
Nouveaux modèles d'exploration dans le Grenville : Opportunités de gisements de type skarn

PROJET 2007-08

PAR : HUGUES LONGUÉE

MAI 2008



AVERTISSEMENT

Ce document présente certains résultats des travaux de recherche du CONSOREM (Consortium de Recherche en Exploration minérale) rendus publics pour le bénéfice de l'ensemble de la communauté géologique, ceci après la période de confidentialité prévue aux règlements généraux du CONSOREM.

Bien que ce document ait subi un processus d'évaluation interne, des erreurs ou omissions peuvent s'y retrouver et seul CONSOREM en assume la responsabilité.

Le contenu du document demeure la propriété de son auteur et du CONSOREM et peut être reproduit en totalité ou en partie à des fins non- commerciales en citant la référence suivante :

Longuépée, H. 2008. Nouveaux modèles d'exploration dans le Grenville : Opportunités de gisements de type skarn. Rapport du projet CONSOREM 2007-08, 23 pages.

Toutefois, la reproduction multiple de ce document, en tout ou en partie, pour diffusion à des fins commerciales est interdite, sauf avec la permission écrite de CONSOREM.

CONSOREM

Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi, QC, G7H 2B1

Tél. : (418) 545-5011 poste 5634

Courriel : consorem@uqac.ca
Site Web: www.consorem.ca

RÉSUMÉ

Ce projet a pour but d'évaluer le potentiel de la Province de Grenville pour les minéralisations de type skarn. Une approche préliminaire basée sur les connaissances a donc été développée. À partir des cartes géologiques existantes du SIGEOM, les zones où l'on retrouve les combinaisons favorables de roches intrusives et de roches réactives ont été relevées. À l'échelle du Grenville, une carte de favorabilité a été produite à partir des critères suivant : proximité de roches réactives, géochimie favorable des intrusions, présence reconnue de skarns ou minéraux indicateurs et proximité de graphite. Un coefficient de favorabilité a été généré pour les skarns à partir de la présence de lithologies favorables et de différents critères (ex. : Au, Cu, Mo, W et/ou Zn dans l'environnement secondaire).

Les deux grandes zones montrant un potentiel sont le terrane de Wakeham sur la Côte-Nord et la ceinture métasédimentaire centrale dans le sud-ouest du Québec. Une étude plus détaillée de cette dernière a été réalisée pour deux secteurs de plus petites superficies soient ceux de Mont-Laurier et de Fort-Coulonge (Gatineau). Le secteur de Mont-Laurier montre un potentiel intéressant pour les skarns cuprifères. La zone qui montre la meilleure combinaison entre les éléments potentiellement reliés aux skarns et le contexte géologique est la partie nord-ouest de la Suite supracrustale de l'Ascension. Le secteur de Fort-Coulonge contient plusieurs anomalies de métaux dans les sédiments de ruisseaux qui se superposent à des zones avec un potentiel pour les skarns. Comme pour le secteur de Mont-Laurier, il s'agit surtout d'un potentiel pour les skarns cuprifères avec potentiellement des teneurs en molybdène et zinc. Pour chacun des secteurs, des cibles d'exploration commentées ont été proposées (56 au total).

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT	i
RÉSUMÉ.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
1 Introduction	1
1.1 Problématique générale.....	1
1.2 Objectifs.....	1
1.3 Méthodologie	1
2 Les gîtes de type skarn.....	2
2.1 Variabilité dans un système de type skarn.....	2
2.1.1 Évolution temporelle et spatiale.....	2
2.1.2 Profondeur de formation.....	4
2.1.3 Minéralogie des skarns.....	5
2.2 Pétrogenèse des plutons dans les systèmes de type skarn	5
2.3 Environnement tectonique.....	7
2.4 Halo géochimique.....	8
2.5 Signature géophysique.....	9
3 Effet du métamorphisme.....	9
3.1 Métamorphisme pré-minéralisation	10
3.2 Métamorphisme post-minéralisation.....	10
4 Approche préconisée et méthodologie	10
4.1 Identification des lithologies favorables.....	10
4.1.1 Intrusions.....	10
4.1.2 Roches réactives.....	11
4.2 Zones de contacts	11
4.3 Carte du coefficient skarn	11
4.4 Rehaussement du coefficient skarn.....	13
4.4.1 Roches métasomatiques.....	13
4.4.2 Minéraux indicateurs	13
4.4.3 Graphite.....	13
4.5 Anomalies en métaux	14
5 Territoire à l'étude	14
6 Résultats	14
6.1 Province de Grenville.....	14
6.2 Secteur Mont-Laurier	17
6.3 Secteur Gatineau (Fort-Coulonge)	18
7 Conclusions et recommandations.....	20
Références.....	21
Annexe A – Légende de la figure 10.....	23

