

EP 2009-01

Évaluation du potentiel minéral pour les gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie-James

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



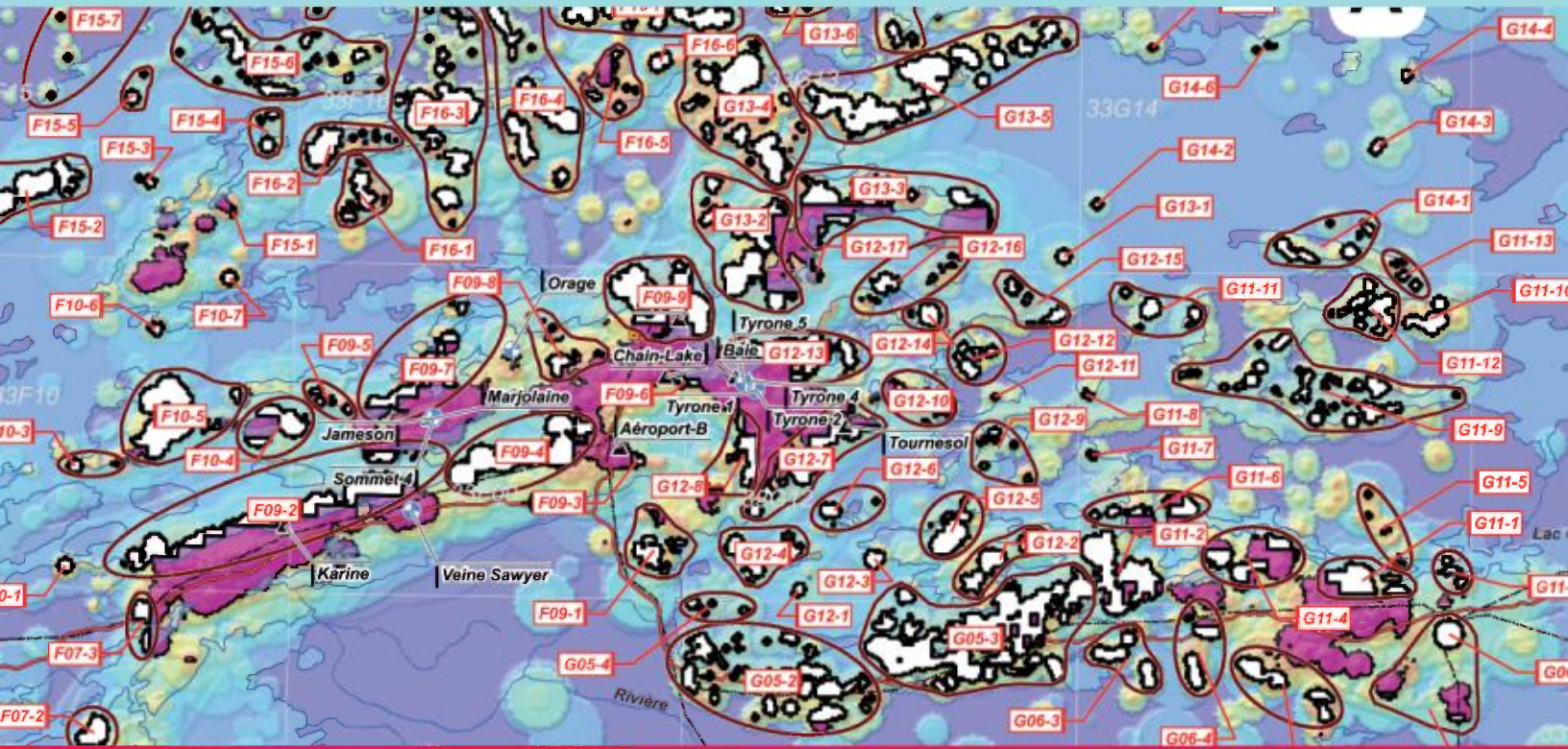
Licence

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

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 

Évaluation du potentiel minéral pour les gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie-James



Daniel Lamothe

Évaluation du potentiel minéral pour les gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie-James

Daniel Lamothe

EP 2009-01

Mots clés : Favorabilité, gîtes porphyriques, Cu-Au ± Mo, Baie-James, cibles

DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC

Direction générale de Géologie Québec

Robert Marquis

Direction de l'information géologique

Pierre Verpaelst

Édition

Denis L. Lefebvre, ing.

Graphisme

Charlotte Grenier

Document accepté pour publication le 27 janvier 2009

Résumé

Cette étude vise à déterminer la localisation des zones de haute favorabilité pour les gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie-James. Les zones de haute favorabilité sont définies à l'aide de 32 paramètres regroupés en 5 grandes classes, soit : 1) la présence de source de chaleur; 2) le contrôle lithologique; 3) le contrôle structural; 4) l'activité hydrothermale; et 5) les évidences dans l'environnement secondaire.

La pertinence géologique de chaque paramètre est pondérée par la méthode d'analyse spatiale du « poids de la preuve » (weight of evidence). Ce « géotraitement » mesure la probabilité d'association spatiale de chaque paramètre avec un ensemble de pondération de 61 gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo tirés du total des 72 gîtes porphyriques de la région d'étude. Les poids obtenus sont convertis en valeurs floues et les paramètres sont combinés selon une approche de logique floue.

Un seuil minimal de favorabilité pour la définition de zones de haute favorabilité a été déterminé à l'aide d'une approche statistique. Ces zones regroupent 80,5 % des 72 gîtes porphyriques de la Baie-James. En éliminant de ces zones les surfaces jalonnées en date du 1er novembre 2008, l'auteur propose 198 nouvelles cibles ouvertes à l'exploration.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	8
Objectifs de l'étude	10
Géologie générale.....	10
MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉVALUATION DE LA FAVORABILITÉ.....	15
Introduction	15
Méthodologie	16
Caractérisation des gîtes de type porphyrique	18
Niveau de connaissance du secteur d'étude.....	19
Paramètres utilisés.....	20
TRAITEMENT DES CARTES DE PARAMÈTRES	22
Proximité d'une source de chaleur.....	22
Proximité d'une intrusion synvolcanique	22
Contrôle lithologique.....	22
Proximité d'une intrusion porphyrique felsique ou intermédiaire	22
Proximité d'une intrusion felsique ou intermédiaire contenant de l'hématite et/ou magnétite	22
Contrôle structural.....	23
Proximité d'une faille régionale ductile	24
Densité des failles régionales ductiles	24
Densité des failles	24
Densité de la fracturation	24
Densité des veines de quartz.....	25
Proximité d'une texture bréchique	25
Évidences d'activité hydrothermale dans le substrat rocheux.....	25
Analyses de métaux indicateurs	25
Proximité d'une anomalie en cuivre ≥ 1000 ppm	25
Proximité d'une anomalie en or ≥ 100 ppb.....	26
Proximité d'une anomalie en molybdène ≥ 21 ppm	26
Proximité d'une anomalie en argent ≥ 3 ppm	26
Proximité d'une anomalie en arsenic ≥ 48 ppm.....	26
Proximité d'une anomalie en tungstène ≥ 5 ppm.....	26
Proximité d'un minéral indicateur d'altération.....	27
Proximité d'un minéral indicateur d'altération potassique	27
Proximité d'un minéral indicateur d'altération chloritique.....	27
Proximité d'un minéral indicateur d'épidotisation	27
Proximité d'un minéral indicateur de silicification.....	28
Proximité d'altération en hématite ou en magnétite	28
Proximité d'un indice d'altération NORMAT anormalique	28
Proximité d'un indice ISER anormalique	28
Proximité d'un indice ICHLO anormalique.....	28
Proximité d'une minéralisation en sulfure ou oxyde	28
Proximité d'une minéralisation en arsénopyrite	29
Proximité d'une minéralisation en bornite	29
Proximité d'une minéralisation en chalcopyrite	29
Proximité d'une minéralisation en magnétite	29
Proximité d'une minéralisation en molybdénite	29
Proximité d'une minéralisation en pyrite	29
Proximité d'une minéralisation en pyrrhotite	29
Évidences de minéralisation dans l'environnement secondaire	29
Proximité d'une anomalie en cuivre	30
Proximité d'une anomalie en or.....	31
Proximité d'une anomalie en molybdène	32

FAVORABILITÉ GLOBALE ASSOCIÉE AUX MINÉRALISATIONS DE TYPE PORPHYRIQUE DE CU-AU ± MO DE LA BAIE-JAMES	33
Création de la carte de favorabilité pour les minéralisations de type porphyrique de Cu-Au ± Mo de la Baie-James	33
Carte de la favorabilité associée aux sources de chaleur	33
Carte de la favorabilité associée au contrôle lithologique	33
Carte de la favorabilité associée au contrôle structural.....	33
Carte de la favorabilité associée aux analyses de métaux indicateurs.....	34
Carte de la favorabilité associée aux minéraux d'altération	34
Carte de la favorabilité associée aux indices d'altération NORMAT.....	34
Carte de la favorabilité associée aux sulfures ou oxydes.....	34
Carte de la favorabilité associée à l'activité hydrothermale	35
Carte de la favorabilité associée à l'environnement secondaire.....	35
Carte de la favorabilité pour les minéralisations de type porphyrique de Cu-Au ± Mo	35
Détermination des zones de haute favorabilité et des cibles	35
Validation des résultats.....	41
 CONCLUSION.....	 43
RÉFÉRENCES	43
 ANNEXE 1 : Caractéristiques des gîtes témoins.....	 49
ANNEXE 2 : Favorabilité des paramètres utilisés	50
ANNEXE 3 : Modèle d'inférence.....	52
ANNEXE 4 : Localisation des cartes de favorabilité	53
 HORS TEXTE	
93 cartes d'évaluation du potentiel en gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie-James :	
1 carte au 1/500 000.....Carte EP 2009-01 C001	
12 cartes au 1/250 000.....(32I, 32J, 32K, 32N, 32O, 32P, 33A, 33B, 33C, 33F, 33G, 33H)	
80 cartes au 1/50 000.....(32I04, 32I05, 32J01, 32J09, 32J10, 32J11, 32J12, 32J15, 32J16, 32K01, 32K02, 32K09, 32K12, 32K15, 32K16, 32O01, 32O02, 32O12, 32O13, 32O14, 32P15, 32P16, 33A01, 33A03, 33A07, 33A08, 33A16, 33B01, 33B03, 33B04, 33B05, 33B06, 33B07, 33B08, 33B09, 33B10, 33B12, 33B13, 33B15, 33B16, 33C01, 33C02, 33C03, 33C04, 33C05, 33C06, 33C07, 33C08, 33C09, 33C10, 33C11, 33C12, 33C15, 33C16, 33F02, 33F03, 33F04, 33F05, 33F06, 33F07, 33F09, 33F10, 33F11, 33F12, 33F13, 33F15, 33F16, 33G03, 33G04, 33G05, 33G06, 33G08, 33G09, 33G10, 33G11, 33G12, 33G13, 33G14, 33G16, 33H09)	

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 and Agterberg, 1980; Bonham-Carter *et al.*, 1988; Harris, 1989; Agterberg *et al.* 1990; Chung and Moon, 1991; Bonham-Carter, 1994; Rencz *et al.*, 1994; Harris *et al.*, 1995; Wright and Bonham-Carter, 1996; Singer and Kouda, 1997a et b; Raines, 1999; Harris *et al.*, 2001; Brown *et al.*, 2000; D'Ercole *et al.*, 2000; de Araujo and 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);
- 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 Mississipi 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 de l'Abitibi (Carranza et Hale, 2002; Tangestani et Moore, 2003; Labbé, *et al.*, 2006).

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 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 numérique évidentielle**¹ 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 évidentielles 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 les données évidentielles (paramètres) et l'emplacement des minéralisations connues, permettant ainsi de déterminer le poids de chaque carte évidentielle. 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 cartes évidentielles 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 orogénique en Abitibi et à la Baie-James (Lamothe *et al.*, 2005; Lamothe et Harris,

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.

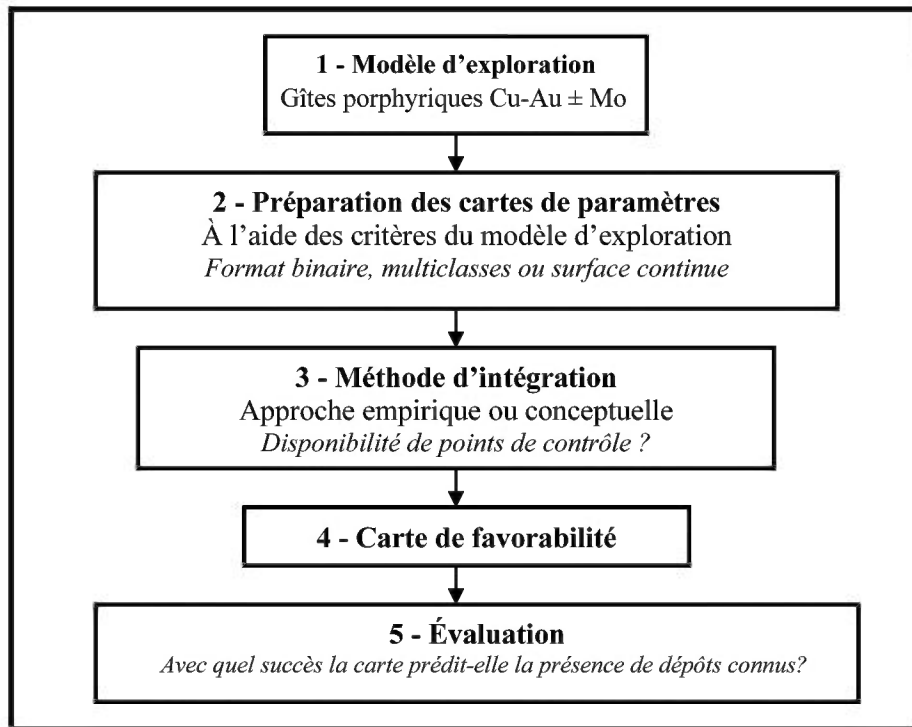


FIGURE 1 - Étapes de réalisation d'une carte de favorabilité par intégration de données géoréférencées (modifié de Harris *et al.*, 2006).

TABLEAU 1 - Méthodes d'intégration des cartes évidentielles 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)

2006; Lamothe, 2008), 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 évidentielles 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 évidentielles pondérées par la logique floue et combinées à l'aide de réseaux neuronaux pour évaluer le potentiel en or orogénique de l'Australie occidentale.

Les études de favorabilité réalisées au MRNF (Lamothe, 2008; 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 par la détermination objective d'un seuil minimal de favorabilité; et 2) la définition de **cibles**, constituées par les portions non jalonnées des zones de haute favorabilité (ZHF) au moment de la réalisation de l'étude (voir la section « Détermination des zones de hautes favorabilités et des cibles »). De par sa nature, ce concept de cible est forcément temporaire, fluctuant au gré de la distribution des titres miniers. Il s'est avéré toutefois un outil efficace de promotion du potentiel minéral, comme en témoigne la réponse des intervenants de l'industrie de l'exploration minérale lors de chaque publication d'une nouvelle étude de potentiel. Avec la diffusion, depuis novembre 2007, des cartes de potentiel et des ZHF sur GESTIM (le système d'enregistrement en ligne des titres miniers du MRNF), le concept de cible devient moins pertinent, même s'il reste un atout promotionnel.

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 devrait aussi révéler l'existence de nouvelles zones d'exploration. La crédibilité de ce type de carte repose sur la mesure effective de la favorabilité; cette mesure fait appel à des techniques de contre-validation qui confirment la fiabilité de la méthode utilisée. Cette étape de validation est importante et, dans la mesure du possible, devrait toujours être intégrée à tout projet sérieux d'évaluation de potentiel.

Objectifs de l'étude

Cette étude vise à déterminer la localisation des zones de haute favorabilité en minéralisations de type gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie-James (figure 2). Parmi ces zones, dont beaucoup sont actuellement jalonnées, le travail vise à définir un certain nombre de cibles non jalonnées et à fournir le maximum de données pertinentes facilitant l'évaluation de chaque cible. Cette approche permet aux intervenants de l'industrie minière de réagir rapidement aux résultats de l'étude et elle permet aux auteurs de mesurer les retombées du document en évaluant le nombre de cibles jalonnées après sa publication.

Un second objectif de cette étude est d'établir l'utilité et la crédibilité de ce type d'approche en mesurant la prédictivité de la carte de favorabilité ainsi que sa capacité à reconnaître la présence d'un ensemble de validation composé de gîtes porphyriques non utilisés lors du traitement.

Géologie générale

Le secteur étudié se situe principalement dans la Province du Supérieur (figure 3). On y reconnaît, du sud vers le nord, six grandes sous-provinces géologiques archéennes (figure 4) : 1) la **Sous-province d'Abitibi**, qui occupe une étroite bande à la limite sud de la région d'étude; 2) la **Sous-province d'Opatica**, dans la portion sud de la région, composée surtout de roches plutoniques gneissiques et de roches métavolcaniques (Hocq, 1994); 3) la **Sous-province de Nemiscau**, dans la portion ouest de la région, composée principalement de roches métasédimentaires (Card et Ciesielski, 1986); 4) la **Sous-province d'Opinaca**, constituée de roches métasédimentaires détritiques communément migmatitiques; 5) la **Sous-province de La Grande**, un assemblage de roches volcanoplutoniques; et 6) la **Sous-province de Bienville**, dans le coin nord-ouest de la région. La région comprend aussi des lambeaux de roches sédimentaires protérozoïques de la Formation de Sakami (partie nord de la région), des bassins de Mistassini et d'Otish ainsi que des unités parautochtones du terrain de Timiskaming de la Province de Grenville (dans le coin sud-est).

Sauf exception, la très grande majorité des gîtes porphyriques connus dans la région sont associés aux ceintures volcaniques des sous-provinces de La Grande et d'Opatica (figure 4) (Gauthier *et al.*, 1997; Gauthier et Laroque, 1998). Les roches du La Grande sont comparables à celles des sous-provinces de Sachigo-Uchi-Wabigoon du Nord-Ouest ontarien (Goutier *et al.*, 2002). La Sous-province de La Grande comprend deux ceintures volcaniques (figure 3) : 1) la **Ceinture volcanique de La Grande**, située dans la portion nord de la sous-province, qui comprend deux cycles volca-

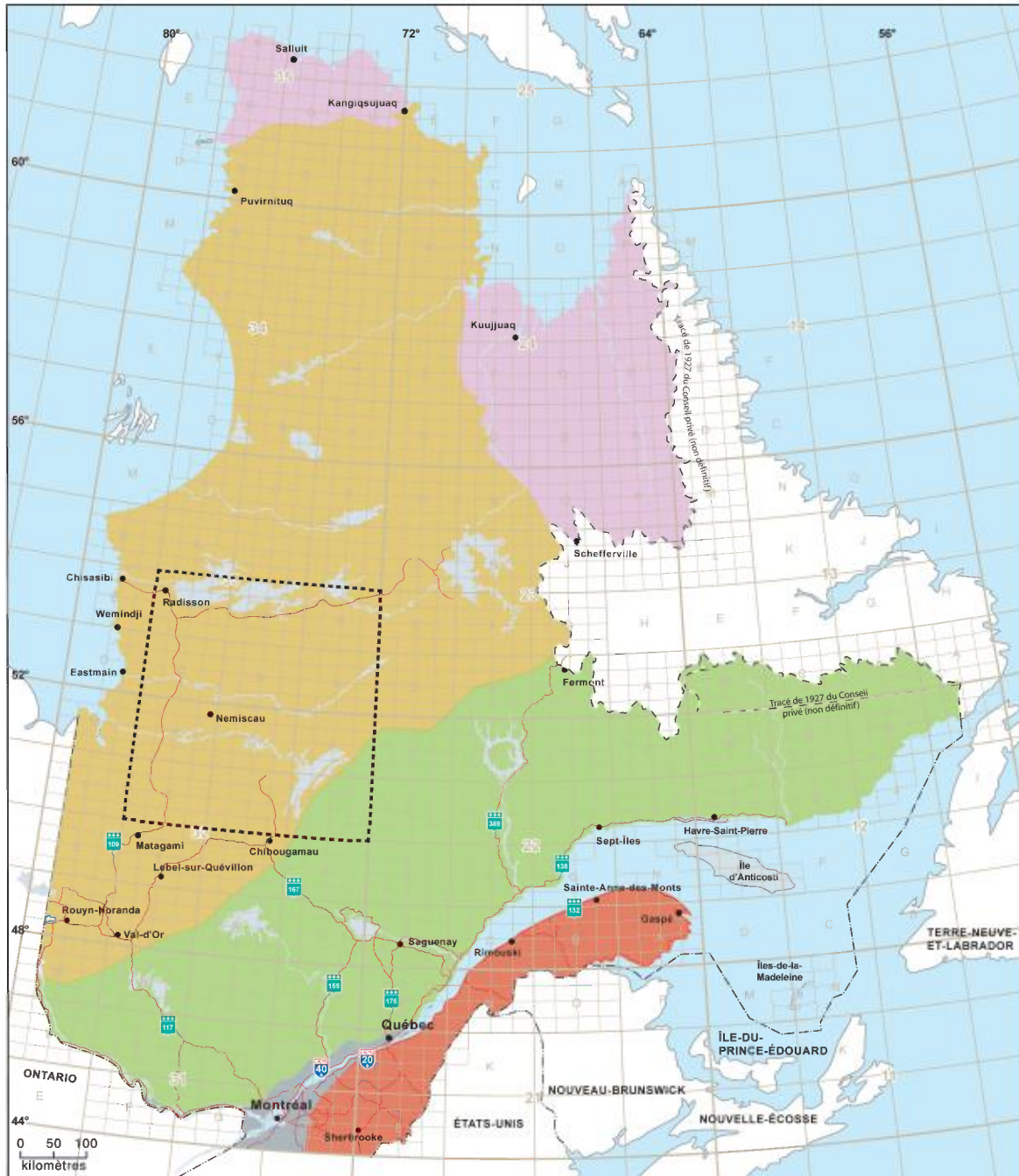


FIGURE 2 - Localisation de la région d'étude.

niques distincts temporellement (Groupe de Yasinski : $2736 \pm 8/-6$ Ma versus Groupe de Guyer : $2820,3 \pm 0,8$ Ma) et lithologiquement (Yasinski : basalte à rhyolite sans komatiite versus Guyer : komatiite, basalte et tuf felsique) (Goutier *et al.*, 2002); et 2) **la Ceinture de roches vertes de la Moyenne et de la Basse-Eastmain**, située dans la partie sud du La Grande, qui comprend quatre cycles volcaniques (cycle 1 : 2752-2739 Ma; cycle 2 : 2739-2720 Ma; cycle 3 : 2720-2705 Ma; et cycle 4 : <2705 Ma) (Moukhsil *et al.*, 2003).

La Sous-province d'Opatica est limitée au nord par les sous-provinces de Némiscau et d'Opinaca, alors que son contact sud avec la Sous-province d'Abitibi représente une suture crustale majeure définie par une zone de subduction fossile à pendage nord (Calvert *et al.*, 1995). L'Opatica se compose principalement de nappes de charriage dominées par un assemblage d'orthogneiss localement migmatitiques et de plutons syn à tarditectoniques, parmi lequel Sawyer et Benn (1993) ont défini cinq suites lithologiques d'âges différents. La **Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans (CVFE)** forme une nappe de charriage sommitale surmontant l'assemblage structural de l'Opatica

(Sawyer et Benn, 1993). Elle se divise en quatre segments lithotectoniques, soit deux segments à prédominance volcanique aux extrémités orientales et occidentales (segments de Frotet-Troilus et d'Evans-Ouagama), ainsi que deux segments volcanosédimentaires au centre (segments de Storm-Evans et d'Assinica). Une datation U-Pb effectuée sur des zircons provenant de dykes felsiques associés au gisement porphyrique de Cu-Au dans le segment de Frotet-Troilus a livré un âge de 2782 ± 6 Ma (Pilote *et al.*, 1997).

