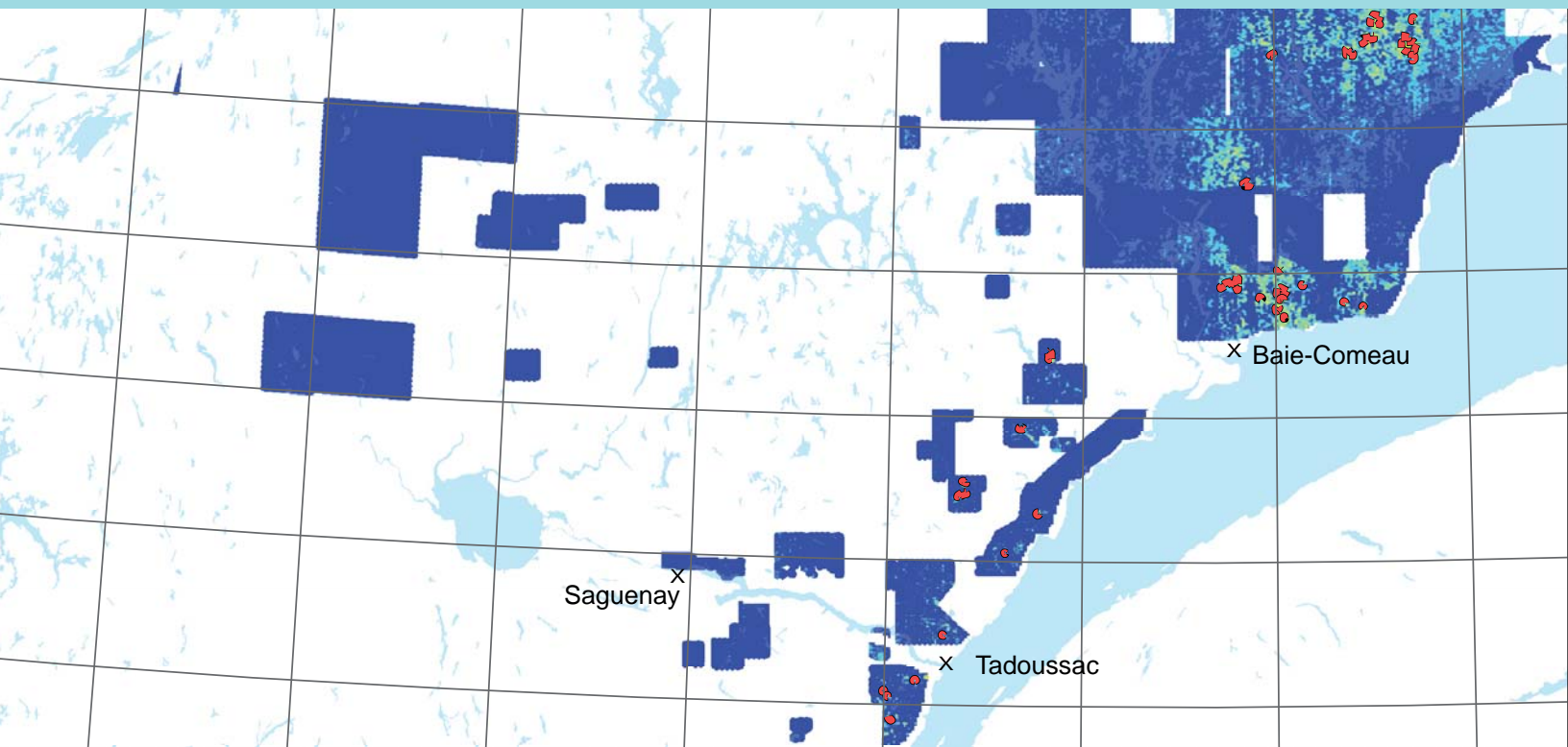


Évaluation du potentiel minéral en uranium et en Cu-Au-U, et cartographie prévisionnelle d'intrusions mafiques-ultramafiques dans le Grenville



Sylvain Trépanier

Évaluation du potentiel minéral en uranium et en Cu-Au-U, et cartographie prévisionnelle d'intrusions mafiques ultramafiques dans le Grenville

Sylvain Trépanier¹

EP 2009-03

DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC

Direction générale de Géologie Québec

Robert Marquis

Direction de l'information géologique

Luc Charbonneau

Édition

Denis L. Lefebvre et Charles Gosselin

Graphisme

Tracy Robitaille

Document accepté pour publication le 7 juillet 2009

Résumé

Le CONSOREM a numérisé en 2006-2007 une banque de données radiométriques en format papier de SOQUEM couvrant de larges secteurs du Grenville. Ces données inédites ont été intégrées avec les données radiométriques publiques ainsi qu'avec d'autres données radiométriques numériques inédites des partenaires du CONSOREM pour obtenir une vision unique de la radiométrie du Grenville. L'intégration de la radiométrie avec d'autres couches de données géoscientifiques publiques permet de réévaluer le potentiel minéral du Grenville pour différentes substances d'intérêt.

Ce rapport présente la modélisation du potentiel minéral du Grenville pour l'uranium intragranitique (type Rössing) et pour les gisements de Cu-Au-U de type oxydes de fer. La modélisation du potentiel a été mise en oeuvre par une méthode conceptuelle (logique floue) se basant sur les modèles et descriptions géologiques récents. Une cartographie prévisionnelle par logique floue pour identifier des intrusions mafiques ou ultramafiques non reconnues et favorables à des minéralisations de Ni-Cu magmatique a également été effectuée. Pour identifier des intrusions mafiques ou ultramafiques potentielles à partir de la radiométrie, une méthode de filtrage des creux radiométriques causés par l'environnement de surface a dû être développée.

Plusieurs dizaines de secteurs d'intérêt pour l'exploration ont été identifiés à partir de chacune de ces modélisations. Ces cibles ont été commentées et évaluées en détail.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	7
MÉTHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION DE POTENTIEL	7
URANIUM INTRAGRANITIQUE (TYPE RÖSSING).....	7
Résumé du modèle métallogénique	7
Sélection des couches de données géoscientifiques et pondération par appartenance floue	8
Couches géologiques	8
Couches radiométriques	12
Couches géochimiques	13
Modèle de potentiel minéral par logique floue	14
Contexte lithologique favorable	15
Indicateurs de minéralisation uranifère	16
Cartes de potentiel minéral.....	18
Cibles provenant du modèle de potentiel.....	19
CUIVRE-OR-OXYDES DE FER (<i>IOCG</i>)	20
Résumé du type de gîte.....	20
Sélection des couches de données géoscientifiques et pondération par appartenance floue	21
Couches géochimiques	21
Compte total de la radiométrie	22
Première dérivée verticale du champ magnétique	23
Caractéristiques des sous-types de <i>IOCG</i> ciblées à l'aide des couches sélectionnées.....	23
Modèle de potentiel minéral par logique floue	24
Cibles provenant du modèle de potentiel.....	24
Évaluation des cibles.....	25
Contexte géologique des cibles	25
CARTOGRAPHIE PRÉVISIONNELLE D'INTRUSIONS MAFIQUES-ULTRAMAFIQUES NON RECONNUES.....	28
Filtrage de la radiométrie.....	28
Identification des lacs et des marécages	28
Construction de zones tampons autour des lacs et des marécages	28
Filtrage des points d'observation et construction de cartes matricielles filtrées	30
Cartographie prévisionnelle par logique floue	31
Lithologies recherchées.....	31
Sélection des couches de données géoscientifiques et pondération par appartenance floue...	31
Modèle de cartographie prévisionnelle par logique floue	35
Évaluation des cibles.....	36
CONCLUSIONS.....	37
RÉFÉRENCES	37
ANNEXE 1 : Paramètres de construction des modèles de potentiel minéral par logique floue.....	39
ANNEXE 2 : Liste des critères compilés pour les cibles des modèles de potentiel minéral.....	45
CARTES HORS-TEXTE	
C001 - Carte de cibles pour l'uranium de type Rossing (dérivée de la radiométrie)	
C002 - Carte de cibles pour les gisements de Cu-Au-U de type oxydes de fer (<i>IOCG</i>)	
C003 - Carte de cibles pour la présence de roches mafiques-ultramafiques (modèle incluant les données aéromagnétiques)	
C004 - Carte de cibles pour la présence de roches mafiques-ultramafiques (modèle excluant les données aéromagnétiques)	

INTRODUCTION

Le manque de données géoscientifiques de base est un obstacle important à l'exploration minérale du Grenville. En particulier, la faible proportion du territoire couvert par des levés radiométriques publics régionaux pose un problème majeur pour l'exploration de minéralisations uranifères.

Une des forces importantes du CONSOREM est la mise en commun, pour la recherche appliquée, de données confidentielles de certains partenaires. Dans le cadre de ce projet d'évaluation du potentiel uranifère du Grenville, des partenaires du CONSOREM ont mis en commun leurs données pour arriver à une compilation unique de la radiométrie pour le Grenville. La principale contribution vient de SOQUEM, qui a fourni une banque de données numériques de levés réalisés sur la Basse-Côte-Nord dans les années 80', ainsi que des données en format papier couvrant d'autres secteurs (Moyenne-Côte-Nord et Saguenay principalement) qui ont été numérisées par le CONSOREM. Un levé de haute définition, mais de superficie plus limitée a également été fourni par Mines Aurizon dans le secteur de Kipawa. Ces différents levés du domaine privé ont été intégrés à la couverture radiométrique publique pour donner une image unique de la radiométrie du Grenville.

Cette intégration de données radiométriques offre une possibilité unique d'évaluer le potentiel minéral du Grenville du Québec, du Labrador et de l'Ontario pour différentes minéralisations uranifères, en les combinant aux données géologiques, magnétiques et géochimiques existantes. Les données radiométriques sont également utilisées pour la cartographie prévisionnelle d'intrusions mafiques-ultramafiques non reconnues dans le Grenville et potentiellement favorables à des minéralisations de Ni-Cu d'origine magmatique.

Ce rapport présente la méthodologie d'évaluation du potentiel minéral du Grenville pour différentes minéralisations uranifères ainsi que pour des intrusions mafiques-ultramafiques.

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION DE POTENTIEL

L'évaluation du potentiel minéral et la cartographie prévisionnelle présentées dans ce rapport furent réalisées à l'aide de la méthode de la logique floue. La méthode de la logique floue ne sera pas décrite en détail, cependant les grandes lignes seront abordées. Pour plus de détails sur cette méthode et son application dans l'évaluation du potentiel minéral, le lecteur peut se référer à Bonham-Carter (1994).

Dans la théorie des ensembles classiques, l'appartenance d'un objet à un ensemble peut être définie de façon binaire par vrai (1) ou faux (0). Dans la théorie de la logique floue, on remplace cette appartenance binaire par une échelle continue entre 0 et 1.

Pour l'évaluation de potentiel ou la cartographie prévisionnelle par logique floue, chacune des couches de données géoscientifiques doit d'abord être transformée en couche matricielle, puis en valeurs floues (c.-à-d. entre 0 et 1). Ces couches transformées se nomment « couches d'appartenance floue ». Différentes fonctions mathématiques sont disponibles pour transformer les cartes matricielles en valeurs floues. Le choix d'une fonction mathématique repose sur la connaissance géoscientifique du modélisateur et se base sur la relation connue entre la donnée et le potentiel minéral. Par exemple, pour transformer une couche de géochimie de sédiments de lac de l'arsenic en couche d'appartenance floue dans un modèle de potentiel aurifère, on utiliserait une fonction qui donne des valeurs floues près de 1 aux valeurs les plus élevées en As, et des valeurs floues près de 0 pour les valeurs les plus faibles en As.

Dans le cadre de ce projet, la logique floue a été mise en œuvre grâce au logiciel ArcSDM3, qui est une extension gratuite de ArcGIS développée conjointement par la Commission géologique du Canada, le United States Geological Survey et un regroupement de compagnies minières.

URANIUM INTRAGRANITIQUE (TYPE RÖSSING)

Résumé du modèle métallogénique

Ce type de minéralisation uranifère est inclus dans le type 6 tel que défini dans la classification des gisements d'uranium de IAEA (2000). Le type de minéralisation uranifère associé à des roches intrusives peut être défini de la façon générale suivante : gisements d'uranium dans des roches

intrusives ou anatectiques (c.-à-d. migmatites) qui consistent en des minéraux uranifères primaires, non réfractaires, de teneur généralement faible (20 – 200 ppm).

Le gisement d'uranium de Rössing, en Namibie, est le gisement le plus important dans des roches intrusives (6^e au niveau mondial pour les réserves d'uranium en 2003; Cuney, 2005). Rössing correspond au sous-type 6.1 (*intrusive, alaskite*) de la classification des gisements d'uranium définie par l'IAEA. Le sous-type 6.5 (*intrusive, pegmatite*) est également relié de près à ce premier modèle (Cuney, 2005).

Le gisement de Rössing consiste en uranium disséminé dans des alaskites (c.-à-d. leucogranites) recoupant des roches métasédimentaires fortement métamorphosées et migmatisées. Les corps intrusifs consistent en des dykes et stocks, de plusieurs centaines de mètres de large.

Le modèle génétique de formation de ce type de minéralisation proposé par Cuney (2005), invoque la fusion partielle de sédiments siliciclastiques oxydés et pré-enrichis en uranium. Ces magmas anatectiques auraient ensuite rencontré une barrière réductrice (sédiments pyriteux ou graphiteux). La réduction empêche le fractionnement de l'uranium (VI) dans les fluides magmatiques tardifs et favorise sa cristallisation comme uraninite magmatique dans les magmas anatectiques.

À partir de ce modèle génétique, Cuney (2005) énonce les caractéristiques lithologiques des secteurs favorables :

- 1 - Sédiments épicontinentaux avec formations réduites (graphiteuses) et oxydées;
 - 2 - Formations siliciclastiques épaisses et oxydées à la base de la séquence;
 - 3 - Enrichissement en U dans ces sédiments siliciclastiques et/ou volcanites felsiques interstratifiées riches en U (source des intrusions minéralisées);
 - 4 - Haut degré de métamorphisme avec fusion partielle proche du faciès granulite.
- Toujours selon Cuney (2005), les intrusions favorables ont les caractéristiques suivantes :
- 1 - Leucogranites (alaskites);
 - 2 - Légèrement peralumineux;
 - 3 - Composition variable (plagioclasique à potassique);
 - 4 - Intrusif (dykes, plutons) dans des domaines anatectiques;
 - 5 - Faible degré de fusion partielle;
 - 6 - Intrusions riches en fluor.

Sélection des couches de données géoscientifiques et pondération par appartenance floue

Le modèle génétique précédent permet de dégager plusieurs pistes pour la construction d'un modèle de potentiel. Toutefois, l'utilisation de plusieurs de ces critères est limitée par la qualité et le détail des données disponibles à l'échelle du Grenville. En effet, la seule carte géologique uniforme et disponible en polygones à l'échelle du Grenville, au moment de la rédaction de ce rapport, est celle de Davidson (1998). Une autre carte utile est la carte tectonométamorphique du Bouclier Canadien en Ontario (Easton et Berman, 2004), ainsi que la version préliminaire de cette carte pour le Québec et le Labrador. Finalement, toutes les données radiométriques et géochimiques concernant l'uranium pourront être utilisées. Les paramètres détaillés de construction des couches d'appartenance floue sont décrits à l'annexe 1.

Couches géologiques

Présence de métasédiments favorables

La présence de métasédiments peut être évaluée à partir de la carte géologique du Grenville, en sélectionnant les unités suivantes : « *'MARBLE' OR 'PARAGNEISS' OR 'UNDIVIDED SEDIMENTARY ROCKS, DERIVED SCHIST AND GNEISS' OR 'PELITIC AND PSAMMITIC GNEISS, QUARTZITE'* ». Le détail de cette cartographie ne permet cependant pas d'évaluer le caractère oxydé ou réduit de ces séquences. De plus, les données lithogéochimiques disponibles ne permettent pas de reconnaître un enrichissement primaire potentiel de certaines de ces roches. La figure 1 présente les unités favorables déterminées à partir de cette requête.

Une carte matricielle de la distance à ces unités a été réalisée. Les valeurs, en kilomètres, ont par la suite été transformées en appartenance floue (figure 2).

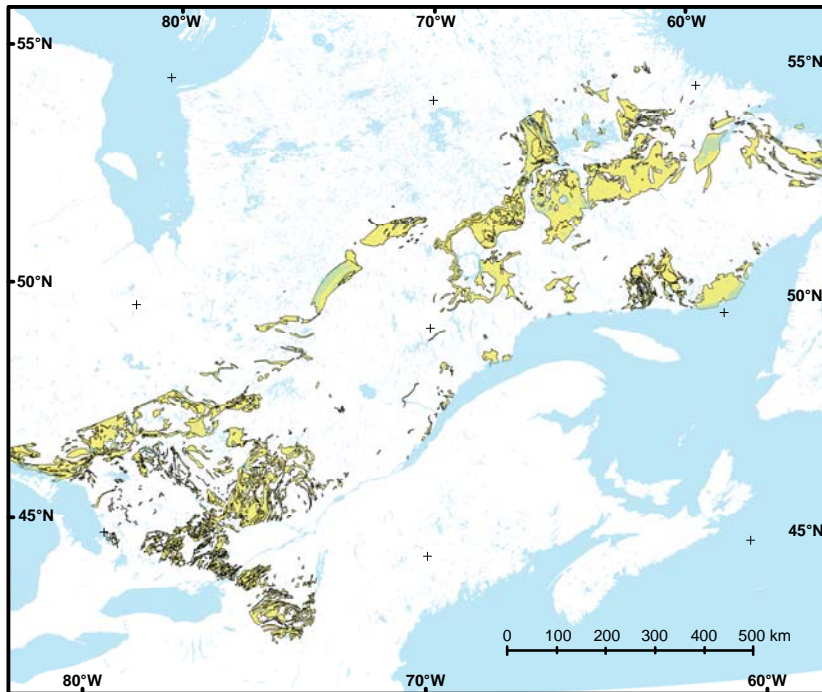


FIGURE 1 - Unités de métasédiments favorables du Grenville. Géologie tirée de Davidson (1998).

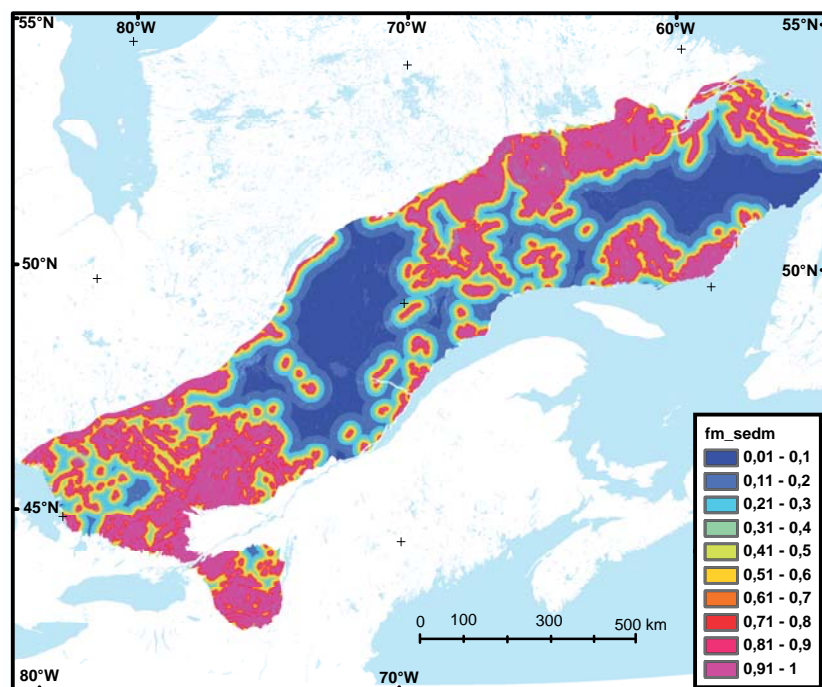


FIGURE 2 - Carte d'appartenance floue de proximité à des métasédiments, modèle de potentiel pour l'uranium intragranitique. « fm_sedm » est défini à l'annexe 1.

Niveau de métamorphisme favorable

Selon le modèle Rössing, les conditions de mise en place de l'uranium coïncident avec le stade de migmatitisation (faciès amphibolite moyen et supérieur). Ainsi, le niveau de métamorphisme d'un secteur a été utilisé comme critère de potentiel. À partir des cartes métamorphiques, les secteurs aux faciès amphibolite non différencié, amphibolite moyen, amphibolite supérieur et amphibolite supérieur à granulite ont été considérés favorables. Tant l'épisode métamorphique principal que secondaire a été considéré comme favorable. La figure 3 présente les secteurs favorables ciblés selon ce critère.