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Stades de formation d'un skarn associé à un pluton.	3
Figure 2.	Représentation schématique de la morphologie d'un skarn.	4
Figure 3.	Quelques exemples de graphiques montrant les variations du type de skarn en fonction de la composition du pluton associé.	6
Figure 4.	État d'oxydation (A) et saturation en aluminium (B) des plutons associés à différents types de skarn.	7
Figure 5.	Diagrammes de corrélation Rb vs Sc (A) et V vs Ni (B) pour les plutons associés aux principaux types de skarn.	7
Figure 6.	Environnements tectoniques favorables pour les principaux types de skarns définis par le contenu en éléments traces.	8
Figure 7.	Représentation schématique des environnements tectoniques auxquels sont associés les gîtes de type skarn.	8
Figure 8.	Représentation schématique d'une région (hexagone à la jonction des trois zones tampons) où il y a superposition de 2 zones tampons de roches réactives sur la zone tampon d'une roche intrusive.	12
Figure 9.	Carte du coefficient skarn pour la Province de Grenville.	16
Figure 10.	Cibles pour les minéralisations de type skarn dans la région de Mont-Laurier.	18
Figure 11.	Cibles, tous métaux confondus, pour les minéralisations de type skarn dans le secteur Gatineau (Fort-Coulonge).	19

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Faciès et lithologies formés lors du processus de skarnification et relations spatiales et temporelles avec le pluton associé.	3
Tableau 2.	Concentrations en métaux considérées anormales dans les skarns.	9
Tableau 3.	Suites métalliques pour les différents types de skarns.	9
Tableau 4.	Liste des coefficients intrusifs et réactifs basés sur la compilation de Meinert et al., (2005).	12
Tableau 5.	Coefficients utilisés pour l'évaluation du potentiel skarn de la province de Grenville.	14

1 INTRODUCTION

1.1 Problématique générale

La Province de Grenville constitue un ensemble complexe de roches hautement métamorphisées et d'intrusions de haute température (anorthosite, mangérite, etc.) qui s'étend sur plus de 600 000 km² au Québec seulement (Hocq, 1994). À cause de cette complexité et parce qu'on y a trouvé que peu de minéralisations exploitables en métaux de base et d'or, cette province géologique a fait l'objet de relativement peu de travaux d'exploration. Pourtant, son potentiel pour plusieurs types de minéralisation peut être considéré comme significatif, mais il est nécessaire d'avoir des outils ou des modèles d'exploration adaptés à ce type d'environnement géologique. Les minéralisations de type skarn sont donc abordées ici parce qu'elles ont été reconnues ou suspectées pour plusieurs indices de minéralisation dans le Grenville.

La majorité des gîtes de type skarn dans le monde sont associés à des plutons phanérozoïques mis en place à faible profondeur dans des roches sédimentaires non métamorphisées (Meinert et al., 2005). Toutefois, il existe des skarns associés à du plutonisme et du métamorphisme de haute pression et haute température comme les skarns aurifères de Lucky Draw (Sheppard et al., 1995) et de Navachab (Nörtemann et al., 2001). Dans ces deux cas, la minéralisation est rétrograde et peut être qualifiée de mésothermale, alors que les conditions nécessaires au dépôt de l'or (fracturation, fluides) peuvent être liées à la formation d'un skarn. Les gisements de Lupin et de Tillicum au Canada montrent des caractéristiques relativement similaires à celles de Navachab (Nörtemann et al., 2001).