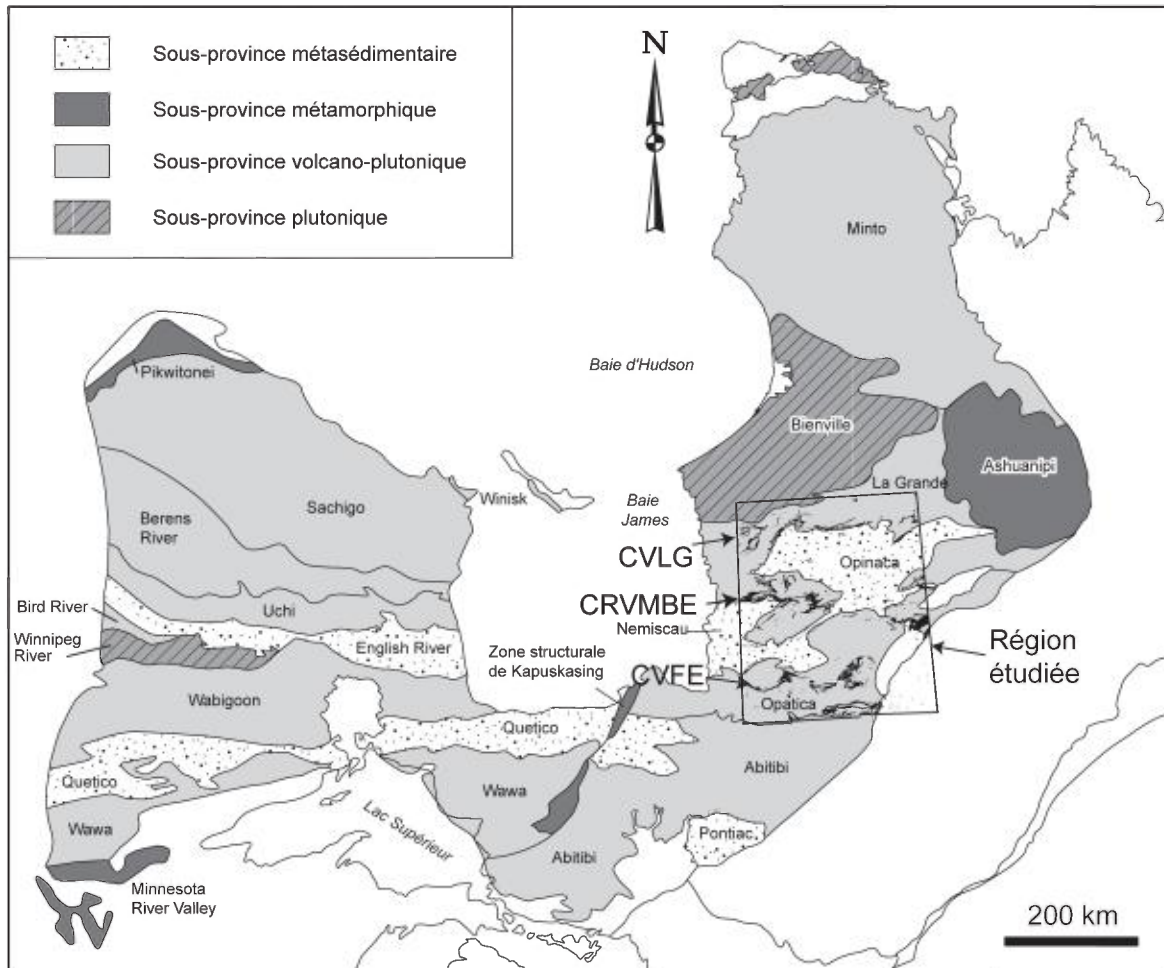


FIGURE 3 - Carte des grandes subdivisions de la Province géologique du Supérieur. La carte de base provient des travaux de Card et Ciesielski (1986) et de Thurston (1991), puis a été modifiée par Goutier *et al.* (2002). CVFE = Bande volcanique de Frotet-Evans; CRVMBE = Ceinture de roches vertes de la Moyenne et de la Basse-Eastmain; CVLG = Ceinture volcanique de La Grande.

Le métamorphisme de la Sous-province de La Grande varie du faciès des schistes verts au faciès supérieur des amphibolites alors que les roches de la Sous-province d'Opatica sont essentiellement au faciès supérieur des amphibolites et au faciès des granulites (figure 5).

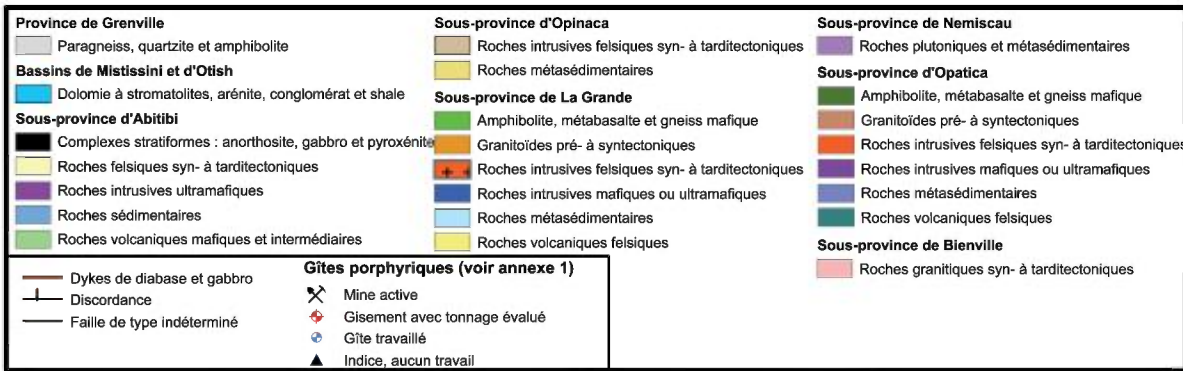
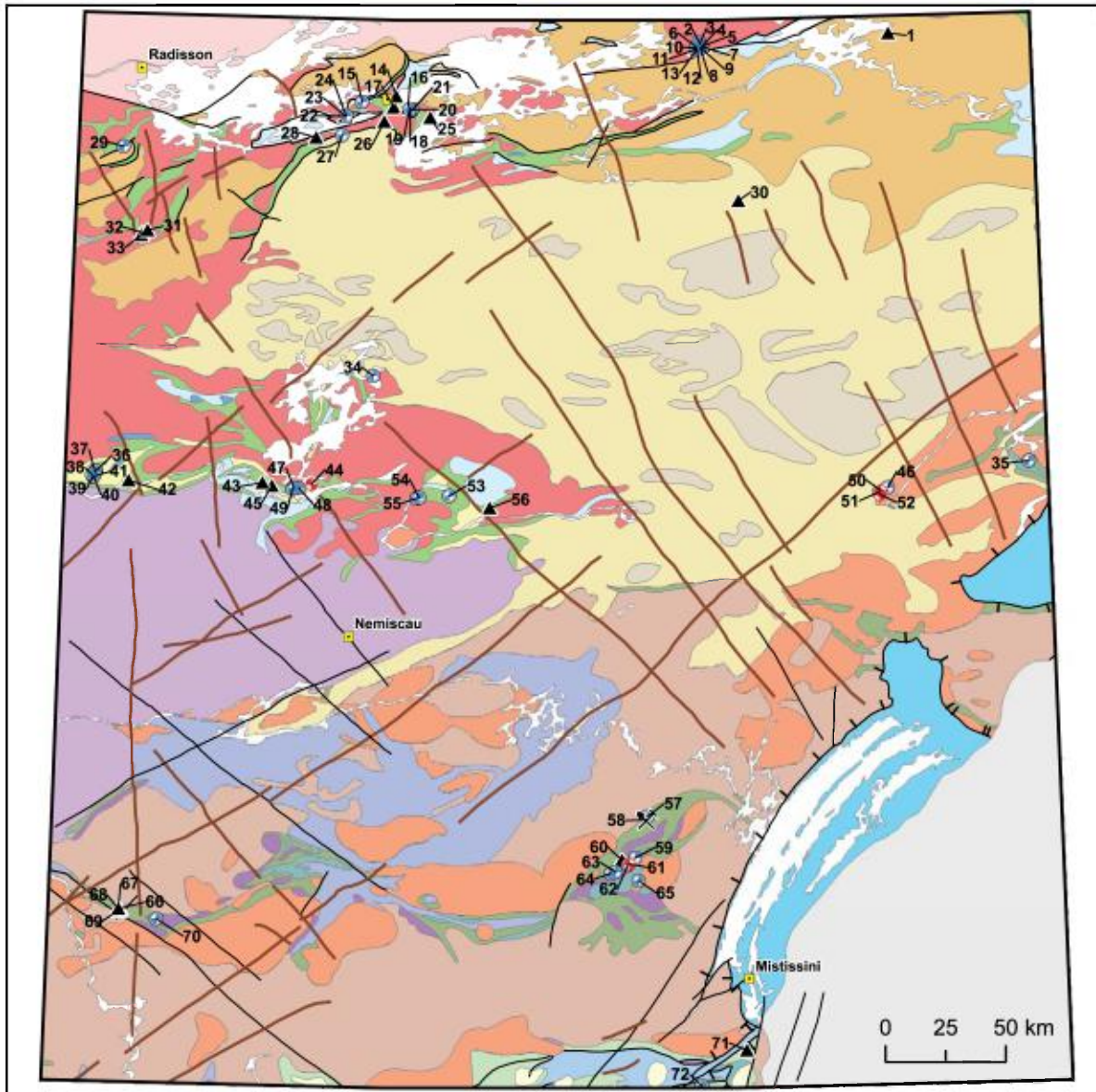


FIGURE 4 - Géologie générale du secteur d'étude et localisation des gîtes porphyriques utilisés dans le traitement. Modifié de Thériault (2002).

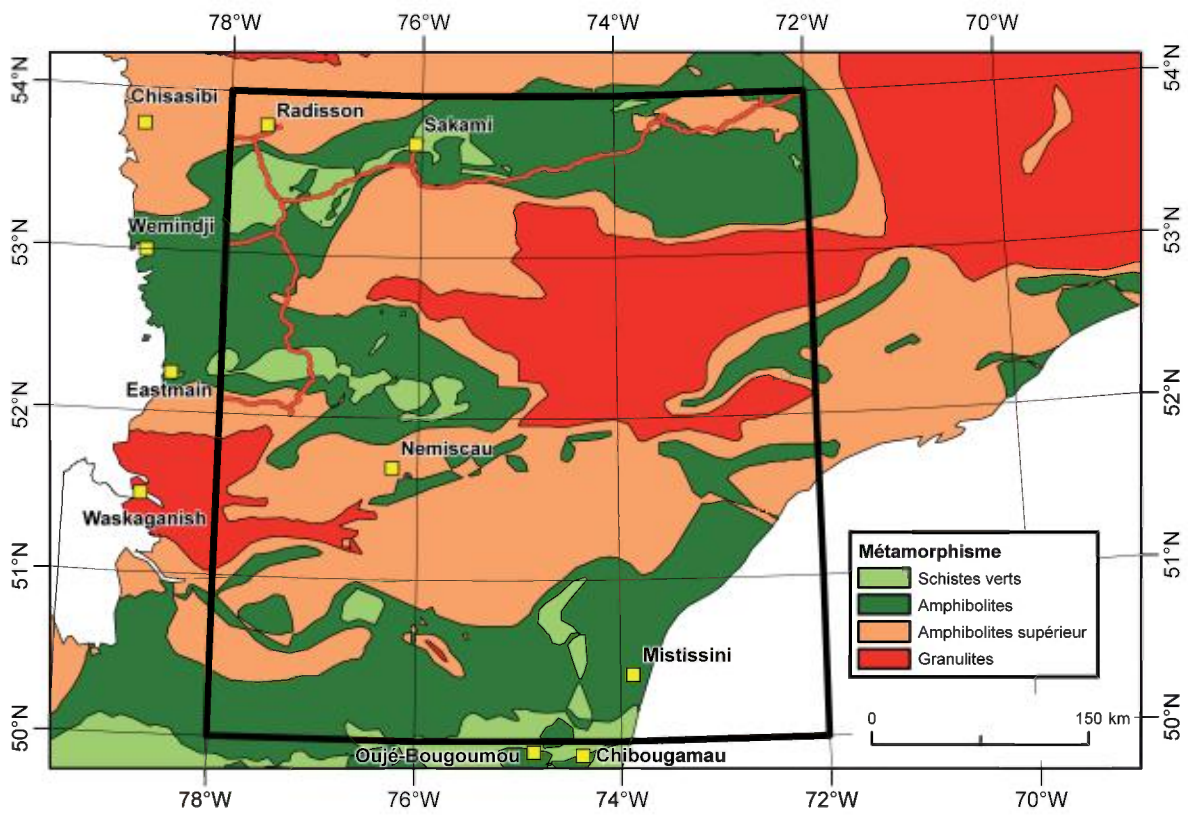


FIGURE 5 - Carte du métamorphisme dans la région de la Baie-James (Gauthier *et al.*, 2007).

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*), basées sur l'analyse des relations spatiales entre des occurrences minéralisées connues et certains paramètres géologiques; les méthodes empiriques les plus connues sont la pondération par le poids de la preuve (*Weight-of-Evidence* ou *WofE*) et l'analyse par réseau neuronal; et 2) les méthodes conceptuelles (*knowledge-driven*), généralement utilisées en l'absence de gîtes connus dans la région d'étude, qui reposent sur l'input 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 est presque toujours violée lors de l'application de la méthode dans un contexte géologique, alors que plusieurs catégories de données dérivent directement ou indirectement d'une des sources évidentielles utilisées aussi 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 postérieure (favorabilité résultante). Pour cette raison, il est apparu plus approprié de combiner les cartes évidentielles pondérées avec *WofE* à l'aide d'une méthode conceptuelle, soit celle de la logique floue (d'où l'expression « logique floue hybride »).

Cette combinaison d'approches empirique et conceptuelle est particulièrement appropriée à une évaluation du potentiel en minéralisations de type gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo pour la Baie-James parce qu'il s'y trouve un nombre important de gisements de ce type dans cette région, ce qui permet : 1) de calculer empiriquement la probabilité de l'association spatiale des paramètres jugés pertinents avec ces gisements; et 2) de combiner à l'aide de la logique floue les cartes évidentielles ainsi générées en évitant la contrainte d'indépendance des paramètres.

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 semble la plus intéressante pour le traitement du présent modèle pour les raisons suivantes :

- La Baie-James renferme 72 occurrences de gîtes porphyriques et veines cuprifères de type Chibougamau (la plupart bien documentées) qui permettent d'utiliser une approche empirique;
- l'utilisation du poids de la preuve pour calculer la favorabilité enlève au traitement la subjectivité inhérente à une approche conceptuelle où le modélisateur, sur la base de sa perception (parfois erronée) de la pertinence d'un paramètre, attribue à ce dernier une valeur de favorabilité arbitraire;
- si des éléments sont indûment incorporés dans un ensemble d'objets (corps géologiques mal définis, localisation de failles imprécises, etc.) constituant un paramètre, le résultat lors du calcul du contraste *WofE* de l'association spatiale sera plus faible que celui qui serait théoriquement obtenu. En effet, l'incorporation d'éléments étrangers non associés à des occurrences de gîtes porphyriques aura pour effet de diluer la valeur d'association spatiale et de générer ultimement une valeur de favorabilité plus faible. **La méthode possède donc une tendance inhérente à sous-estimer la favorabilité réelle d'un paramètre en cas d'inclusion erronée.** Nous considérons que cette propriété du traitement ajoute à la crédibilité de l'étude dans une optique de promotion du potentiel minéral.
- la méthode de la logique floue pour évaluer la favorabilité est la plus flexible de toutes les méthodes. Le choix d'une variété d'opérateurs pour combiner les divers paramètres permet

de reproduire adéquatement le processus expert d'évaluation de potentiel dans le domaine de l'exploration;

- bien que cela soit désirable, l'approche de logique floue n'exige pas (comme dans le cas du poids de la preuve) que les données utilisées respectent l'exigence d'indépendance conditionnelle.

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; Bole-neus *et al.*, 2001), ainsi que celui en porphyre cuprifère (Carranza et Hale, 2002)¹.

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 évidentielles (*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. Dans le présent document, une valeur C élevée (c.-à-d. $C > 4$) pour une classe de valeurs dans une carte évidentielle (par exemple, la classe des cellules situées à 200 m d'une faille) indique une association forte entre les gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo connus et cette classe particulière de valeurs (figure 6).

L'approche floue hybride utilise la méthode du poids de la preuve (voir la section « Introduction ») pour calculer la **valeur de favorabilité** (V_{favor}) en utilisant la valeur de contraste (C) dans la formule ci-dessous (Porwal *et al.*, 2003b)². 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.

$$V_{favor} = 0,5 + (C_{ij} / 2 \times C_{max}) \text{ si } 0 \leq C_{ij} \leq C_{max} \quad (1)$$

$$V_{favor} = 0,5 - (C_{ij} / 2 \times C_{min}) \text{ si } C_{min} < C_{ij} \leq 0 \quad (2)$$

C_{ij} = valeur de contraste de la classe j de la carte évidentielle i

C_{max} = valeur de contraste maximale de l'ensemble des cartes évidentielles

C_{min} = valeur de contraste minimale de l'ensemble des cartes évidentielles

Cette approche, presque similaire à celle utilisée par Cheng et Agterberg (1999), permet d'appliquer la notion de **pondération relative des cartes évidentielles** puisqu'elle établit la valeur de favorabilité en fonction de l'ensemble complet des cartes et classes utilisées³. Pour le modèle des gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo appliqué à la Baie-James, les valeurs C_{max} et C_{min} sont de 8,327 et -6,043 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 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

1 Le module ArcSDM, une extension de Arcview 3.x ou ArcGIS9.x 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. La liste et une courte définition des valeurs calculées par *WofE* pour chaque paramètre est présentée à l'annexe 2.

2 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.

3 Cette approche a pour conséquence qu'au moins une des classes dans les paramètres aura une valeur de favorabilité de 1, alors qu'au moins une autre aura une valeur de 0. Cette méthode a un inconvénient : il n'est pas possible de créer une carte intermédiaire de favorabilité pour une carte probatoire avant d'avoir complété le traitement de toutes les cartes utilisées dans le modèle, puisque la valeur de favorabilité calculée dépend des valeurs minimales et maximales de contraste calculées pour l'ensemble de toutes les cartes.

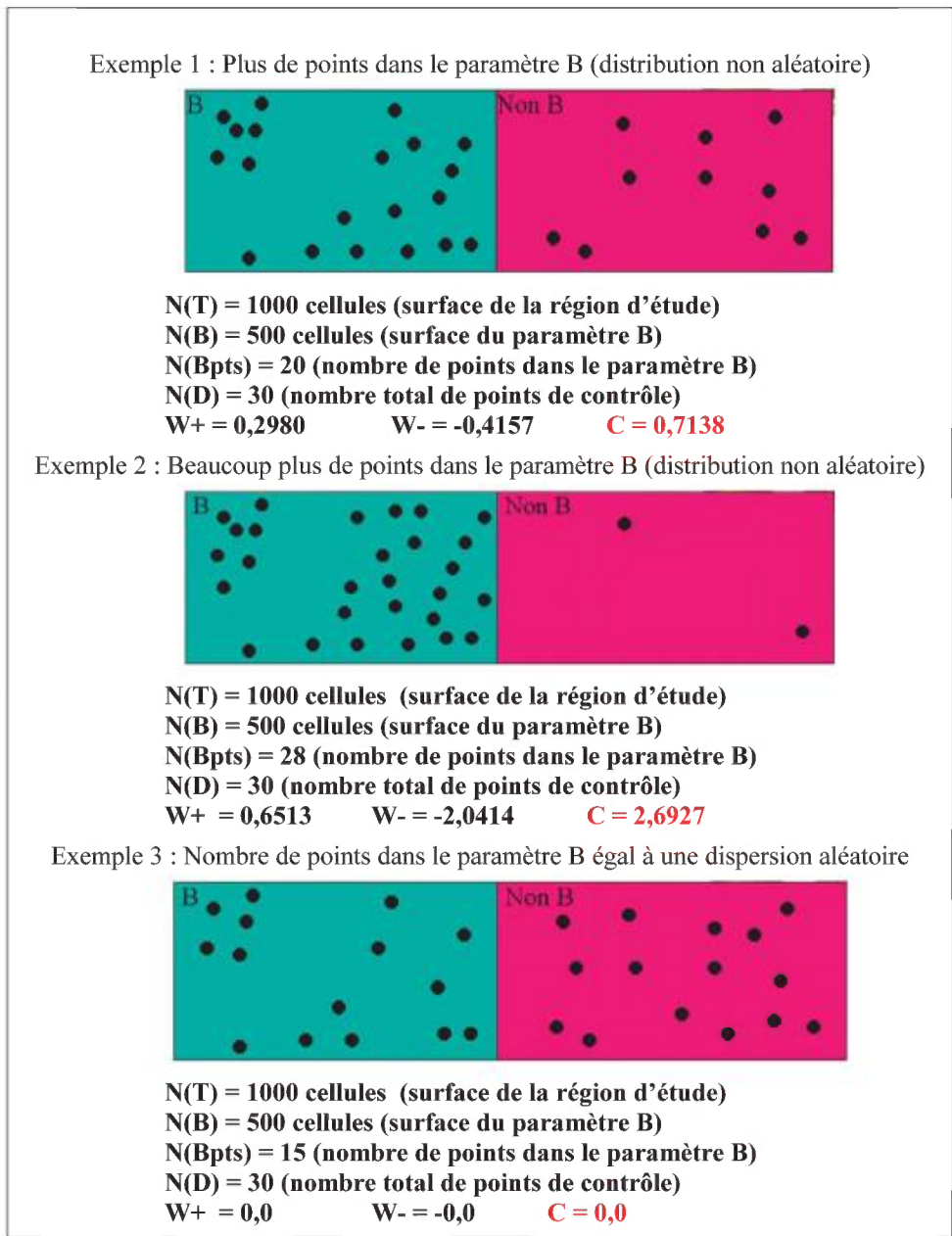


FIGURE 6 - Exemples de calcul de la valeur de contraste en fonction de l'association spatiale entre des points de contrôle et un paramètre (modifié de Bonham-Carter, notes de formation, Denver 2002).

(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 les valeurs favorables. Pour éviter ce piège, les différents facteurs des opérateurs FUZZYGAMMA utilisés ont été calibrés pour obtenir dans la carte finale une valeur de background approximant 0,5. Dans la présente approche, cette valeur représente un intermédiaire entre une association favorable (Contraste positif) et une non-association défavorable (Contraste négatif).

Le résultat final du processus est une carte des valeurs de favorabilité pour la présence de minéralisations de Cu-Au ± Mo porphyriques. Le processus d'intégration des différents paramètres (le modèle d'inférence) est illustré à l'annexe 3. Les paramètres sont regroupés en blocs formant cinq sous-modèles (voir le tableau 2 à la section 2.5) : 1) présence de source de chaleur; 2) contrôle lithologique; 3) contrôle structural; 4) activité hydrothermale; et 5) évidences dans l'environnement secondaire. Le regroupement par sous-modèle facilite la compréhension du processus et permet une interprétation plus aisée des résultats.

Caractérisation des gîtes de type porphyrique

Les gisements de type porphyrique représentent une des plus importantes classes économiques de dépôts métallifères non ferreux. Ces dépôts sont caractérisés par une minéralisation sulfurée et oxydée en veinules et/ou disséminée dans un large volume de roche altérée hydrothermalement (Seedorf *et al.*, 2005). Les gisements porphyriques se répartissent mondialement dans les ceintures magmatiques et sont génétiquement reliés à des intrusions épizonales et mésozonales de composition intermédiaire à felsique communément appelées porphyritiques. À cause essentiellement de la préservation des terrains épizonaux, la très grande majorité des dépôts sont d'âge phanérozoïque, bien que plusieurs exemples de dépôts archéens et protérozoïques économiquement plus modestes existent au Canada et en Fenno-Scandinavie (Gaál et Isohanni, 1979 ; Fraser, 1993 ; Kirkham et Sinclair, 1996).