Toutes les unités répondant à ce critère ont reçu la valeur de 0,9 dans la carte d'appartenance floue correspondante; toutes les autres unités auront la valeur de 0,1 (figure 4).

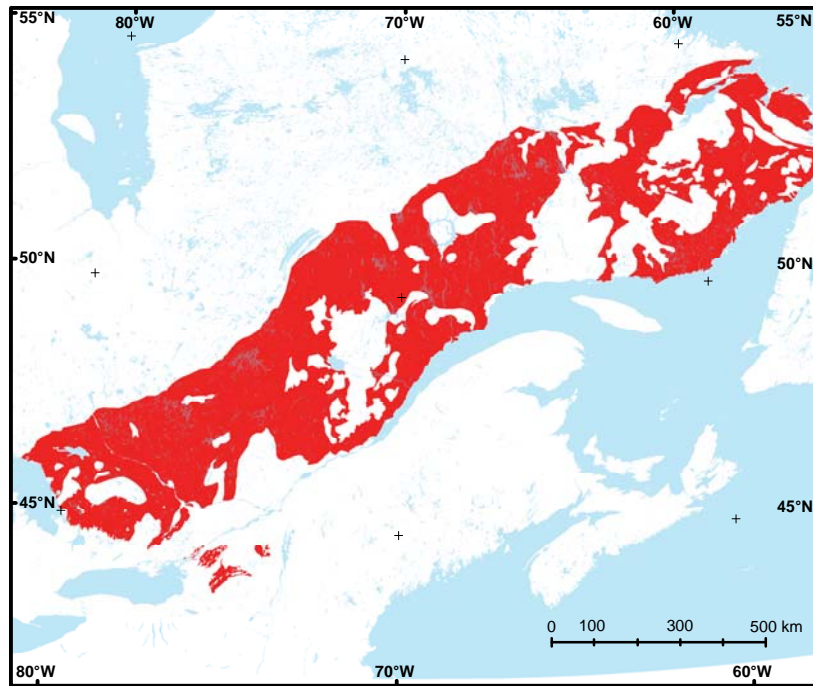


FIGURE 3 - Zones métamorphiques de faciès amphibolite moyen à supérieur (rouge).

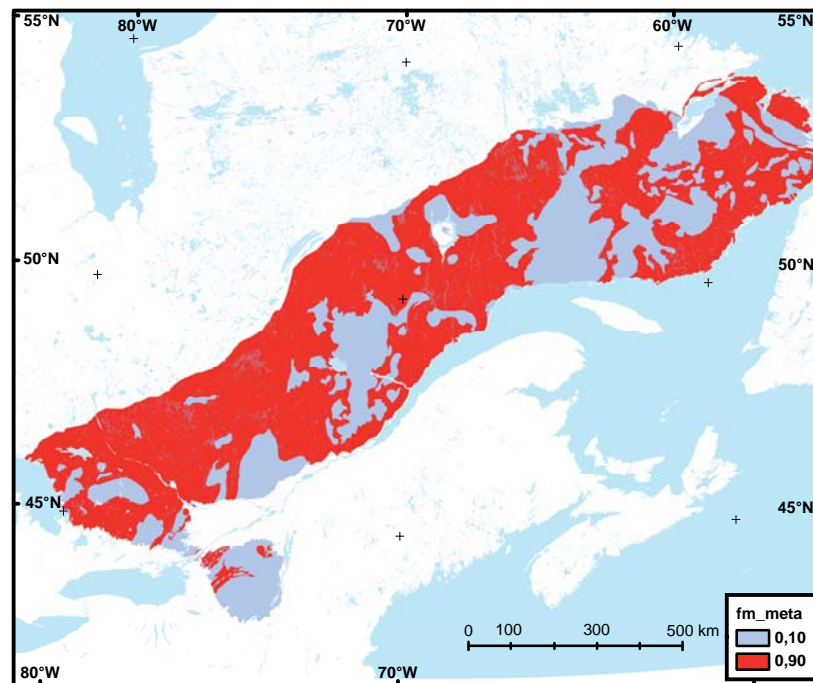


FIGURE 4 - Carte d'appartenance floue de favorabilité du métamorphisme, modèle de potentiel pour l'uranium intragranitique. « fm_meta » est défini à l'annexe 1.

Présence d'intrusions felsiques favorables

Les données géologiques et lithogéochimiques sont insuffisantes à l'échelle du Grenville pour identifier des intrusions favorables sur la base de leur affinité géochimique précise. Le caractère felsique et/ou migmatitique des roches peut toutefois être utilisé pour cibler des secteurs plus généraux, à partir des unités suivantes : « *'MIGMATITE, UNSPECIFIED' OR 'GRANITE AND EQUIVALENT ORTHOGNEISS' OR 'SYENITE, MONZONITE, MONZODIORITE, INCLUDES EQUIVALENT ORTHOGNEISS'* ». La figure 5 présente les secteurs favorables identifiés par ces lithologies.

Une carte matricielle de distance à ces unités a été réalisée. Les valeurs de distance, en kilomètres, ont été transformées en appartenance floue (figure 6).

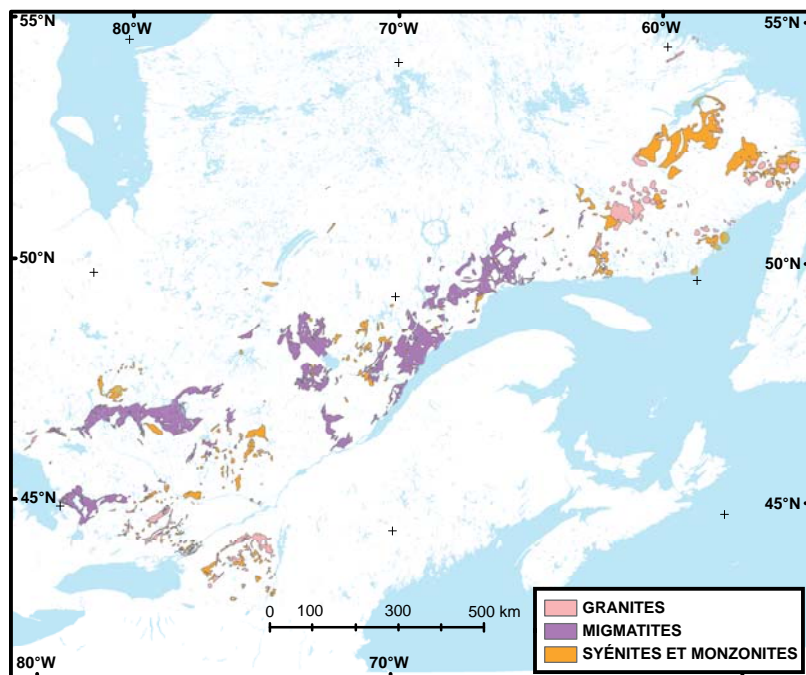


FIGURE 5 - Unités de migmatites, granites et syénites. Géologie tirée de Davidson (1998).

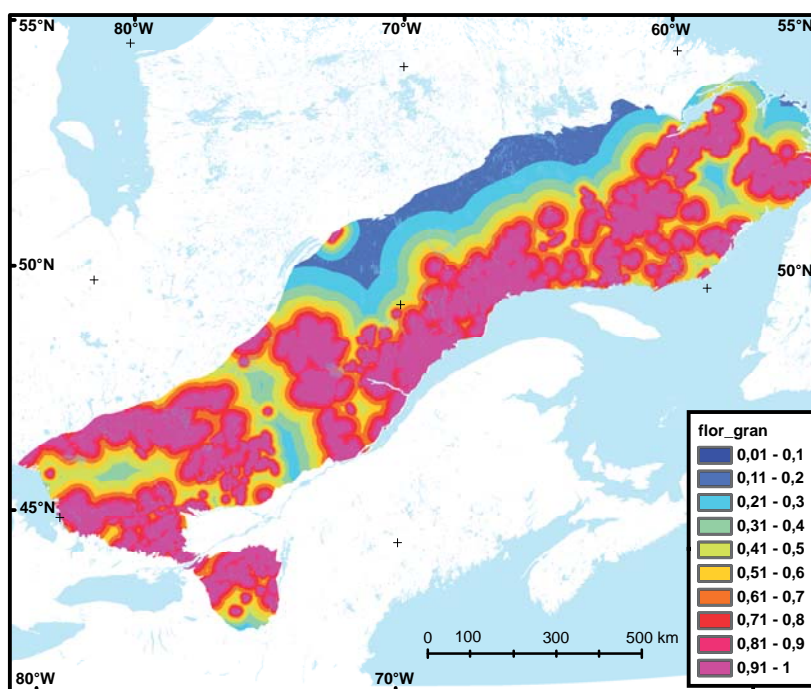


FIGURE 6 - Carte d'appartenance floue de proximité à des granites, migmatites et syénites, modèle de potentiel pour l'uranium intragranitique. « flor_gran » est défini à l'annexe 1.

Couches radiométriques

La présence d'anomalies en uranium dans la radiométrie est bien sûr un critère important d'évaluation du potentiel minéral. Un autre critère également important est le ratio uranium/thorium. Beaucoup plus d'uranium que de thorium entraîne la formation de minéraux uranifères facilement exploitables par rapport à des minéraux uranothorifères plus difficiles à traiter. A Rössing, par exemple, le ratio U/Th varie de 9 à 10. La couverture des données radiométriques disponibles dans le cadre de l'évaluation de potentiel est donnée à la figure 7. Étant donné les problèmes des valeurs du spectre de l'uranium pour les levés de SOQUEM de 1977 numérisés entre 2006 et 2008 (Trépanier, 2008), il faut noter que les données de ces levés n'ont pas été utilisées pour la production de la carte de potentiel.

Voici la liste des données radiométriques utilisées :

- 1 - Couverture publique de la Commission géologique du Canada (2005a), en équivalent ppm. Cartes matricielles directement récupérées de l'entrepôt de données géoscientifiques (http://gdr.nrcan.gc.ca/index_f.php) avec une grille aux 250 m;
- 2 - Données numériques en format point XYZ fournies par SOQUEM couvrant la Basse-Côte-Nord, en comptes par seconde, interpolées par krigeage avec l'extension « Geostatistical Analyst » de ArcMap 9.0;
- 3 - Données en format papier fournies par SOQUEM et numérisées par le CONSOREM entre 2006-2008 (Trépanier, 2008), en comptes par seconde. Voir ce rapport pour la méthode de construction des cartes matricielles;
- 4 - Données numériques fournies par Mines Aurizon couvrant le secteur de Kipawa, en équivalent ppm. Cartes matricielles fournies par Aurizon.

Les données de type 2 et 3 ne sont pas calibrées pour obtenir des équivalents ppm U et Th. Elles ne peuvent donc être fusionnées directement avec les données publiques et les données de Kipawa. Des cartes d'appartenance floue séparées ont donc été préparées pour ces données au préalable. Ces cartes d'appartenance floue ont par la suite été fusionnées avec les données de type 1 et 4 (figures 8 et 9).

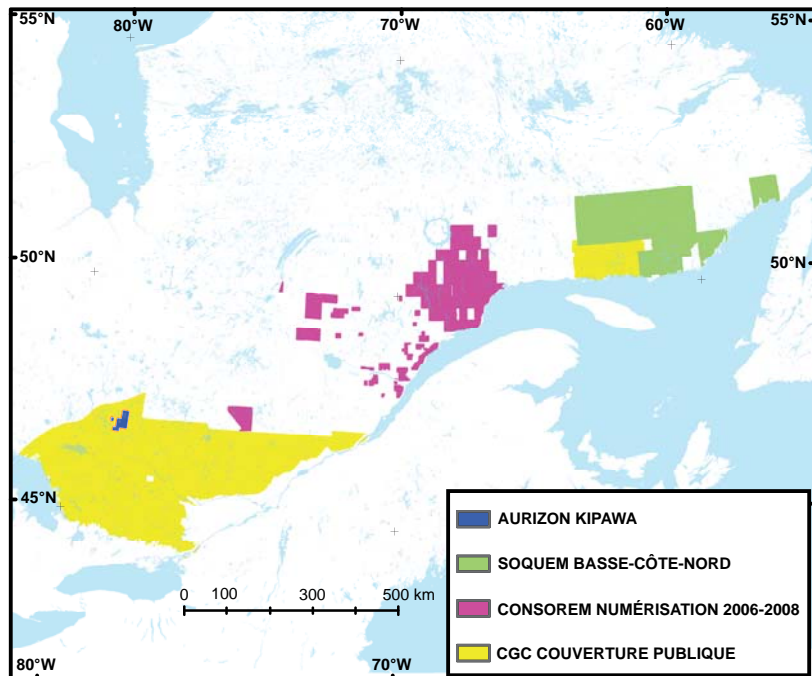


FIGURE 7 - Couverture des données radiométriques utilisées pour l'évaluation de potentiel pour l'uranium intragranitique.

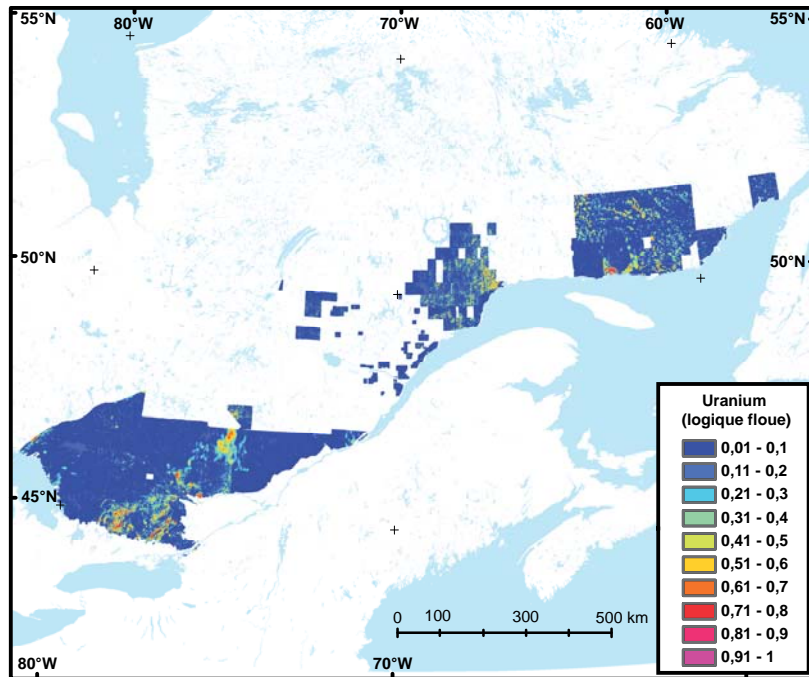


FIGURE 8 - Carte d'appartenance floue pour l'uranium dérivé de la radiométrie.

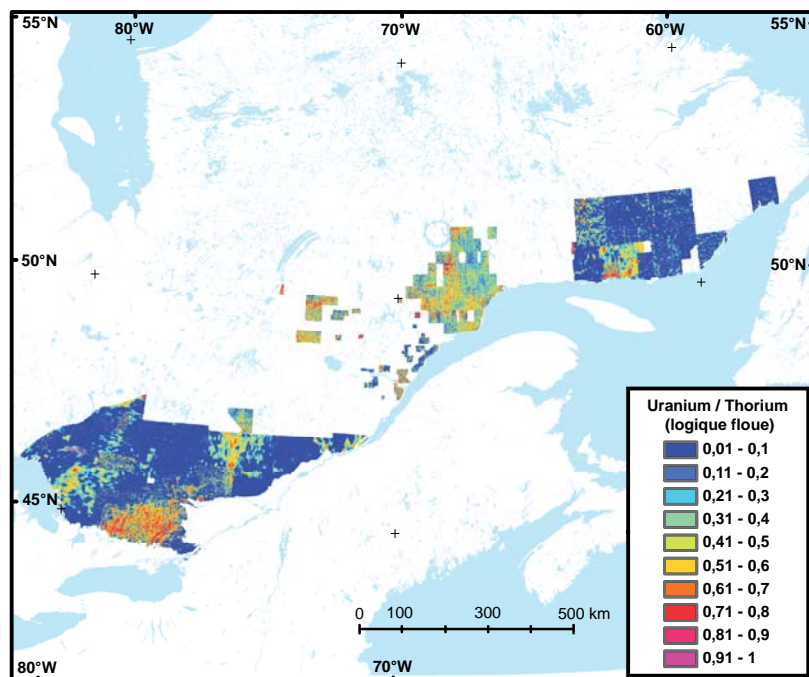


FIGURE 9 - Carte d'appartenance floue pour le ratio U/Th dérivé de la radiométrie.

Couches géochimiques

Les données de géochimie de l'environnement secondaire (lac, ruisseau) peuvent également être utiles pour déterminer des secteurs favorables à l'échelle régionale. Comme un grand nombre de levés n'a pas été analysé pour le thorium, seules les valeurs en uranium peuvent être utilisées; la conséquence est qu'on ne peut évaluer de cette façon l'enrichissement relatif de l'uranium par rapport au thorium. Les données géochimiques des sédiments de lac proviennent de données nivelées pour l'ensemble du Québec (Trépanier, 2007). Les données de géochimie de ruisseau pour l'uranium proviennent directement du SIGÉOM (ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2004), mais n'ont pas été nivelées. La figure 10 montre la couverture des données géochimiques pour l'uranium dans le Grenville utilisées dans le cadre de ce projet.

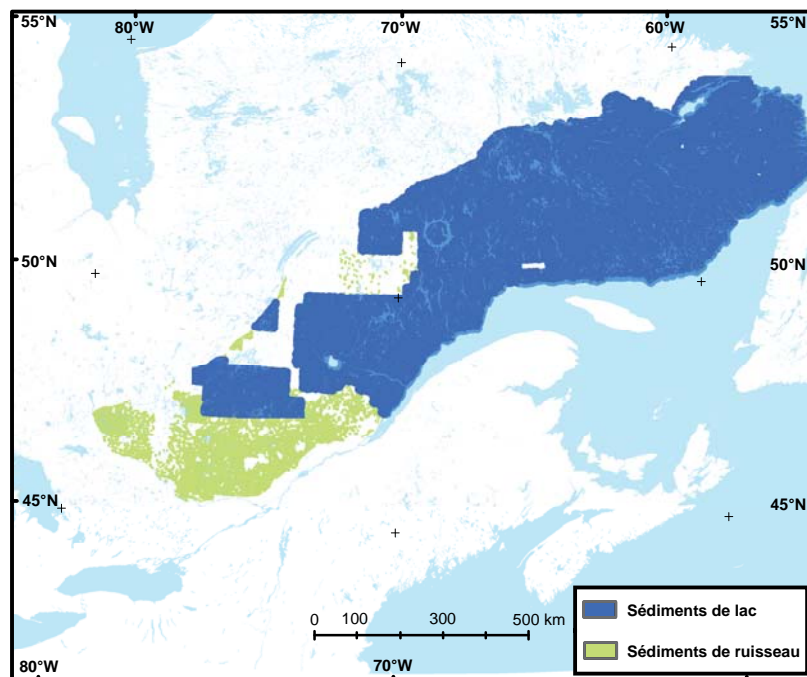


FIGURE 10 - Couverture des données de géochimie de l'environnement secondaire pour l'uranium (modifiées de SIGÉOM). Note : les données de sédiments de lac sont utilisées en priorité par rapport aux données de sédiments de ruisseau.

Modèle de potentiel minéral par logique floue

La zone d'intérêt du modèle de potentiel minéral couvre le Grenville du Québec, de l'Ontario et du Labrador (figure 11). La couverture de l'évaluation finale du potentiel dépend toutefois des données disponibles.