La Province de Grenville contient un nombre appréciable d'intrusions intermédiaires à felsiques, d'âges et d'affinités diverses ainsi que plusieurs unités lithologiques réactives (marbres, roches ultramafiques, paragneiss, etc.) propices aux remplacements métasomatiques. La présence de telles unités géologiques et le fait que la Province de Grenville représente les reliques d'une importante chaîne de montagnes permettent de croire au potentiel pour des minéralisations de type skarn. Le projet CONSOREM 2007-08 vise donc à évaluer de manière préliminaire la favorabilité de ce type de minéralisation au sein de la Province de Grenville.

1.2 Objectifs

L'objectif principal du projet est de reconnaître, à l'échelle régionale, les secteurs intéressants pour les minéralisations de type skarn dans la Province de Grenville. Il vise également à dégager des pistes pour l'exploration de ce type de minéralisation et à proposer des secteurs favorables.

1.3 Méthodologie

Ce rapport fera d'abord une revue ciblée de la littérature sur les dépôts de types skarn afin de bien dégager les éléments critiques qui sont associés à la minéralisation et qui permettront de définir des critères d'exploration. Ainsi seront abordées la typologie et la variabilité des systèmes de type skarn, (minéralogie, profondeur de formation), la nature des intrusions associées, leur environnement tectonique de formation et leurs signatures géochimiques et géophysiques. L'effet du métamorphisme sera également considéré.

Par la suite, le territoire de la Province de Grenville sera analysé à partir des critères dégagés et des données disponibles. Une approche d'évaluation basée sur les connaissances sera utilisée pour établir la favorabilité. Bien sûr, cette approche sera tributaire du degré et de la qualité de l'information

disponible. Le territoire du Grenville a fait l'objet de nombreux travaux par le MRNF¹ et les levés cartographiques ont été réalisés à plusieurs échelles différentes. Certaines zones cartographiées plus récemment en détail (1/50 000) par le MRNF permettront de faire une analyse plus poussée. Par exemple, le secteur de Mont-Laurier contient des roches métasédimentaires propices aux remplacements métasomatiques et cette région a été considérée comme plus stratégique.

Le projet met plus particulièrement l'emphase sur les skarns à cuivre, étain, molybdène, or, tungstène et zinc.

2 LES GÎTES DE TYPE SKARN

Le terme skarn indique une roche qui se caractérise par une minéralogie dominée par des minéraux calco-silicatés tels le grenat et le pyroxène. Bien que la majorité des skarns se retrouve dans des unités lithologiques contenant des calcaires, les skarns peuvent se former dans des roches tout aussi variées que les shales, les grès, les granites, les formations de fer, les basaltes et les komatiites (Meinert et al., 2005). Les skarns se forment lors du métamorphisme, régional ou de contact, ou lors d'événements métasomatiques dans lesquels sont impliqués des fluides magmatiques, métamorphiques, météoriques ou marins. Bien qu'ils se retrouvent en majorité près de plutons, les skarns peuvent se situer le long de failles ou de zones de cisaillement, dans des systèmes hydrothermaux supracrustaux, sur le plancher océanique ou dans la partie supérieure de terranes métamorphiques. Bien que plus rares, il est possible de former des skarns par métamorphisme de gisements déjà existants.

Les gisements de type skarn ont été exploités au cours de l'histoire pour une variété d'éléments tels Fe, Au, Cu, Zn, W, Mo, Sn ± Pb, Ag, U, terres rares, F et B. Le volume de ces gisements peut être impressionnant, par exemple la mine Antamina au Pérou avec ses 745 Mt à 1,06 % Cu et 0,67 % Zn (www.infomine.com) est le 3^{ième} producteur mondial de cuivre et le 7^{ième} de zinc (Meinert et al., 2005).

Les caractéristiques des systèmes de type skarn qui sont mentionnées dans les prochains paragraphes sont tirées de l'article synthèse de Meinert et al., (2005) paru dans le volume du 100^e anniversaire d'Economic Geology.