Les principales caractéristiques économiques des gisements de type porphyrique sont les suivantes (Kirkham et Sinclair, 1996; Titley, 1993, Labbé *et al.*, 2006) :

- ils représentent des cibles de l'ordre de 100 millions de tonnes;
- les teneurs des divers métaux, quoique montrant une grande variabilité, sont généralement inférieures à 1 %;
- ils constituent la plus importante ressource en Cu, Mo et Re du globe, tout en étant des fournisseurs secondaires importants en Au, Ag, Sn, W, Pt, Pd et Se. Au cours des dernières années, les gisements porphyriques aurifères ont d'ailleurs été reconnus comme une ressource minérale de première importance (Vila et Sillitoe, 1991);
- ils représentent plus de 99 % de la production et des réserves combinées mondiales et canadiennes en Mo;
- ils représentent de 50 à 60 % de la production mondiale en Cu;
- moins de 50 % de la production canadienne de Cu provient toutefois de ce genre de gîtes mais ils constituent tout de même près de 60 % des réserves.

Les principales caractéristiques géologiques des gîtes porphyriques sont les suivantes (figure 7):

- la minéralisation est généralement portée par un stockwerk de veines d'épaisseur centimétrique à millimétrique formant une enveloppe autour des intrusions cogénétiques;
- le système porphyrique est communément associé au développement de brèches d'origine hydrothermale, magmatique, mécanique ou structurale (Seedorf *et al.*, 2005);
- la présence de failles préexistantes ou syngénétiques focalise la migration des fluides hydrothermaux et de la minéralisation;
- la mise en place de la minéralisation est généralement accompagnée par une volumineuse altération hydrothermale des roches adjacentes;
- le volume des intrusions porphyriques associées à la minéralisation est généralement faible (<0,5 km³) et leur mise en place s'effectue généralement entre 1 et 6 km de profondeur (Seedorf *et al.*, 2005);
- le type d'altération autour des dépôts porphyriques varie selon la nature des fluides hydrothermaux. Si ces derniers sont plutôt acides, la progression initiale débutera avec une altération potassique précoce (biotite ± orthose), suivie d'une altération séricitique (muscovite ± chlorite) puis d'une altération argilitique. Si les fluides sont faiblement acides, l'altération évoluera plutôt d'une altération calcisodique (albite-actinote) vers une altération propylitique (albite-épidote-chlorite-carbonate).

Au Québec, le camp minier du lac Doré dans la région de Chibougamau constitue le meilleur exemple d'un système magmatique-hydrothermal associé à de nombreux gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo. Labbé *et al.* (2006) en présentent une brève synthèse et une revue plus exhaustive est disponible dans Pilote *et al.* (1998).

Plusieurs gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo significatifs sont connus dans la région de la Baie-James. Le plus important est celui de la mine Troilus, exploitée par la Corporation minière Inmet, d'un volume de 32 Mt à 1,5 g/t d'au et 0,2 % de Cu (Larouche, 2005). Le gisement polymétallique de Lac Macleod (Western Troy Capital Resources; 24,4 Mt à 0,53 % Cu, 0,076 % Mo, 0,05 g/t Au et 4,0 g/t Ag), de Réservoir C-52 (Eastmain Resources; >10 Mt à 0,65 g/t Au et 0,12 % Cu) et celui de Pointe Richard (Western Troy Capital Resources; 877 Kt à 0,84 % Cu, 0,22 % Mo, 0,59 g/t Au et 16 g/t Ag).

Un ensemble total de 72 gîtes porphyriques composé d'une mine active, de quatre gisements à tonnage évalué, de 39 gîtes travaillés et de 28 indices a été utilisé (annexe 1) pour pondérer l'association spatiale des paramètres géologiques. De ce groupe, 11 gîtes ont été extraits aléatoirement pour créer un ensemble de validation et mis de côté avant le traitement. Les 61 gîtes restants ont été utilisés pour mesurer l'association spatiale des paramètres.

Étant donné le nombre relativement faible de gîtes porphyriques travaillés ou à tonnage évalué par rapport notamment aux gîtes aurifères de type orogénique, les gîtes ayant un statut d'indice non travaillé ont été utilisés pour la pondération et la validation dans la présente étude. Les études d'évaluation de potentiel antérieures produites par l'auteur ont évité d'utiliser ces derniers – par définition peu documentés et de nature parfois incertaine – parce qu'il a été démontré que l'incorporation d'indices dans les ensembles de pondération tend à diminuer la prédictivité du traitement indépendamment de la méthode utilisée (Harris *et al.*, 2006). En considération de la très grande taille de la région couverte par le traitement et la concentration locale élevée des autres types de gîtes, l'addition des indices a été jugée nécessaire malgré tout pour calibrer adéquatement les paramètres.

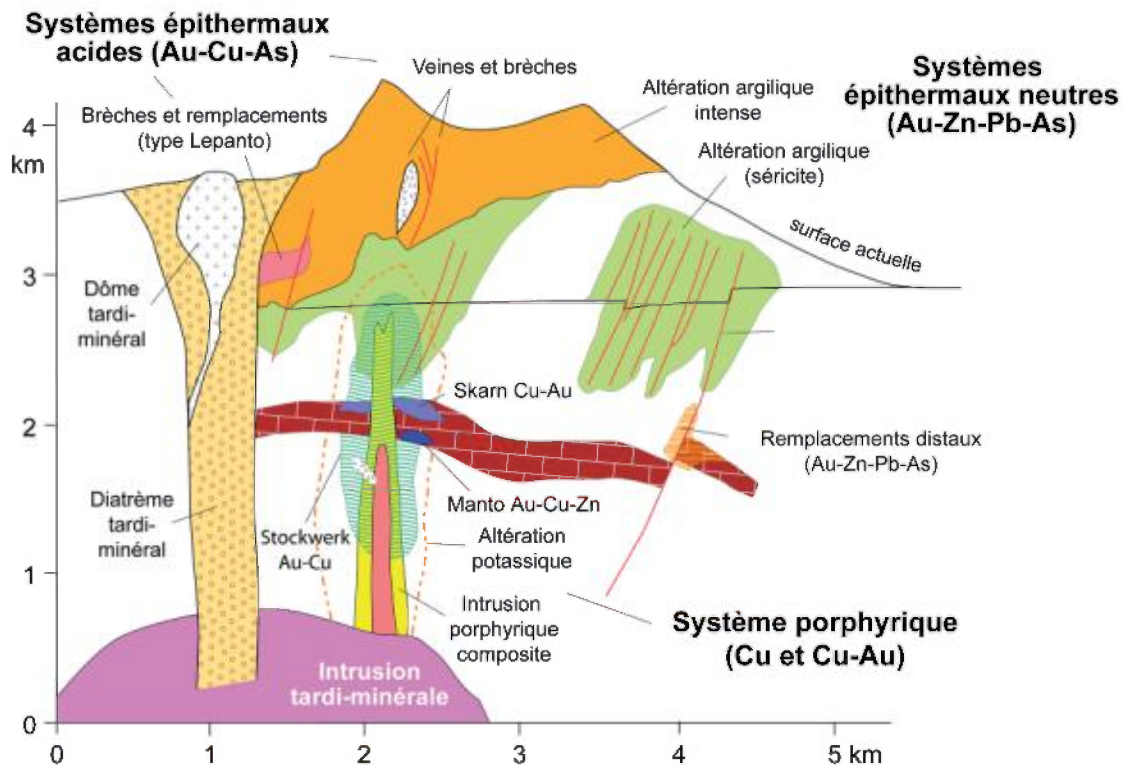


FIGURE 7 - Coupe verticale illustrant la modélisation des différents types de minéralisations Cu-Pb-Zn-Ag-Au pouvant être associés à un système magmatique dans un environnement volcanique andésitique, tel que reconnu dans le Pacifique Ouest. Un même système magmatique ne contient pas nécessairement tous les types de minéralisations illustrés, de porphyrique à épithermal. Modifiée de Hollister (1985), Sillitoe (1989) et Kirkham et Sinclair (1996) (Source : Labbé *et al.*, 2006).

Niveau de connaissance du secteur d'étude

La figure 8 ci-dessous illustre le niveau de connaissance géologique de la Baie-James. Elle représente la mesure de la densité de documents, par unité de surface de 25 km², extraits de la base de données EXAMINE. Ces documents proviennent soit de source ministérielle, soit de sociétés d'exploration minière. Ils comprennent notamment 1) des données surfacique comme les levés géologique, les travaux statutaires, les levés géophysiques, les compilations, les études et les thèses; et 2) des données ponctuelles tels les forages et les analyses d'échantillons de roches ou de l'environnement secondaire.

Les zones présentant un niveau relativement élevé d'exploration (en orange et en rouge) constituent des sources plus riches d'informations géologiques pertinentes au traitement d'évaluation de potentiel que les zones faiblement explorées (en bleu). Dans ces dernières, le traitement trouve peu

d'éléments utiles dans le SIGÉOM et la fiabilité des résultats est diminuée. Le potentiel minéral réel de ces régions pourrait être sous-évalué dans le présent traitement.

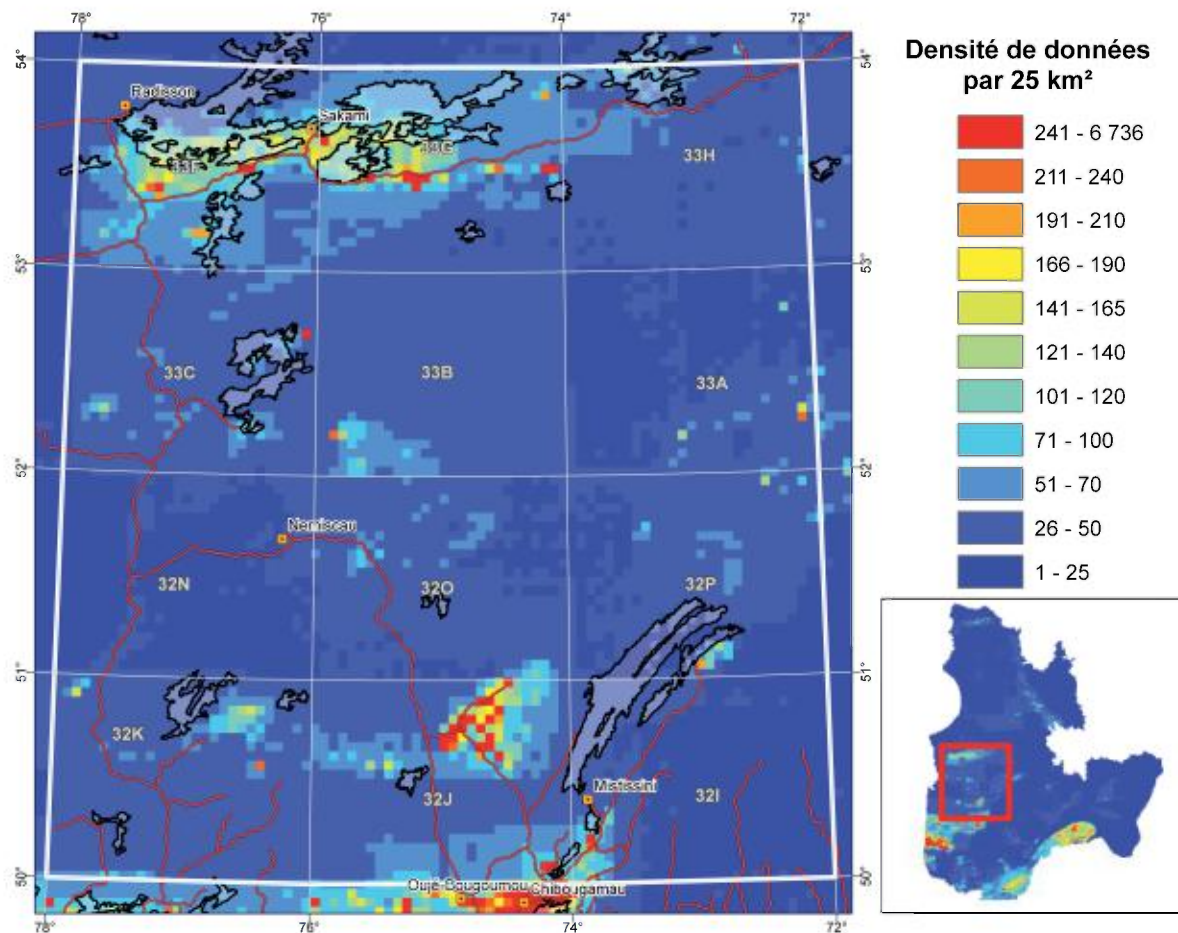


FIGURE 8 - Extrait de la carte de l'index de la connaissance géologique du Québec. Le calcul de la densité a été réalisé sur l'ensemble des données géologiques de la province. La distribution des valeurs dans la légende est répartie par la méthode des bris naturels (Jenks, 1967).

Paramètres utilisés

La première étape de toute évaluation de potentiel consiste à sélectionner, parmi tous les paramètres géologiques cohérents avec le cadre géologique présenté à la section 2.3 et disponibles en format numérique pour la région d'étude, ceux qui constituent des indicateurs efficaces de la présence de minéralisation en Cu-Au ± Mo porphyrique. Pour déterminer si tel est le cas, la méthode dite du « poids de la preuve » (*Weight of Evidence*) (Bonham-Carter *et al.*, 1989; Harris *et al.*, 2001; Lamothe *et al.*, 2005) a été utilisée pour évaluer l'association spatiale de chaque paramètre avec un groupe de 72 gîtes de type porphyrique connus dans le secteur d'étude (voir section suivante). Seuls les paramètres présentant une valeur de contraste (C) supérieure à 1,5 ont été retenus (tableau 2). Quelques paramètres, qui n'apparaissent pas dans le tableau 2, ont été testés et abandonnés à cause de leur faible valeur de contraste (notamment le contraste de compétence, la proximité d'intrusions syn et post-tectoniques, la proximité d'occurrences de tourmaline, de chloritoïdes ou de minéraux aluminosilicatés).

TABLEAU 2 - Paramètres utilisés pour l'évaluation du potentiel en gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie-James. Toutes les données numériques de chacun des paramètres, des cartes combinées et de la carte finale d'évaluation peuvent être téléchargées à partir du tableau en cliquant sur l'hyperlien approprié. Les formats disponibles sont le SHP et le GRD (ESRI).

Famille de paramètres	Paramètres utilisés	Fichiers numériques	
Source de chaleur	Proximité d'une intrusion synvolcanique	SHP , GRD	
Contrôle lithologique GRD	Proximité d'une intrusion porphyrique felsique ou intermédiaire	SHP , GRD	
	Proximité d'une intrusion felsique ou intermédiaire avec hématite ou magnétite	SHP , GRD	
Contrôle structural GRD	Proximité d'une faille régionale ductile	SHP , GRD	
	Densité des failles régionales ductiles	GRD	
	Densité des failles	GRD	
	Densité de la fracturation	GRD	
	Densité des veines de quartz	GRD	
	Proximité d'une texture bréchique	SHP , GRD	
Activité hydrothermale GRD	Analyses de métaux indicateurs dans la roche GRD	Proximité d'une anomalie en cuivre ≥ 1000 ppm	SHP , GRD
		Proximité d'une anomalie en or ≥ 100 ppb	SHP , GRD
		Proximité d'une anomalie en molybdène ≥ 21 ppm	SHP , GRD
		Proximité d'une anomalie en argent ≥ 3 ppm	SHP , GRD
		Proximité d'une anomalie en arsenic ≥ 48 ppm	SHP , GRD
		Proximité d'une anomalie en tungstène ≥ 5 ppm	SHP , GRD
	Proximité d'un indice d'altération NORMAT anormalique GRD	Proximité d'un indice ISER anormalique	SHP , GRD
		Proximité d'un indice ICHLO anormalique	SHP , GRD
	Proximité d'un minéral indicateur d'altération GRD	Proximité d'un minéral indicateur d'altération potassique	SHP , GRD
		Proximité d'un minéral indicateur d'altération chloritique	SHP , GRD
		Proximité d'un minéral indicateur d'épidotisation	SHP , GRD
		Proximité d'un minéral indicateur de silicification	SHP , GRD
		Proximité d'altération en hématite ou en magnétite	SHP , GRD
	Proximité d'une minéralisation en sulfure ou en oxyde GRD	Proximité d'une minéralisation en arsénopyrite	SHP , GRD
		Proximité d'une minéralisation en bornite	SHP , GRD
		Proximité d'une minéralisation en chalcopyrite	SHP , GRD
		Proximité d'une minéralisation en magnétite	SHP , GRD
		Proximité d'une minéralisation en molybdénite	SHP , GRD
		Proximité d'une minéralisation en pyrite	SHP , GRD
		Proximité d'une minéralisation en pyrrhotite	SHP , GRD
Environnement secondaire (sédiments de fond de lac) GRD	Proximité d'une anomalie en cuivre	SHP , GRD	
	Proximité d'une anomalie en or	SHP , GRD	
	Proximité d'une anomalie en molybdène	SHP , GRD	

Carte de favorabilité en or orogénique de la Baie-James PDE, GeoTIE, GRD

TRAITEMENT DES CARTES DE PARAMÈTRES

Proximité d'une source de chaleur

La genèse des dépôts porphyriques nécessite une source de chaleur capable de générer et d'entretenir l'activité hydrothermale par convection des fluides dans la roche encaissante. Tout comme dans Labbé *et al.* (2006), les intrusions synvolcaniques, syn à tarditectoniques et posttectoniques ont été évaluées dans le traitement. Toutefois, seule la première catégorie a pu démontrer une association significative avec les gîtes de l'ensemble de pondération (annexe 2) et a subséquemment été conservée pour le traitement.

Proximité d'une intrusion synvolcanique

Le niveau de cartographie relativement pauvre et la carence de datations dans de grands secteurs de la région d'étude n'ont permis de définir que très peu d'intrusions synvolcaniques (figure 9). Les larges intrusions synvolcaniques de la portion de la rivière Eastmain entre le 52° et le 53° parallèle sont extraites de la compilation régionale de Moukhsil *et al.* (2003). La petite intrusion (Tonalite de La-Grande-Sud) au sud du réservoir Robert-Bourassa ainsi que le groupe d'intrusions près de la mine Frotet-Troilus découlent des travaux de Goutier *et al.* (2001) et de Pilote *et al.* (1997) respectivement.

Les intrusions ont été zonées 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 2400 m et qu'il pouvait être regroupé en 4 classes de distance (annexe 2).

À cause du petit nombre d'intrusions synvolcaniques reconnues, de nombreux gîtes de Cu-Au ± Mo ne montrent aucune association spatiale avec le paramètre, qui se classe avant-dernier (rang 31) en terme de prédictivité (annexe 2).

Contrôle lithologique

Deux paramètres sont exploités dans cette famille : la proximité de gîtes à des intrusions intermédiaires à felsiques 1) porphyriques; et/ou 2) contenant de l'hématite ou de la magnétite. Un troisième paramètre concernant la compétence relative des roches, utilisé par Labbé *et al.* (2006) pour l'Abitibi, a été testé et rejeté pour sa faible prédictivité.

Proximité d'une intrusion porphyrique felsique ou intermédiaire

Les gîtes de type porphyriques de Cu-Au ± Mo sont communément reliés à des intrusions épizonales et mésozonales, habituellement porphyritiques et de composition intermédiaire à felsique. Les occurrences lithologiques de ce type peuvent être traitées sous forme de polygones extraits de cartes géologiques ou sous forme de points extraits des descriptions de terrain (géofiches) ou d'affleurements de compilation (compifiches). La deuxième approche s'est révélée plus efficace lors du traitement, notamment en réduisant les surfaces lors du calcul d'association spatiale (les grandes surfaces des polygones géologiques diluent la probabilité d'association dans *WofE*) et en permettant l'utilisation d'observations locales trop petites pour être cartographiées.

Les observations locales ont été zonées 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 600 m et qu'il pouvait être regroupé en 4 classes de distance (annexe 2).

Un peu plus de 15 700 observations locales de lithologies intrusives de composition intermédiaire à felsique sont documentées dans la région, dont la plupart sont probablement reliées à des plutons syntectoniques ou posttectoniques non reliés à des gîtes porphyriques. Conséquemment, le paramètre se classe seulement au 26^e rang de prédictivité.

Proximité d'une intrusion felsique ou intermédiaire contenant de l'hématite et/ou magnétite

La présence d'hématite et/ou de magnétite est communément observée à l'intérieur des roches intrusives felsiques en association avec des minéralisations de type porphyre (Seedorf *et al.*, 2005; Labbé *et al.*, 2006).

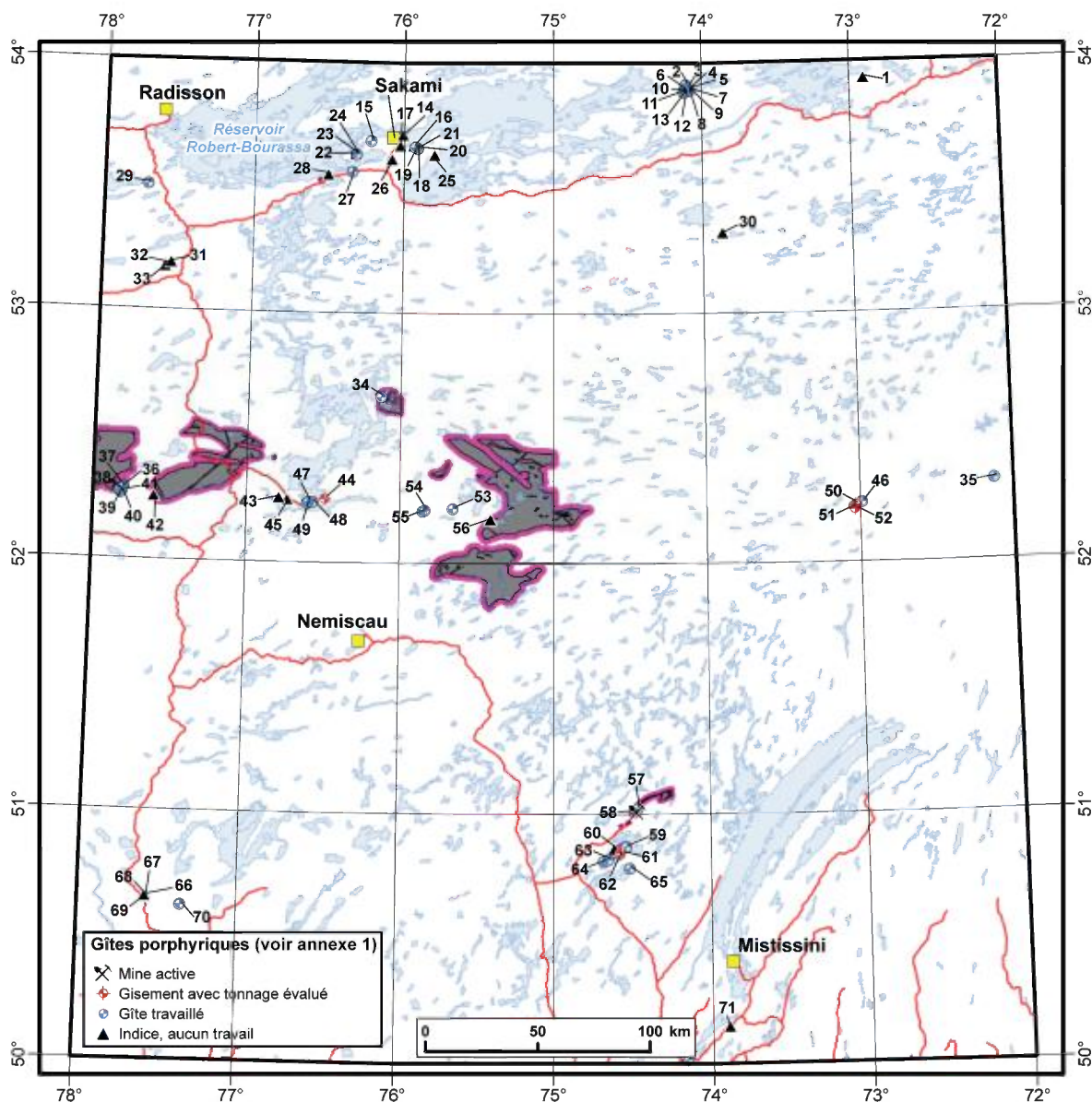


FIGURE 9 - Intrusions synvolcaniques dans la région d'étude. La bordure en rouge correspond à la zone d'influence de 2400 m définie avec *WofE*. Voir l'annexe 1 pour l'identification des gîtes.