Le modèle de potentiel minéral a été construit à partir du modèle métallogénique, présenté en introduction, et des données disponibles. Ce modèle se divise en deux grandes parties (figure 12). La première est l'évaluation de la favorabilité du contexte lithologique (**Contexte lithologique favorable**). La seconde consiste en l'évaluation des données de radiométrie et de géochimie

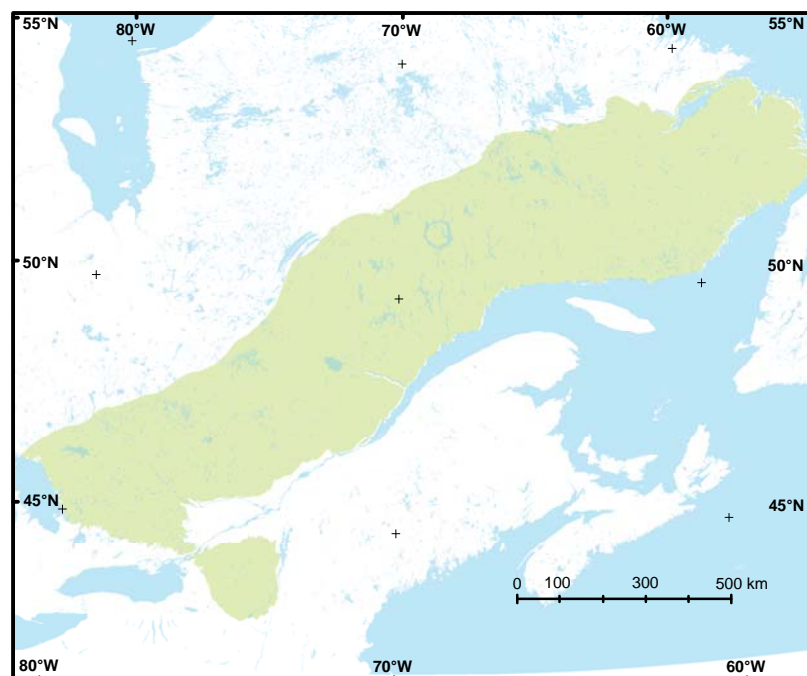


FIGURE 11 - Zone d'intérêt de l'évaluation du potentiel minéral.

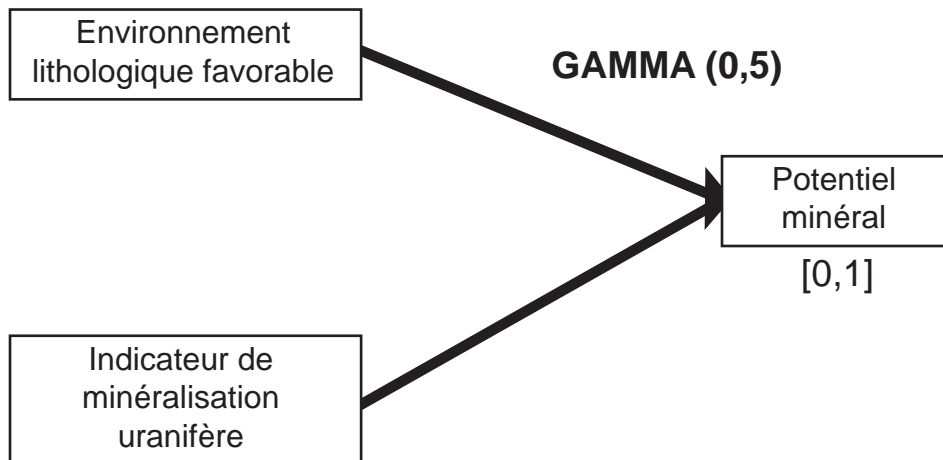


FIGURE 12 - Modèle de potentiel minéral simplifié pour l'uranium intragranitique.

de l'environnement secondaire pour l'uranium intragranitique (**Indicateurs de minéralisation uranifère**). Le modèle de potentiel minéral a été réalisé avec une grille aux 250 m. L'annexe 1 présente des détails additionnels sur la construction du modèle de potentiel minéral.

Deux modèles de potentiel distincts ont été construits, selon la source de données utilisées comme indicateur de minéralisation uranifère. Le premier modèle utilise la radiométrie comme indicateur de minéralisation uranifère, alors que le second utilise la géochimie de l'environnement secondaire.

Contexte lithologique favorable

Le modèle métallogénique pour les minéralisations uranifères de type intragranitique combine la présence de métasédiments (agent réducteur) et de granitoïdes évolués, dans un environnement de haut grade métamorphique. Ces trois critères sont nécessaires. Pour modéliser l'environnement lithologique favorable, l'opérateur de logique floue GAMMA (0,3) a été utilisé en combinant les couches précédentes (figure 13). La carte de favorabilité découlant de cette opération est présentée à la figure 14.

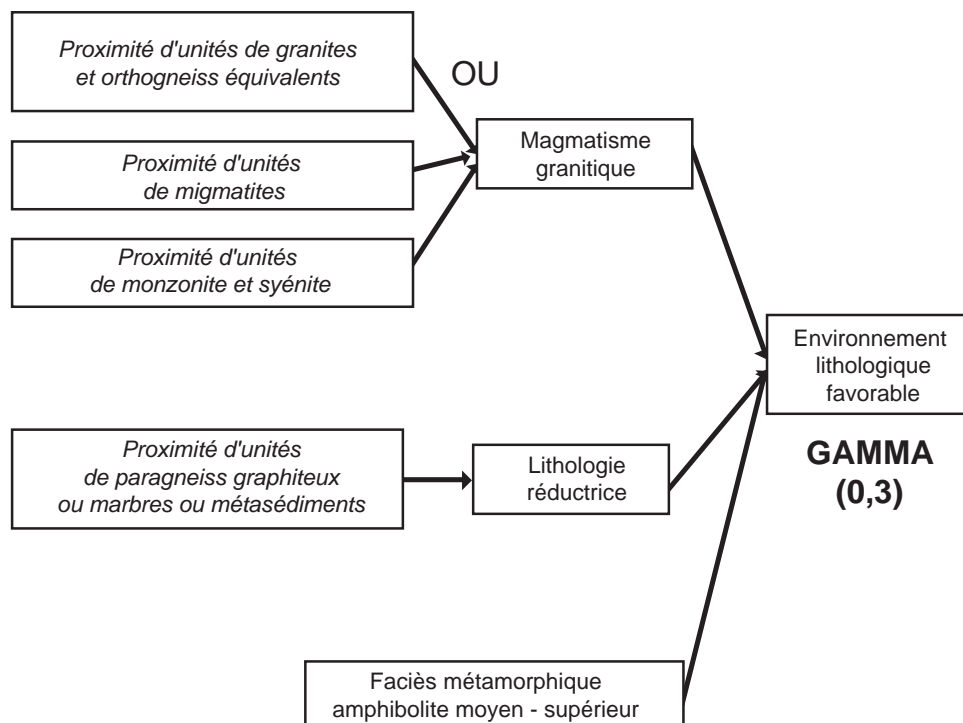


FIGURE 13 - Modèle de logique floue pour la favorabilité du contexte lithologique.

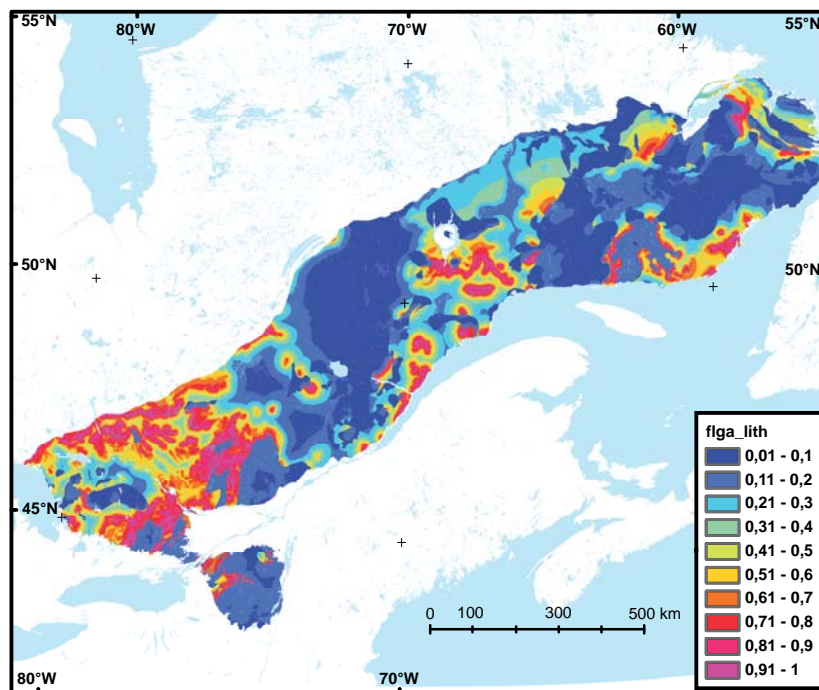


FIGURE 14 - Carte de favorabilité du contexte lithologique, modèle de potentiel pour l'uranium intra-cratonique. « flga_lith » est défini à l'annexe 1.

Indicateurs de minéralisation uranifère

Deux cartes distinctes de favorabilité des indicateurs de minéralisation uranifère ont été construites :

- 1 - Radiométrie : combinaison de l'uranium avec le ratio uranium/thorium, par l'opérateur de logique floue gamma (0,2) (figure 15; figure 16);
- 2 - Géochimie : les valeurs en uranium dans la géochimie de l'environnement secondaire sont utilisées comme indicateur (figure 17). La carte de favorabilité des indicateurs de minéralisation uranifère correspondante est illustrée à la figure 18.

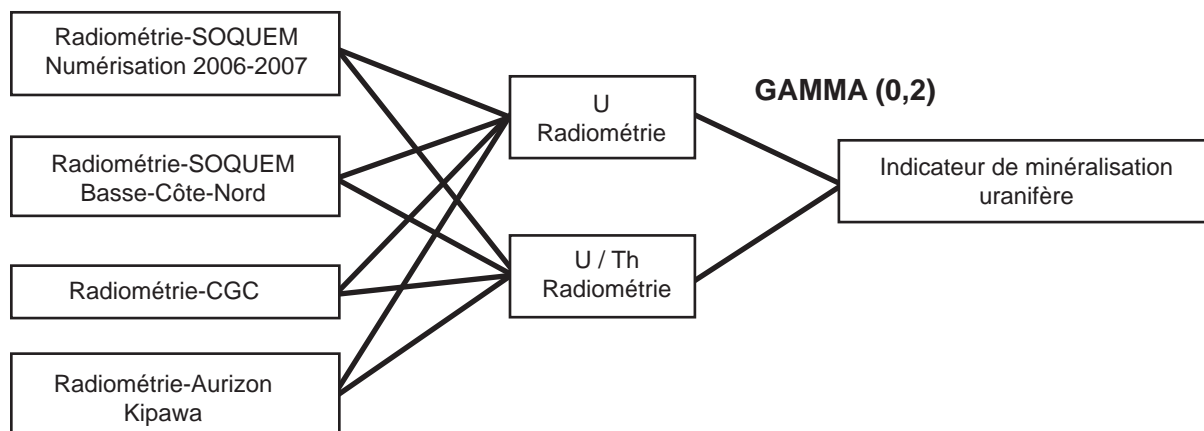


FIGURE 15 - Modèle de logique floue pour la favorabilité des indicateurs de minéralisation uranifère dérivée de la radiométrie.

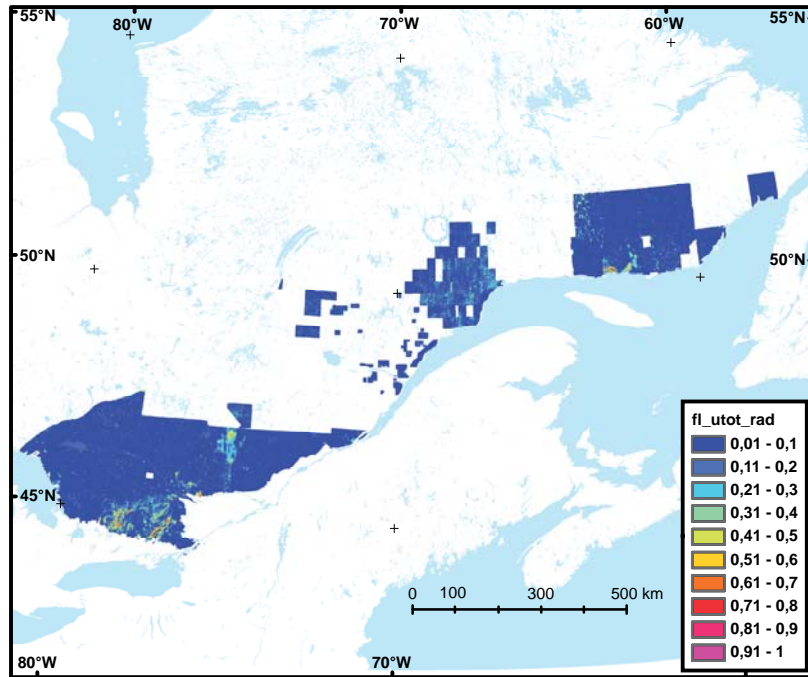


FIGURE 16 - Carte de favorabilité des indicateurs de minéralisation uranifère dérivée de la radiométrie. « fl_utot_rad » est défini à l'annexe 1.

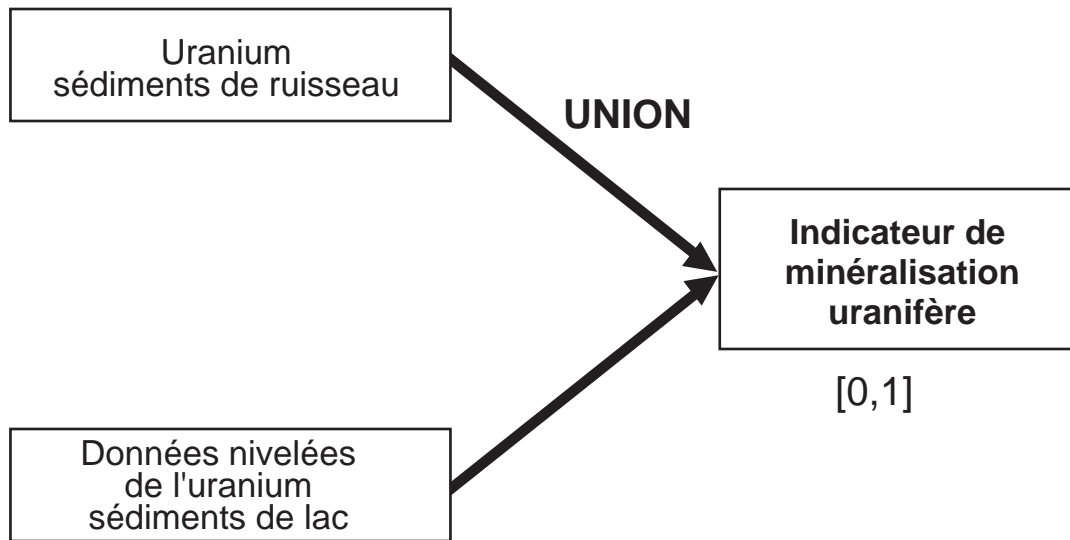


FIGURE 17 - Modèle de logique floue pour la favorabilité des indicateurs de minéralisation uranifère par la géochimie.

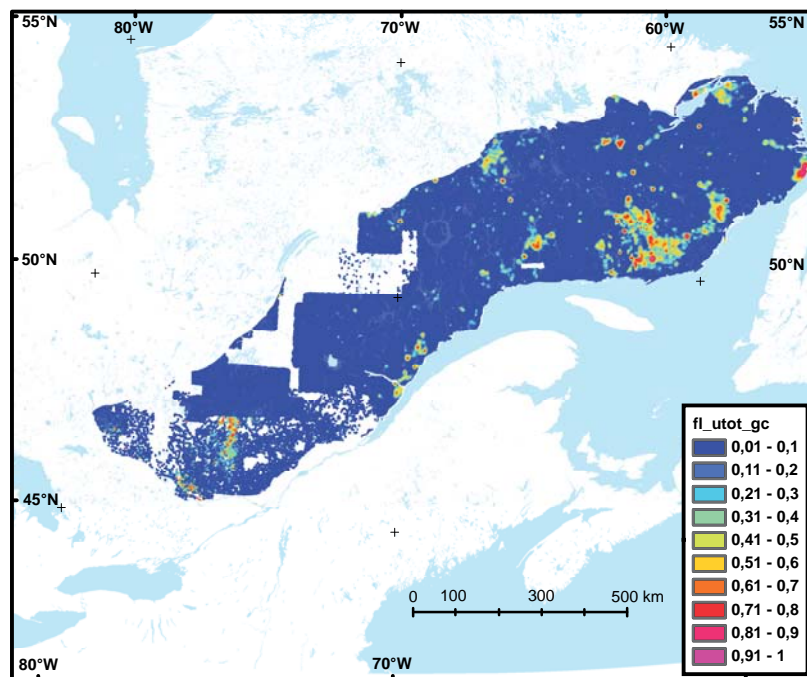


FIGURE 18 - Carte de favorabilité des indicateurs de minéralisation uranifère dérivée de la géochimie de l'environnement secondaire. « fl_utot_gc » est défini à l'annexe 1.

Cartes de potentiel minéral

La figure 19 présente la carte de potentiel minéral pour l'uranium intragranitique qui utilise la radiométrie comme indicateur de minéralisation uranifère. La figure 20 présente la carte équivalente réalisée à partir de la géochimie de l'environnement secondaire comme indicateur de minéralisation uranifère.

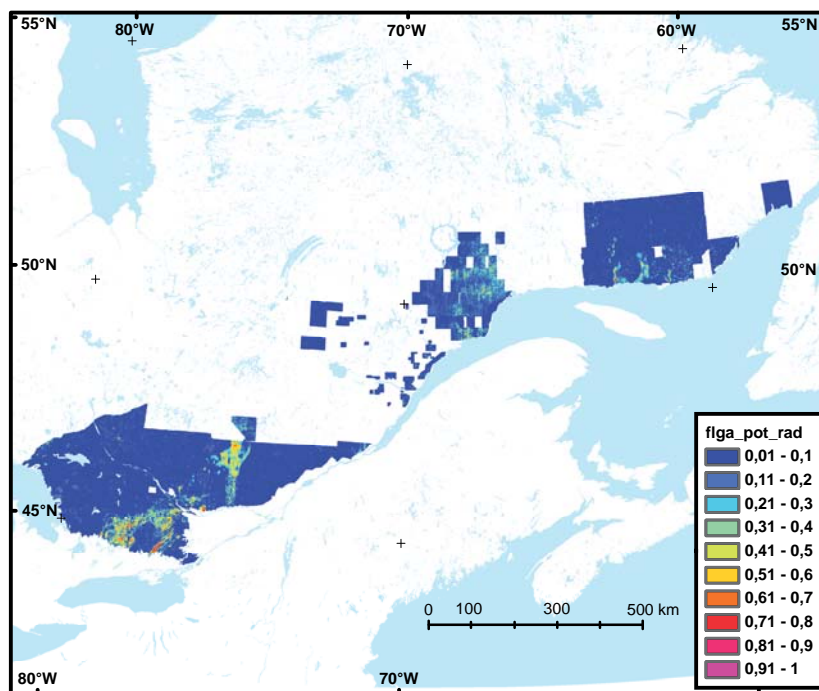


FIGURE 19 - Potentiel minéral pour l'uranium intragranitique dérivé de la radiométrie. « flga_pot_rad » est défini à l'annexe 1.

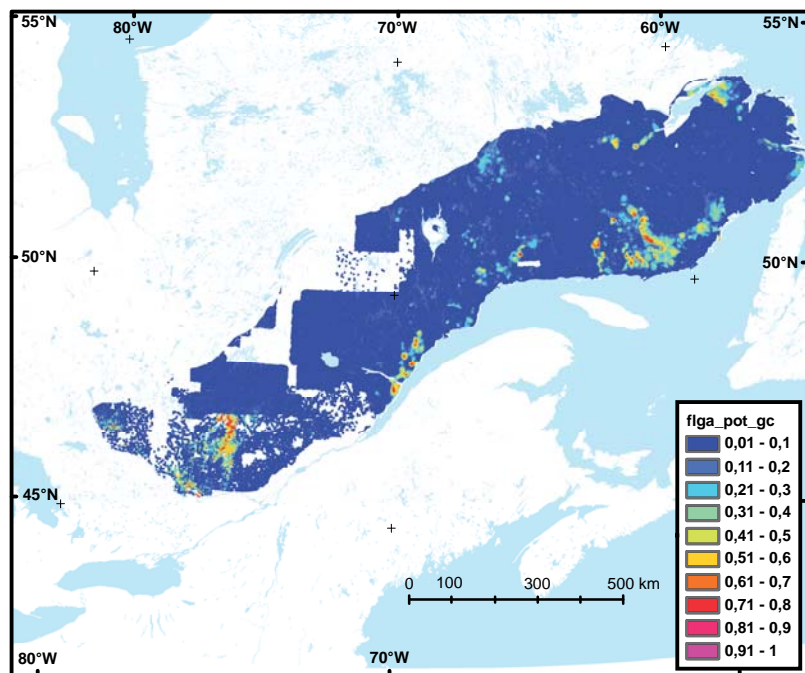


FIGURE 20 - Potentiel minéral pour l'uranium intragranitique dérivé de la géochimie. « figa_pot_gc » est défini à l'annexe 1.

Cibles provenant du modèle de potentiel

Des cibles ont été délimitées à partir de la carte de potentiel minéral par la radiométrie. Ces cibles couvrent uniquement les secteurs correspondant à la radiométrie numérisée en 2006-2008. Une valeur limite de 0,5 sur la carte de potentiel a été utilisée dans la délimitation de ces cibles (figure 21). Cinquante cibles ont été ainsi identifiées.