2.1 Variabilité dans un système de type skarn

2.1.1 *Évolution temporelle et spatiale*

Dans la plupart des gîtes de type skarn de grande échelle, il y a une transition marquée entre le métamorphisme précoce/distal et le métasomatisme tardif/proximal. Cette transition se traduit par un passage de hornfel à un skarn réactif, à un skarnoïde et finalement à un skarn plus grossier et contenant la minéralisation (**tableau 1**). La minéralisation coïncide avec l'altération rétrograde et est postérieure à la formation de la majorité des minéraux métasomatiques comme les grenats et les pyroxènes. Il existe une relation directe entre la séquence emplacement – cristallisation – altération – refroidissement du pluton et la séquence métamorphisme – métasomatisme – altération rétrograde de l'encaissant (**figure 1**). L'intensité de chaque stade dépend des conditions géologiques locales telles la profondeur de mise en place de l'intrusion, la présence de fractures et la compétence de la roche hôte.

¹ MRNF : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.

Tableau 1. Faciès et lithologies formés lors du processus de skarnification et relations spatiales et temporelles avec le pluton associé (Meinert et al., 2005).

Facès / lithologie	Relation spatiale	Relation temporelle	Processus
HORNFEL : Roche calco-silicatée à grains fins résultant du métamorphisme de calcaires impurs.	Distal ↑	Précoce ↓	Métamorphisme de contact
SKARNOÏDE : Roche calco-silicatée à grains fins et pauvre en Fe. Sa composition reflète, en partie, la composition du protolithe.			
SKARN : Roche calco-silicatée à grains grossiers composée surtout de grenats et de pyroxènes.	Proximal	Tardif	Métasomatisme