Les observations d'hématite et/ou de magnétite dans des roches intrusives de composition felsique ou intermédiaire sont extraites des géofiches (2474 occurrences), compifiches (83 occurrences) et forages¹ (1368 occurrences) dans la région d'étude. Ces observations combinées ont été zonées 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 1200 m et qu'il pouvait être regroupé en 4 classes de distance (annexe 2). La prédictivité du paramètre est un peu supérieure au précédent, se classant au 22^e rang. La présence dans les roches intrusives de nombreuses occurrences de magnétite liées au métamorphisme de haut grade qui affecte un large secteur de la région (figure 5) contribue à diminuer l'efficacité du paramètre.

Contrôle structural

La mise en place d'un système magmatique majeur typiquement associé à des gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo s'accompagne dans la plupart des cas de la construction d'un édifice volcanique généralement andésitique. Un réseau de failles ou stockwerks accompagné d'une fracturation et

¹ Pour tous les paramètres utilisés dans cette étude, les données provenant de forages sont projetées à la surface pour calculer leur association spatiale avec les gîtes connus en fonction de leur position réelle à la surface.

bréchification importantes se développe dans les roches adjacentes au cours de l'évolution de ce système, notamment lors de l'injection de fluides magmatiques-hydrothermaux (Burnham, 1979; Kirkham et Sinclair, 1996). Cette fracturation et bréchification canalisent la circulation et favorisent le refroidissement adiabatique des fluides minéralisateurs, induisant la précipitation des minéralisations. Les minéralisations de type porphyrique correspondent de façon générale à des veinules et à des disséminations situées dans des réseaux complexes de fractures et de brèches minéralisées (Perry, 1961; Gilmour, 1977; Bushnell, 1988, Sillitoe, 1985).

Les paramètres de cette famille, détaillés ci-après, illustrent tous à des degrés divers cet aspect mécanique fondamental de ce modèle métallogénique. Parmi les paramètres testés et non retenus à cause d'une trop faible prédictivité, mentionnons les linéaments cassants, les linéaments topographiques ainsi que la présence de dykes multiples.

Proximité d'une faille régionale ductile

Ce traitement est réalisé sur un fichier vectoriel des failles cartographiées de la région auquel on a soustrait manuellement les failles protérozoïques préférentiellement orientées entre N315° et N070° sans expression géophysique évidente. Les failles ont été zonées par intervalles de 1000 m et le calcul du contraste a été réalisé avec *WofE*. Le paramètre est prédictif jusqu'à 3000 m de distance (annexe 2) et se classe au 30^e rang.

Densité des failles régionales ductiles

La densité spatiale des failles (le nombre de failles par unité de surface) constitue un indicateur de la déformation régionale en régime fragile. Un facteur de densité élevé contribue à favoriser la circulation de solutions hydrothermales (Hagemann et Cassidy, 2000).

À l'aide du fichier des failles cartographiées réalisé à l'étape précédente, une image matricielle de la densité des failles par kilomètre carré dans un rayon de 4000 m a été réalisée. Les valeurs de densité ont été reclassées en 10 classes à l'aide de la méthode des bris naturels de Jenk (1967). Une optimisation avec *WofE* a permis de déterminer que les valeurs de densité supérieures à 0,292 faille/km² sont prédictives. Deux classes de densité ont été créées par regroupement et réévaluées avec *WofE* (annexe 2). Le présent paramètre, tout comme le précédent, se classe dans la catégorie des éléments les moins prédictifs (29^e rang).

Densité des failles

Ce paramètre correspond aux indications de cisaillement ou de faille observées dans les structures planaires et consignées dans les géofiches et les descriptions de forages (1976 occurrences). Considérant que la présence répétée d'observations dans un secteur reflète vraisemblablement un potentiel de circulation hydrothermale plus élevé, le paramètre est traité en terme de densité d'observations.

Trois cartes de densité en fonction de rayons de 1000, 3000 et 5000 mètres sont réalisées et reclassées par la méthode de Jenk (1967). L'évaluation de la prédictivité avec *WofE* montre que les classes de densité sont plus prédictives lorsqu'un rayon de 1000 m est utilisé. Cinq classes de densité sont créées par regroupement et réévaluées avec *WofE* (annexe 2). Ce paramètre est un bon indicateur du potentiel, se classant au 7^e rang.

Densité de la fracturation

Les processus de minéralisation des systèmes de porphyres à Cu-Au ± Mo sont communément associés à une fracturation de la roche. Les descriptions de géofiches ou forages indiquant une fracturation de la roche (code FA) ont été extraites par requête (342 occurrences). Ce paramètre a été testé avec *WofE* dans une première approche avec un critère de proximité autour des observations de fracturation, puis dans une seconde approche en fonction de la densité des observations au km². Le deuxième cas s'est avéré un meilleur indicateur (contraste plus élevé) et a été conservé pour le traitement. Trois classes de densité ont été créées au-dessus du seuil minimal de 0,32 fracture/km² (annexe 2). Au 18^e rang de classement, le paramètre se situe dans la moyenne de prédictivité (0,819).

Densité des veines de quartz

Environ 68 % des descriptions des gîtes utilisés pour le modèle signalent des veines ou amas de quartz. Parce que la présence de veines de quartz n'indique pas nécessairement une altération de la roche, le paramètre est traité comme un indicateur structural équivalent à une fracturation de la roche.

Les observations de veines de quartz ont été extraites des géofiches, compifiches et forages¹. Tout comme le paramètre précédent, deux approches ont été testées avec *WofE* en fonction de la proximité à une observation ponctuelle ou de la densité des observations/km². Là aussi la deuxième approche s'est avéré un indicateur plus efficace. Trois classes de densité ont été créées au-dessus du seuil minimal de 0,01 veine/km² (annexe 2). Au 13^e rang du classement, le paramètre se situe un peu au-dessus de la moyenne de prédictivité.

Proximité d'une texture bréchique

Les gîtes de type porphyrique sont communément associés au développement de brèches d'origine hydrothermale, magmatique, mécanique ou structurale (Sillitoe, 1985 et 1993; Seedorf *et al.*, 2005). Les descriptions lithologiques correspondant à des brèches ou décrivant des textures bréchiques ont été extraites des géofiches, compifiches et forages. Les occurrences ponctuelles ont été zonées par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé avec *WofE*. Le paramètre, regroupé en trois classes, est prédictif jusqu'à 2400 m de distance et se classe au 23^e rang (annexe 2).

Évidences d'activité hydrothermale dans le substrat rocheux

Les roches encaissantes des gîtes de type porphyrique sont souvent hydrothermalement altérées et minéralisés en sulfures et/ou oxydes. En général, ces enveloppes d'altération sont suffisamment volumineuses pour constituer d'importants indicateurs de proximité régionaux ou locaux. Quatre principaux types d'altération sont reconnus en association avec ces gîtes (Seedorf *et al.*, 2005) : 1) les échanges alcalins telle l'altération potassique (biotite/séricite ± feldspath potassique) ou sodi-calcique (albite, actinote, chlorite, épidote, titanite); 2) l'altération propylitique (quartz, chlorite, épidote, calcite et localement albite-pyrite); 3) l'altération hydrolytique (séricitisation, argilitisation); et 4) la silicification. La mise en place de la minéralisation est intimement liée à ces processus d'altération (généralement avec la phase d'altération potassique) et, pour cette raison, est traitée dans cette section.

Analyses de métaux indicateurs

Cette sous-famille de paramètres regroupe les indicateurs métalliques dérivés des analyses lithochimiques disponibles dans la région d'étude. Ces analyses proviennent soit de levés géologiques, soit de forages, soit de travaux statutaires. Les 6 éléments métalliques ci-après se sont avérés être d'excellents prédicteurs de proximité des gîtes de type porphyrique. Le cuivre, l'or et le molybdène ont été utilisés par Labbé *et al.* (2006), alors que l'argent, l'arsenic et le tungstène ont été ajoutés à la liste des paramètres dans la présente étude, ayant démontré leur prédictivité lors de tests initiaux.

Proximité d'une anomalie en cuivre ≥ 1000 ppm

Le traitement a été effectué sur 15 773 analyses de Cu disponibles dans la région. Tout comme Labbé *et al.* (2006), une teneur de 1000 ppm (0,1 %) a été fixée arbitrairement comme seuil anomalique (1470 occurrences). Les échantillons anomaliques 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 1600 m et qu'il pouvait être regroupé en 5 classes de distance (annexe 2). De façon prévisible, cet indicateur de proximité est un des plus efficace, se classant au deuxième rang.

¹ La description de veines de quartz dans les géofiches est assez complexe à reconnaître dans SIGÉOM. La présence du code I1N dans le champ « Type de Roche » est le cas le plus simple. Pour couvrir l'ensemble des possibilités, il faut aussi extraire les « Types de Corps » avec le code V ou U dont le descripteur de roche peut être R ou R1 ou R1A ou R1B ou R1C ou R1D ou R2 ou R3 ou XXXX avec le code QZ dans le champ « Qualificatif ou Minéral ».

Proximité d'une anomalie en or ≥ 100 ppb

Le traitement a été effectué sur 17 719 analyses d'Au disponibles dans la région. Le seuil anormalique pour cet élément a été arbitrairement fixé à 100 ppb (0,1 g/t) (Labbé *et al.*, 2006). Les 2859 occurrences retenues ont été zonées 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 2400 m et qu'il pouvait être regroupé en 5 classes de distance (annexe 2). Cet indicateur de proximité se classe au sixième rang. L'efficacité moindre (par rapport au cuivre) de ce paramètre s'explique par la présence de nombreux gîtes aurifères de type or orogénique sans lien avec le présent modèle. La présence de nombreuses analyses aurifères dans un contexte autre que celui des gîtes de type porphyrique contribue à diluer la prédictivité de l'indicateur.

Proximité d'une anomalie en molybdène ≥ 21 ppm

Dans le cas du molybdène, le seuil arbitraire de 100 ppb fixé par Labbé *et al.* (2006) est probablement trop élevé pour être un indicateur fonctionnel considérant le nombre beaucoup plus faible d'analyses de ce métal. Pour déterminer le seuil réel, un diagramme quantile-quantile a été réalisé (figure 10). Suivant ce dernier, un seuil de 21 ppm (point de déviation de la droite sur la courbe) est plus approprié. Les échantillons anormaliques (306 occurrences) 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 1600 m et qu'il pouvait être regroupé en 4 classes de distance (annexe 2). Cet indicateur de proximité est le plus efficace de l'ensemble des paramètres, se classant au premier rang. Cette prédictivité s'explique ainsi : 1) le molybdène est associé seulement au gîte porphyrique de Cu-Au \pm Mo considéré ici; et 2) cet élément a été beaucoup plus rarement analysé que le cuivre et l'or, ce qui a évité une dilution du calcul d'association avec *WofE*.

Proximité d'une anomalie en argent ≥ 3 ppm

La très grande majorité des gîtes de type porphyrique dans la région présente des teneurs anormaliques à très élevées en argent. Un diagramme quantile-quantile des 7223 analyses d'argent dans la région montre que le seuil anormalique correspond à 3 ppm (figure 10). Les 797 échantillons retenus ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé avec *WofE*. Ce paramètre est efficace jusqu'à 2600 m de distance et se classe au troisième rang en terme de prédictivité.

Proximité d'une anomalie en arsenic ≥ 48 ppm

L'arsenic et son équivalent minéral, l'arsénopyrite, sont rarement documentés dans les fiches de gîtes de type porphyrique de la Baie-James. Toutefois, l'enrichissement en As de plusieurs gîtes, notamment en Colombie-Britannique, en Chine et dans les Andes, est mentionnée dans la littérature (Williams *et al.*, 1999; Williams-Jones et Heinrich, 2005).

Un diagramme quantile-quantile des 5930 analyses d'arsenic dans la région montre que le seuil anormalique correspond à 48 ppm (figure 10). Les 1299 échantillons retenus ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé avec *WofE*. Ce paramètre est efficace jusqu'à 2600 m de distance et se classe au onzième rang en terme de prédictivité.

Proximité d'une anomalie en tungstène ≥ 5 ppm

Les magmas porphyriques associés à la genèse des dépôts enrichis en molybdène sont généralement moins oxydés et plus pauvres en S_{total} que ceux associés aux minéralisations cuprifères ou aurifères (Seedorf *et al.*, 2005). Ces magmas présentent communément une teneur en tungstène plus élevée. Cet élément pourrait donc être un indicateur possible dans le modèle présent.

Le diagramme quantile-quantile du tungstène (1685 analyses) de la figure 10 montre que le seuil anormalique du tungstène devrait se situer à 5 ppm. Les 478 échantillons sélectionnés ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé avec *WofE*. Ce paramètre est efficace jusqu'à 2400 m de distance et se classe au neuvième rang en terme de prédictivité.

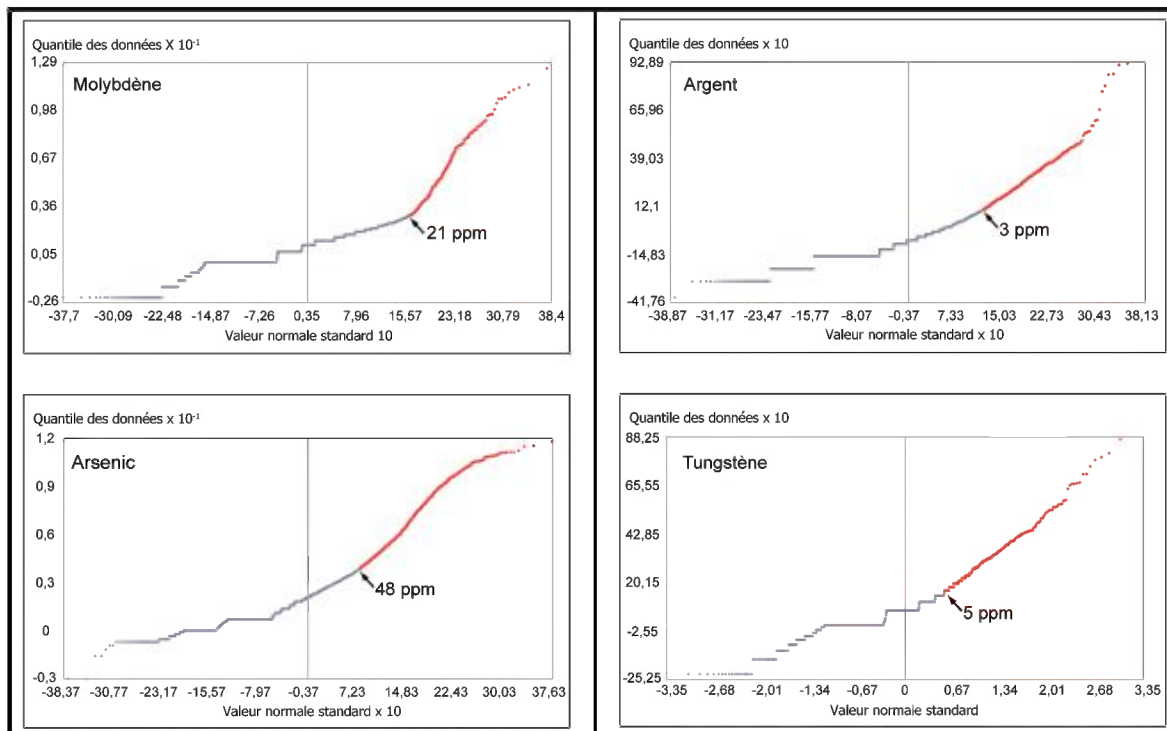


FIGURE 10 - Diagrammes quantile-quantile montrant les seuils anormaux pour le molybdène, l'argent, l'arsenic et le tungstène. Les échantillons sélectionnés sont en rouge sur la courbe.

Proximité d'un minéral indicateur d'altération

Les dépôts porphyriques présentent généralement de volumineuses auréoles d'altération dont les phases minéralogiques se composent d'assemblages de nature proximale à distale. Suivant les 4 processus d'altération mentionnés à la section 3.4 et en fonction de la nature des roches affectées, les cinq indicateurs minéralogiques décrits ci-après ont été définis. Chaque paramètre a été traité en fonction des occurrences locales (géofiches, compifiches et forages) d'un ou plusieurs minéraux spécifiques associés à chaque indicateur. En plus des divers minéraux mentionnés ci-dessous, des tests ont été effectués pour évaluer la prédictivité des observations de chloritoïdes ou de tourmaline, sans résultat probant.

Proximité d'un minéral indicateur d'altération potassique

Les descriptions de géofiches, compifiches et forages mentionnant une altération en muscovite, séricite ou biotite sont extraites par requête (4661 occurrences). Des classes de distance à intervalles de 200 mètres ont été créés et optimisés en cinq classes de distance avec *WofE* (annexe 2). Le paramètre est efficace jusqu'à 3400 m et se classe 14^e en terme de prédictivité.

Proximité d'un minéral indicateur d'altération chloritique

Les minéraux indicateurs d'altération chloritique recherchés sont la chlorite et l'amphibole (hornblende, anthophyllite, actinote, grunérite ou riebeckite). Les 13 493 occurrences ponctuelles obtenues ont été zonées par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé en 4 classes de distance avec *WofE* (annexe 2). Ce paramètre est efficace jusqu'à 1000 m de distance et se classe au 21^e rang en terme de prédictivité.

Proximité d'un minéral indicateur d'épidotisation

Les descriptions d'altération en épidote (incluant pistachite ou clinozoïsite) ont été extraites (3663 occurrences) et zonées par intervalles de 200 m. Après optimisation avec *WofE*, cinq classes de distance ont été créées (annexe 2). Le paramètre est valide jusqu'à 2800 m et se classe 20^e.

Proximité d'un minéral indicateur de silicification

Les 779 occurrences (qui proviennent essentiellement des descriptions de forages) mentionnant des évidences de silicification ont été zonées par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé en 4 classes de distance avec *WofE* (annexe 2). Ce paramètre est efficace jusqu'à 2600 m de distance et se classe au 8^e rang en terme de prédictivité.

Proximité d'altération en hématite ou en magnétite

L'addition de fer hydrothermal (magnétite ou hématite) est caractéristique de certains gîtes (Sillitoe, 1993). Quelques 3207 occurrences ont été extraites, zonées et optimisées en 4 classes de distance avec *WofE* (annexe 2). Ce paramètre est valide jusqu'à 1200 m de distance et sa prédictivité le classe au 10^e rang.

Proximité d'un indice d'altération NORMAT anormalique

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 ICHLO calculés par le logiciel NORMAT seront utilisés 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 17 047 analyses d'éléments majeurs composée de roches intrusives ou effusives.

Proximité d'un indice ISER anormalique

Un diagramme quantile-quantile a été réalisé sur l'ensemble des 4539 analyses possédant un indice ISER non nul. Le seuil anormalique déterminé ainsi correspond aux valeurs d'ISER égales ou supérieures à 42 % (figure 11). Les 645 échantillons sélectionnés ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé en 4 classes avec *WofE* (annexe 2). Ce paramètre est efficace jusqu'à 1800 m de distance et se classe au 12^e rang en terme de prédictivité.

Proximité d'un indice ICHLO anormalique

La procédure décrite pour déterminer le seuil anormalique pour l'indice ISER a été appliquée aux 816 échantillons montrant des valeurs de l'indice ICHLO non nulles (figure 11). Le seuil est fixé ainsi à 10 % ou plus. Les 631 échantillons sélectionnés ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé en 4 classes avec *WofE* (annexe 2). Ce paramètre est efficace jusqu'à 2400 m de distance et sa prédictivité le classe au 19^e rang.

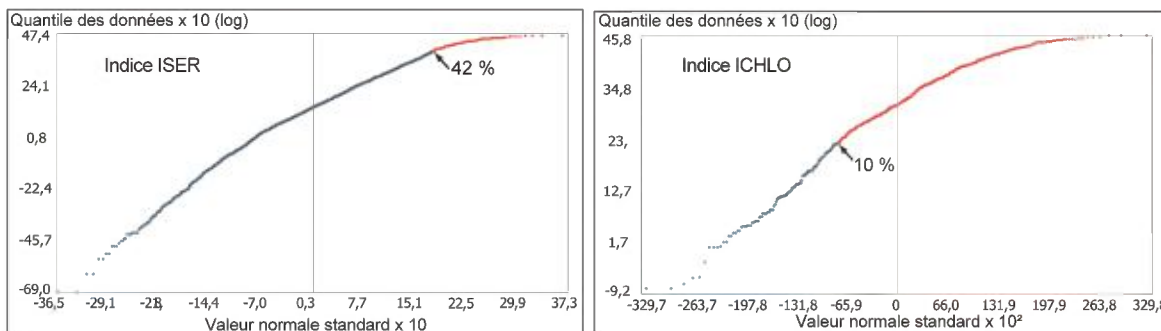


FIGURE 11 - Diagrammes quantile-quantile des indices normatifs ISER et ICHLO calculés par NORMAT (Piché et Jébrak, 2004). Les seuils anormaliques sont respectivement de 42 % et 10 %.

Proximité d'une minéralisation en sulfure ou oxyde

Cette sous-famille du modèle regroupe les observations locales de minéralisations en sulfure ou oxyde provenant des géofiches, compifiches et forages de la région. Les minéraux recherchés sont

l'arsénopyrite, la bornite, la chalcopryrite, la magnétite, la molybdénite, la pyrite et la pyrrhotite. Tous ces minéraux sont reconnus, parfois seuls mais plus communément en assemblage polyminéralique, en association avec les gîtes porphyriques (Seedorf *et al.*, 2005). Pour chaque indicateur ci-dessous, les occurrences ponctuelles ont été zonées par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé en 4 classes avec *WofE* (annexe 2).

Proximité d'une minéralisation en arsénopyrite

Les descriptions minéralogiques signalant la présence d'arsénopyrite dans les forages et les géofiches ont été extraites (225 occurrences). Ce paramètre est efficace jusqu'à 7800 m de distance et sa prédictivité le classe au 17^e rang (annexe 2).

Proximité d'une minéralisation en bornite

Seulement 15 observations de bornite, essentiellement dans les géofiches, sont documentées dans le SIGÉOM. Ce paramètre est efficace jusqu'à 2000 m de distance et sa prédictivité le classe au quatrième rang (annexe 2). Cette grande prédictivité s'explique surtout par le faible nombre d'observations et par leur association fréquente avec les gîtes porphyriques connus. La rareté des observations rend toutefois le paramètre moins utile pour la localisation de nouveaux dépôts.

Proximité d'une minéralisation en chalcopryrite

On documente 1179 observations de chalcopryrite dans le SIGÉOM. Le paramètre est assez proximal, restant prédictif jusqu'à seulement 1000 mètres. Il se classe au 5^e rang pour la prédictivité (annexe 2). Le grand nombre d'observations, son association proximale et sa bonne prédictivité en font un paramètre très efficace dans le modèle.

Proximité d'une minéralisation en magnétite

Ce paramètre repose sur toutes les observations ponctuelles de magnétite sans égard pour le type de roche. Il est traité ici comme un minéral accessoire et non comme une altération. Le très grand nombre d'occurrences (4883 cas) confirme que le minéral est très commun et reflète dans beaucoup de cas un effet du métamorphisme élevé qui affecte une grande partie du territoire. Malgré cette dilution importante, le paramètre reste un prédicteur valide, se classant au 25^e rang (annexe 2).