Chaque cible a fait l'objet d'une évaluation spécifique. Différentes informations ont été compilées pour chaque cible et des commentaires ont été ajoutés (annexe 2).

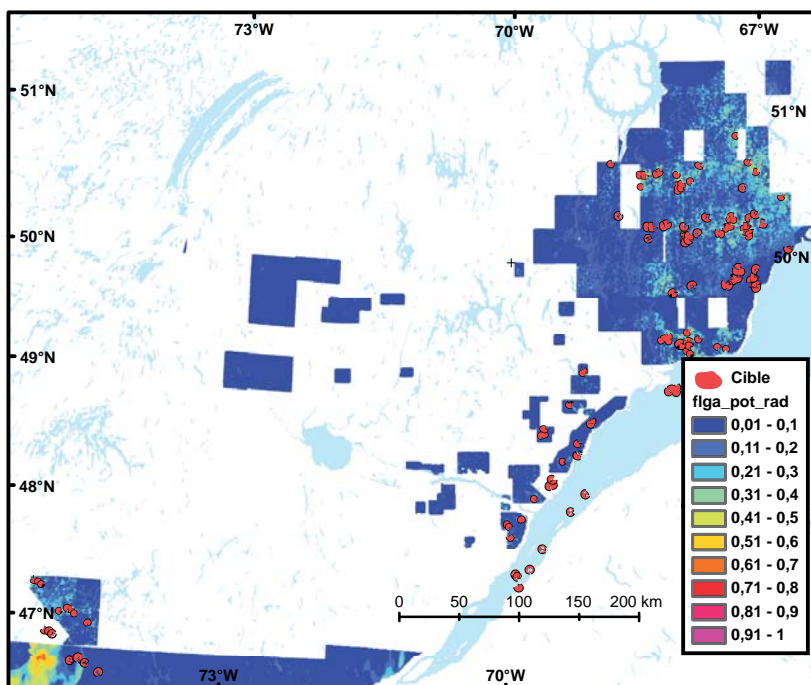


FIGURE 21 - Cibles délimitées sur le modèle de potentiel pour l'uranium intragranitique dérivé de la radiométrie. « figa_pot_rad » est défini à l'annexe 1.

Résumé du type de gîte

Cette classe de minéralisation est relativement nouvelle par rapport à la plupart des autres types de gîtes. Elle est essentiellement apparue à partir de la fin des années 70, avec la découverte du gisement Olympic Dam en Australie (Williams *et al.*, 2005). Cette classe de minéralisation est essentiellement basée sur des critères géochimiques et ne tient généralement pas compte de critères génétiques tels que le contexte tectonique de mise en place de la minéralisation, la source des fluides et des métaux, etc. De ce fait, elle regroupe des minéralisations qui peuvent être d'origines assez diverses et encore mal comprises. De plus, des schémas de classification différents ont été proposés par différents auteurs. Deux exemples de schémas de classification différents sont illustrés ici : celui de Williams *et al.* (2005) et celui de Gandhi (2003).

Williams *et al.* (2005) énoncent une série de critères permettant de classer une minéralisation dans la catégorie *IOCG* :

- 1 - Cu, avec ou sans Au, comme principal métal économique;
- 2 - Minéralisation de type hydrothermal avec fort contrôle structural;
- 3 - Magnétite et/ou hématite abondantes;
- 4 - Oxydes de fer avec rapports Fe/Ti plus élevés que la plupart des roches ignées et que la croûte moyenne;
- 5 - Pas d'association claire avec des intrusions (contrairement aux porphyres ou aux skarns).

D'autres caractéristiques communes des gisements appartenant à cette classe sont notées par les mêmes auteurs. Ces caractéristiques ne sont toutefois pas présentes dans tous les gisements (Williams *et al.*, 2005) :

- Association dans l'espace et dans le temps avec des granitoïdes batholithiques;
- Métasomatisme alcalin pervasive et exceptionnellement volumineux;
- Minéralisations enrichies dans une suite distincte de métaux traces, en combinaisons variables : F, P, Co, Ni, As, Mo, Ag, Ba, éléments des terres rares (ETR) légers et U, Zn et Pb généralement absents.

Il faut noter que la définition de Williams *et al.* (2005) exclue certains types de minéralisations souvent considérées apparentées aux gisements de type *IOCG*. Les gisements directement associés à des carbonatites (p. ex. Phalabowra) ne sont pas inclus. De la même façon, les skarns ferrifères ainsi que les gisements de Fe-P de type Kiruna ne s'y retrouvent pas en raison de leur plus faible teneur en cuivre et ce, malgré plusieurs ressemblances (coexistence avec les *IOCG* dans les mêmes secteurs, association avec altération sodique régionale, abondance d'éléments traces en commun (Cu, Au, P, F, ETR, U)).

Gandhi (2003) propose, de son côté, une classification des gisements en 6 sous-types. Cette classification inclut, dans le type *IOCG*, un éventail plus étendu de minéralisations dont plusieurs sont rejetées par la définition plus stricte énoncée par Williams *et al.* (2005) (Gandhi (2003) inclut en particulier les gisements ne contenant pas de métaux de base). Les critères d'inclusions de gisements dans le type Cu-Au-oxydes de fer sont donc moins restrictifs dans ce cas et incluent les sous-types suivants :

- 1 - Olympic Dam (7 700 Mt @ 0,87 Cu, 0,3 g/t Au et 0,03 % U). Brèches à hématite (Cu, Au, Ag, U, ETR, Th, F, Ba, Mo, Bi, Co). Association avec granite de type A, mise en place plus superficielle;
- 2 - Cloncurry (p. ex. Salobo, réserves 385 Mt @ 0,87 % Cu). Remplacement de formation de fer ou de magnétite précoce. Fe, P, Cu, Au. Association avec granites;
- 3 - Palabora (1 200 Mt @ 0,59 % Cu). Amas de magnétite – ETR, F, P, Cu. Association proximale avec des intrusions alcalines-carbonatites;
- 4 - Bayan-Obo. Magnétite massive à disséminée. Fe-ETR-Nb. Association distale avec intrusions alcalines, carbonatitiques;
- 5 - Kiruna. Amas, veines à magnétite – Fe-P;
- 6 - Certains skarns ferrifères.

Sélection des couches de données géoscientifiques et pondération par appartenance floue

Les différentes classifications proposées ainsi que la diversité des minéralisations regroupées sous le chapeau *IOCG* illustrent le manque de maturité de ce modèle métallogénique. Elles soulignent en particulier le peu de connaissances sur le contexte géologique de mise en place de ces minéralisations. En conséquence, l'évaluation du potentiel minéral pour ces minéralisations se basera surtout sur des données géochimiques et géophysiques qui permettront d'identifier les minéraux/éléments typiques des *IOCG* (donc plus descriptif), plutôt que sur un modèle génétique en particulier.

Les sous-types 1, 2 et 3 de la classification de Gandhi (2003) sont probablement les plus intéressants au niveau économique en raison de leurs fortes teneurs en cuivre. Le modèle de potentiel minéral sera donc orienté vers l'identification des secteurs favorables à ces minéralisations plus riches en cuivre.

Couches géochimique

Anomalies en cuivre dans les sédiments de lac

Les données du cuivre dans la géochimie de l'environnement secondaire sont cruciales pour cet exercice d'évaluation de potentiel. La couverture des données géochimiques du cuivre est essentiellement la même que celle de l'uranium (voir la figure 10). Les données de sédiments de lac utilisées sont les données nivelées lors du projet CONSOREM 2004-09. Les données du levé du secteur de Manicouagan, réalisé en 2003, ont été nivelées et intégrées au reste des données.

Plutôt que d'utiliser les valeurs brutes, une valeur centrée-réduite (*Z-Score*) a été utilisée pour le cuivre dans les sédiments de lac (voir l'annexe 1 pour le détail du calcul). Un *Z-Score* permet d'obtenir une évaluation plus locale de l'ampleur des anomalies et de tenir compte des variations du bruit de fond géochimique du cuivre d'une région à l'autre. C'est à partir de ce *Z-Score* que la carte d'appartenance floue a été calculée.

Anomalies en cuivre dans les sédiments de ruisseau

Les données du cuivre dans les sédiments de ruisseau ont été nivelées pour obtenir une banque de données uniforme. Cette carte a été fusionnée par la suite avec la carte d'appartenance floue du cuivre dans les sédiments de lac. La carte d'appartenance floue résultant de la fusion des deux cartes est illustrée à la figure 22.

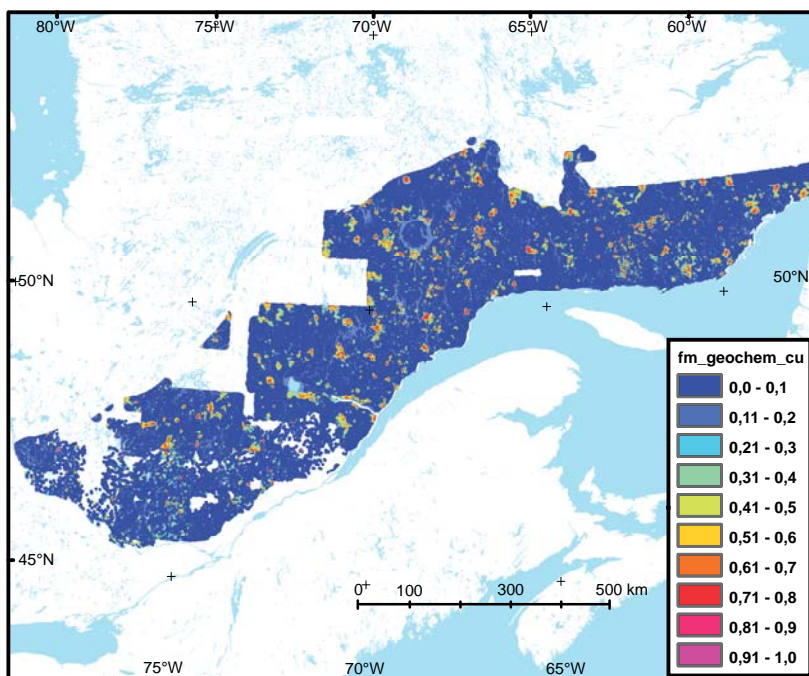


FIGURE 22 - Carte d'appartenance floue du cuivre dans la géochimie de l'environnement secondaire. « fm_geochem_cu » est défini à l'annexe 1.

Anomalies en uranium dans les sédiments de lac et de ruisseau

Les données en uranium des sédiments de lac proviennent également de la banque de données nivelées lors du projet 2004-09 (Trépanier, 2007). Les sédiments de ruisseau n'ont pas été nivelés car le nivellement s'est avéré impossible pour des raisons statistiques. Des cartes d'appartenance floue ont été créées pour ces deux types d'échantillons. Les deux cartes d'appartenance floue ont été fusionnées pour obtenir une carte unique pour l'uranium. La figure 23 montre la carte d'appartenance floue résultant de la fusion.

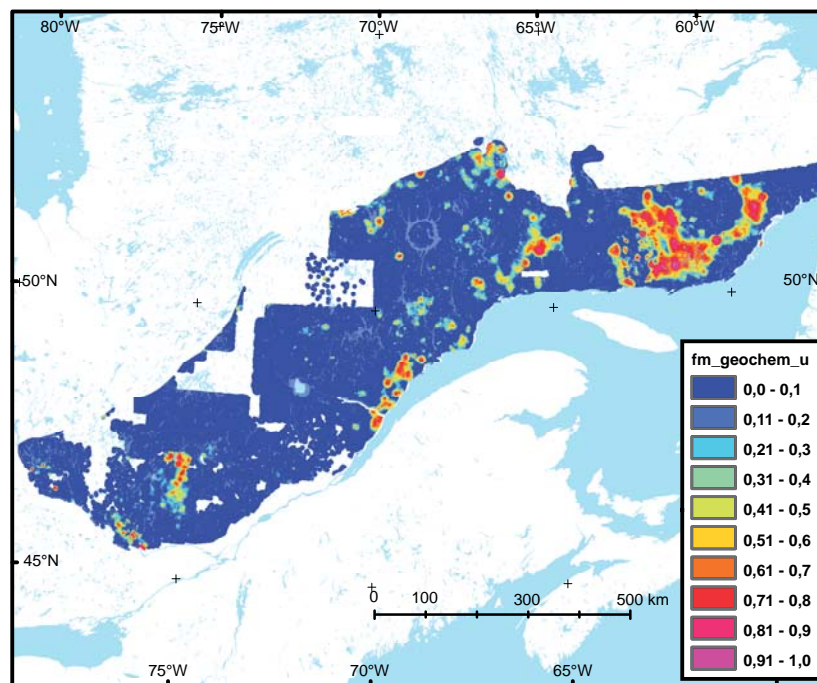


FIGURE 23 - Carte d'appartenance floue de l'uranium dans la géochimie de l'environnement secondaire. « fm_geochem_u » est défini à l'annexe 1.

Compte total de la radiométrie

La radiométrie est également très importante pour l'évaluation du potentiel pour les *IOCG*. En effet, la radiométrie permet de détecter à la fois l'altération potassique fréquemment associée avec ces minéralisations et la présence de concentrations anomales d'uranium et de thorium fréquemment associées à ces minéralisations.

Le compte total de la radiométrie a été choisi comme couche de radiométrie pour l'évaluation du potentiel. Comme le compte total représente la somme des spectres de K, U et Th, il permet de représenter en une seule couche l'ensemble des caractères recherchés (altération K et minéralisation U-Th).

Voici la liste des sources de données radiométriques utilisées :

- 1 - Couverture publique de la Commission géologique du Canada (2005a), en nanoGray par heure (nGy/h). Cartes matricielles directement récupérées de l'entrepôt de données géoscientifiques avec une grille aux 250 m;
- 2 - Données numériques en format point XYZ fournies par SOQUEM couvrant la Basse-Côte-Nord, en comptes par seconde, interpolées par krigeage par l'extension « Geostatistical Analyst » de ArcMap 9.0. Comme le compte total de la radiométrie n'était pas fourni, la somme des comptes de K+U+Th, normalisée en soustrayant la moyenne du levé et en divisant par son écart-type, a été utilisé à la place du compte total;
- 3 - Données en format papier fournies par SOQUEM et numérisées par le CONSOREM entre 2006-2008 (Trépanier, 2008), en comptes par seconde. Voir ce rapport pour la méthode de construction des cartes matricielles;
- 4 - Données numériques fournies par Mines Aurizon couvrant le secteur de Kipawa, en nGy/h. Cartes matricielles fournies par Aurizon.

Les sources de données 2 et 3 ne sont pas calibrées pour obtenir des nGy/h. Elles ne peuvent donc être fusionnées directement avec les données publiques et les données de Kipawa. Des cartes d'appartenance floue séparées ont donc été préparées pour ces données au préalable. Ces cartes d'appartenance floue ont par la suite été fusionnées avec les sources de données 1 et 4 (figure 24).

Première dérivée verticale du champ magnétique

La présence d'oxydes de fer, en particulier de magnétite, est une caractéristique fondamentale des gisements de type *IOCG* (Williams *et al.*, 2005). Pour identifier les secteurs contenant une abondance de magnétite, les données de la première dérivée verticale du champ magnétique à une échelle de 200 m, extraites de l'entrepôt de données géoscientifiques (http://gdr.nrcan.gc.ca/index_f.php), ont été utilisées (Commission géologique du Canada, 2005b). La figure 25 illustre la carte d'appartenance floue de la première dérivée verticale du champ magnétique.

Caractéristiques des sous-types de *IOCG* ciblées à l'aide des couches sélectionnées

En résumé, voici les caractéristiques des sous-types 1), 2) et 3) définis par Gandhi (2003) et qui sont ciblées par les couches sélectionnées. Les sous-types sont énumérés ici en ordre de facilité décroissante avec laquelle le modèle pourra les détecter, selon le nombre de critères correspondants entre le sous-type et les couches choisies :

- 1 - Sous-type Olympic Dam (Fe-P-Cu-Au-Ag-U-F-ETR...) :
 - Magnétite détectée par la dérivée verticale du champ magnétique;
 - Cuivre et Uranium par les sédiments de lac et de ruisseau;
 - Altération potassique, uranium et thorium dans la minéralisation et granitoïdes associés par le compte total de la radiométrie.
- 2 - Palabora (Fe-P-ETR-Cu) :
 - Magnétite détectée par la dérivée verticale du champ magnétique;
 - Carbonatite-intrusion alcaline hôte par la radiométrie compte total (U et Th élevés), et par l'uranium dans les lacs;
 - Cuivre par les sédiments de lac et de ruisseau.
- 3 - Cloncurry (Fe-P-Cu-Au) :
 - Magnétite détectée par dérivée verticale du champ magnétique;
 - Cuivre par les sédiments de lac et de ruisseau;
 - Altération potassique par radiométrie compte total.

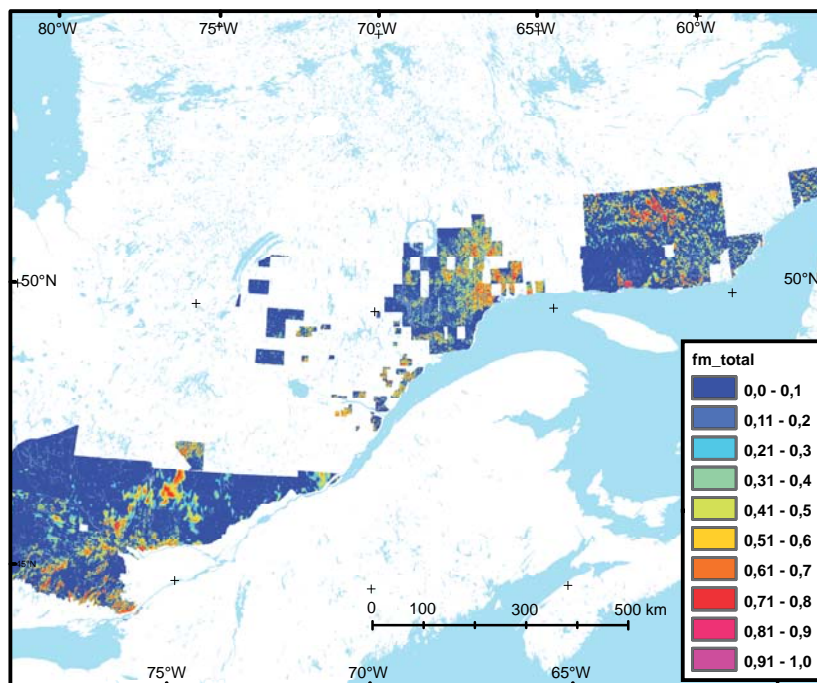


FIGURE 24 - Carte d'appartenance floue du compte total de la radiométrie. « fm_total » est défini à l'annexe 1.

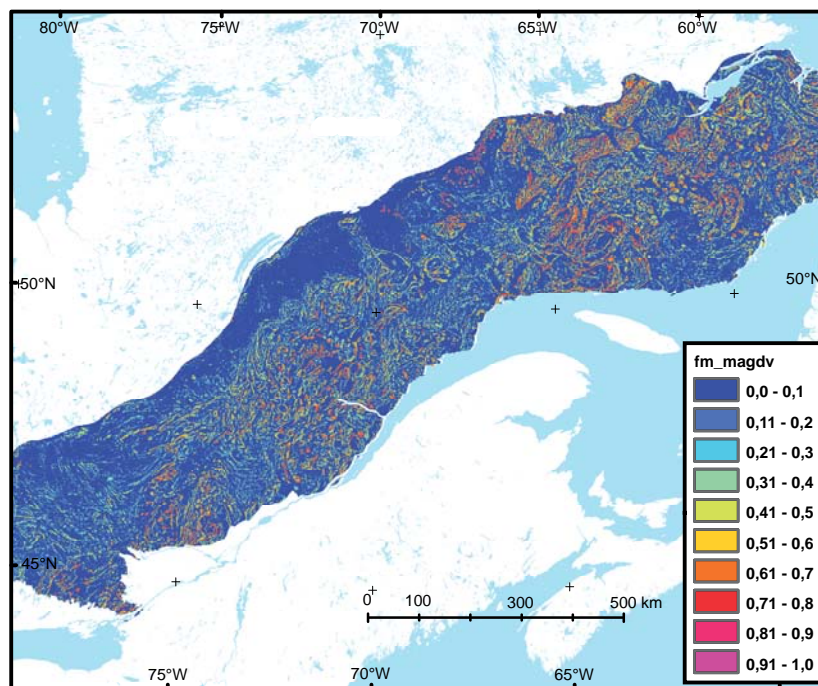


FIGURE 25 - Carte d'appartenance floue de la première dérivée verticale du champ magnétique. « fm_magdv » est défini à l'annexe 1.