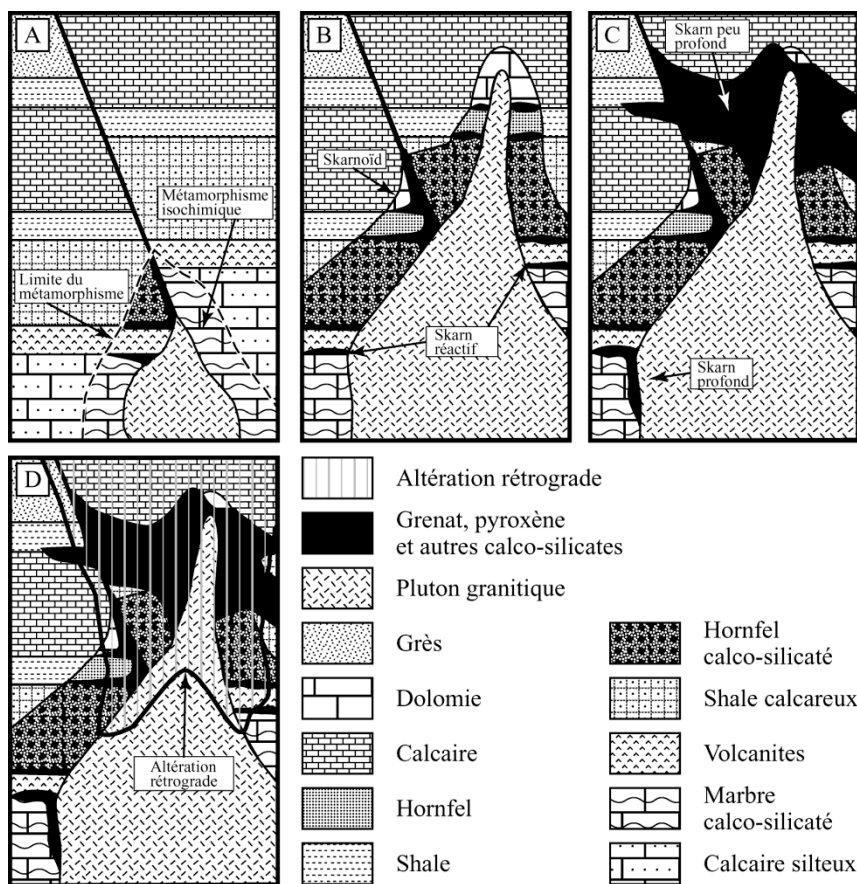


Figure 1. Stades de formation d'un skarn associé à un pluton. A) L'intrusion initiale résulte en un métamorphisme des roches sédimentaires. B) La recristallisation et les changements de phases minérales reflètent la composition initiale du protolithe. Le métasomatisme local et la circulation de fluides permettent la formation de skarn dans les unités calcaires et le long des horizons ayant une bonne conductivité hydraulique. C) La cristallisation et la circulation d'une phase aqueuse différente permettent la formation de skarns contrôlés par la circulation du fluide. D) Le refroidissement du pluton, la séparation de la phase gazeuse et la circulation de fluides météoriques permettent une altération rétrograde des assemblages calco-silicatés métamorphiques et métasomatiques. Figure modifiée de Meinert et al. (2005).

2.1.2 Profondeur de formation

La profondeur de formation du skarn constitue un des contrôles fondamentaux de la taille du skarn, de sa géométrie et du style d'altération.

À grande profondeur, la roche hôte présente un comportement plus ductile et le litage aura tendance à être subparallèle au contact avec l'intrusion, en réponse à l'injection sous forme de filon-couche ou au plissement (ou à l'entraînement) des lits lors de la mise en place de l'intrusion (**figure 2**). Le skarn aura donc la forme d'un mince anneau autour du pluton, mais pourra s'étendre en profondeur. Les skarns de Pine Creek (Brown et al., 1985), Osgood Mountain (Taylor, 1976) et Ocna de Fiera (Nicolescu et Cornell, 1999) ont cette morphologie et se sont formés à des profondeurs variant entre 8 à 10 km. Dans le cas de Pine Creek, le skarn a moins de 10 m d'épaisseur, mais s'étire sur plus de 1 km en longueur et en profondeur (Newberry, 1982).

Lorsqu'un skarn se forme à plus faible profondeur, l'intrusion et le skarn sont fortement discordants. Les fluides hydrothermaux auront tendance à voyager le long de lits plus perméables et ainsi former des skarns dont la superficie est beaucoup plus grande que celle du pluton. À faible profondeur, les fractures créées par l'intrusion permettront la circulation de fluides météoriques plus froids, ce qui influence l'étendue de l'altération rétrograde.

La profondeur de mise en place contrôle également le gradient de température entre le pluton et l'encaissant. Un faible gradient limitera grandement le potentiel et l'étendue de l'altération rétrograde. Une plus haute température aura pour effet de diminuer la porosité de l'encaissant et de limiter ainsi le volume de carbonates disponible pour réagir avec les fluides métasomatiques.

Enfin, la profondeur relative d'une intrusion peut être établie sur le terrain en observant la présence de bordures figées (*chilled margins*), en mesurant la taille de cristaux dans la matrice des intrusions porphyriques, en identifiant des zones de brèches et en interprétant des éléments de déformation fragile.

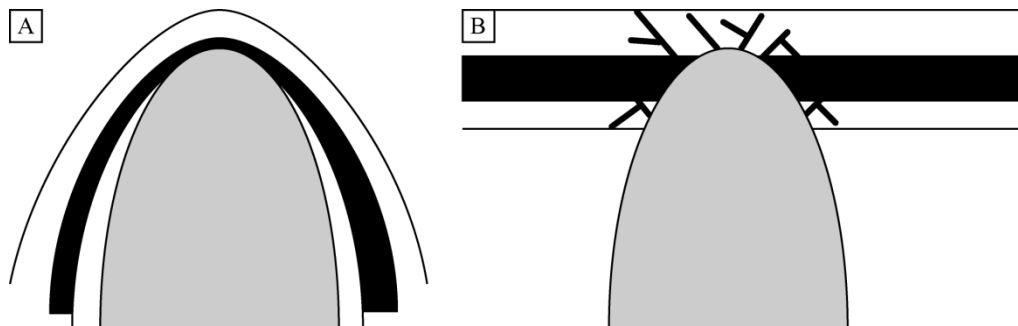


Figure 2. Représentation schématique de la morphologie d'un skarn. A) En présence de haut métamorphisme, les lithologies sont plissées et l'horizon de skarn (en noir) devient subparallèle au contact avec l'intrusion. B) À faible profondeur, l'encaissant réagit de façon fragile. Le skarn sera donc présent le long de failles et peut s'étendre latéralement dans l'unité la plus réactive et la plus poreuse.