Proximité d'une minéralisation en molybdénite

La molybdénite est rarement notée dans les géofiches et forages de la région (55 occurrences). Le paramètre est efficace jusqu'à 3000 m et sa prédictivité le classe au 24^e rang (annexe 2).

Proximité d'une minéralisation en pyrite

La pyrite est un des sulfures les plus communs, ayant été noté à 3469 endroits différents dans les géofiches et forages. C'est un indicateur très proximal, visible généralement à moins de 600 m de distance d'un gîte porphyrique (annexe 2). Il se classe au 15^e rang des paramètres.

Proximité d'une minéralisation en pyrrhotite

Tout comme la pyrite, la pyrrhotite est communément notée dans la région (2155 observations). Elle est toutefois un indicateur moins proximal que la pyrite; elle est généralement observée à moins de 1600 m de distance d'un gîte porphyrique (annexe 2). Le paramètre se classe au 16^e rang.

Évidences de minéralisation dans l'environnement secondaire

La région de la Baie-James a été presque entièrement couverte (figure 12) par divers levés d'échantillonnage de fond de lac (25 224 échantillons), de sédiments de ruisseau (19023 échantillons), de sol (4373 échantillons) et de sédiments de till (564 échantillons). Considérant la distribution homogène des échantillons de sédiments de lac et la concentration très élevée des échantillons de ruisseau au sud

du réservoir Robert-Bourassa, il a été jugé préférable de n'utiliser que les échantillons de ruisseau hors de la zone couverte par l'échantillonnage des lacs (1835 échantillons).

Cette partie du traitement utilise les mêmes éléments ayant servi d'indicateurs à Labbé *et al.* (2006)¹. Pour chaque type de levé, le seuil anomalique a été déterminé à l'aide de diagrammes quantile-quantile (figure 13). Pour but de comparaison, la valeur correspondante en percentile de population a été indiquée pour chaque seuil anomalique défini (tableau 3).

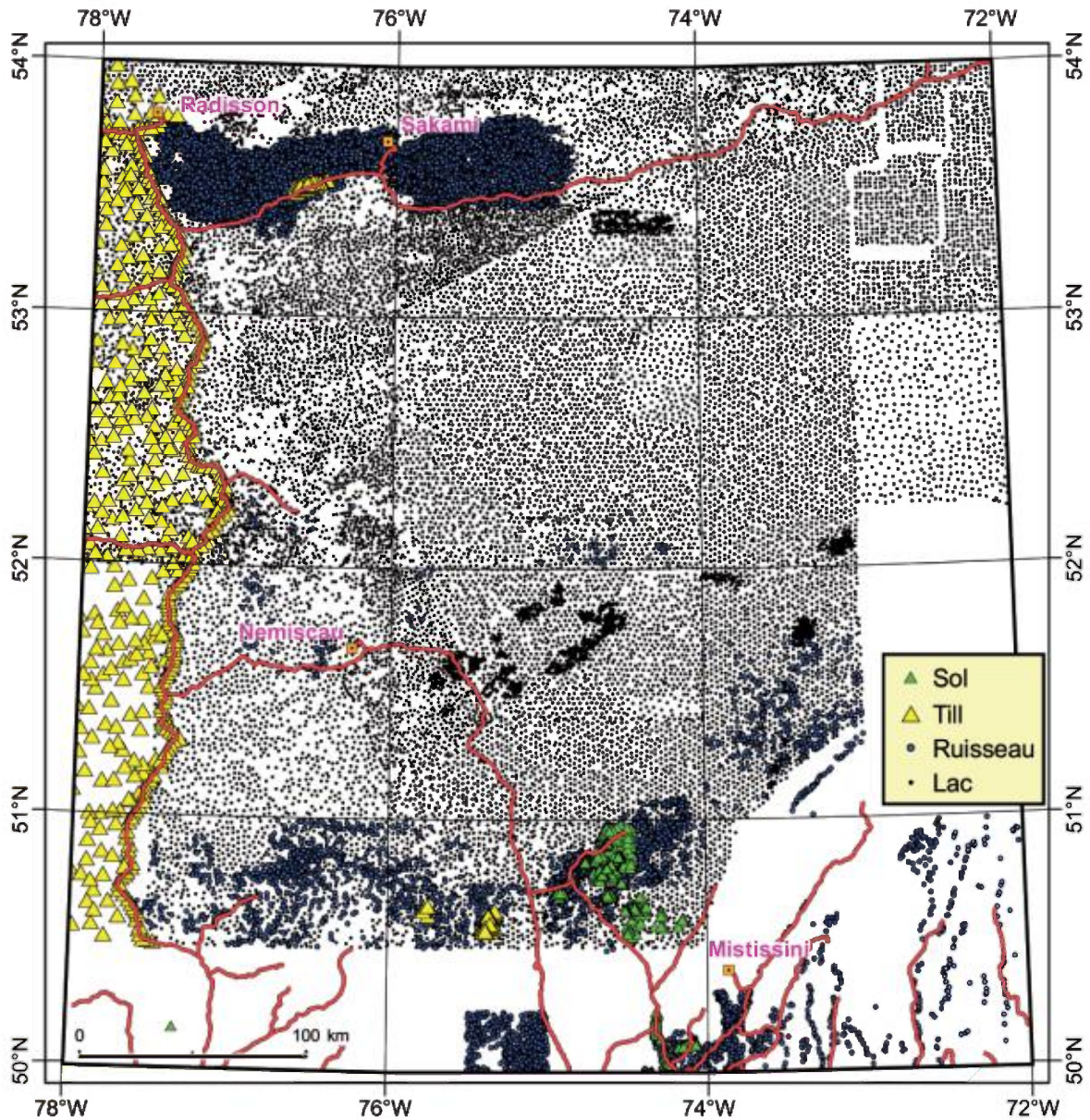


FIGURE 12 - Carte illustrant la distribution des divers types d'échantillonnage de l'environnement secondaire utilisés pour le traitement.

Proximité d'une anomalie en cuivre

À l'aide de diagrammes quantile-quantile, les seuils anomaliques pour les échantillons contenant une teneur en cuivre dans les sédiments de lac (23 215 cas), de ruisseau (1 835 cas), de sol (4 375 cas) et de till (564 cas) ont été déterminés (figure 13 et tableau 3). Les 441 échantillons anomaliques extraits des 4 types de sédiments ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a

¹ La banque SIGÉOM des analyses de sédiments de lac pour la Baie-James se compose de plusieurs projets d'échantillonnage avec une méthodologie et des seuils analytiques différents. Pour le traitement, un fichier nivelé des teneurs en cuivre réalisé par le CONSOREM a été utilisé dans le cas des trois éléments (Cu, Au, Mo) considérés.

été réalisé et optimisé en 3 classes avec *WofE* (annexe 2). Le paramètre est prédictif jusqu'à 2600 mètres et se classe au 27^e rang.

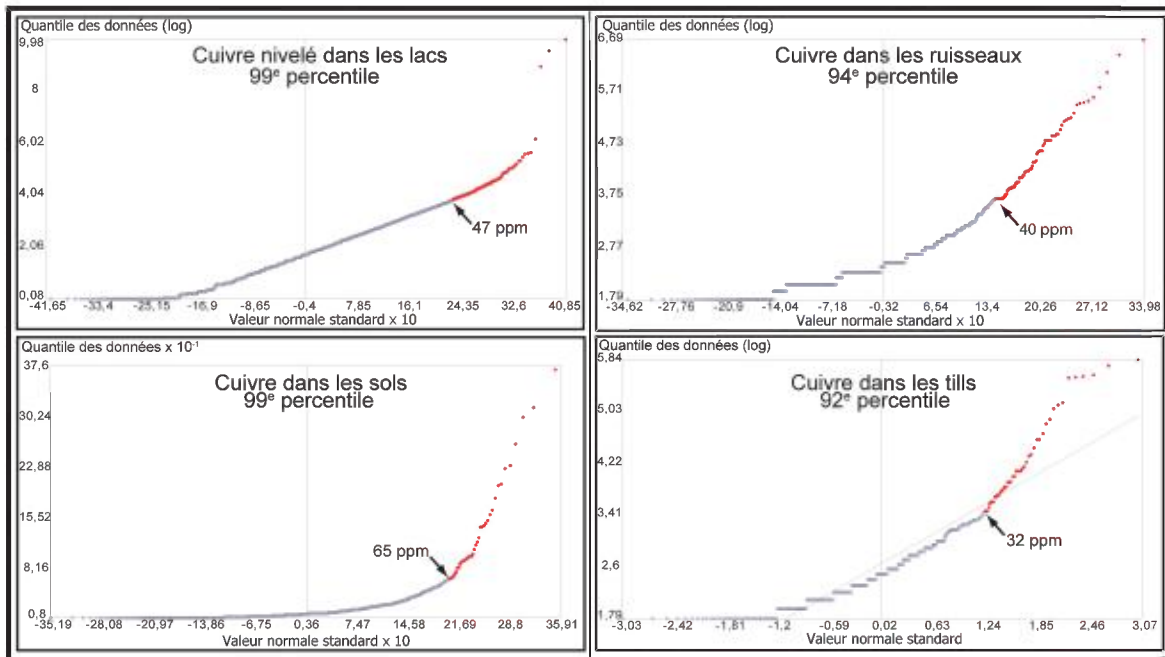


FIGURE13 - Diagrammes quantile-quantile utilisés pour définir le seuil anomalique du cuivre dans les sédiments de lac, de ruisseau, de sol et de till à la Baie-James.

Proximité d'une anomalie en or

À l'aide de diagrammes quantile-quantile, les seuils anomaliques pour les échantillons contenant une teneur en or dans les sédiments de lac (6 491 cas), de ruisseau (973 cas), de sol (2 987 cas) et de till (45 cas) ont été déterminés (figure 14 et tableau 3). Les 448 échantillons anomaliques extraits

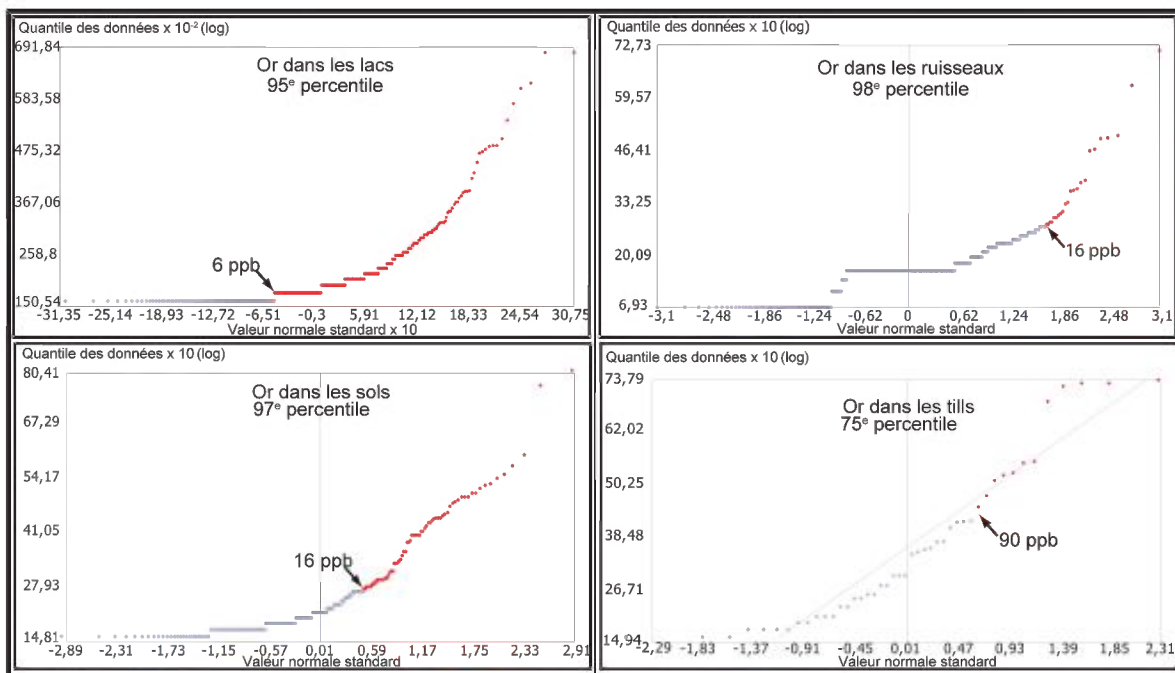


FIGURE 14 - Diagrammes quantile-quantile utilisés pour définir le seuil anomalique de l'or dans les sédiments de lac, de ruisseau, de sol et de till à la Baie-James.

des 4 types de sédiments ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé en 4 classes avec *WofE* (annexe 2). Le paramètre est prédictif jusqu'à 3200 mètres et se classe au 32^e rang.

Proximité d'une anomalie en molybdène

À l'aide de diagrammes quantile-quantile, les seuils anomaliques pour les échantillons contenant une teneur en molybdène dans les sédiments de lac (23 159 cas), de ruisseau (12 017 cas), de sol (4 366 cas) et de till (344 cas) ont été déterminés (figure 15; tableau 3). Les 1 829 échantillons anomaliques extraits des 4 types de sédiments ont été zonés par intervalles de 200 m et le calcul du contraste a été réalisé et optimisé en 3 classes avec *WofE* (annexe 2). Le paramètre est prédictif jusqu'à 1400 mètres et se classe au 28^e rang.

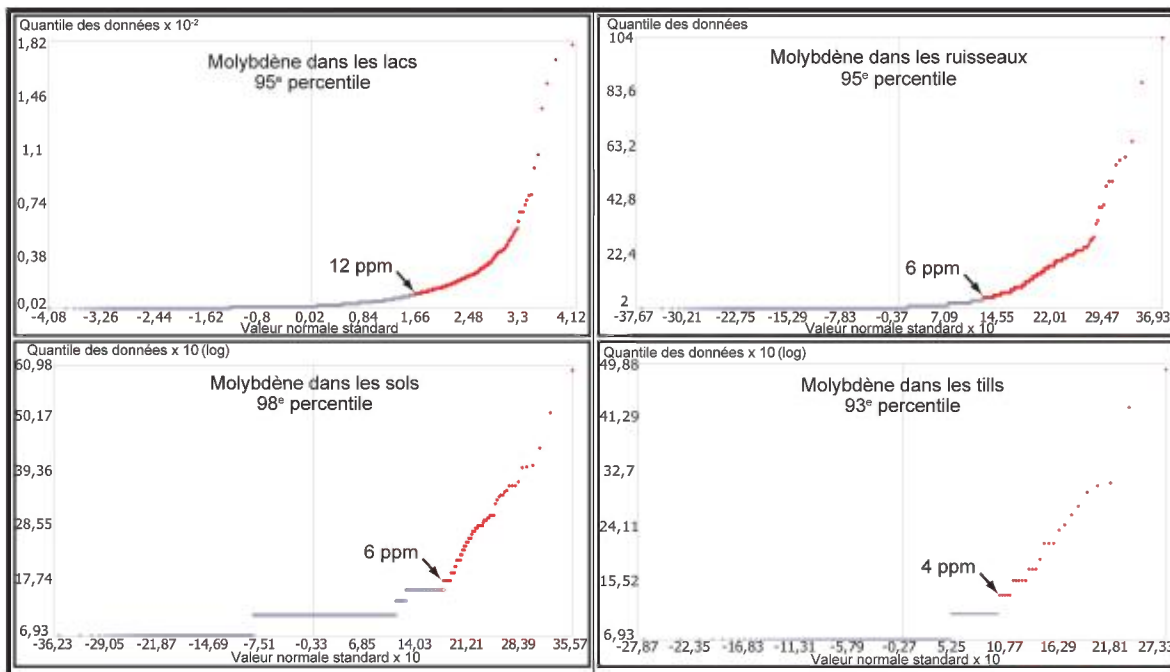


FIGURE 15 - Diagrammes quantile-quantile utilisés pour définir le seuil anomalique du molybdène dans les sédiments de lac, de ruisseau, de sol et de till à la Baie-James.

TABLEAU 3 - Seuils anomaliques utilisés pour les indicateurs de l'environnement secondaire.

Sédiment	Cu		Au		Mo	
	ppm (percentile)	Nb d'échant. anom.	ppb (percentile)	Nb d'échant. anom.	ppm (percentile)	Nb d'échant. anom.
Lac	47 (99)	238	6 (95)	334	12 (95)	1139
Ruisseau	40 (94)	106	16 (98)	23	6 (95)	564
Sol	65 (99)	50	16 (97)	79	6 (98)	100
Till	32 (92)	47	90 (75)	12	4 (93)	26
Total		441		448		1829

FAVORABILITÉ GLOBALE ASSOCIÉE AUX MINÉRALISATIONS DE TYPE PORPHYRIQUE DE CU-AU ± MO DE LA BAIE-JAMES

Création de la carte de favorabilité pour les minéralisations de type porphyrique de Cu-Au ± Mo de la Baie-James

La carte de la favorabilité finale est créée en deux étapes : 1) au sein de chaque famille (ou sous-famille), les cartes de paramètres réalisées à partir des valeurs floues (Vfavor) calculées à l'annexe 2 sont combinées à l'aide d'un opérateur FUZZYGAMMA (annexe 3); 2) les cartes des 5 familles sont combinées pour créer la carte de favorabilité finale. Les différents facteurs des opérateurs FUZZYGAMMA (entre parenthèses sur la figure de l'annexe 3) ont été calibrés proportionnellement à la prédictivité des paramètres combinés, avec comme principale contrainte l'obligation d'atteindre pour la carte finale une valeur d'arrière-plan avoisinant 0,5. Cette méthode évite la surpondération des paramètres (un inconvénient souvent cité lors de l'utilisation de la logique floue comme méthode de combinaison) tout en respectant le principe de non-association favorable ou défavorable des vastes secteurs de la région dont le niveau de connaissance est faible (niveaux en bleu sombre dans la figure 21). La valeur d'arrière-plan de la carte de favorabilité est de 0,503 et la valeur maximale enregistrée pour l'ensemble des cellules est de 0,899.

Carte de la favorabilité associée aux sources de chaleur

La carte de la favorabilité associée aux sources de chaleur¹ est le produit de la conversion en valeurs floues des valeurs de contraste des différentes classes du seul paramètre de cette famille (voir annexes 2 et 3). La valeur floue maximale de cette carte est de 0,656 – une valeur plutôt basse en comparaison avec les cartes des autres familles et sous-familles (figures 16a à 16h).

Carte de la favorabilité associée au contrôle lithologique

La figure 16a montre les divers secteurs de la région où le contrôle lithologique exerce la plus grande influence dans le contexte du modèle traité. Ces secteurs correspondent aux endroits où des intrusions porphyriques felsiques ou intermédiaires ont été notées à proximité d'observations d'hématite ou de magnétite dans le même type de roche. La combinaison des deux cartes de paramètres associées au contrôle lithologique est réalisée avec un opérateur FUZZYGAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,80. Un facteur plus élevé serait contre-indiqué vu que ces deux paramètres occupent un rang au dernier tiers du classement des paramètres de prédictivité(annexe 2). La valeur maximale de cette carte est de 0,862.

La carte montre une concentration de valeurs élevées autour des réservoirs La Grande 3 et Opinaca (figure 16a). Une zone favorable est aussi visible au SW du lac Tilly, alors qu'un essaim d'anomalies dispersées caractérise les secteurs du lac Elmer et du réservoir Opinaca (33C). La région du lac Troilus ne se distingue pas dans cette partie du modèle parce que l'absence de géofiches et de compifiches dans ce secteur limite sévèrement la réponse des données dans le traitement.

Carte de la favorabilité associée au contrôle structural

Les secteurs anomaliques de la carte de la favorabilité du contrôle structural (figure 16b) représentent les endroits où la majorité des six paramètres de cette famille se superposent. Ces paramètres, dominés par des éléments linéaires ou des plages de densité, ont été combinés avec un opérateur FUZZYGAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,92 (annexe 3). Le classement dans les deux derniers tiers (sauf dans un cas) des paramètres de prédictivité explique ce facteur relativement modéré. La valeur maximale enregistrée sur cette carte est de 0,878.

Quatre régions se distinguent principalement (figure 16b) : 1) le secteur du lac Yasinski, où l'extrémité NE du pluton postvolcanique d'Amisach Wat (Goutier *et al.*, 1998) montre une large zone favorable; 2) le secteur au sud du lieu-dit de Sakami qui se prolonge vers le lac Guyer; 3) les rives du réservoir Opinaca, au sud duquel passe une bande E-W d'environ 175 km entre le lac Lichteneger

¹ La carte étant à peu près identique à la figure 9, elle n'est pas illustrée à la figure 16.

et la limite ouest de la carte; et 4) une autre bande E-W d'environ 170 km entre le lac Le Gardeur et le lac Troilus, qui correspond à la Ceinture Frotet-Evans.

Carte de la favorabilité associée aux analyses de métaux indicateurs

La carte de favorabilité associée aux métaux indicateurs (figure 16c) montre les secteurs où se superposent à proximité une majorité de teneurs anomaliques en Cu, Au, Mo, Ag, As ou W. Elle est réalisée avec un opérateur FUZZYGAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,97. Ce facteur élevé est justifié par le classement des six paramètres métalliques de cette famille dans le premier tiers de l'ensemble des paramètres de prédictivité. La valeur maximale enregistrée sur cette carte est de 0,988, soit la valeur la plus élevée de toutes les cartes intermédiaires dans le processus de combinaison.

Le plus hautes valeurs se concentrent (figure 16c) : 1) dans la bande de roches vertes de la ceinture de La Grande entre le lac Yasinski et environ 70 km à l'est du lac Guyer; 2) à l'ouest du lac Tilly; 3) entre le lac Boyd et le lac Lichteneger, où les zones élevées forment une constellation dispersée sans regroupement marqué; 4) dans la bande de roches vertes de la Rivière Eastmain inférieure à environ 50 km au NE du lac Marbois (SNRC 33A), où d'importants gîtes de Cu-Mo ± Au (notamment celui du lac Macleod) sont connus; 5) dans la région du lac Le Gardeur; 6) autour du lac Troilus où une mine de Cu-Au est exploitée; et 7) au sud du lac Waconichi.

Carte de la favorabilité associée aux minéraux d'altération

La carte de favorabilité associée aux minéraux d'altération (figure 16d) présente les emplacements où se superposent à proximité la majorité des cinq faciès d'altération évalués. Elle est obtenue en combinant les paramètres de cette famille (annexe 3) avec un opérateur FUZZYGAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,92. Ce facteur relativement modeste s'explique par le classement des paramètres de cette sous-famille principalement dans le deuxième tiers des paramètres de prédictivité. La valeur maximale enregistrée sur cette carte est de 0,932.

La distribution des valeurs élevées de la figure 16d est très semblable à celle de la figure 16c, à l'exception du secteur Opinaca-Lichteneger qui semble moins prononcé dans le cas présent. On note aussi que le secteur à 50 km au nord du lac La Salle (33H) montre quelques cibles bien définies par rapport aux cartes précédentes.

Carte de la favorabilité associée aux indices d'altération NORMAT

La figure 16e présente la carte de la favorabilité associée aux indices d'altération NORMAT. Elle est le résultat de la combinaison des cartes de favorabilité de l'indice de séricitisation (ISER) et de l'indice de chloritisation avec un opérateur FUZZYGAMMA doté d'un facteur de 0,95 (annexe 3). Les valeurs élevées illustrées sur la figure (maximum de 0,954) correspondent aux secteurs où jouxtent des teneurs anomaliques d'altération potassique ou de chloritisation normatives. Les deux paramètres se situent dans le deuxième tiers de l'ensemble des paramètres de prédictivité.

La carte présente les mêmes regroupements que les deux cartes précédentes avec toutefois des concentrations généralement moins marquées. On note deux exceptions notables : de fortes concentrations dans la région du lac Elmer (33C) ainsi que dans la région de l'île Bohier (33A).