Modèle de potentiel minéral par logique floue

La zone d'intérêt du modèle de potentiel minéral pour les gisements de type *IOCG* est la même que celle du modèle pour l'uranium intragranitique (figure 11). La couverture réelle dépend également des données disponibles. Le modèle de potentiel minéral a été construit à partir des données disponibles et de la description des minéralisations de type *IOCG* (voir la section **Résumé du type de gîte**). Le modèle utilisé est présenté à la figure 26. La pondération des opérateurs de logique floue utilisés dans le modèle vient d'un processus itératif d'essais et erreurs; différents modèles ont été tentés et analysés, et le modèle conservé est celui qui semblait subjectivement donner les anomalies les plus réalistes. La figure 27 montre la carte de potentiel minéral.

Cibles provenant du modèle de potentiel

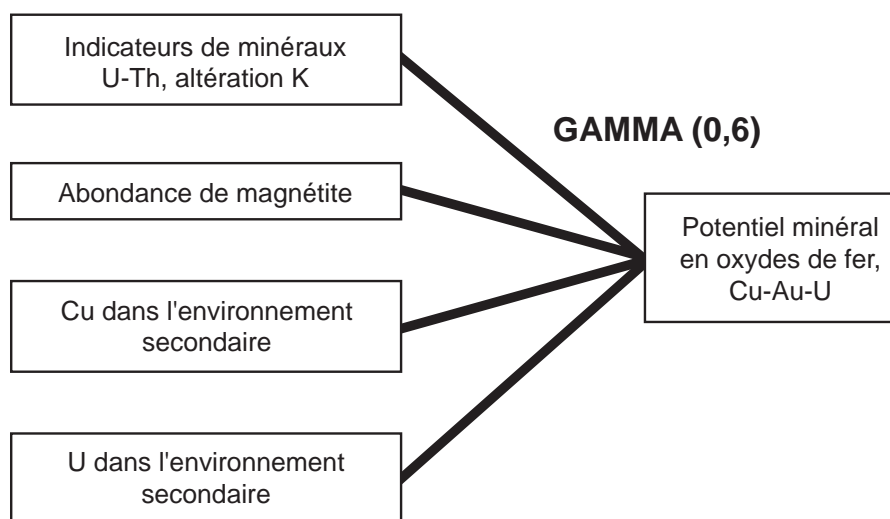


FIGURE 26 - Modèle de potentiel minéral simplifié pour les minéralisations de cuivre-or-uranium de type oxydes de fer (*IOCG*).

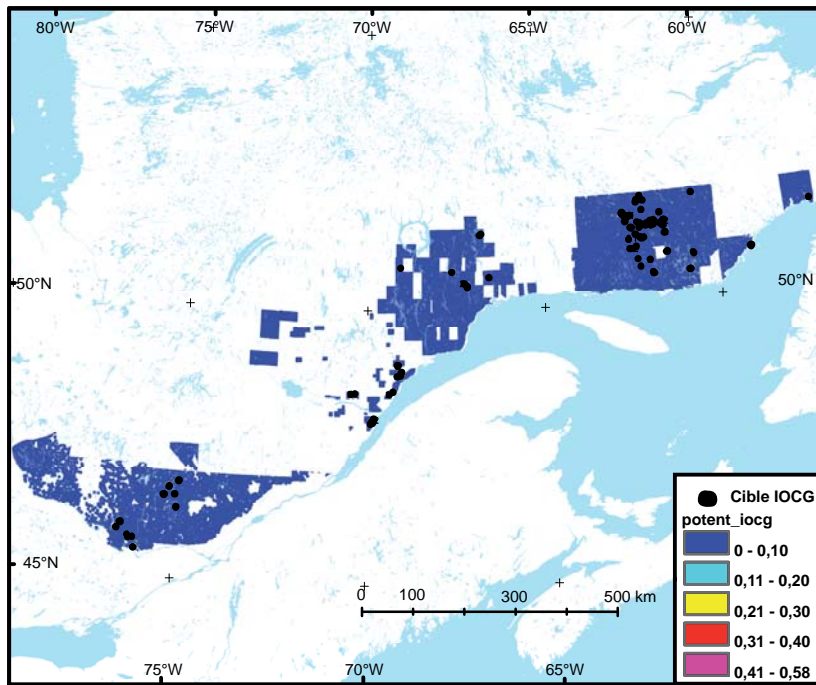


FIGURE 27 - Carte de potentiel minéral pour les minéralisations de cuivre-or-uranium de type oxydes de fer (IOCG). « potent_iocg » est défini à l'annexe 1.

Évaluation des cibles

Des cibles ont été délimitées à partir de la carte de potentiel minéral. Ces cibles couvrent tous les secteurs de la carte de potentiel. Une valeur limite de 0,37 sur la carte de potentiel a été utilisée dans la délimitation de ces cibles. Chacune des 76 cibles ainsi identifiées a fait l'objet d'une évaluation spécifique et différentes informations et commentaires ont été compilés pour chaque cible (annexe 1). Les cibles ont été classées suivant 2 priorités.

Contexte géologique des cibles

La compilation des cibles du modèle de potentiel minéral pour les minéralisations de type *IOCG* a permis de constater l'association très fréquente de cibles avec trois suites intrusives felsiques du secteur de la Basse-Côte-Nord (tableau 1; figure 28). Chacun de ces contextes lithologiques est examiné dans le reste de la section. Sur les 76 cibles du modèle de potentiel, 34 (44 %) se trouvent associées à une des trois suites.

Cette association des zones de fort potentiel *IOCG* avec ces trois suites intrusives dans le secteur de la Basse-Côte-Nord a déjà été reconnue lors d'un travail d'évaluation de potentiel pour le type Olympic Dam-Kiruna couvrant uniquement la Basse-Côte-Nord (ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2002). Ce travail d'évaluation de potentiel se basait en bonne partie sur une conception métallogénique des *IOCG* et utilisait des couches telles que : type de roche, proximité d'une intrusion, nature des contacts, environnement géochimique primaire et secondaire (point en commun avec notre modèle), présence de linéaments et signature magnétique (en commun avec notre modèle également). Le travail actuel, qui est plutôt basé sur les caractéristiques descriptives des *IOCG*, rajoute une couche primordiale qui est la radiométrie, dont la résolution spatiale plus fine permet d'identifier plus précisément les cibles potentielles.

TABLEAU 1 - Association de plusieurs cibles du modèle de potentiel *IOCG* avec certaines suites felsiques.

Suite intrusive	Nombre de cibles de priorité 1	Nombre de cibles de priorité 2
Suite felsique de La Galissonnière	9	7
Suite felsique d'Olomane	5	4
Suite felsique de Kataht	6	3

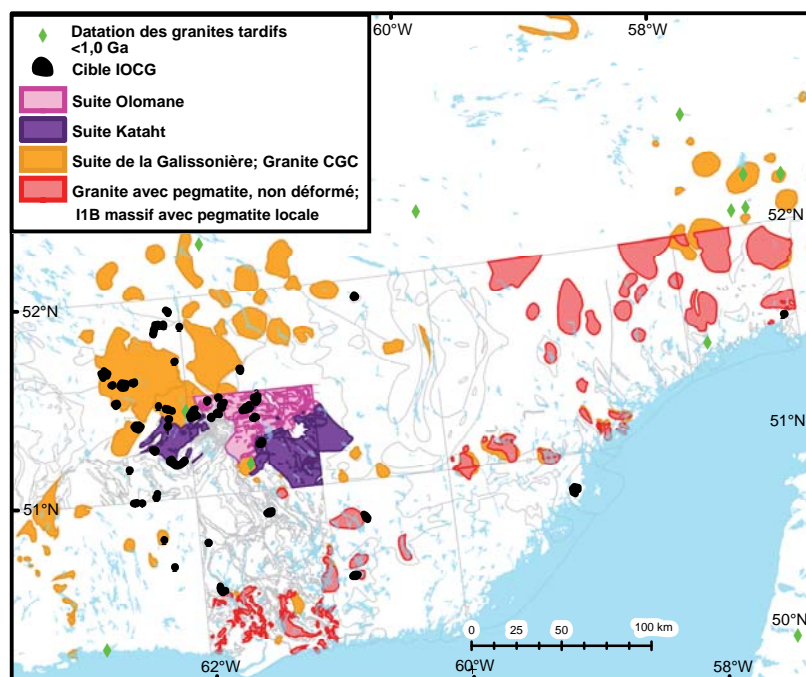


FIGURE 28 - Association des cibles IOCG avec des suites intrusives felsiques en Basse-Côte-Nord.

Granites de la Suite felsique de La Galissonnière

La Suite felsique de La Galissonnière est un ensemble de plutons tardi- à postorogéniques de la zone de Natashquan (Gobeil *et al.*, 2003). Ces plutons présentent des anomalies magnétiques bien définies et circulaires sur les cartes aéromagnétiques régionales (figure 29). Un âge de 993 Ma a été obtenu sur une de ces intrusions. Elles font partie d'un épisode magmatique tardi- à postgrenvillien entre 995 Ma et 970 Ma, reconnu de la région de Manicouagan jusqu'à l'extrémité est de la Basse-Côte-Nord (Gobeil *et al.*, 2003). Cet épisode est caractérisé par un magmatisme bimodal (monzogabbros, mangérites, granites), de haute température (avec pyroxènes). Les intrusions sont fortement magnétiques et les granites sont de type A. Dans la partie extrême est de la Basse-Côte-Nord et au Labrador, des intrusions tardives similaires (également très magnétiques) et d'un âge similaire sont rapportées et ont parfois un caractère franchement alcalin (monzogabbros, granites, syénites à néphéline) (figures 28 et 29).

Cette suite montre plusieurs caractéristiques très intéressantes pour les minéralisations de type *IOCG*, tant au niveau géochimique qu'au niveau de la métallogénie régionale.

1 - Caractéristiques géochimiques favorables

Ces intrusions ont plusieurs points en commun avec les intrusions associées aux minéralisations *IOCG* décrites par Budd (2006) pour la Suite felsique Hiltaba du craton de Gawler en Australie. Ces intrusions sont en association spatiale et temporelle étroite avec les minéralisations *IOCG* de ce craton (notamment le gisement Olympic Dam) :

- Intrusions de type A;
- Rapport Fe/Mg très élevé (magnétiques);
- Intrusions de haute température.

2 - Métallogénie régionale

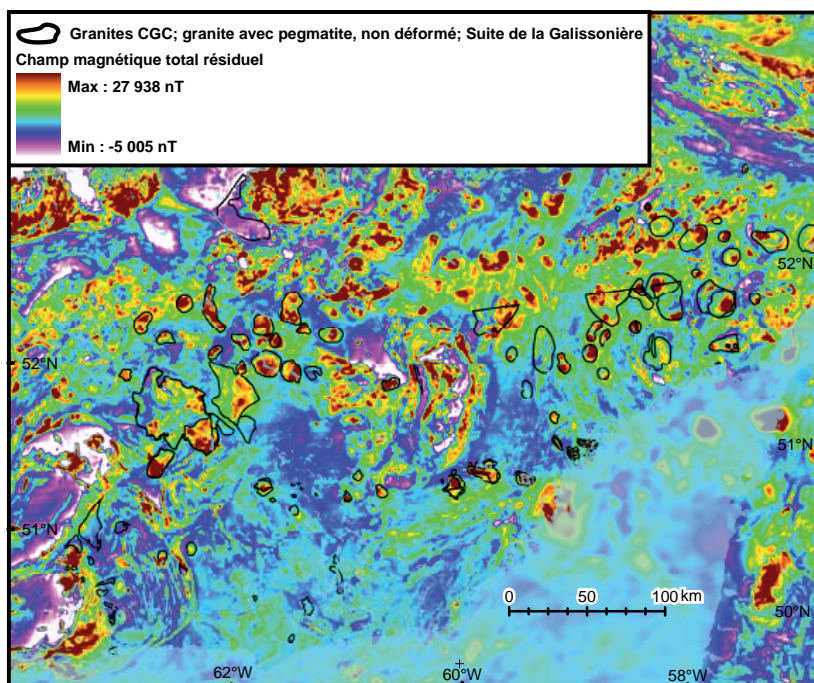


FIGURE 29 - Anomalies aéromagnétiques associées aux intrusions felsiques tardives en Moyenne et Basse-Côte-Nord.

Plusieurs minéralisations apparentées au modèle *IOCG* sont contemporaines de ce magmatisme tardi- à postgrenvillien à l'échelle du Grenville. Dans le secteur de Kwijibo, sur la Moyenne-Côte-Nord, les minéralisations Cu-ETR-U-Au-Mo-F ont été datées entre 972 Ma et 951 Ma (Gauthier *et al.*, 2004). Dans le fenêtré grenvillien du New-Jersey, l'âge des minéralisations de magnétite-U-Th-ETR associées à des pegmatites et granites tardifs a été évalué entre 990 et 940 Ma sur la base de recoupements avec des dykes de pegmatites tardives (Volkert *et al.*, 2005). Dans les « Hudson Highlands », des minéralisations similaires ont été datées entre 988 et 949 Ma (Volkert *et al.*, 2005) par la datation de minéraux uranifères de la minéralisation.

Granites de la Suite d'Olomane

La pétrologie et la géochimie de la Suite d'Olomane ont été étudiées par Machado *et al.*, (2003). La suite est composée d'un granite à fluorine (1 % CaF_2) et d'un granite à quartz bleu. Son âge est d'environ 1240 Ma. Clark (2003) note la similitude entre les granites du Complexe de Canatiche, hôtes de la minéralisation du secteur de Kwijibo, et les granites à fluorite de la Suite d'Olomane. Par contre, cette suite n'est pas magnétique.

L'intérêt principal de cette suite pour les minéralisations de type *IOCG* est l'abondance de fluorine de ces granites, ce qui témoigne de la richesse du magma en fluor, et suggère la possibilité pour ces granites de générer des fluides riches en cet élément. Rappelons que la fluorine est également une composante très fréquente de ces minéralisations.

Suite felsique de Kataht

La Suite felsique de Kataht est composée de porphyres à quartz-feldspath et de granites rapakivi (Machado *et al.*, 2003; Gobeil *et al.*, 2003). L'âge de la suite est compris entre 1510 et 1495 Ma, ce qui correspond à la phase principale de l'orogène pinwarienne (Gobeil *et al.*, 2003). Il s'agit vraisemblablement de roches intrusives de faible profondeur. La présence de clastes très similaires aux roches porphyriques de cette suite suggère que son âge est en partie contemporain du Groupe de Wakeham (Gobeil *et al.*, 2003). Cette suite montre une affinité d'arc magmatique calco-alcalin (Machado *et al.*, 2003), et serait associée à du volcanisme bimodal dans un environnement de type andin (Gobeil *et al.*, 2003). Elle n'est pas magnétique.

L'intérêt de cette suite dans le cadre de la recherche de minéralisations de type *IOCG* vient de son caractère hypabyssal. Ce caractère est favorable à la formation de larges complexes de brèches minéralisées polymétalliques riches en hématite, comme à Olympic Dam (Skirrow, 2004).

CARTOGRAPHIE PRÉVISIONNELLE D'INTRUSIONS MAFIQUES-ULTRAMAFIQUES NON RECONNUES

Les données radiométriques sont en général utilisées pour détecter les hauts radioactifs contenant de la minéralisation potentielle. Toutefois, la radiométrie peut également servir à la cartographie prévisionnelle. La cartographie prévisionnelle d'intrusions mafiques-ultramafiques non reconnues dans des secteurs peu cartographiés du Grenville pourrait mener à de nouveaux territoires propices à la découverte de minéralisations de Ni-Cu magmatiques.

Une intrusion mafique-ultramafique est en théorie un creux radiométrique, puisque ces roches contiennent des quantités faibles de tous les radioéléments (U, K, Th). Toutefois, les étendues d'eau et peut-être également des accumulations importantes de matière organique (p. ex. les marécages) forment également des creux sur la radiométrie. Ces « fausses anomalies » doivent d'abord être filtrées. Les données filtrées pourront ensuite être utilisées pour détecter des intrusions mafiques-ultramafiques potentielles.

Filtrage de la radiométrie

Identification des lacs et des marécages

La première étape pour filtrer la radiométrie est d'identifier les secteurs correspondant à des étendues d'eau et à des marécages. Une façon efficace de les identifier est d'utiliser les données topographiques publiques en format vectoriel. Ces données sont disponibles gratuitement sur l'Internet (www.geogratis.ca). Les polygones représentant les lacs des différents feuillets topographiques correspondant aux levés radiométriques ont été fusionnés pour former une couche unique, et le même exercice a été réalisé à partir des marécages.

Construction de zones tampons autour des lacs et des marécages

L'étape suivante est de construire des tampons autour des polygones représentant les lacs et marécages. Ce sont ces tampons qui serviront à filtrer la radiométrie. La construction de tampons autour est nécessaire pour deux raisons :

- 1 - Les creux radiométriques formés par les lacs et marécages sont détectés en avance par l'appareil de détection. Ceci est causé principalement par l'atténuation progressive du signal radiométrique dans l'air (figure 30). Par exemple, si on considère un vol à une altitude de 65 m, et qu'une réponse de 100 % correspond à l'intensité du signal radiométrique causé par une source ponctuelle directement sous l'appareil, alors pour une source située à une distance horizontale de 250 m, la réponse est de 10 %.
- 2 - Une incertitude de ± 150 mètres a été calculée sur la position des levés numérisés le long des lignes de vol (voir le rapport 2007-02, partie A). Les tampons doivent également tenir compte de cette incertitude pour s'assurer de ne pas avoir de fausses anomalies causées par des erreurs de positionnement.

Quelles tailles de tampons devraient être utilisés pour filtrer l'effet des étendues d'eau et des marécages sur la radiométrie? La taille optimale devrait être un compromis entre garder la plus grande couverture radiométrique possible tout en éliminant le mieux possible l'effet des cours d'eau et des marécages sur les données. La réponse radiométrique du compte total de la radiométrie a été extraite pour tous les points situés à moins de 250 mètres d'un lac et qui ne sont pas à moins de 250 mètres d'un marécage, ainsi que pour tous les points situés à moins de 250 mètres d'un marécage mais pas d'un lac. Pour chaque point, la distance au lac ou au marécage a été calculée. Ces calculs ont été effectués à partir de l'ensemble des points de mesure de la radiométrie disponibles (1,1 million de points).

La figure 31 montre les intervalles de confiance à 95 % sur la moyenne par tranche de 10 mètres de distance au lac le plus proche, pour les points situés à moins de 250 m. On peut constater que les intervalles de confiance se chevauchent pour des distances de 250 mètres à 150 mètres. Par la suite, on note une décroissance progressive de la réponse radiométrique, pour atteindre un minimum à une distance de zéro mètre (c.-à-d. au-dessus d'un lac). La valeur de 150 mètres a donc été choisie comme taille de tampon pour le filtrage de la radiométrie autour des lacs.

La décroissance de la réponse radiométrique à proximité des marécages est présentée à la figure 32. Dans ce cas, on peut remarquer que la valeur moyenne de la radiométrie à une distance

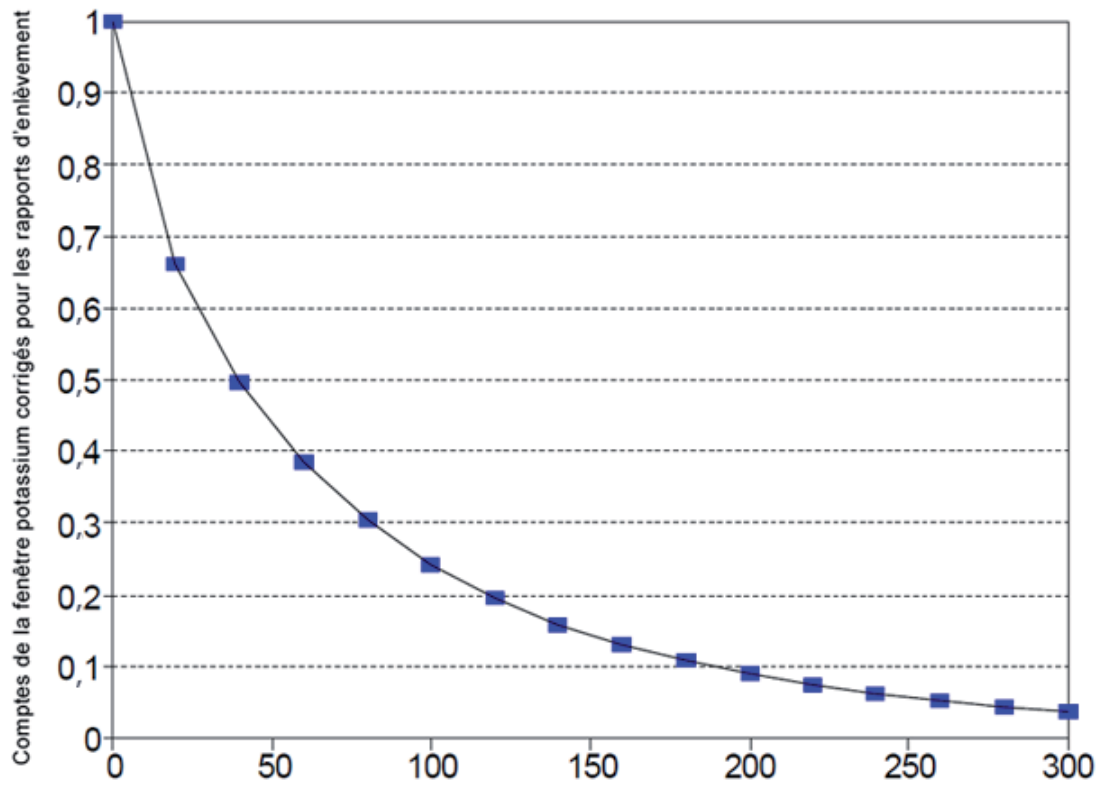


FIGURE 30 - Atténuation dans l'air du signal radiométrique du potassium avec l'altitude (ou distance à la source). Tiré de IAEA, 2003.