2.1.3 Minéralogie des skarns

L'identification et la classification des gîtes de type skarn sont basées sur la minéralogie. Bien que la majorité des minéraux qui forment les skarns soient des minéraux communs, certains sont plus abondants que d'autres. Ainsi, le quartz et la calcite sont présents dans tous les skarns alors que l'humite, le periclase, la phlogopite, le talc, la serpentine et la brucite sont des minéraux uniquement présents dans les skarns magnésiens. La composition des amphiboles est légèrement différente selon le type de skarn. Les amphiboles des skarns à Cu, Au, W et Sn deviennent progressivement plus riches en aluminium (actinolite-hastingsite-hornblende), les amphiboles des skarns à Cu, Mo, Fe et Au de plus en plus ferrifères (tremolite-actinolite), tandis que les skarns riches en Zn contiennent des amphiboles enrichies en manganèse et appauvries en calcium (actinolite-dannemorite).

Dans la plupart des skarns, il existe une zonation entre un grenat métasomatique proximal, un pyroxène métasomatique distal et de la vésuvianite (ou pyroxénoïde comme la wollastonite, la bustamite ou la rhodonite). Outre cette zonalité, il existe des variations à plus petite échelle dans les grenats et pyroxènes. Par exemple, un grenat proximal a une teinte rouge brun, devient brun pâle et finalement jaune vert pâle en s'éloignant de l'intrusion. Ce changement n'est pas seulement dû à un changement de composition, bien qu'il y ait une baisse associée de la teneur en fer du grenat. Le changement de couleur est moins évident dans les pyroxènes, mais reflète quand même une augmentation de leur teneur en fer et manganèse vers le contact avec les marbres encaissants. Ces variations peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres (Meinert, 1987).

La minéralogie représentative de l'altération rétrograde (épidote, chlorite, amphibole et autres phases hydratées) se superpose à l'altération de haute température. Elle est toutefois contrôlée par les zones de forte perméabilité tels les failles et les contacts lithologiques. De façon générale, l'altération rétrograde est plus importante dans les systèmes peu profonds. Dans certains skarns à Cu, l'altération rétrograde a complètement effacé la minéralogie de type skarn.

2.2 Pétrogenèse des plutons dans les systèmes de type skarn

Il existe plusieurs études démontrant une corrélation plus ou moins bien définie entre la composition du pluton et le type de skarn. Ces corrélations sont bien illustrées par des graphiques binaires ou ternaires tels qu'illustrés à la **figure 3**. En terme d'éléments majeurs, les plutons associés aux gîtes de type skarn sont d'affinité calco-alkaline. Il existe toutefois quelques rares exemples de skarns associés à des plutons tholéitiques et alcalins (Birkett et Sinclair, 1998; Corriveau et Gorton, 1993). Le contenu en aluminium des plutons s'apparente aux plutons métalumineux et peralumineux, mais aucun n'est peralcalin (**figure 4**).

L'état d'oxydation du fer dans le pluton est un bon indicateur de l'état d'oxydation du magma, donc du contenu en soufre (et de sa spéciation), de la séparation des fluides et du contenu en métal du skarn. Les skarns à Fe, Cu, Zn et Mo sont associés à des magmas oxydés, alors que les skarns à Sn et Au sont reliés à des magmas réduits (**figure 4**). Les skarns à W se situent à la limite entre les deux, car ce type de skarn comprend les deux extrêmes, possiblement en réponse à des facteurs géologiques externes variables tels la profondeur de formation ou la teneur en carbone de l'encaissant.