Carte de la favorabilité associée aux sulfures ou oxydes

La carte de la favorabilité associée aux sulfures (figure 16f) provient de la combinaison des six paramètres de cette famille avec un opérateur FUZZYGAMMA doté d'un facteur de 0,95 (annexe 3). À l'exception de la chalcopryrite et de la bornite qui se classent dans le premier tiers, les autres minéraux sont des indicateurs moins efficaces plutôt situés dans le deuxième ou le troisième tiers des paramètres de prédictivité. Les zones les plus élevées sur cette carte (maximum de 0,881) correspondent aux endroits où avoisinent plusieurs observations de sulfures (et/ou magnétite).

La carte de la figure 16f montre que les zones les plus favorables se situent dans les ceintures de La Grande, de la Basse et de la Moyenne Eastmain et de Frotet-Evans. Les zones au NE du lac La Salle (33H) et du lac Marbois (33A) sont encore perceptibles. Une zone linéaire à l'ouest du lac Evans (32K), aussi visible sur la figure 16c (métaux indicateurs), est bien définie. Visible dans toutes les cartes précédentes, la zone du lac Tilly est absente dans cette phase du traitement. Enfin, une petite zone est visible à environ 40 km à l'est de Nemiscau, le long de la Route du Nord. Cette zone, aussi

visible dans les figures 16c et 16d, résulte d'une superposition de sulfures (CP+MO+PY+PO) et n'est pas associée à des gîtes connus.

Carte de la favorabilité associée à l'activité hydrothermale

La carte de la favorabilité associée à l'activité hydrothermale (figure 16g) 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 des figures 16c à 16f à l'aide d'un opérateur FUZZYGAMMA doté d'un facteur de 0,82 (annexe 3). Cette faible valeur du facteur de rehaussement est dû : 1) à la nécessité de maintenir la valeur d'arrière-plan du modèle à environ 0,5; et 2) les quatre sous-familles composant cette famille ayant déjà été pondérées individuellement en fonction de leur importance relative, il est inapproprié d'exagérer le résultat de leur combinaison en utilisant un facteur élevé. La valeur maximale enregistrée est de 0,932.

Les zones les plus élevées se situent surtout dans la Ceinture de La Grande et celle de Frotet-Evans. Dans le premier cas, ces zones se situent au NE du lac Yasinski, à l'ouest du lac Sakami, ainsi qu'au SE du réservoir Robert-Bourassa (33F) et dans la région du lac Guyer (33G). Dans le second cas, la zone principale se situe au nord du lac Troilus (32J). Une troisième zone importante est visible aussi dans la région du lac Elmer (33C).

Carte de la favorabilité associée à l'environnement secondaire

La figure 16h montre les secteurs où la confluence des teneurs anormales en Cu, Au ou Mo dans l'environnement secondaire est la plus significative. Cette carte résulte de la combinaison des trois paramètres de cette famille avec un opérateur FUZZYGAMMA auquel est appliqué un facteur de 0,80. Le classement de ces indicateurs dans le dernier tiers des paramètres de prédictivité explique le faible facteur utilisé. La valeur maximale enregistrée est de 0,764.

La figure 16h permet de distinguer trois zones significatives dans la région : 1) une bande E-W d'environ 70 km centrée sur le lieu-dit de Sakami (33F et 33G); 2) une zone N-S d'environ 10 km à l'ouest du lac Tilly; et 3) une zone NE-SW d'environ 40 km centrée sur le lac Troilus. Deux autres anomalies ponctuelles sont visibles près du réservoir Opinaca et à l'ouest du lac Waconichi.

Carte de la favorabilité pour les minéralisations de type porphyrique de Cu-Au ± Mo

La figure 17 présente la favorabilité pour les minéralisations de type porphyrique de Cu-Au ± Mo pour la Baie-James. Cette carte représente le point final dans le processus de combinaison avec l'intégration des cartes des cinq grandes familles du modèle. La combinaison a été effectuée avec un opérateur FUZZYGAMMA doté d'un facteur de 0,905, ce qui permet de réaliser l'objectif initial d'avoir une valeur d'arrière-plan approximant 0,5. La valeur maximale de la carte est de 0,899.

Détermination des zones de haute favorabilité et des cibles

La carte de la favorabilité finale étant complétée, il est maintenant possible : 1) de définir, pour la Baie-James, des zones de haute favorabilité (ZHF) associée aux minéralisations de type porphyrique de Cu-Au ± Mo qui permettront de focaliser l'exploration minière; et 2) de déterminer et documenter plus spécifiquement un certain nombre de cibles formées des portions de ZHF non jalonnées au moment de la réalisation de l'étude.

La définition d'une zone de haute favorabilité implique la détermination d'un seuil de valeur de favorabilité minimale au-delà duquel la favorabilité d'une zone acquiert une prédictivité significative de la présence de minéralisations de type porphyrique. Pour définir ce seuil, les valeurs de favorabilité globale associées aux 72 mines, gisements à tonnage évalué, gîtes travaillés et indices de la Baie-James ont été reportées sur un diagramme de probabilité normale (figure 18). On y distingue deux populations normales différentes. La plus importante (points rouges) comprend 58 (80,5 %) des 72 gîtes porphyriques documentés dans la région et se situe au-dessus du seuil de valeur minimale de 0,637. Les 13 corps se situant sous le seuil forment une seconde population distincte, que la carte de favorabilité cible mal parce que les données disponibles sont insuffisantes ou contradictoires.

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 0,637 et de convertir

ces groupes de cellules en **polygones**. Ces polygones constituent des zones de haute favorabilité (figure 19).

La version finale des cibles a été établie en utilisant la répartition des titres actifs et en demande en date du 1er novembre 2008. Les portions de ZHF non jalonnées à cette date ont été regroupées pour constituer 198 cibles à fort potentiel en minéralisations porphyriques de Cu-Au ± Mo. Celles-ci sont affichées sur les cartes de diverses échelles accompagnant ce document, aisément accessibles à l'annexe 4. Un hyperlien situé dans l'étiquette de chaque cible permet d'accéder directement à une fiche Access listant de nombreuses données pertinentes à cette cible.

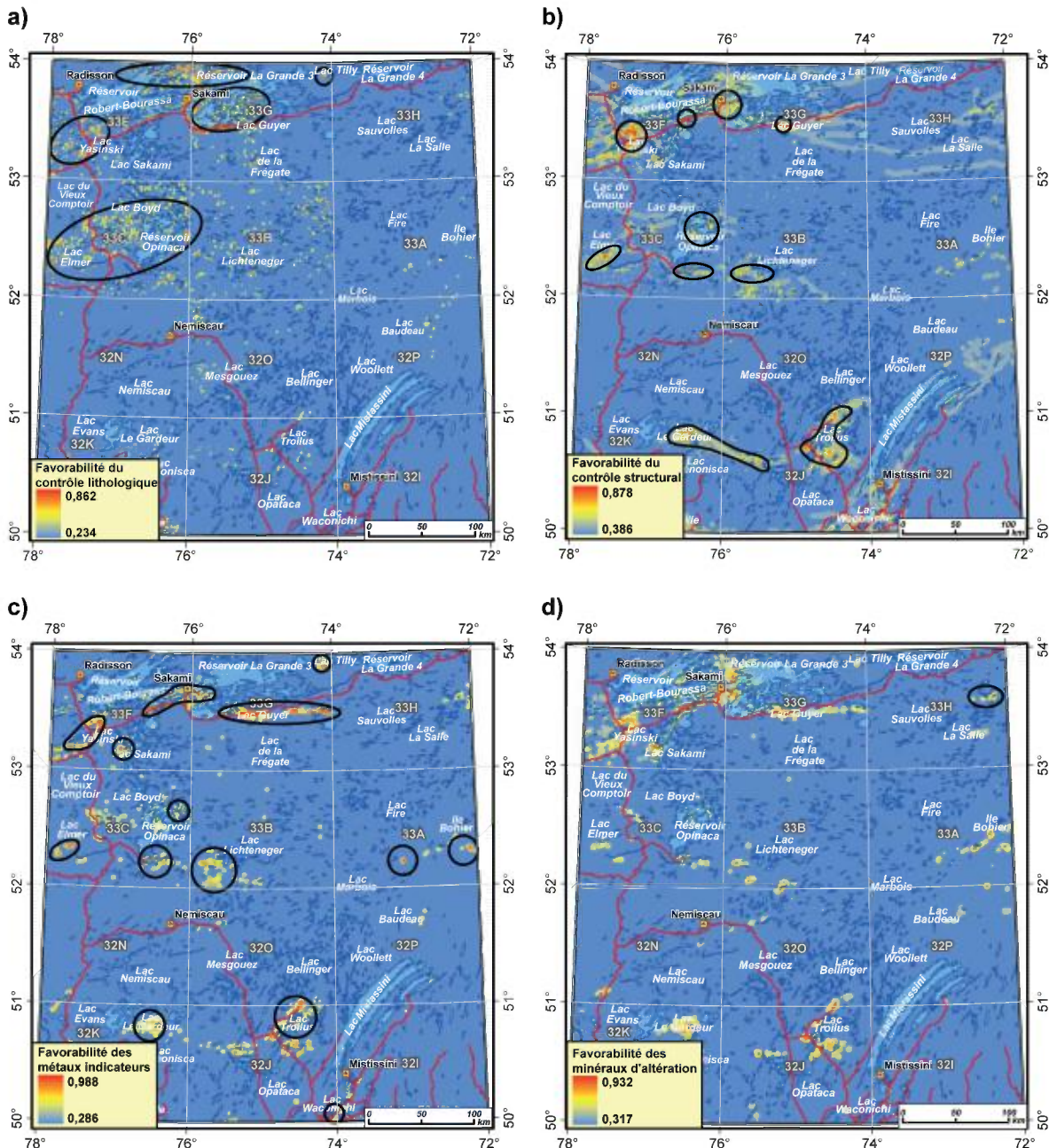


FIGURE 16 - a) favorabilité du contrôle lithologique; b) favorabilité du contrôle structural; c) favorabilité des métaux indicateurs; et d) favorabilité des minéraux d'altération.

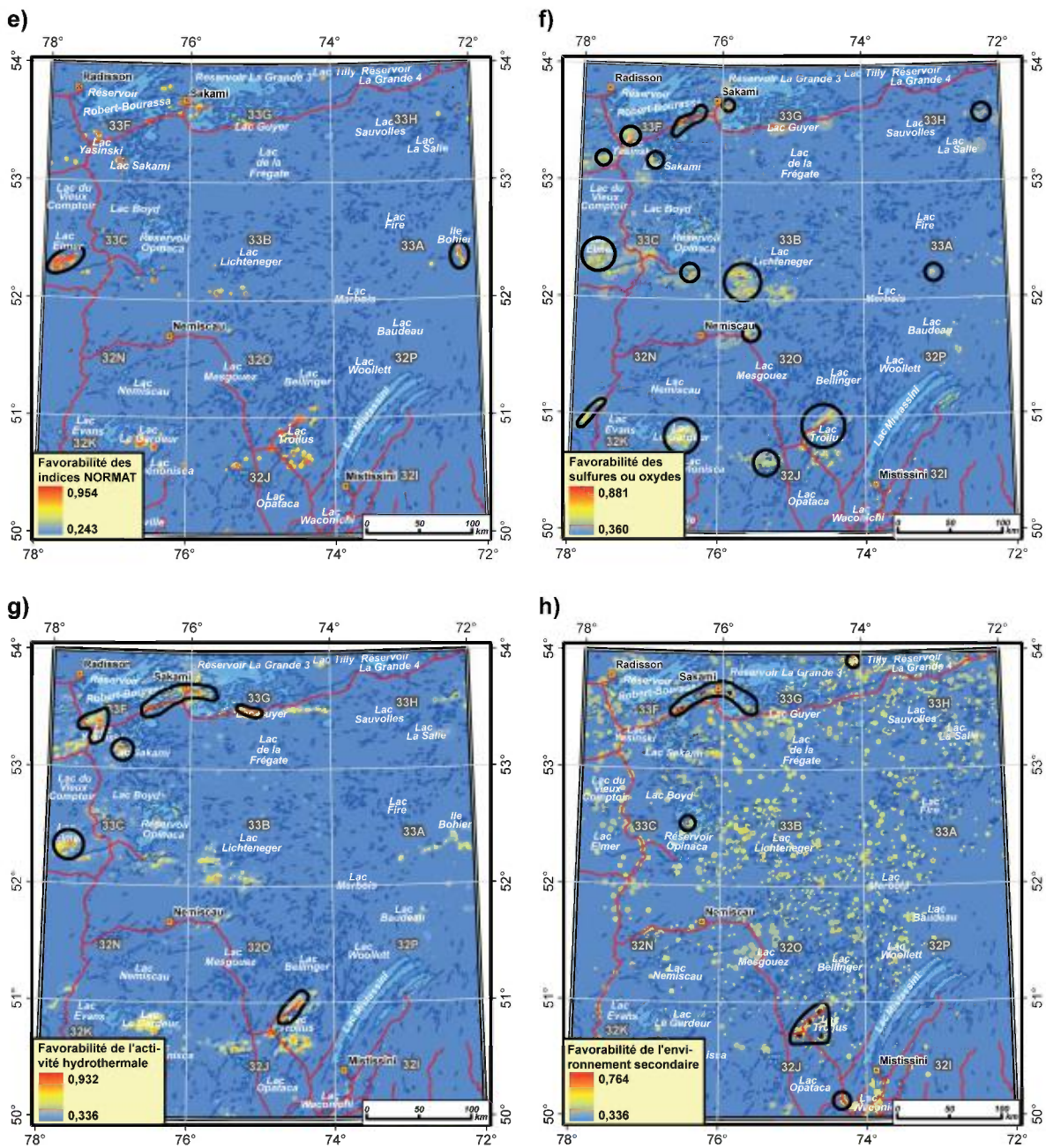


FIGURE 16 (suite et fin) - e) favorabilité des indices NORMAT; **f)** favorabilité des sulfures ou oxydes; **g)** favorabilité de l'activité hydrothermale; et **h)** favorabilité de l'environnement secondaire.

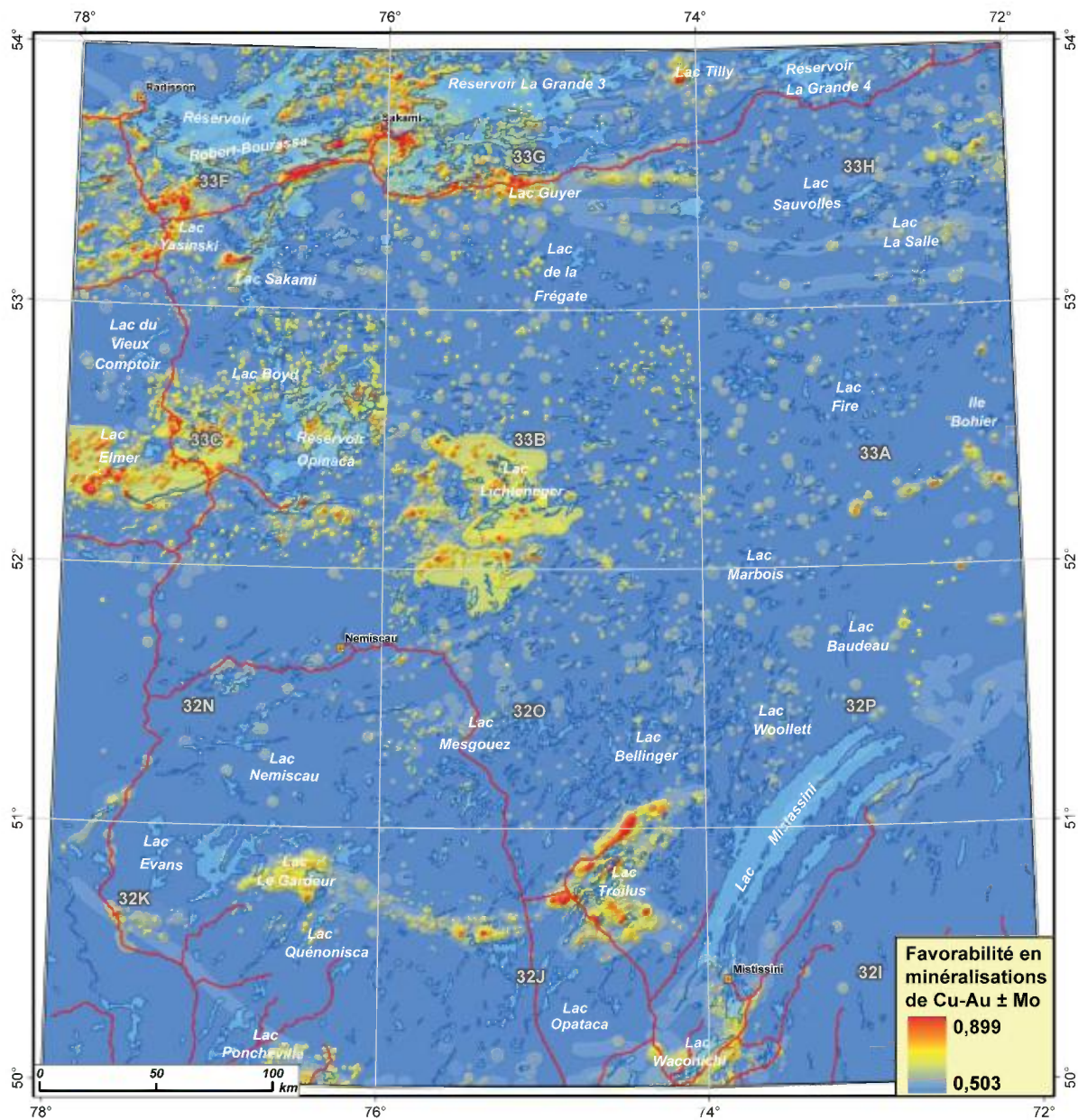


FIGURE 17 - Favorabilité en minéralisations de type porphyrique en Cu-Au ± Mo pour la Baie-James.

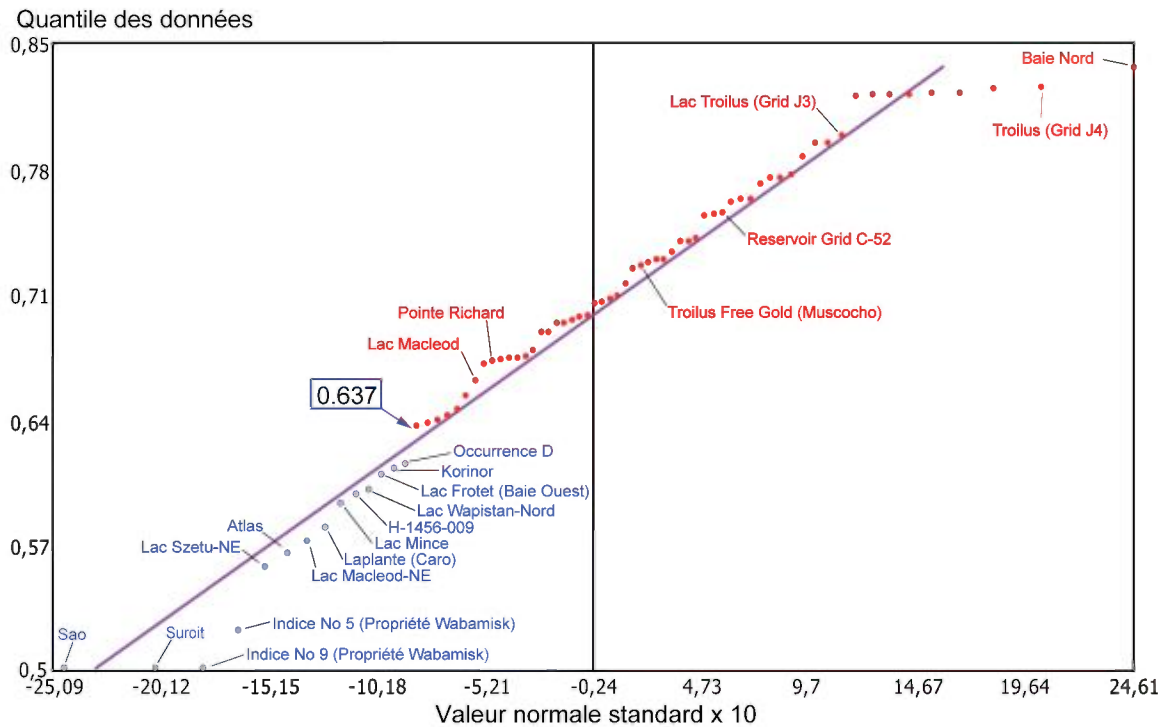


FIGURE 18 - Détermination du seuil minimal de haute favorabilité à l'aide d'un diagramme de probabilité normale. Les valeurs observées (en ordonnée) correspondent à la valeur de favorabilité mesurée sur la carte de favorabilité finale pour chacun des 72 gîtes porphyriques. Ce type de diagramme permet de distinguer les différentes populations d'un ensemble. Regroupant 80,5 % de l'ensemble des gîtes porphyriques de la Baie-James, les gîtes dont la valeur de favorabilité est supérieure à 0,637 appartiennent à une population homogène qui répond aux critères du modèle en respectant une distribution gaussienne de leur valeur de favorabilité mesurée. Les gîtes les plus importants de cette population sont identifiés en rouge. Les 13 gîtes identifiés en bleu sont situés sous le seuil de haute favorabilité (0,637) et répondent mal au modèle.

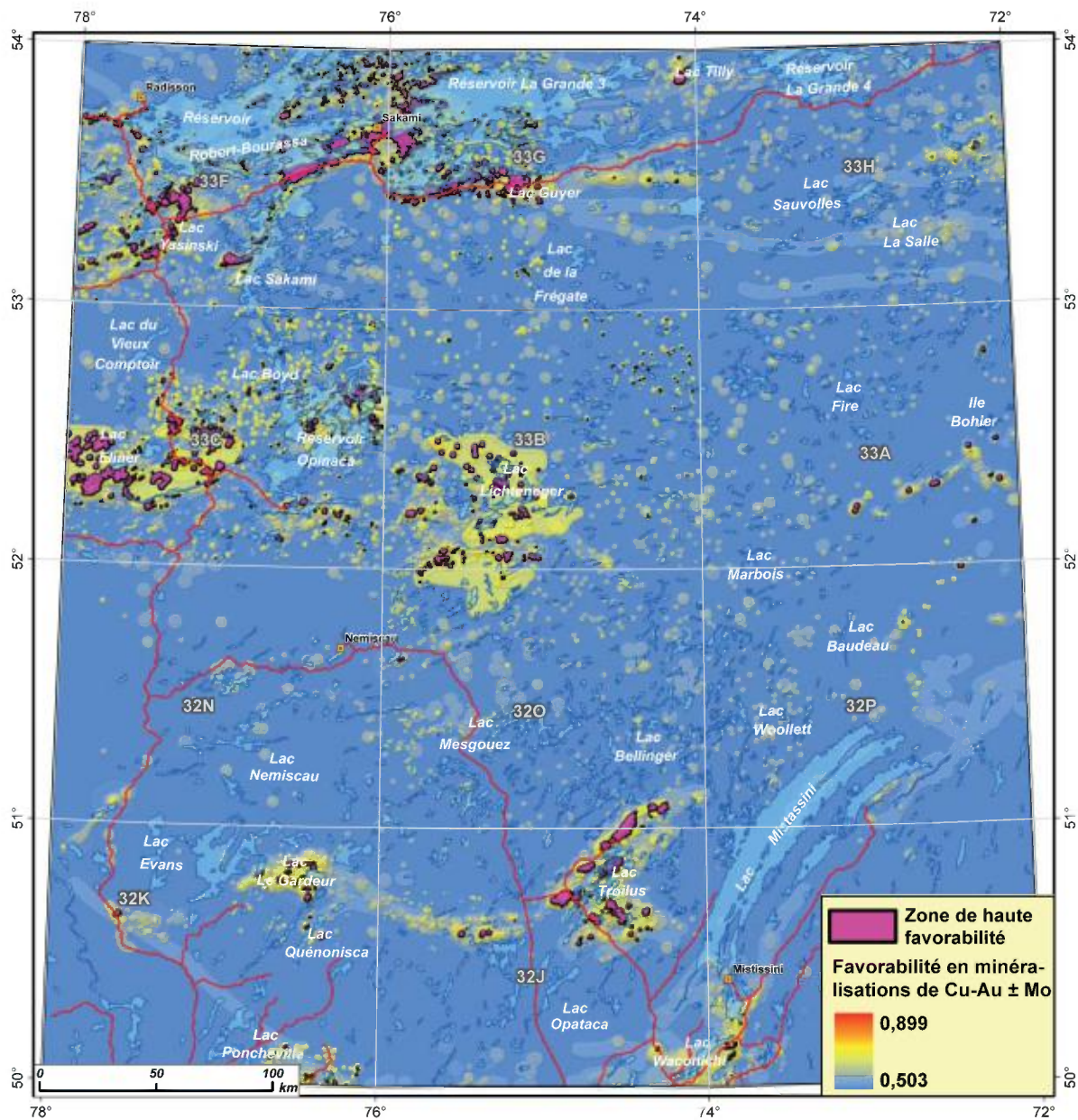


FIGURE 19 - Localisation des zones de haute favorabilité (en pourpre) pour les minéralisations de type porphyrique dans la Baie-James. Pour plus de détail, voir les cartes hors-texte.

