu anomal en argent | | | |
| < 400 | 6.073 | 0.816 | 15 |
| 400 - 2800 | 2.548 | 0.632 | |
| > 2800 | -4.152 | 0.251 | |
| Contenu anomal en or | | | |
| < 200 | 9.118 | 0.974 | 2 |
| 200 - 400 | 7.015 | 0.865 | |
| 400 - 600 | 5.136 | 0.767 | |
| 600 - 800 | 4.818 | 0.751 | |
| 800 - 2800 | 1.025 | 0.553 | |
| > 2800 | -4.397 | 0.237 | |
| Contenu anomal en manganèse | | | |
| < 200 | 6.521 | 0.839 | 14 |
| 200 - 400 | 5.378 | 0.780 | |
| > 400 | -3.838 | 0.270 | |
| Environnement secondaire | | | |
| Cuivre anomal dans les sédiments de lac | | | |
| 0 - 1000 | 1.995 | 0.604 | 25 |
| 1000 - 3500 | 1.350 | 0.570 | |
| > 3500 | -1.551 | 0.407 | |
| Zinc anomal dans les sédiments de lac | | | |
| 0 - 1000 | 2.261 | 0.618 | 24 |
| 1000 - 2500 | 1.538 | 0.580 | |
| 2500 - 4000 | 1.112 | 0.558 | |
| > 4000 | -1.805 | 0.392 | |
| Cobalt anomal dans les sédiments de lac | | | |
| 0 - 1000 | 2.743 | 0.643 | 23 |
| 1000 - 2000 | 1.153 | 0.560 | |
| 2000 - 4000 | 0.877 | 0.546 | |
| > 4000 | -1.554 | 0.407 | |

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 3

Modèle d'inférence du potentiel en gîtes de SMV de type pélitique-mafique de la Fosse du Labrador



Ce modèle d'inférence illustre le processus de combinaison des 25 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.