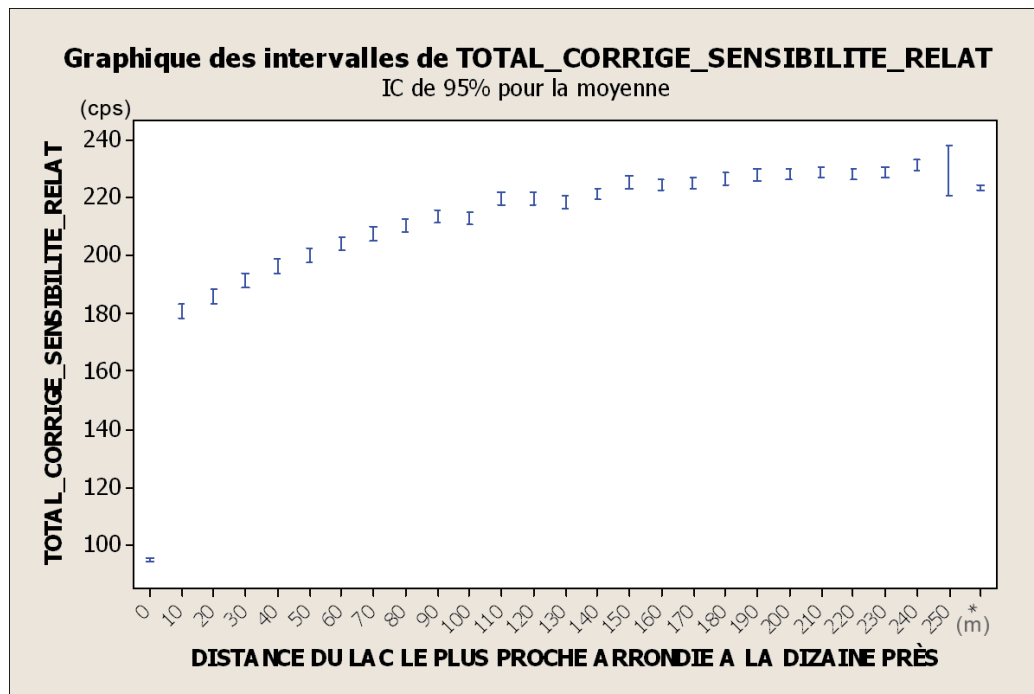


FIGURE 31 - Intervalles de confiance sur la moyenne du compte total de la radiométrie par tranches de distance de dix mètres au lac le plus proche ($n \approx 450\,000$ points).

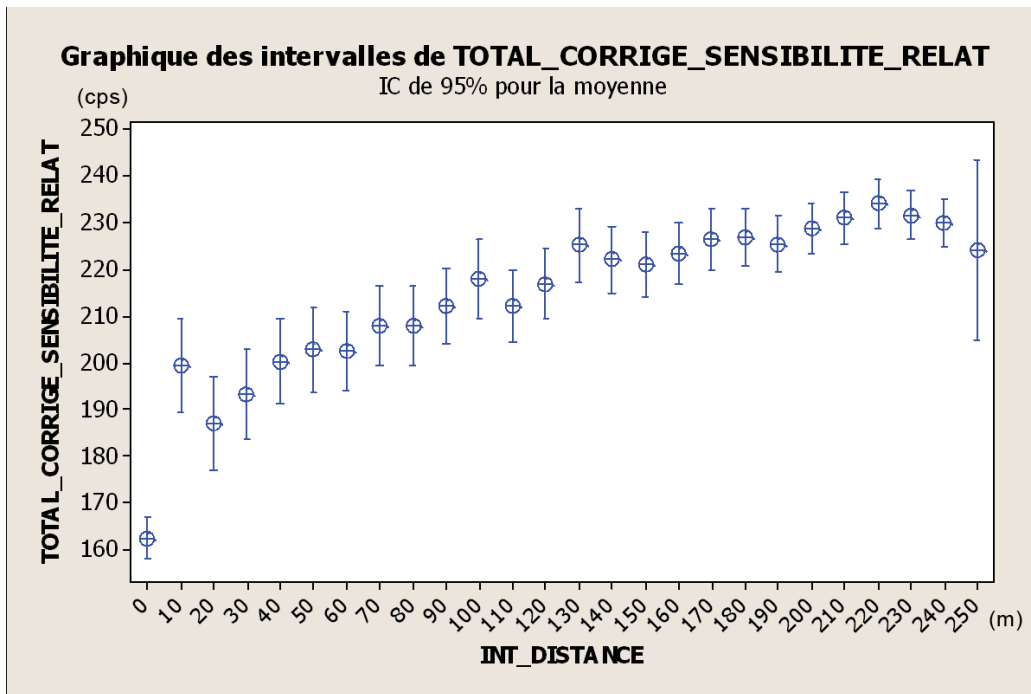


FIGURE 32 - Intervalles de confiance sur la moyenne du compte total de la radiométrie par tranches de distance de dix mètres au marécage le plus proche ($n \approx 49\ 000$ points).

de 0 (c.-à-d. sur le marécage) est plus élevée que dans le cas des lacs. En se basant sur la décroissance des valeurs moyennes en approchant des marécages, une distance de 130 mètres a été choisie pour filtrer leur effet sur la radiométrie.

Filtrage des points d'observation et construction de cartes matricielles filtrées

L'étape finale du filtrage de la radiométrie consiste à utiliser les zones tampons précédemment construites pour enlever tous les points de mesure de radiométrie se situant à moins de 150 mètres d'un lac ou à moins de 130 mètres d'un marécage. Des cartes matricielles de la radiométrie filtrée ont été construites à partir des points restants (figures 33 et 34).

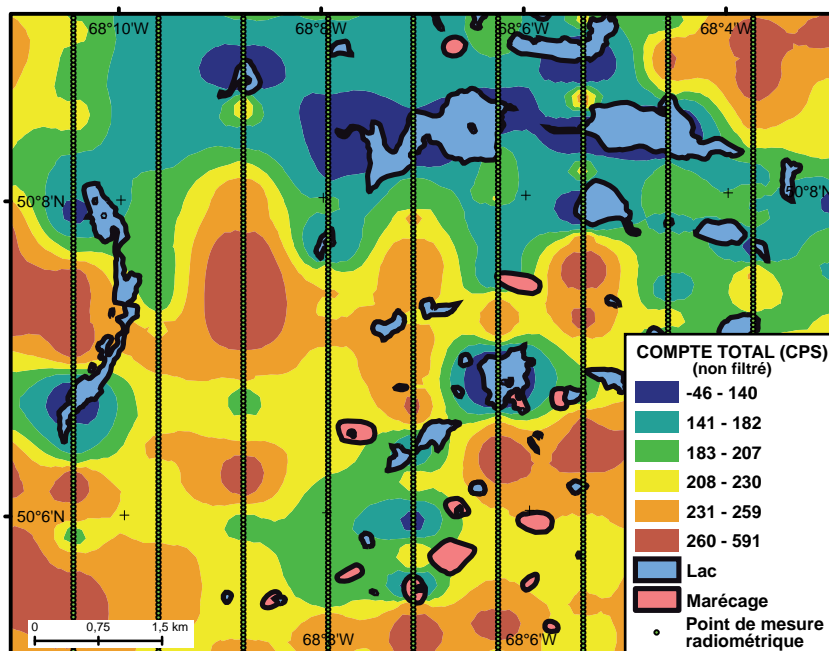


FIGURE 33 - Compte total de la radiométrie originale (non-filtrée), levé 22K01-ouest.

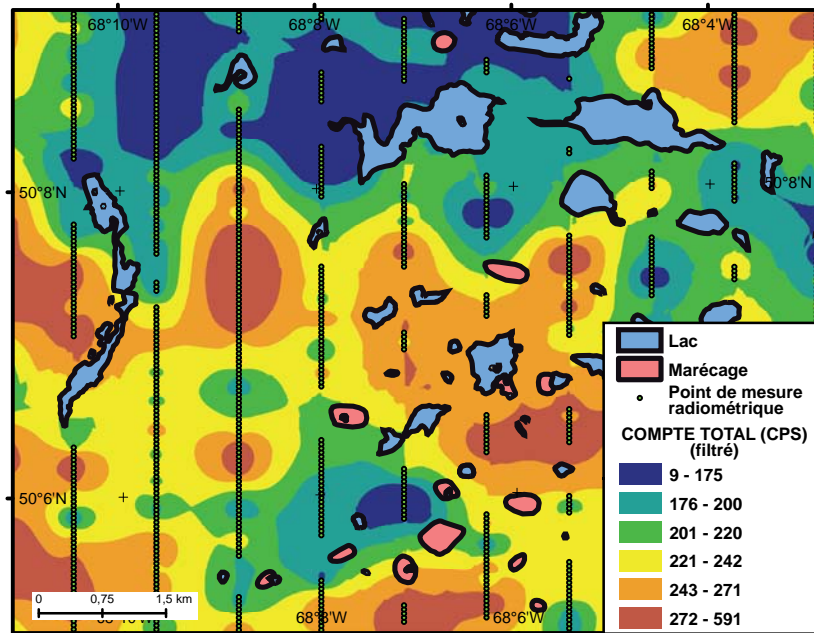


FIGURE 34 - Compte total de la radiométrie filtrée, levé 22K01-ouest.

Cartographie prévisionnelle par logique floue

Lithologies recherchées

Les intrusions mafiques ou ultramafiques qui sont les plus favorables aux minéralisations en Ni-Cu sont celles qui sont les moins différenciées, car le fractionnement de l'olivine dès le début de la cristallisation fractionnée réduit rapidement les concentrations en nickel des magmas résiduels. Ainsi, les phases mafiques plus différenciées telles que les anorthosites sont moins favorables. Par contre, les phases plus mafiques des complexes anorthositiques (gabbros à olivine, norites, troctolites, etc.) peuvent être intéressantes, comme c'est le cas au gisement de Voisey's Bay au Labrador, qui est encaissé dans une troctolite. Les intrusions franchement ultramafiques sont les plus favorables, ayant subi un minimum de fractionnement. La cartographie prévisionnelle devra donc cibler les lithologies suivantes par ordre décroissant de priorité, selon leur contenu en olivine et orthopyroxène typique :

- Roches ultramafiques;
- Troctolites, pyroxénites;
- Gabbros à olivine, norites, gabbro-norites;
- Gabbros.

Sélection des couches de données géoscientifiques et pondération par appartenance floue

Compte total de la radiométrie filtrée

Les creux radiométriques présents sur les cartes filtrées sont susceptibles de correspondre à des intrusions mafiques ou ultramafiques. Certains exemples de creux radiométriques correspondant à des intrusions mafiques déjà connues semblent montrer que les données radiométriques filtrées peuvent être utilisées pour distinguer les phases plus mafiques des complexes anorthositiques des anorthosites au sens strict (un exemple est présenté à la figure 35). Il est toutefois plus difficile de dire si on peut distinguer, grâce à la radiométrie, les intrusions ultramafiques des intrusions mafiques. En effet, il n'existe, dans tout le secteur couvert par la radiométrie, qu'une seule intrusion ultramafique cartographiée sur les cartes du SIGÉOM. Toutefois, on remarque un creux radiométrique très marqué sur cette intrusion (figure 36). L'étendue du creux radiométrique pourrait, dans ce cas, permettre de préciser l'étendue réelle des roches ultramafiques.

Une carte d'appartenance floue a été produite à partir du compte total de la radiométrie filtrée. Des valeurs de logique floue élevées ont été assignées aux creux radiométriques (figure 37).

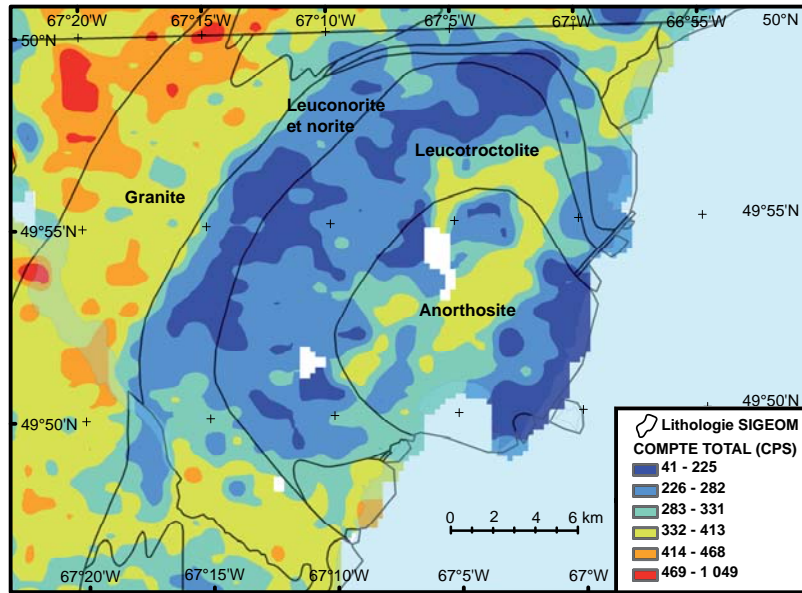


FIGURE 35 - Compte total de la radiométrie sur un complexe anorthositique. Les valeurs plus faibles de la radiométrie correspondent aux phases plus mafiques du complexe plutôt qu'aux anorthosites au sens strict.

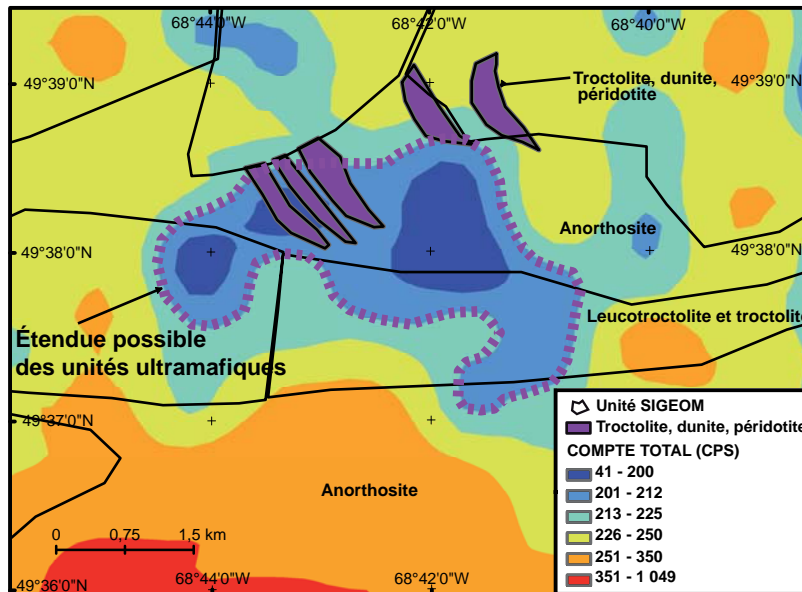


FIGURE 36 - Compte total de la radiométrie sur des roches ultramafiques faisant partie d'un complexe anorthositique (22F14).

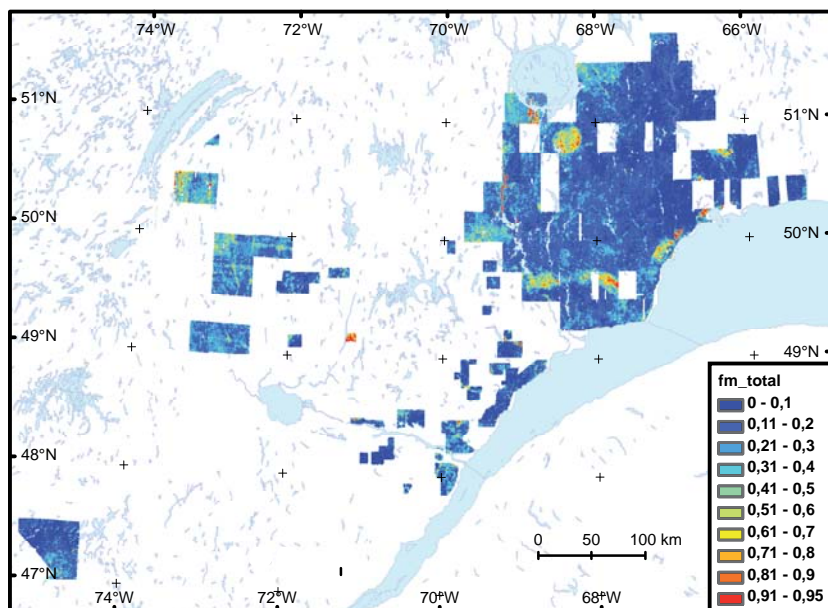


FIGURE 37 - Carte d'appartenance floue du compte total de la radiométrie pour la détection des intrusions mafiques-ultramafiques. « fm_total » est défini à l'annexe 1.

Première dérivée verticale du champ magnétique

Les roches mafiques non métamorphisées sont généralement plus magnétiques que les roches sédimentaires ou ignées felsiques non métamorphisées (voir Thomas *et al.*, 2000). Le magnétisme de ces roches mafiques fraîches peut être causé par de la magnétite magmatique, ou par la présence de pyrrhotite formée par l'assimilation de soufre de sédiments encaissants.

Avec le métamorphisme, de la magnétite additionnelle peut également apparaître de différentes façons dans les roches mafiques :

- Déstabilisation de l'olivine dans les troctolites, les gabbros à olivine, les péridotites par la réaction Olivine (Fe-Mg) + Eau → Serpentine + Brucite + Magnétite;
- Déstabilisation de l'orthopyroxène dans les norites, pyroxénites, etc.

La situation se complique malheureusement dans les secteurs où le métamorphisme est élevé tel que le Grenville. En effet, dans ces secteurs, de nombreuses lithologies sont magnétiques, notamment : mangérites, charnockites, certains granites, certaines monzonites, paragneiss. De plus, la magnétite formée dans une roche mafique peut être déstabilisée pour former un silicate ou un autre oxyde non magnétique. Dans de nombreux cas, ces lithologies sont nettement plus magnétiques que les roches mafiques. On peut donner comme exemple le cas du gisement de Voisey's Bay, dont la roche hôte est une intrusion troctolitique non métamorphisée se mettant en place dans un complexe de haut grade métamorphique similaire à ce que l'on peut trouver dans le Grenville (figure 38). Les données magnétiques de cet exemple montrent clairement que le gneiss enderbitique encaissant est nettement plus magnétique que la troctolite hôte. L'utilisation du champ magnétique n'est donc pas un critère sûr pour la détection des roches mafiques ou ultramafiques dans le contexte du Grenville. Les données aéromagnétiques seront tout de même utilisées dans un des deux modèles de cartographie prévisionnelle construits (voir la figure 39 pour la carte d'appartenance floue des données aéromagnétiques).

Nickel dans les sédiments de lac

Des teneurs élevées en nickel dans les sédiments de lac peuvent également indiquer des secteurs propices à trouver des roches mafiques ou ultramafiques. Les données utilisées sont les données nivelées par le CONSOREM (Trépanier, 2007) auxquelles ont été rajoutées les données du levé 2003 dans le secteur de Manicouagan. Ces dernières données ont été nivelées avec le reste des données. La carte d'appartenance floue du nickel dans les sédiments de lac est présentée à la figure 40.