Validation des résultats

La figure 20a présente le diagramme illustrant la prédictivité de la carte de favorabilité en fonction de 2 ensembles de minéralisations porphyriques de la Baie-James, soit : 1) un ensemble de pondération composé de 61 mines, gisements à tonnage évalué, gîtes travaillés et indices utilisés pour réaliser la carte de favorabilité; et 2) un ensemble de test de 11 gîtes qui n'ont pas servi pour le traitement et qui servent à valider le résultat. Les diagrammes indiquent le pourcentage cumulatif des gîtes ciblés (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 quasi-superposition des deux courbes démontre que la carte de favorabilité est validée par l'ensemble de test et est donc fiable.

La figure 20b représente la portion gauche agrandie du diagramme de la figure 20a. Cette figure montre que 89,5 % des gîtes de l'ensemble de pondération et 93 % de ceux de l'ensemble de test y sont prédits avec 5 % de la surface de favorabilité supérieure. La prédictivité de la carte de favorabilité est satisfaisante, bien que moindre que celle réalisée pour l'or orogénique dans la portion nord de la carte (Lamothe, 2008), pour laquelle les mêmes pourcentages de gîtes étaient prédits avec seulement 1 % de la surface de favorabilité supérieure. Cet écart découle vraisemblablement du choix d'utiliser les gîtes identifiés comme indices dans les deux ensembles de pondération et de test). 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 types de gîtes que sont 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 communément moins étudiés et leur environnement immédiat est généralement mal caractérisé; ce niveau moindre de connaissances se répercute dans un certain nombre de paramètres (observations de forages manquantes, échantillonnage limité, classification déficiente). Bien qu'utile – et nécessaire dans le cas présent – la présence de ces corps dans le traitement contribue à diluer la prédictivité de la plupart des paramètres.

La carte de favorabilité au 1/500 000 qui accompagne ce rapport a été publiée le 25 novembre 2008. Parmi toutes les ZHF définies par le traitement, il en existe une couvrant la propriété Escale (33H09) appartenant à Ressources Sirios. Simultanément à la publication de la carte de favorabilité, Ressources Sirios diffusait un communiqué annonçant la découverte de blocs erratiques minéralisés en Au-Mo sur la propriété. Ces blocs représentent un nouveau type de minéralisation pour la propriété Escale, essentiellement explorée jusqu'à maintenant pour son potentiel en formation de fer aurifère. Le traitement utilisé pour le modèle des gîtes porphyriques semble avoir correctement prédit cette occurrence.

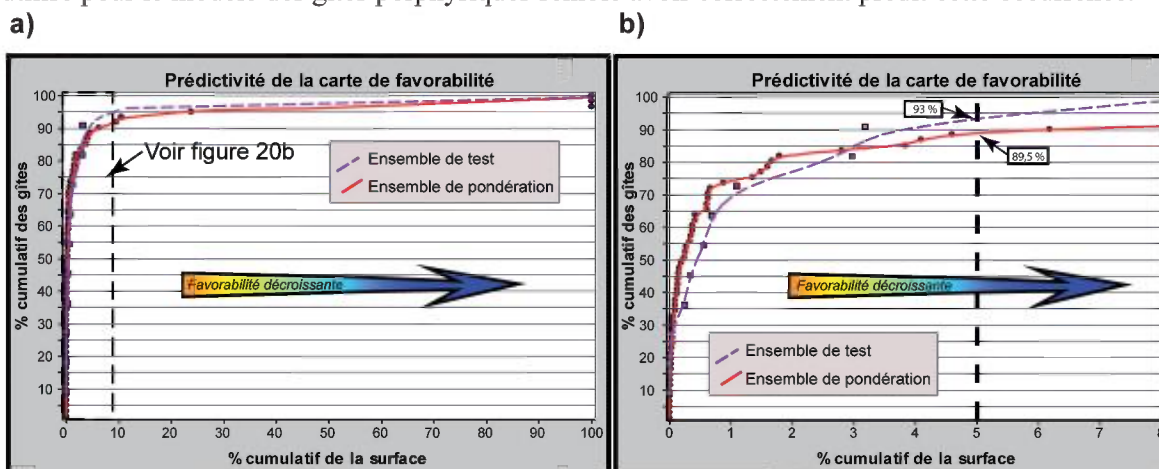


FIGURE 20 - a) Diagramme illustrant la prédictivité de la carte de favorabilité obtenue par « logique floue hybride ». Le diagramme présente en abscisse la surface cumulative (en pourcentage) des cellules classées par ordre de favorabilité décroissante, et en ordonnée le pourcentage cumulatif de gîtes ciblés par ces cellules. **b)** Portion agrandie du diagramme 20a. Environ 89,5 % des 61 gîtes de type porphyrique utilisés pour le traitement (ensemble de pondération, en rouge) se situent dans le groupe des cellules les plus favorables équivalant à 5 % de la surface de la carte. Pour la même surface favorable, 93 % d'un ensemble de test (en violet) de 11 gîtes (non utilisés pour le traitement, en violet) du secteur d'étude sont ciblés.

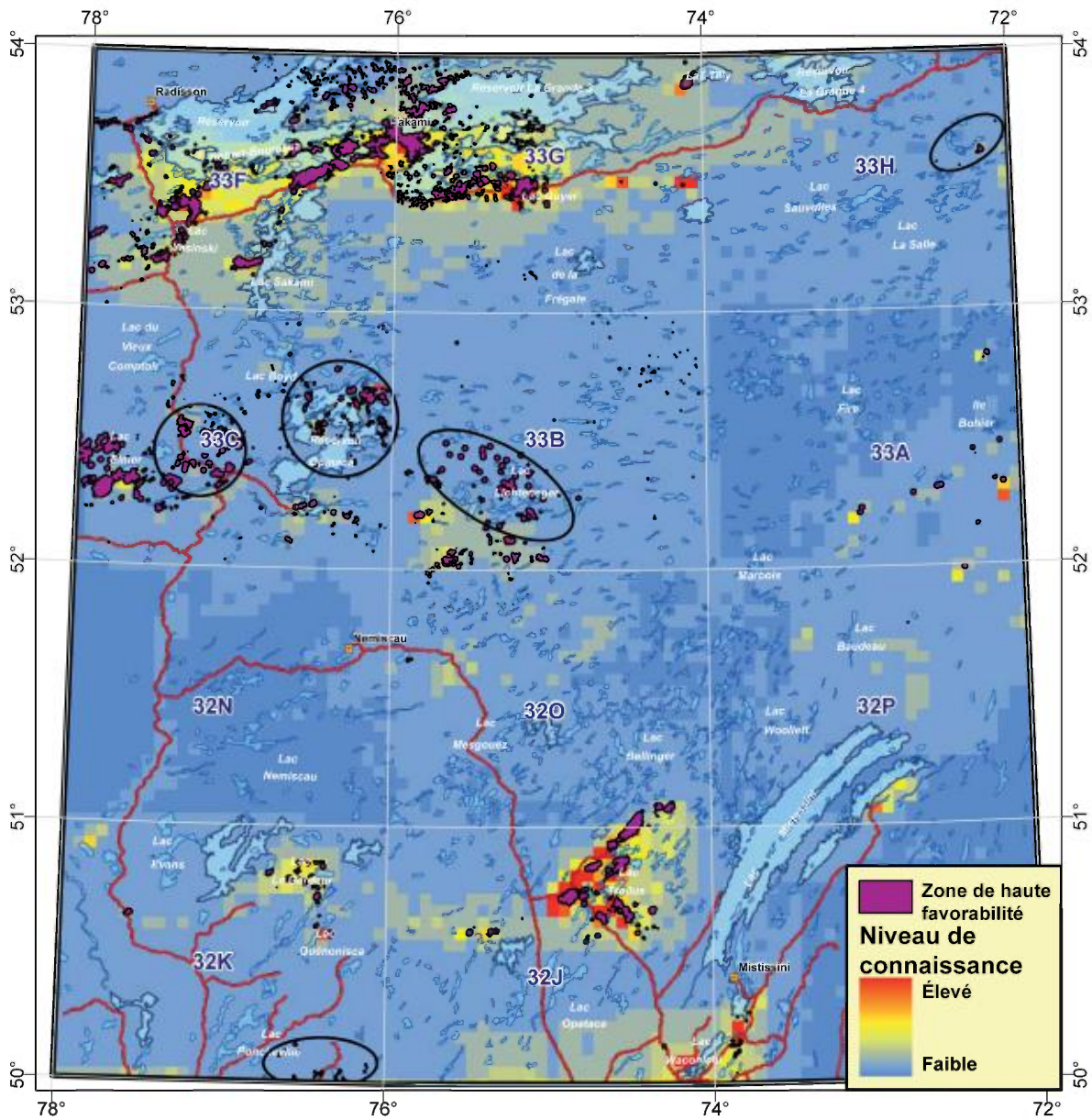


FIGURE 21 - Les secteurs ciblés sur cette figure sont caractérisés par une concentration marquée de ZHF bien que situés dans une région où le niveau de connaissance géologique est faible. Ces secteurs sont théoriquement plus favorables à la découverte de nouveaux dépôts.

CONCLUSION

L'intégration de géodonnées à l'aide d'un traitement de « logique floue hybride » a permis de réaliser une carte de favorabilité fiable pour le modèle métallogénique des gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo. Sa prédictivité est acceptable, bien qu'inférieure aux évaluations de potentiel précédentes touchant l'Abitibi et la Baie-James. La définition d'un seuil minimal de haute favorabilité a permis de délimiter les secteurs les plus propices à de nouvelles découvertes dans la région. Ces secteurs – ou zones de haute favorabilité (ZHF) – devraient être l'objet de travaux d'exploration plus poussés. Le présent travail met aussi en relief 198 zones non couvertes par des titres miniers, en date du 1^{er} novembre 2008, avec pour objectif de signaler de nouvelles avenues d'exploration.

Une comparaison de la distribution des ZHF avec la carte de la connaissance pour le même secteur (figure 21) amène deux conclusions : 1) le niveau plus élevé de connaissances peut expliquer l'abondance de la plupart des zones dans les ceintures de La Grande et de Frotet-Evans; et 2) le niveau de connaissance n'explique pas les ZHF à l'est du lac Elmer et autour du réservoir Opinaca (33C), au NE du lac Lichteneger (33B), à l'extrémité est de 33H ainsi qu'au sud du lac Poncheville (32K). Dans la plupart de ces 5 dernières zones, le niveau d'exploration est relativement moins avancé et aucun dépôt porphyrique n'est connu à proximité pour expliquer leur bon potentiel. Ces secteurs sont théoriquement plus favorables à la découverte de nouveaux dépôts.

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.
- 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.

- BURNHAM, C.W., 1979 – Magmas and hydrothermal fluids. *In* *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* (Barnes, H.L. editor). John Wiley & Sons, New York, p. 71-136.
- BUSHNELL, S.E., 1988 – Mineralization at Cananea, Sonora, Mexico, and the paragenesis and zoning of breccia pipes in quartzofeldspathic rock. *Economic Geology*, Volume 83, pages 1760-1781.
- CALVERT, A.J. – SAWYER, E.W. – DAVIS, W.J. – LUDDEN, J.N., 1995 – Archean subduction inferred from seismic images of a mantle suture in the Superior Province. *Nature*, Volume 375, pages 670-674.
- CARD, K.D. – CIESIELSKI A., 1986 – Subdivisions for the Superior Province of the Canadian Shield. *Geoscience Canada*; Volume 13, pages 5-13.
- CARRANZA, E.J.M. – HALE, M., 2000 – Geologically Constrained Probabilistic Mapping of Gold Potential, Baguio District, Phillipines. *Natural Resources Research*; Volume 9, No. 3, pages 237-253.
- 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. – 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.
- 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.
- 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.
- FRASER, R.J., 1993 – The Lac Troilus gold-copper deposit, Northwestern Quebec: a possible Archean porphyry system. *Economic Geology*; Volume 88, pages 1685-1699.
- GAÁL, G. – ISOHANNI, M., 1979 – Characteristics of igneous intrusions and various wall rocks in some Precambrian porphyry copper-molybdenum deposits in Pohjima, Finland. *Economic Geology*; Volume 74, pages 1198-1210.
- GAUTHIER, M. – LAROQUE, M. – CHARTRAND, F., 1997 – Cadre géologique, style et répartition des minéralisations métalliques de la Grande Rivière, territoire de la Baie-James. Ministère des Ressources naturelles, MB 97-30, 69 pages.
- GAUTHIER, M. – LAROQUE, M., 1998 – Cadre géologique, style et répartition des minéralisations métalliques de la Basse et de la Moyenne Eastmain, territoire de la Baie-James. Ministère des Ressources naturelles; MB 98-10, 86 pages.
- GAUTHIER, M. – TRÉPANIÉ, S. – GARDOLL, S., 2007 – Metamorphic gradient: A regional-scale area selection criterion for gold in the Northeastern Superior province, Eastern Canadian Shield. *SEG Newsletter*; Volume 69, pages 9-15.
- GILMOUR, P., 1977 – Mineralized intrusive breccias as guides to concealed porphyry copper systems. *Economic Geology*, Volume 72, pages 290-298.
- GOUTIER, J. – DION, C. – OUELLET, M.C. – DAVIS, D.W. – DAVID, J. – PARENT, M., 2002 – Géologie de la région du lac Guyer (33G/05, 33G/06 et 33G/11). Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs; RG 2001-15, 53 pages.

- GOUTIER, J. – DION, C. – OUELLET, M.C. – MERCIER-LANGEVIN, P. – DAVIS, D.W., 2001 – Géologie de la colline Masson (33F/09), de la passe Awapakamich (33F/10), de la baie Carbillet (33F/15) et de la passe Pikwahipanan (33F/16). Ministère des Ressources naturelles; RG 2000-10, 67 pages.
- GOUTIER, J. – DOUCET, P. – BEAUSOLEIL, C. – DION, C. – DAVID, J. – PARENT, M. – DION, D.-J., 1998 – Géologie de la région du lac Kowskatehkakmow (SNRC 33F/06). Ministère des Ressources naturelles; RG 98-16, 48 pages.
- 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.
- HAGEMANN, S.G. – CASSIDY, K.F., 2000 – Archean orogenic losde gold deposits. *In: Gold in 2000* (Hagemann, S.G. and Brown, P.E., editors). *Reviews in Economic Geology*; Volume 13, pages 9-68.
- HARRIS, J.R., 1989 – Data Integration for gold exploration in eastern Nova Scotia using a GIS. *In: Proceedings of Remote Sensing for Exploration Geology*, Calgary, Alberta. 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. – PANAGAPKO, D.A. – SKULSKI, T. – PARKER, J.R., 2006 – Gold prospectivity maps of the Red Lake greenstone belt: Application of GIS technology. *Canadian Journal of Earth Sciences*; Volume 43, pages 865-893.
- 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 lithochemical 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 lithochemical 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.
- HOCQ, M., 1994 – La Province du Supérieur. *Dans: Géologie du Québec*. Ministère des Ressources naturelles; MM 94-01, pages 7-20.
- HOLLISTER, V.F., 1985 – Models of precious metal epithermal deposits. *In: Discoveries of epithermal precious metals deposits* (Hollister, V.F. editor). Society of Mining Engineers, New York; 169 pages.
- JENKS, G.F., 1967 – The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*; Volume 7, pages 186-190.
- KIRKHAM, R.V. – SINCLAIR, W.D., 1996 – Gîtes porphyriques de cuivre, de molybdène, d'or, de tungstène, d'étain et d'argent. *Dans : Géologie des types de gîtes minéraux du Canada* (Eckstrand,

- O.R., Sinclair, W.D. et Thorpe, R.I., éditeurs). Commission Géologique du Canada; Géologie du Canada, numéro 8, pages 468-495.
- 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, 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, 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, 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, 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, 1 cédérom.
- LAROUCHE, J., 2005 – Caractérisation de la minéralisation de la fosse J4 à la mine Troilus, Chibougamau. Université du Québec à Chicoutimi, thèse de maîtrise; 165 pages.
- MOUKHSIL, A. – LEGAULT, M. – BOILY, M. – DOYON, J. – SAWYER, E. – DAVIS, D.W., 2003 – Synthèse géologique et métallogénique de la ceinture de roches vertes de la Moyenne et de la Basse-Eastmain (Baie-James). Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs; ET 2002-06, 57 pages.
- 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.
- PERRY, V.D., 1961 – The significance of mineralized breccia pipes. *Mining Engineering*, Volume 13, pages 367-376.
- PICHÉ, M. – JÉBRAK, M., 2004 – Normative minerals and alteration indices developed for mineral exploration. *Journal of Geochemical Exploration*; Volume 82, pages 59-77.
- PILOTE, P. – DION, C. – JOANISSE, A. – DAVID, J. – MACHADO, N. – KIRKHAM, R. – ROBERT, F., 1997 – Géochronologie des minéralisations d'affiliation magmatique de l'Abitibi, secteurs de Chibougamau et de Troilus-Frotet : Implications géotectoniques. Dans : *Vers de nouvelles découvertes. Séminaire d'information sur la recherche géologique*. Ministère des Ressources naturelles; Programme et résumés, page 47.
- PILOTE, P. – ROBERT, F. – KIRKHAM, R.V. – DAIGNEAULT, R. – SINCLAIR, W.D., 1998 – Minéralisations de type porphyrique et filoniennes dans le Complexe du lac Doré - les secteurs du lac Clark et de l'île Merrill. *Dans: Géologie et métallogénie du district minier de Chapais-Chibougamau* (Pilote, P., éditeur). Ministère des Ressources naturelles, Québec; DV 98-03, page 71-90.

- 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.*
- SAWYER, E.W. – BENN, K., 1993 – Structure of high-grade Opatica Belt and adjacent low-grade Abitibi Subprovince, Canada: an Archean mountain front. *Journal of Structural Geology, Volume 15, pages 1443-1458.*
- SEEDORF, E. – DILLES, J.H. – PROFFET, J.M. – EINAUDI, M.T. – ZURCHER, L. – STAVAST, W.J.A. – JOHNSON, D.A. – BARTON, M.D., 2005 – Porphyry deposits: Characteristics and Origin of Hypogene Features. *Economic Geology; 100th Anniversary Volume; pages 251-298.*
- SILLITOE, R.H., 1985 – Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology; Volume 80, pages 1467-1514.*
- SILLITOE, R.H., 1989 – Gold deposits in Western Pacific islands arcs: the magmatic connection. *In: The geology of gold deposits: the perspectives in 1988 (Keays, R.R., Ramsay, W.R.H., and Groves, D.I., editors). Economic Geology Monograph 6; pages 274-291.*
- SILLITOE, R.H., 1993 – Gold-rich porphyry copper deposits: geological model and exploration implications. *In: Mineral Deposit Modeling (Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. and Duke, J.M., editors). Geological Association of Canada; Special Paper 40, pages 465-478.*
- 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.*
- SPIEGELHALTER, D.J., 1986 – Uncertainty in expert systems. *In: Artificial Intelligence and Statistics (Gale, W.A., editor). Addison-Wesley, Reading, Massachusetts; pages 17-25.*

- 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.
- THÉRIAULT, R., 2002 – Carte géologique du Québec – édition 2002. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, DV 2002-06, 8 pages.
- THURSTON, P.C., 1991 – Archean Geology of Ontario: Introduction. *In: Geology of Ontario*. Ontario Geological Survey; Special Volume 4, part 1, pages 73-78.
- TITLEY, S.R., 1993 – Characteristics of porphyry copper occurrence in the American Southwest. *In: Mineral Deposit Modeling* (Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. and Duke, J.M., editors). Geological Association of Canada; Special Paper 40, pages 433–464.
- 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). Pages 115-126.
- VILA, T. – SILLITOE, R.H., 1991 – Gold-rich porphyry systems in the Maricunga gold-silver belt, northern Chile. *Economic Geology*; Volume 86, pages 1238–1260.
- 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.
- WILLIAMS, W.C. – MEISSL, E. – MADRID, J.- DE MACHUCA, B.C., 1999 – The San Jorge porphyry copper deposit, Mendoza, Argentina: a combination of orthomagmatic and hydrothermal mineralization. *Ore Geology Reviews*; Volume 14, No 3, pages 185-201.
- WILLIAMS-JONES, A.E. – HEINRICH, C.A., 2005 – Vapor Transport of Metals and the Formation of Magmatic-Hydrothermal Ore Deposits. *In : 100th Anniversary Special Paper*. *Economic Geology*; Volume 100, No. 7, pages 1287-1312.
- 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 and 387-401.