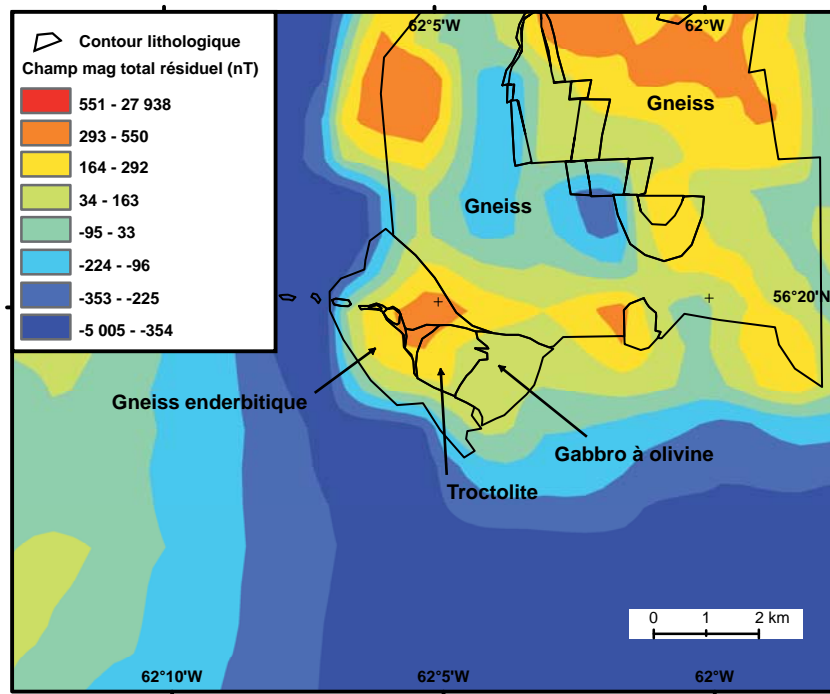


FIGURE 38 - Géologie et magnétisme dans le secteur de Voisey's Bay, au Labrador. Géologie de Li et Naldrett, 1999.

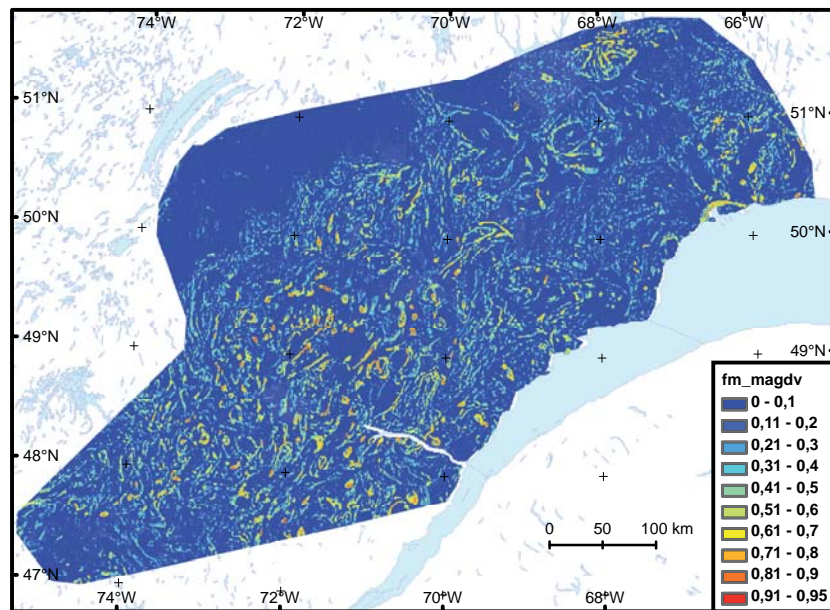


FIGURE 39 - Carte d'appartenance floue de la première dérivée verticale du champ magnétique pour la cartographie prévisionnelle des roches mafiques-ultramafiques. « fm_magdv » est défini à l'annexe 1.

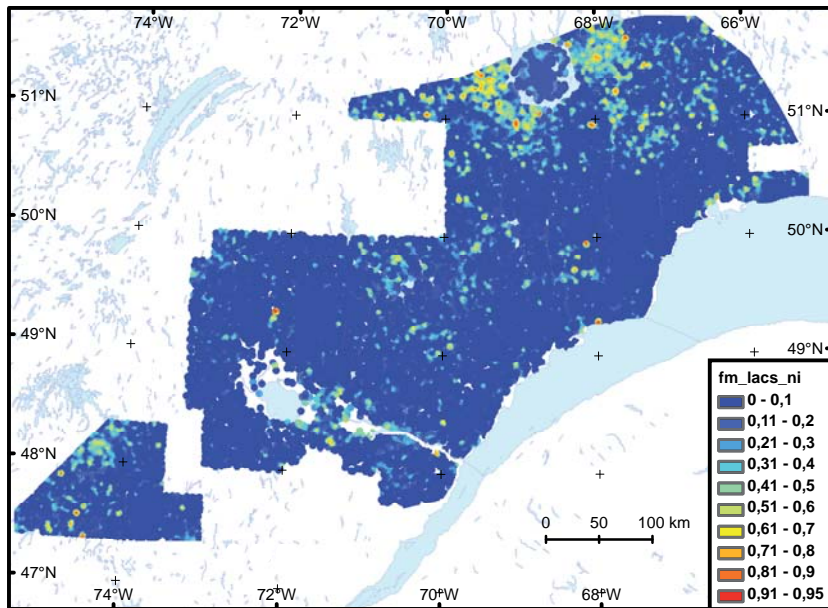


FIGURE 40 - Carte d'appartenance floue du nickel dans les sédiments de lacs pour la cartographie prévisionnelle des roches mafiques-ultramafiques. « fm_lacs_ni » est défini à l'annexe 1.

Modèle de cartographie prévisionnelle par logique floue

Deux modèles de cartographie prévisionnelle ont été construits. Le premier modèle comprend les données aéromagnétiques et le second, les exclut. Les deux modèles consistent en une combinaison simple des couches précédemment mentionnées par l'opérateur de logique floue GAMMA (figure 41). La cartographie prévisionnelle incluant les données magnétiques est présentée à la figure 42, alors que celle les excluant est présentée à la figure 43.

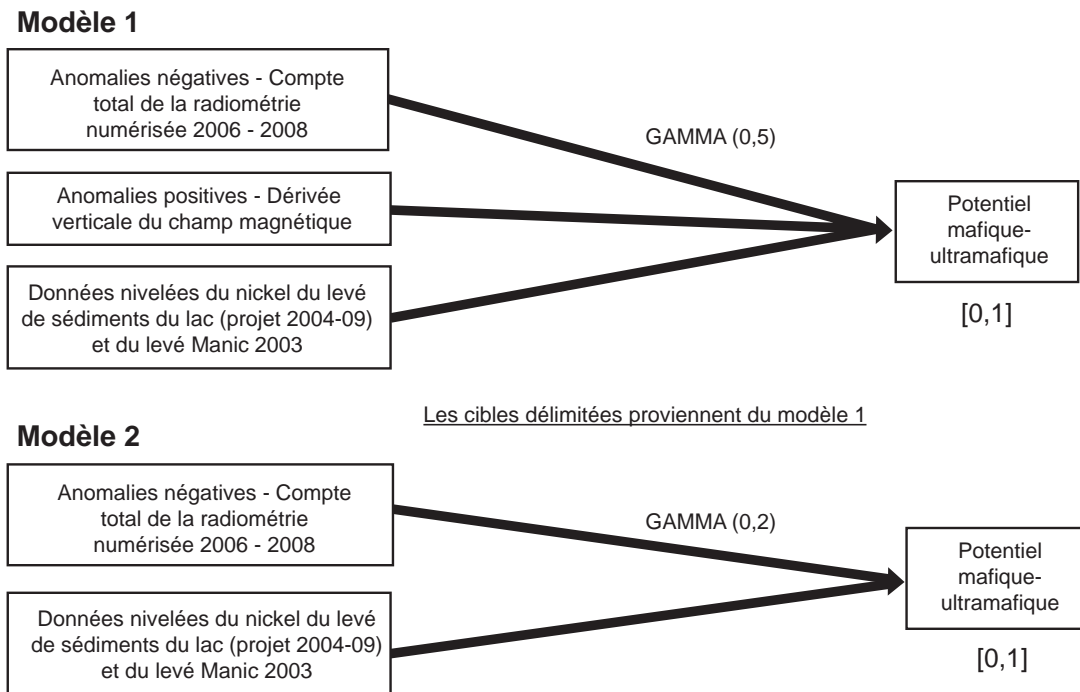


FIGURE 41 - Modèles de cartographie prévisionnelle par logique floue pour les roches mafiques et ultramafiques.

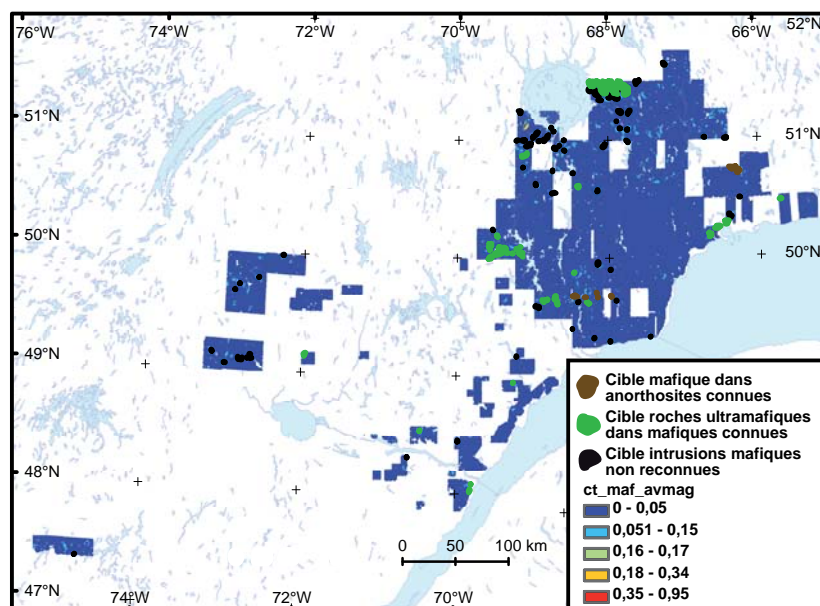


FIGURE 42 - Cartographie prévisionnelle pour les roches mafiques-ultramafiques, modèle incluant les données aéromagnétiques. « ct_maf_avmag » est défini à l'annexe 1.

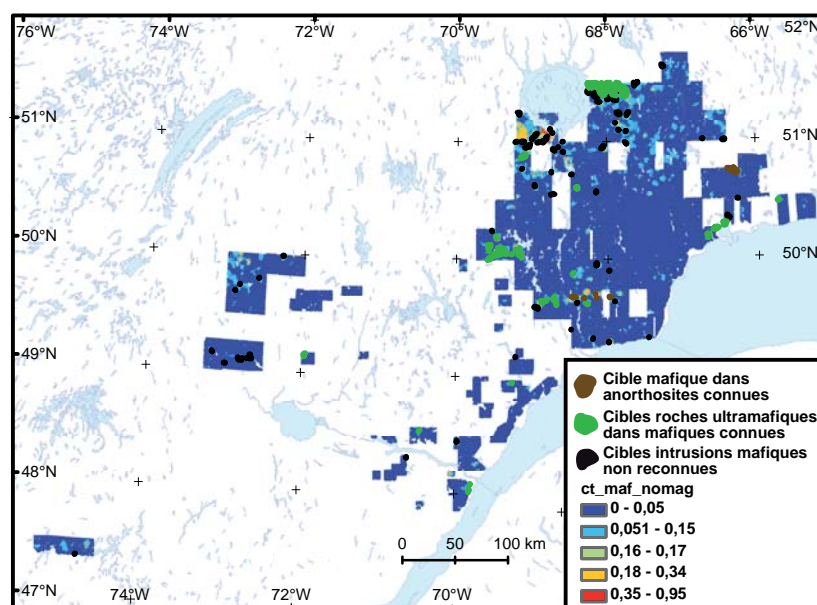


FIGURE 43 - Cartographie prévisionnelle pour les roches mafiques-ultramafiques, modèle excluant les données aéromagnétiques. « ct_maf_nomag » est défini à l'annexe 1.

Évaluation des cibles

Des cibles ont été délimitées à partir du modèle de potentiel qui inclut les données aéromagnétiques. Une valeur de 0,16 a été choisie comme seuil pour la délimitation des anomalies. Plusieurs paramètres communs aux différentes catégories de cibles ont été compilés (voir l'annexe 2 pour la liste des paramètres).

L'examen des différentes cibles et de leur contexte géologique connu a permis de les classer en quatre catégories distinctes. Le potentiel de chacune de ces catégories a été évalué de façon différente et une priorité binaire (1 ou 2) a été assignée à chaque cible selon son potentiel.

Cibles dans une intrusion mafique déjà connue (41 cibles)

Certaines cibles correspondent à des intrusions mafiques déjà connues. Le potentiel de ces cibles a alors été évalué en fonction de la possibilité d'y trouver des phases ultramafiques **non reconnues**. Une valeur de priorité a été assignée à chaque cible selon cette évaluation :
Priorité 1 : Forte probabilité de trouver des phases ultramafiques non reconnues;
Priorité 2 : Faible probabilité de trouver des phases ultramafiques non reconnues.

Cibles dans une intrusion d'anorthosite déjà connue (7 cibles)

D'autres cibles se retrouvent spatialement associées avec des anorthosites (au sens strict du terme). Ces cibles ont été évaluées pour la possibilité d'y retrouver des phases plus mafiques non reconnues :
Priorité 1 : Forte probabilité de retrouver des phases mafiques non reconnues dans l'anorthosite;
Priorité 2 : Faible probabilité de retrouver des phases mafiques non reconnues dans l'anorthosite.

« Fausses cibles » (3 cibles)

Certaines cibles sont expliquées par d'autres lithologies comme, par exemple, des formations de fer.

Cibles dans des secteurs où aucune intrusion mafique n'est connue (63 cibles)

Cette catégorie de cible est probablement la plus intéressante. La priorité de ces cibles a été évaluée selon la possibilité d'y retrouver des intrusions mafiques non reconnues :
Priorité 1 : Forte probabilité de retrouver une intrusion mafique non reconnue;
Priorité 2 : Faible probabilité de retrouver une intrusion mafique non reconnue.

CONCLUSIONS

La numérisation des levés radiométriques inédits de SOQUEM et l'intégration de cette information avec d'autres données publiques et privées ont permis de générer un nombre important de cibles d'exploration de qualité. Voici le résumé des cibles générées dans le cadre de ce projet :

- Uranium de type de Rössing (140 cibles au total) :
 - En 2006-2007 : 114 cibles;
 - En 2007-2008 : 26 cibles (20 de priorité 1 et 6 de priorité 2);
- Cuivre-or-uranium de type *IOCG* (76 cibles au total) :
 - 33 de priorité 1 et 43 de priorité 2;
 - Intrusions mafiques-ultramafiques (111 cibles au total) :
- Cibles dans des roches mafiques déjà connues : 41 cibles (4 de priorité 1, 34 de priorité 2 et 3 de priorité 3);
 - Cibles dans des anorthosites : 7 cibles (5 de priorité 1 et 2 de priorité 2);
 - Cibles où aucune roche mafique n'est connue : 63 cibles (30 de priorité 1 et 33 de priorité 2).

RÉFÉRENCES

- BONHAM-CARTER, G.F., 1994 – Geographic information systems for geoscientists: Modelling with GIS. Computer Methods in the Geosciences. Pergamon Press, Oxford, 398 pages.
- BUDD, R.S., 2006 – Hiltaba-GRV and I-type supersuites: relationship to *IOCG* and Au mineralization. Gawler *IOCG* Workshop, Adelaide, February 24th 2006.
- CLARK, T., 2003 – Métallogénie des métaux usuels et précieux, des éléments radioactifs et des éléments des terres rares, région de la moyenne Côte-Nord. *Dans* : Géologie et ressources minérales de la partie est de la Province de Grenville (Brisebois, D. et Clark, T., coordonnateurs). Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec; DV 2002-03, pages 270-325.

- COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA (CGC), 2005a – Section de la géophysique de rayonnement. Division du Centre du Canada. Secteur des sciences de la Terre. Ressources naturelles Canada. Base de données du Programme national de spectrométrie gamma.
- COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA (CGC), 2005b – Section de la géophysique régionale. Division du Centre du Canada, Secteur des sciences de la Terre. Ressources naturelles Canada. Base canadienne de données aéromagnétiques.
- CUNEY, M., 2005 – Notes du cours intensif présenté au congrès Québec Exploration 2005.
- DAVIDSON, A., 1998 – Geological map of the Grenville Province, Canada and adjacent parts of the United States of America. Geological Survey of Canada; Map 1947A, scale 1:2,000,000.
- EASTON, R.M. – BERMAN, R.G., 2004 – Geology, tectonometamorphic map of Ontario, Canada and parts of the United States of America. Geological Survey of Canada; Open File 1810, 1 map.
- GANDHI, S.S., 2003 – An overview of the Fe oxide-Cu-Au deposits and related deposit types. CIM Montreal 2003 Mining Industry Conference and Exhibition, Canadian Institute of Mining; Technical Paper, CD-ROM.
- GAUTHIER, M. – CHARTRAND, F. – CAYER, A. – DAVID, J., 2004 – The Kwijibo Cu-REE-U-Mo-F Property, Lower North Shore, Quebec: A polymetallic mesoproterozoic iron oxide deposit in the northeastern Grenville province. *Economic Geology*; volume 99, pages 1177-1196.
- GOBEIL, A. – BRISEBOIS, D. – CLARK, T. – VERPAELST, P. – MADORE, L. – WODICKA, N. – CHEVÉ, S., 2003 – Géologie de la Moyenne-Côte-Nord. *Dans* : Géologie et ressources minérales de la partie est de la Province de Grenville (Brisebois, D. et Clark, T., coordonnateurs). Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec; DV 2002-03, pages 9-57.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), 2003 – Guidelines for radioelement mapping using gamma-ray spectrometry data. Vienna; IAEA-TECDOC-1363, 173 pages.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), 2000 – Methods of exploitation of different types of uranium deposits. Vienna; IAEA-TECDOC-1174, 84 pages.
- LI, C. – NALDRETT, A.J., 1999 – Geology and petrology of the Voisey's Bay intrusion: reaction of olivine with sulfide and silicate liquids. *Lithos*; volume 47, pages 1-31.
- MACHADO, G. – HIGGINS, M.D. – VERPAELST, P., 2003 – Pétrologie et géochimie des suites felsiques de Kataht et d'Olomane, Domaine de Natashquan. *Dans* : Géologie et ressources minérales de la partie est de la province de Grenville (Brisebois, D. et Clark, T., coordonnateurs). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DV 2002-03, pages 231-245.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2004 – Données géochimiques d'échantillons de sédiments de lac. Système d'information géominière du Québec (SIGÉOM); www.mrnf.gouv.qc.ca/produits-services/mines.jsp (consulté le 1^{er} juillet 2004).
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2002 – Évaluation du potentiel minéral – Modèle Olympic Dam-Kiruna - Compilation de la Moyenne-Côte-Nord, SNRC 12K, 12L, 12M, 12N, 22I et 22P. *Dans* : Cartes préliminaires en couleur des travaux de cartographie et des études 2002-2003; DV 2002-11, carte numéro 26, 1/500 000.
- SKIRROW, R., 2004 – Iron oxide Cu-Au deposits: An Australian perspective on their unifying characteristics. *In*: *Dynamic Earth: Past, Present and Future* (McPhie, J. and McGoldrick, P., editors), Abstracts of the 17th Australian Geological Convention, Hobart, Tasmania. February 8 – 13. Geological Society of Australia; Abstracts N° 73, page 121.
- THOMAS, M.D. – WALKER, J.A. – KEATING, P. – SHIVES, R. – KISS, F. – GOODFELLOW, W.D., 2000 – Geophysical atlas of massive sulphide signatures, Bathurst Mining Camp, New Brunswick. Geological Survey of Canada; Open File 3887. New Brunswick Department of Natural Resources and Energy, Minerals and Energy Division; Open File 2000-4, 105 pages.

- TRÉPANIÉ, S., 2008 – Numérisation des données radiométriques de SOQUEM dans le Grenville. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; GM 64150, 39 pages.
- TRÉPANIÉ, S., 2007 – Identification de domaines géochimiques à partir des levés régionaux de sédiments de fond de lac. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; GM-62922, 95 pages.
- VOLKERT, R.A. – ZARTMAN, R.E. – MOORE, P.B., 2005 – U-Pb zircon geochronology of Mesoproterozoic postorogenic rocks and implications for post-Ottawan magmatism and metallogenesis, New Jersey Highlands and contiguous areas, USA. *Precambrian Research*; volume 139, pages 1-19.
- WILLIAMS, P. – BARTON, M.D. – JOHNSON, D.A. – FONTBOTÉ, K. – DE HALLER, A. – MARK, G. – OLIVER, H.S. – MARSCHIK, R., 2005 – Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin. *Economic Geology*; 100th Anniversary Volume, pages 371-405.