ANNEXE 1

Caractéristiques des gîtes utilisés pour le calcul de la pondération et pour la validation de la carte de potentiel en gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo

#	SNRC	NOM	STATUT	FUS	ESTN	NORD	TYPE	Vfavor(m)
1	33H15	Suroit	Indice	18	637380	5978081	Filons cuprifères	0,502
2	33G16	Silly Cat	Gîte travaillé	18	558768	5974321	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,694
3	33G16	Brèche Ozzy	Gîte travaillé	18	559328	5973131	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,706
4	33G16	Extension NE	Indice	18	560653	5972877	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,724
5	33G16	Ricky	Indice	18	560094	5972432	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,762
6	33G16	Firecracker	Gîte travaillé	18	557959	5972031	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,794
7	33G16	Brèche Alix	Gîte travaillé	18	560428	5972031	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,771
8	33G16	Brèche Yogi	Gîte travaillé	18	559628	5971931	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,755
9	33G16	Brèche Boubou	Gîte travaillé	18	559978	5971901	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,763
10	33G16	Brèche Ouest	Indice	18	557628	5971731	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,754
11	33G16	Blue Fox-Nord	Indice	18	558228	5971431	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,794
12	33G16	Blue Fox-Sud	Indice	18	558350	5971100	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,775
13	33G16	Yo	Gîte travaillé	18	557978	5970901	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,775
14	33F09	Digue	Indice	18	433351	5951941	Filons cuprifères	0,734
15	33F09	Orage	Gîte travaillé	18	419311	5949437	Filons cuprifères	0,640
16	33G12	Baie Nord	Indice	18	438081	5947121	Filons cuprifères	0,836
17	33F09	Chain-Lake	Indice	18	432188	5947117	Filons cuprifères	0,637
18	33G12	Tyrone 4	Indice	18	439275	5946780	Filons cuprifères	0,821
19	33G12	Tyrone 5	Gîte travaillé	18	438809	5946602	Filons cuprifères	0,822
20	33G12	Tyrone 2	Gîte travaillé	18	439831	5946056	Filons cuprifères	0,821
21	33G12	Tyrone 1	Gîte travaillé	18	439824	5945939	Filons cuprifères	0,821
22	33F09	Sommet 4	Gîte travaillé	18	412726	5943668	Filons cuprifères	0,822
23	33F09	Jameson	Indice	18	412381	5943592	Filons cuprifères	0,821
24	33F09	Marjolaine	Gîte travaillé	18	412563	5943583	Filons cuprifères	0,825
25	33G12	Tournesol	Indice	18	447348	5942977	Filons cuprifères	0,689
26	33F09	Aéroport-B	Indice	18	428372	5941131	Filons cuprifères	0,694
27	33F09	Veine Sawyer	Gîte travaillé	18	410887	5935819	Filons cuprifères	0,763
28	33F10	Karine	Indice	18	400183	5934633	Filons cuprifères	0,698
29	33F05	Lac Szetu-NE	Gîte travaillé	18	320209	5931197	Filons cuprifères	0,558
30	33H05	Sao	Indice	18	575160	5908453	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,502
31	33F04	Korinor-Taylor	Indice	18	330112	5896174	Filons cuprifères	0,730
32	33F04	Korinor	Indice	18	327674	5895250	Filons cuprifères	0,613
33	33F04	Lac Wapistan-Nord	Indice	18	327583	5894341	Filons cuprifères	0,601
34	33C09	Lac Ell	Gîte travaillé	18	423622	5835594	Porphyres cuprifères	0,741
35	33A08	Lac Michel	Gîte travaillé	18	695980	5800705	Gis. assoc. aux intr. porph.	0,698
36	33C05	Indice 2308-23 (SDBJ)	Gîte travaillé	18	308882	5796410	Porphyres cuprifères	0,674
37	33C05	Indice 2308-18 (SDBJ)	Gîte travaillé	18	308541	5795789	Porphyres cuprifères	0,675
38	33C05	Lac Kali	Gîte travaillé	18	307241	5794720	Gis. assoc. aux intr. porph.	0,777
39	33C05	2308-11(SDBJ)	Gîte travaillé	18	307470	5794120	Porphyres cuprifères	0,739
40	33C05	2308-16 (SDBJ)	Gîte travaillé	18	307900	5794120	Porphyres cuprifères	0,679
41	33C05	2308-13 (SDBJ)	Gîte travaillé	18	307624	5793977	Porphyres cuprifères	0,739
42	33C05	Clouston	Indice	18	322171	5792245	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,728
43	33C07	Indice No 5 (Propriété Wabamisk)	Indice	18	377777	5791255	Filons cuprifères	0,523
44	33C08	Reservoir Grid C-52	Gisement à tonn. éval.	18	398276	5790584	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,756
45	33C02	Indice No 9 (Propriété Wabamisk)	Indice	18	381602	5790205	Filons cuprifères	0,502
46	33A02	Lac Macleod-NE	Gîte travaillé	18	637329	5789480	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,572
47	33C02	Zone Cyr	Gîte travaillé	18	391048	5789210	Gis. assoc. aux intr. porph.	0,671
48	33C02	Bear Island (Wabamisk)	Gîte travaillé	18	392788	5789050	Mantos cuprifères	0,710
49	33C02	Wab-88-04/06	Gîte travaillé	18	390394	5788619	Gis. assoc. aux intr. porph.	0,705
50	33A03	Lac Macleod	Gisement à tonn. éval.	18	634454	5788250	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,662
51	33A03	Pointe Rocky	Gîte travaillé	18	633804	5787280	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,646
52	33A03	Pointe Richard	Gisement à tonn. éval.	18	634254	5786305	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,673
53	33B04	Lac Mince	Gîte travaillé	18	455190	5785748	Filons cuprifères	0,594
54	33B04	Rosemary NE	Gîte travaillé	18	442791	5785087	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,675
55	33B04	Rosemary (Indices à Robert)	Gîte travaillé	18	441870	5784689	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,674
56	33B03	Addison	Indice	18	472040	5780995	Filons cuprifères	0,638
57	32O01	Troilus (Grid J4)	Gîte travaillé	18	537462	5652509	Gis. assoc. aux intr. porph.	0,825
58	32O01	Lac Troilus (Grid J3, Zone 87)	Mine active	18	537417	5651197	Gis. assoc. aux intr. porph.	0,799
59	32J15	Sondage n° 51-11-3	Gîte travaillé	18	532579	5635604	Filons cuprifères	0,729
60	32J15	Occurrence D	Indice	18	527079	5634479	Filons cuprifères	0,616
61	32J15	Troilus Free Gold (Muscocho)	Gisement à tonn. éval.	18	530238	5633005	Gis. porphyr. à Cu-Au-Mo	0,726
62	32J15	Zone M (Sondage W-4)	Gîte travaillé	18	529515	5632659	Filons cuprifères	0,787
63	32J15	Bergeron	Gîte travaillé	18	524454	5629703	Filons cuprifères	0,643
64	32J15	Laplante (Caro)	Gîte travaillé	18	522504	5629028	Filons cuprifères	0,580
65	32J15	Lac Frotet (Baie Ouest)	Gîte travaillé	18	534029	5625978	Filons cuprifères	0,610
66	32K12	Eider Zone Interne Est	Indice	18	318736	5614453	Gis. assoc. aux intr. porph.	0,689
67	32K12	Zone Interne Nord	Indice	18	317927	5614390	Skarns cupr. assoc. à des porph. Cu	0,695
68	32K12	Eider Zone Contact Ouest	Indice	18	317927	5614095	Skarns cupr. assoc. à des porph. Cu	0,708
69	32K12	Skarn à Magnétite	Indice	18	318143	5614028	Skarns cupr. assoc. à des porph. Cu	0,716
70	32K11	H-1456-009	Gîte travaillé	18	333763	5610345	Gis. assoc. aux intr. porph.	0,599
71	32I04	Points d'intérêt No 8 (Lac Rita)	Indice	18	578805	5555829	Filons cuprifères	0,653
72	32J01	Atlas	Gîte travaillé	18	560280	5540853	Filons cuprifères	0,566

Les 11 gîtes en jaune ont servi pour la validation des résultats et n'ont pas été utilisés lors du traitement. Tous les gîtes sont localisés sur la carte géologique de la figure 4. Le champ Vfavor(m) indique la valeur mesurée pour chaque gîte sur la carte finale de favorabilité.

ANNEXE 2

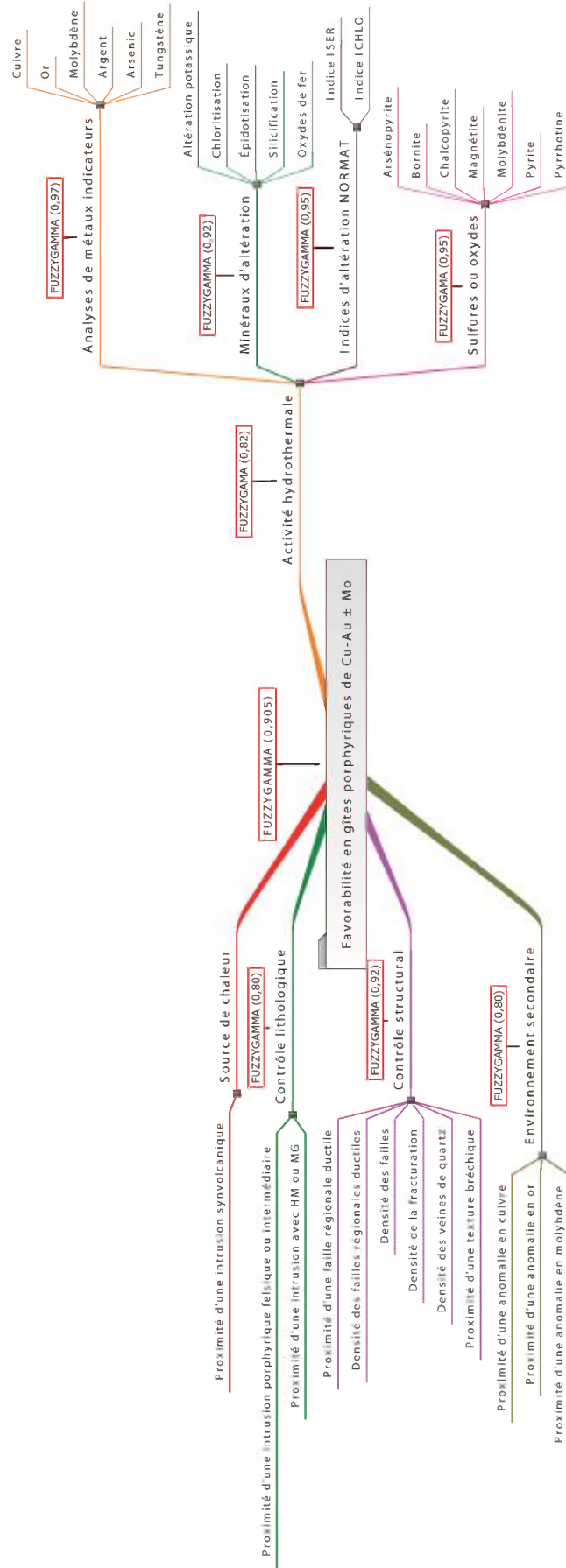
Évaluation de la favorabilité de chacun des paramètres utilisés.

Tableau des paramètres du potentiel en gîtes porphyriques de Cu-Au-Mo de la Baie-James											
Distance (m)	Surface (km²)	No. Points	W+	s(W+)	W-	s(W-)	Contraste	s(Contr.)	Cont. norm.	Vfavor	Rang
Proximité d'une source de chaleur											
Proximité d'une intrusion synvolcanique											
0 - 800	3283,04	8	1,9927	0,354	-0,1225	0,1374	2,1152	0,3797	5,5707	0,627	31
801 - 1600	703,8	3	2,5537	0,5786	-0,0466	0,1313	2,6003	0,5933	4,3828	0,656	
1601 - 2400	438,2	1	1,927	1,0011	-0,0141	0,1291	1,9411	1,0094	1,923	0,617	
2401 - 4001	178815,24	49	-0,1947	0,1429	2,0999	0,2891	-2,2946	0,3224	-7,1162	0,310	
Contrôle lithologique											
Proximité d'une intrusion porphyrique felsique ou intermédiaire											
0 - 200	583,84	9	3,8505	0,3359	-0,1565	0,1387	4,007	0,3634	11,0252	0,741	26
201 - 400	728,32	5	3,0329	0,4488	-0,0816	0,1337	3,1145	0,4682	6,6516	0,687	
401 - 600	1165,72	4	2,336	0,5009	-0,0615	0,1325	2,3974	0,5181	4,6275	0,644	
601 - 10001	180762,4	43	-0,3362	0,1525	3,0899	0,2366	-3,426	0,2815	-12,172	0,217	
Proximité d'une intrusion felsique ou intermédiaire contenant de l'hématite et/ou magnétite											
0 - 200	485,92	16	4,6274	0,2542	-0,3016	0,1491	4,929	0,2947	16,7248	0,796	22
201 - 400	661,6	6	3,3136	0,4101	-0,1	0,1349	3,4135	0,4317	7,9068	0,705	
401 - 1200	5541,24	16	2,1629	0,2504	-0,2736	0,1491	2,4364	0,2914	8,3614	0,646	
1201 - 10001	178551,52	23	-0,9384	0,2085	2,8424	0,1627	-3,7808	0,2645	-14,2953	0,187	
Contrôle structural											
Proximité d'une faille régionale ductile											
0 - 2000	19698,16	31	1,5546	0,1797	-0,5961	0,1826	2,1507	0,2562	8,3941	0,629	30
2001 - 3000	7234,8	13	1,6874	0,2776	-0,1994	0,1444	1,8869	0,3129	6,0305	0,613	
3001 - 10001	156307,32	17	-1,1189	0,2425	1,5921	0,1509	-2,711	0,2856	-9,4906	0,276	
Densité de failles régionales ductiles											
0,292 - 1,462	6904,92	16	1,9423	0,2503	-0,2659	0,1491	2,2081	0,2913	7,5795	0,633	29
0 - 0,292	176335,36	45	-0,2659	0,1491	1,9423	0,2503	-2,2081	0,2913	-7,5795	0,317	
Densité des failles											
18,84 - 37,24	3,88	1	6,9496	1,1607	-0,0165	0,1291	6,9661	1,1679	5,9648	0,918	7
7,01 - 18,84	22,76	1	4,9273	1,0227	-0,0164	0,1291	4,9437	1,0308	4,7958	0,797	
1,17 - 7,01	264,68	11	4,8692	0,308	-0,1975	0,1414	5,0666	0,3389	14,95	0,804	
0,318 - 1,17	2434,56	16	2,989	0,2508	-0,2909	0,1491	3,2799	0,2918	11,2407	0,697	
0 - 0,318	180514,4	32	-0,6303	0,1768	3,4748	0,1867	-4,1051	0,2571	-15,9659	0,160	
Densité de la fracturation											
2,54 - 5,73	16,96	1	5,2373	1,0309	-0,0164	0,1291	5,2537	1,0389	5,057	0,815	18
0,94 - 2,54	98,08	2	4,1353	0,7144	-0,0328	0,1302	4,1681	0,7262	5,7397	0,750	
0,32 - 0,94	639,36	6	3,3481	0,4102	-0,1001	0,1349	3,4481	0,4318	7,9859	0,707	
0 - 0,32	182485,88	52	-0,1556	0,1387	3,5907	0,3353	-3,7462	0,3629	-10,3233	0,190	
Densité des veines de quartz											
4,14 - 8,28	24,72	2	5,5772	0,7376	-0,0332	0,1302	5,6105	0,749	7,4908	0,837	13
1,58 - 4,14	349,16	7	4,118	0,3818	-0,12	0,1361	4,238	0,4053	10,4553	0,754	
0,01 - 1,58	5045	16	2,257	0,2504	-0,2764	0,1491	2,5333	0,2914	8,693	0,652	
0 - 0,01	177821,4	36	-0,4975	0,1667	2,6332	0,2005	-3,1307	0,2607	-12,0083	0,241	
Proximité d'une texture bréchique											
0 - 1200	1085,28	25	4,2599	0,2023	-0,5215	0,1667	4,7815	0,2622	18,239	0,787	23
1201 - 2400	2271,56	6	2,0735	0,4088	-0,0911	0,1349	2,1646	0,4305	5,0286	0,630	
2401 - 10001	179883,44	30	-0,6914	0,1826	3,3319	0,1804	-4,0232	0,2567	-15,6725	0,167	
Evidences d'activité hydrothermale dans le substrat rocheux											
Analyses de métaux indicateurs											
Proximité d'une anomalie en cuivre ≥ 1000 ppm											
0 - 200	93	34	7,4562	0,2153	-0,8147	0,1925	8,2709	0,2888	28,6391	0,997	2
201 - 600	296,32	7	4,2857	0,3825	-0,1203	0,1361	4,406	0,406	10,8522	0,765	
601 - 1000	506,84	6	3,5828	0,4107	-0,1008	0,1349	3,6836	0,4323	8,5217	0,721	
1001 - 1600	912,68	2	1,8863	0,7079	-0,0284	0,1302	1,9147	0,7198	2,6601	0,615	
1601 - 10001	181431,44	12	-1,6163	0,2887	4,4262	0,1448	-6,0425	0,323	-18,7087	0,001	
Proximité d'une anomalie en or ≥ 100 ppb											
0 - 200	137,6	25	6,5024	0,2211	-0,5267	0,1667	7,0291	0,2769	25,3866	0,922	6
201 - 400	156,08	4	4,3692	0,5065	-0,067	0,1325	4,4362	0,5236	8,473	0,766	
401 - 1600	2010,08	10	2,709	0,317	-0,1681	0,14	2,8771	0,3466	8,3014	0,673	
1601 - 2400	1784,72	6	2,3155	0,4089	-0,0938	0,1349	2,4092	0,4306	5,5951	0,645	
2401 - 10001	179151,8	16	-1,316	0,25	3,5091	0,1499	-4,8251	0,2915	-16,5524	0,101	
Proximité d'une anomalie en molybdène ≥ 21 ppm											
0 - 200	27,2	14	8,0662	0,3836	-0,2607	0,1459	8,3268	0,4104	20,2872	1,000	1
201 - 600	104,12	7	5,3773	0,3913	-0,1214	0,1361	5,4987	0,4143	13,2709	0,830	
601 - 1600	546,48	5	3,3225	0,4493	-0,0826	0,1337	3,405	0,4687	7,2644	0,704	
1601 - 10001	182562,48	35	-0,552	0,169	4,7857	0,2	-5,3377	0,2619	-20,3834	0,058	
Proximité d'une anomalie en argent ≥ 3 ppm											
0 - 200	66,88	25	7,4914	0,2527	-0,5271	0,1667	8,0185	0,3028	26,4852	0,981	3
201 - 800	422,28	11	4,386	0,3055	-0,1966	0,1414	4,5826	0,3367	13,6115	0,775	
801 - 1600	1062,6	7	2,9914	0,3792	-0,1161	0,1361	3,1075	0,4029	7,7128	0,687	
1601 - 2600	1846,2	6	2,2815	0,4089	-0,0934	0,1349	2,3749	0,4306	5,5157	0,643	
2601 - 10001	179842,32	12	-1,6075	0,2887	3,7828	0,1439	-5,3903	0,3226	-16,7109	0,054	
Proximité d'une anomalie en arsenic ≥ 48 ppm											
0 - 200	81,32	7	5,6449	0,3954	-0,1215	0,1361	5,7664	0,4181	13,7907	0,846	11
201 - 400	97,64	4	4,8542	0,5106	-0,0673	0,1325	4,9215	0,5275	9,3303	0,796	
401 - 800	349,88	4	3,5475	0,5029	-0,0659	0,1325	3,6135	0,52	6,9485	0,717	
801 - 2600	3053,28	10	2,2892	0,3167	-0,1623	0,14	2,4515	0,3463	7,0787	0,647	
2601 - 10001	179658,16	36	-0,5077	0,1667	3,0495	0,2007	-3,5573	0,2609	-13,635	0,206	
Proximité d'une anomalie en tungstène ≥ 5 ppm											
0 - 200	55,44	8	6,2273	0,3822	-0,1403	0,1374	6,3676	0,4061	15,6783	0,882	9
201 - 600	209,32	4	4,0691	0,5048	-0,0667	0,1325	4,1358	0,5219	7,9239	0,748	
601 - 2400	2430,48	12	2,7014	0,2894	-0,2058	0,1429	2,9071	0,3227	9,0077	0,675	
2401 - 10001	180545,04	37	-0,4853	0,1644	3,2951	0,205	-3,7804	0,2628	-14,3839	0,187	

Valeur ou Distance = Identifiant des classes ou des valeurs d'attributs spécifiés; **Surface (km²)** = Surface de chaque classe en km²; **No. Points** = Nombre de points de mesure situés sur la surface de la classe; **W+** = Valeur de W+; **s(W+)** = Déviation standard de W+; **W-** = Valeur de W-; **s(W-)** = Déviation standard de W-; **Contraste** = Contraste (différence entre W+ et W-); **s(Contraste)** = Déviation standard de C; **Cont_norm** = Contraste normalisé (valeur de C divisée par s(C)); **Vfavor** = Valeur calculée de la favorabilité; **Rang** = Ordre de favorabilité du paramètre.

1 Le paramètre Vfavor n'est pas calculé par ArcSDM. Voir la section « Méthodologie ».

Modèle d'inférence du potentiel en gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie-James

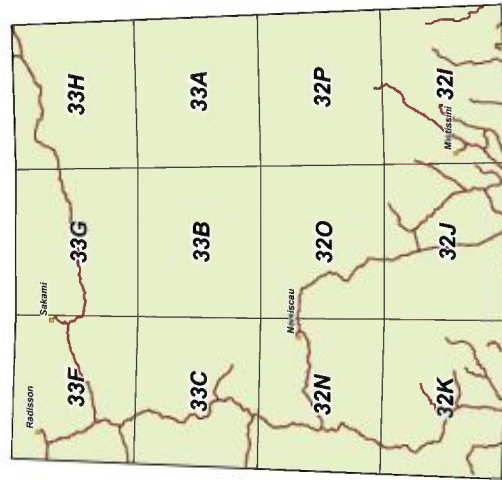


Ce modèle d'inférence illustre le processus de combinaison des paramètres. Les divers paramètres ainsi que les sous-modèles ont tous été combinés à l'aide d'opérateurs FUZZYGAMMA. Le chiffre entre parenthèses après les opérateurs FUZZYGAMMA représente le facteur utilisé pour calibrer le paramètre ou le sous-modèle afin que la valeur de background de la carte finale se situe autour de 0,5. HM = hématite; MG = magnétite. Les cartes de favorabilité résultantes peuvent être téléchargées en format PDF en cliquant sur la zone appropriée des cartes de localisation présentées à l'annexe 4.

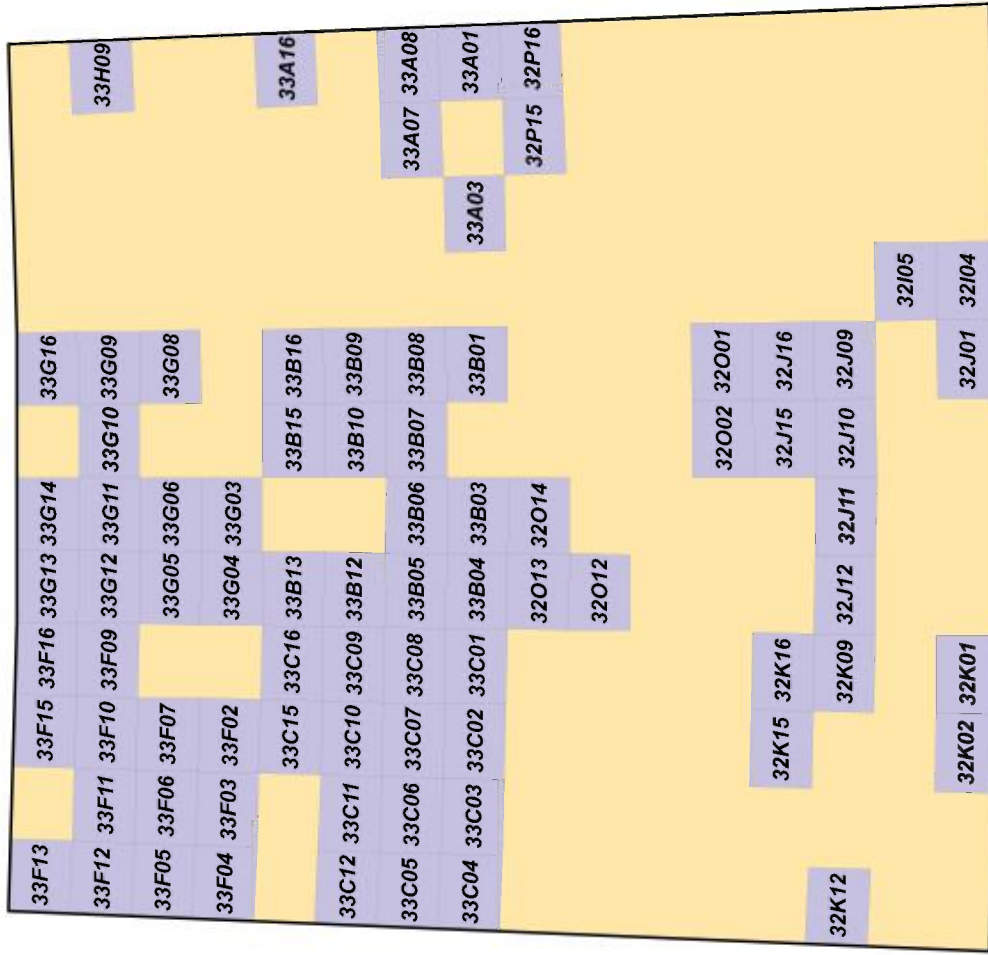
Cartes de favorabilité pour les gîtes porphyriques de Cu-Au ± Mo de la Baie-James



Carte de favorabilité au 1/500 000



Carte de favorabilité au 1/250 000



Carte de favorabilité au 1/50 000

*Ressources naturelles
et Faune*

Québec 