ANNEXE 1 : PARAMÈTRES DE CONSTRUCTION DES MODÈLES DE POTENTIEL MINÉRAL PAR LOGIQUE FLOUE

Modèle de potentiel minéral pour les minéralisations en uranium intragranitique

COUCHES D'APPARTENANCE FLOUE

Couches d'appartenance floue (*fuzzy membership*) du modèle de potentiel minéral du domaine public. Les valeurs de ces couches sont comprises entre 0 et 1. Ces couches sont générées par l'outil *Define fuzzy membership* du module *Fuzzy Logic* de l'extension ArcSDM 3.0, sur ArcMap 9.0. Les paramètres de génération de ces couches varient selon la couche.

PARAMÈTRES DE GÉNÉRATION DES COUCHES ET COMMENTAIRES

- FM_U_2007 : **Source** : Valeurs en uranium de la numérisation 2006-2007 et 2007-2008 pour les levés réalisés en 1975, 1976, 1978 et 1979 (couche total_1977)
Traitement : *Mean-Standard-Deviation Somewhat Large*, a = 1 b = 1
- FM_UTH_2007 : **Source** : Valeurs du ratio (uranium/thorium)* 10 de la numérisation 2006-2007 et 2007-2008 pour les levés réalisés en 1975- 1979 (couche total_1977)
Traitement : *Mean-Standard-Deviation Large*, a = 0,5 b = 0,1
- FM_LACSU : **Source** : Valeurs en uranium nivelées (projet CONSOREM 2004-09) dans les sédiments de lac, interpolées par la méthode *Inverse distance weighting* à l'aide de l'extension *Geostatistical analyst* de ArcMap 9.0.
Paramètres : Exposant = 2; Rayon de recherche = 10000 m, nombre de voisins maximal = 50.
Traitement : *Mean-Standard-Deviation Somewhat Large*, a = 1 b = 1
- FM_RUISSU : **Source** : Valeurs en uranium non nivelées dans les silts de sédiments de lac, interpolées par la méthode *Inverse distance weighting* à l'aide de l'extension *Geostatistical analyst* de ArcMap 9.0.
Paramètres : Exposant = 1; Rayon de recherche = 3000 m, nombre de voisins maximal = 50.
Traitement : *Mean-Standard-Deviation Somewhat Large*, a = 1 b = 1
- FM_IIG : **Source** : Distance aux granites de la carte géologique du Grenville 1957-A (CGC)
Traitement : *Mean-Standard-Deviation Very Small*, a = 0,02 b = 0,75
- FM_MGM : **Source** : Distance aux migmatites de la carte géologique du Grenville 1957-A (CGC)
Traitement : *Mean-Standard-Deviation Very Small*, a = 0,02 b = 0,75
- FM_MONZ : **Source** : Distance aux syénites, monzonites de la carte géologique du Grenville 1957-A (CGC)
Traitement : *Mean-Standard-Deviation Very Small*, a = 0,02 b = 0,75
- FM_SEDM : **Source** : Distance aux marbres, paragneiss, métasédiments de la carte géologique du Grenville 1957-A (CGC)
Traitement : *Mean-Standard-Deviation Very Small*, a = 0,02 b = 0,75
- FM_META : **Source** : Carte métamorphique du Grenville du Québec préliminaire (CGC), et Geology, Tectonometamorphic map of Ontario, Canada, and parts of the United States of America. GSC, Open File 1810.
Traitement : Valeur de 0,9 appliquée aux zones métamorphiques de faciès amphibolite (métamorphisme dominant ou secondaire).
Valeur de 0,1 appliquée à toutes les autres zones métamorphiques et lithologiques.

FMU_BCN :	Source : Valeurs en uranium (cps) de la radiométrie de SOQUEM sur la Basse-Côte-Nord Traitement : Mean-Standard-Deviation Somewhat Large, a = 1 b = 1
FMU_TH_BCN :	Source : Valeurs du ratio uranium/thorium de la radiométrie de SOQUEM sur la Basse-Côte-Nord Traitement : Mean-Standard-Deviation Somewhat Large, a = 1 b = 1
FMeU_CGC_KIP :	Source : Valeurs en uranium (ppm) d'une mosaïque des levés publics de la CGC et du levé privé de Mines Aurizon dans le secteur de Kipawa Traitement : Mean-Standard-Deviation Somewhat Large, a = 1 b = 1
FM_eU_eTh :	Source : Valeurs du ratio uranium (ppm)/thorium (ppm) d'une mosaïque des levés publics de la CGC et du levé privé de Mines Aurizon dans le secteur de Kipawa Traitement : Mean-Standard-Deviation Large, a = 1 b = 1

COUCHES DE COMBINAISONS FLOUES

Couches résultant des combinaisons des différentes couches du dossier FUZZY_MEMB_LAYERS pour obtenir l'évaluation du potentiel minéral.

PARAMÈTRES DE GÉNÉRATION DES COUCHES ET COMMENTAIRES

FLGA_UTH_2007 :	Source : FM_U_2007 et FM_UTH_2007 Traitement : Opérateur de logique floue GAMMA (0,2)
FLOR_GRAN :	Source : FM_IIG, FM_MONZ, FM_SEMD Traitement : Opérateur de logique floue OU.
FLGA_LITH :	Source : FLOR_GRAN, FM_SEDM, FM_META Traitement : Opérateur de logique floue GAMMA (0,3)
FLGEUETH :	Source : FMeU_CGC_KIP et FM_eU_eTh Traitement : Opérateur de logique floue GAMMA (0,2)
FLG_UTH_BCN :	Source : FMU_BCN et FMU_TH_BCN. Traitement : Opérateur de logique floue GAMMA (0,2)
FL_UTOT_GC :	Source : FM_LACSU, FM_RUISSU Traitement : Fusion des cartes matricielles en utilisant l'outil <i>Mosaic to new raster</i> de ArcGIS 9.0 avec l'option MOSAIC METHOD = LAST. Géochimie seulement. La fusion se fait dans l'ordre de priorité suivant (priorité plus grande vers plus basse) : FM_LACSU, FM_RUISSU
FL_UTOT_RAD :	Source : FLGA_UTH_2007, **FLGEUETH2 et **FLGUTH_BCN Traitement : Fusion des cartes matricielles en utilisant l'outil <i>Mosaic to new raster</i> de ArcGIS 9.0 avec l'option MOSAIC METHOD = LAST. Radiométrie seulement. La fusion se fait dans l'ordre de priorité suivant (priorité plus grande vers plus basse) : FLGA_UTH_2007,**FLGUTH_BCN,**FLGEUETH2
FLGA_POT_RAD :	Source : FL_UTOT_RAD_AVGC et FLGALITH (potentiel_uranium_radiométrie.TIF) Traitement : Opérateur de logique floue GAMMA (0,5). POTENTIEL MINERAL FINAL POUR URANIUM DE TYPE ROSSING AVEC LA RADIOMETRIE UNIQUEMENT.
FLGA_POT_GC :	Source : FL_UTOT_NOGC et FLGALITH (potentiel_uranium_geochimie.TIF) Traitement : Opérateur de logique floue GAMMA (0,5). POTENTIEL MINERAL FINAL POUR URANIUM DE TYPE ROSSING AVEC LA GÉOCHIMIE SEULEMENT.

Modèle de potentiel minéral pour les gisements de Cu-Au-oxydes de fer (IOCG)

COUCHES D'APPARTENANCE FLOUE

Couches d'appartenance floue (*fuzzy membership*) du modèle de potentiel minéral du domaine public. Les valeurs de ces couches sont comprises entre 0 et 1. Ces couches sont générées par l'outil *Define fuzzy membership* du module *Fuzzy Logic* de l'extension ArcSDM 3.0, sur ArcMap 9.0. Les paramètres de génération de ces couches varient selon la couche.

PARAMÈTRES DE GÉNÉRATION DES COUCHES ET COMMENTAIRES

FM_MAGDV :	Source : Valeurs de la première dérivé verticale du champ magnétique. Données provenant de l'Entrepôt de données géoscientifiques Traitement : <i>Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large</i> , a = 1 b = 1
FM_TOTAL_BCN :	Source : Valeurs de K + U + Th pour les levés de la Basse-Côte-Nord de SOQUEM. Traitement : (1) Calcul des <i>ZScores</i> pour U, Th et K respectivement. <i>ZScore</i> représente une pondération égale à (Valeur - Moyenne du levé)/Écart-Type du levé. (2) Sommation des <i>ZScores</i> de U, Th et K pour obtenir un <i>ZScore</i> total. (3) <i>Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large</i> , a = 1 b = 1 sur le <i>ZScore</i> total (2).
FM_TOT_CGCKIP :	Source : Valeurs du taux d'exposition naturel (nGy/h), d'une mosaïque des levés publics de la CGC et levé privé de Kipawa de Mines Aurizon. Traitement : <i>Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large</i> , a = 1,15 b = 1
FM_TOTAL_2007 :	Source : Compte total de la radiométrie (cps), numérisation 2006-2007 et 2007-2008 pour les levés réalisés en 1975, 1976, 1978 et 1979 (couche total_2007) Traitement : <i>Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large</i> , a = 1 b = 1
FM_LACS_CU :	Source : Données du cuivre de la géochimie des sédiments de lac nivelées lors du projet CONSOREM 2004-09, avec les données du levé de Manicouagan de 2003 ajoutées et nivelées au reste. Traitement : (1) Interpolation du cuivre par <i>Radial Basis function, completely regularized spline</i> par l'extension <i>Geostatistical Analyst</i> de ArcMap 9.0. Rayon de recherche : 10 km. Poids : 0,038 (optimisé). (2) Calcul d'une moyenne régionale en utilisant l'outil <i>Focal Statistics</i> de ArcMap 9.0, avec un rayon de 50 km. (3) Calcul de l'écart-type régional en utilisant l'outil <i>Focal Statistics</i> de ArcMap 9.0, avec un rayon de 50 km. (4) Calcul d'un <i>ZScore</i> pour le cuivre par ((1) - (2))/(3) (les chiffres représentent le résultat de calcul de l'étape 1, 2 ou 3). (5) <i>Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large</i> , a = 1.15 b = 1 sur (4)
FM_LACS_U :	Source : Données de l'uranium de la géochimie des sédiments de lac nivelées lors du projet CONSOREM 2004-09, avec les données du levé de Manicouagan de 2003 ajoutées et nivelées au reste. Traitement : (1) Interpolation de l'uranium par <i>Radial Basis function, completely regularized spline</i> par l'extension <i>Geostatistical Analyst</i> de ArcMap 9.0. Rayon de recherche : 10 km. Poids : 8,1(optimisé). (2) <i>Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large</i> , a = 1,15 b = 1 sur (1)

FM_RUISS_U : **Source** : Données de l'uranium des silts des sédiments de ruisseau, non nivelées.
Traitement : (1) Interpolation de l'uranium par *Radial basis function*, par l'extension *Geostatistical Analyst* de ArcMap 9.0. Rayon de recherche : 10 km. Poids : 8 (optimisé). Rayon : 4000 m.
(2) *Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large*, a = 1,5 b = 2

FM_RUISS_CU : **Source** : Données du cuivre des silts des sédiments de ruisseau, nivelées.
Traitement : (1) Interpolation du cuivre par *Inverse distance weighting*, par l'extension *Geostatistical Analyst* de ArcMap 9.0. Puissance : 2,0, rayon : 3500 m.
(2) *Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large*, a = 1,5 b = 2

COUCHES DE COMBINAISONS FLOUES

Couches résultant des combinaisons des différentes couches du dossier FUZZY_MEMB_LAYERS pour obtenir l'évaluation du potentiel minéral.

PARAMÈTRES DE GÉNÉRATION DES COUCHES ET COMMENTAIRES

FM_TOTAL : **Source** : FM_TOTAL_2007, FM_TOTAL_BCN, FM_TOT_CGCKIP
Traitement : Mosaïque des couches précédentes utilisant l'outil *Mosaic to new raster* de ArcMap 9.0, avec l'option *Last*.
Ordre de priorité des couches : FM_TOTAL_2007, FM_TOTAL_BCN, FM_TOT_CGCKIP

FM_GEOCHEM_CU : **Source** : FM_LACS_CU, FM_RUISS_CU
Traitement : Mosaïque des couches précédentes de cuivre utilisant l'outil *Mosaic to new raster* de ArcMap 9.0, avec l'option *Last*.
Ordre de priorité des couches : FM_LACS_CU, FM_RUISS_CU

FM_GEOCHEM_U : **Source** : FM_LACS_U, FM_RUISS_U
Traitement : Mosaïque des couches précédentes d'uranium utilisant l'outil *Mosaic to new raster* de ArcMap 9.0, avec l'option *Last*.
Ordre de priorité des couches : FM_LACS_U, FM_RUISS_CU

POTENT_IOCG : **Source** : FM_MAGDV, FM_TOTAL, FM_GEOCHEM_U, FM_GEOCHEM_CU,
Traitement : Opérateur Fuzzy Gamma (0,7). POTENTIEL MINERAL POUR LES GISEMENTS CU-AU-U DE TYPE IOCG

Modèle de cartographie prévisionnelle pour les intrusions mafiques-ultramafiques

COUCHES D'APPARTENANCE FLOUE

Couches d'appartenance floue (*fuzzy membership*) du modèle de potentiel minéral du domaine public. Les valeurs de ces couches sont comprises entre 0 et 1. Ces couches sont générées par l'outil *Define fuzzy membership* du module *Fuzzy Logic* de l'extension ArcSDM 3.0, sur ArcMap 9.0. Les paramètres de génération de ces couches varient selon la couche.

PARAMÈTRES DE GÉNÉRATION DES COUCHES ET COMMENTAIRES

FM_MAGDV : **Source** : Valeurs de la première dérivé verticale du champ magnétique. Données provenant de l'Entrepôt de données géoscientifiques
Traitement : *Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large*, a = 1 b = 1,5.

FM_TOTAL : **Source :** Compte total de la radiométrie (cps), numérisation 2006-2007 et 2007-2008 pour les levés réalisés en 1975, 1976, 1978 et 1979 (couche total_2007)
Traitement : *Fuzzy Mean-Standard-Deviation VerySmall*, a = 0,5 b = 1,3

FM_LACS_NI : **Source :** Données du nickel de la géochimie des sédiments de lac nivelées lors du projet CONSOREM 2004-09, avec les données du levé de Manicouagan de 2003 ajoutées et nivelées au reste.

Traitement : (1) Interpolation du nickel par *Radial Basis function, completely regularized spline* par l'extension *Geostatistical Analyst* de ArcMap 9.0.
Rayon de recherche : 10km. Poids : 0,038 (optimisé).
(2) *Fuzzy Mean-Standard-Deviation Large*, a = 1 b = 1 sur (2)

COUCHES DE COMBINAISONS FLOUES

Couches résultant des combinaisons des différentes couches du dossier FUZZY_MEMB_LAYERS pour obtenir l'évaluation du potentiel minéral.

CT_MAF_AVMAG : **Source :** FM_MAGDV, FM_TOTAL, FM_LACS_NI
Traitement : Opérateur Fuzzy Gamma (0,5). CARTOGRAPHIE PREVISIONNELLE POUR LES INTRUSIONS MAFIQUES - ULTRAMAFIQUES AVEC LE MAG (MODÈLE 1)

CT_MAF_NOMAG : **Source :** FM_TOTAL, FM_LACS_NI ,
Traitement : Opérateur Fuzzy Gamma (0,2). CARTOGRAPHIE PREVISIONNELLE POUR LES INTRUSIONS MAFIQUES-ULTRAMAFIQUES SANS LE MAG (MODÈLE 2)

ANNEXE 2 : LISTE DES CRITÈRES COMPILÉS POUR LES CIBLES DES MODÈLES DE POTENTIEL MINÉRAL

Modèle de potentiel pour l'uranium intragranitique

- U_FUZZY : Valeur de la carte d'appartenance floue de l'uranium dérivé de la radiométrie sur l'endroit de la cible où le potentiel minéral est maximal;
- U_TH_FUZZY : Valeur de la carte d'appartenance floue du ratio uranium/thorium dérivé de la radiométrie sur l'endroit de la cible où le potentiel minéral est maximal;
- U_COMMENT : Commentaire sur l'anomalie radiométrique présent sur la cible. Orientation, intensité, relation entre U et U/Th...;
- LITHO_FUZ : Valeur de logique floue de favorabilité de l'environnement lithologique, sur l'endroit de la cible où le potentiel minéral est maximal;
- LITHO_CART : Commentaire sur l'environnement lithologique à partir des cartes détaillées du SIGÉOM et des affleurements de compilation;
- POT_ROSSING : Valeur de logique floue du potentiel minéral, sur l'endroit de la cible où le potentiel minéral est maximal;
- COMM_GENER : Commentaire général sur la favorabilité de cette cible suite à l'évaluation des informations précédentes;
- PRIORITE : Priorité assignée à cette cible, en fonction de l'évaluation des critères précédemment énoncés. 1 = Plus forte priorité (29 cibles sur 50). 2 = Plus faible priorité (21 cibles sur 50).

Modèle de potentiel pour les gisements de Cu-Au-oxydes de fer (IOCG)

- U_FUZZY : Valeur de la carte d'appartenance floue de l'uranium dérivée de la géochimie sur l'endroit de la cible où le potentiel minéral est maximal;
- CU_FUZZY : Valeur de la carte d'appartenance floue du cuivre dérivée de la géochimie sur l'endroit de la cible où le potentiel minéral est maximal;
- RADIO_FUZZ : Valeur de la carte d'appartenance floue du compte total de la radiométrie sur l'endroit de la cible où le potentiel minéral est maximal;
- MAG_FUZZY : Valeur de la carte d'appartenance floue de la première dérivée verticale du champ magnétique sur l'endroit de la cible où le potentiel minéral est maximal;
- POT_IOCG : Potentiel minéral pour les IOCG;
- COMM_CU_GE : Commentaire sur l'anomalie en cuivre dérivé de la géochimie;
- COMM_U_GE : Commentaire sur l'anomalie en uranium dérivé de la géochimie;
- COMM_RADIO : Commentaire sur l'anomalie radiométrique.
- COMM_MAG : Commentaire sur l'anomalie magnétique.
- ANOM_CU_RE : Commentaire sur les anomalies en cuivre par régression spatiale pour les gisements IOCG (voir projet CONSOREM 2005-03)
- LITHOLOGIE : Lithologie de la carte détaillée (SIGÉOM ou CGC selon le cas) et des affleurements de compilation.
- COMMENTAIRE : Commentaire général sur la favorabilité de la cible selon la coïncidence des critères précédents.
- PRIORITE : Priorité assignée à cette cible, en fonction de l'évaluation des critères précédemment énoncés. 1 : +Forte priorité (X) (33 cibles sur 76). 2 : +Faible priorité (X) (43 sur 76).

Cartographie prévisionnelle pour les roches mafiques et ultramafiques (s'applique aux 4 types de cibles)

- LAC_NI_FUZ : Valeur de la carte d'appartenance floue du nickel dans les sédiments de lac à l'endroit de la cible où la valeur de potentiel est la plus élevée;
- RADIO_TOTA : Valeur de la carte d'appartenance floue du compte total de la radiométrie à l'endroit de la cible où la valeur de potentiel est la plus élevée;
- MAG_DV : Valeur de la carte d'appartenance floue de la première dérivée verticale du champ magnétique à l'endroit de la cible où la valeur de potentiel est la plus élevée;

- LITHOLOGIE : Lithologie telle qu'indiquée par la carte la plus détaillée disponible (SIGÉOM ou CGC selon le cas) ainsi que sur les affleurements de compilation;
- COMMENTAIR : Commentaire général sur la favorabilité de cette cible, selon sa catégorie;
- COMM_LACS : Commentaire sur l'anomalie en nickel dans les sédiments de lac. Les teneurs en Cu et en Cr (si disponible) sont également notées et considérées pour l'évaluation finale de la cible;
- COMM_RADIO : Commentaire sur le creux radiométrique associé à la cible;
- COMM_MAG : Commentaire sur le haut magnétique associé à la cible;
- POTENTIEL : Valeur maximale du modèle de cartographie prévisionnelle sur la cible.
- PRIORITE : Priorité assignée à cette cible, en fonction de l'évaluation des critères précédemment énoncés et de la catégorie de la cible.

*Ressources naturelles
et Faune*

Québec 