Des éléments traces tels Rb, Sc, V et Ni peuvent également différencier le type potentiel de skarn associé à un pluton (**figure 5**). Le Rb et le Sc reflètent la cristallisation de phases riches en K (feldspaths potassiques et micas) et des pyroxènes respectivement. Le V et le Ni eux, sont associés aux oxydes (magnétite et ilménite) et olivine, donc auront tendance à diminuer avec la différenciation du magma. La haute teneur en Rb et Ni des skarns de Sn et de Mo implique un mélange de magma primaire et d'un magma provenant de la fonte de la croûte fortement différenciée.

De façon générale, il existe une évolution dans la composition du magma qui se traduit par un changement dans le type de skarn. Ainsi, les magmas les moins évolués (source mantellique) formeront des skarns à Fe alors que les plus évolués (croûte continentale) ont un potentiel pour les skarns à Sn.

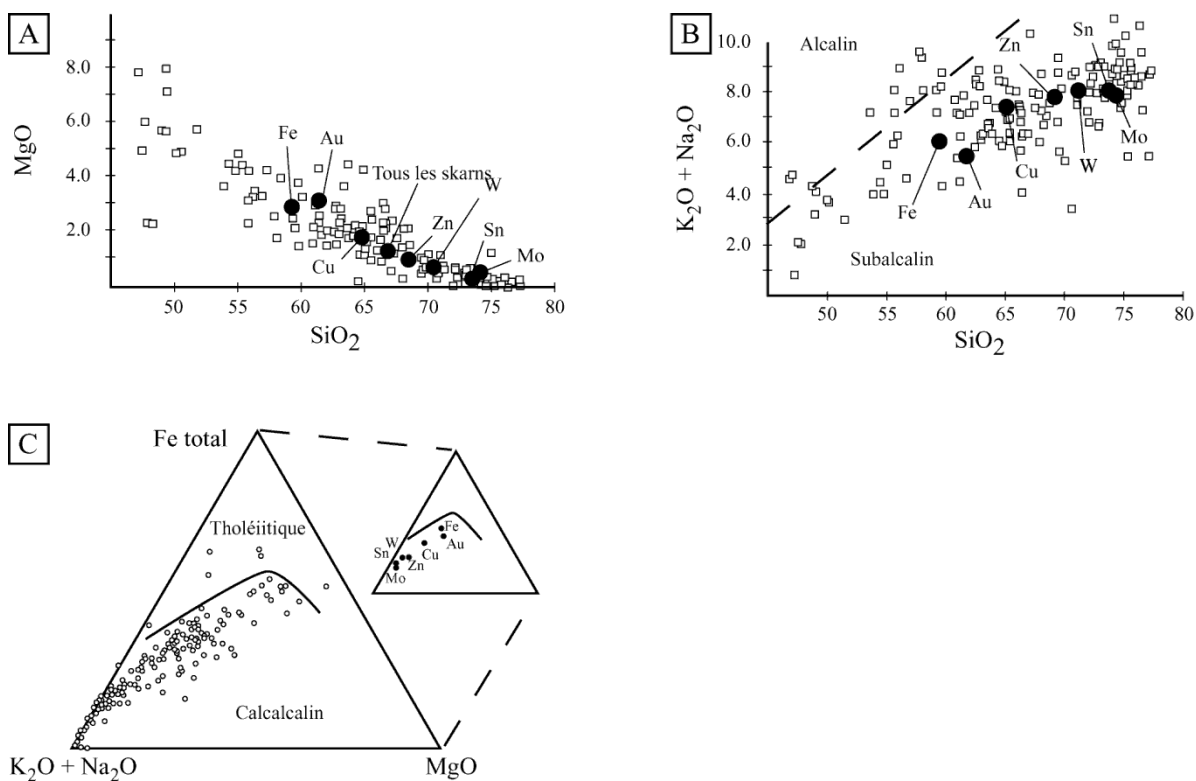


Figure 3. Quelques exemples de graphiques montrant les variations du type de skarn en fonction de la composition du pluton associé. Il faut noter que la majorité des gîtes de type skarn sont associés à des plutons subalkalins (B) et que peu sont associés à des suites tholéitiques (C). Figure modifiée de Meinert (1995).

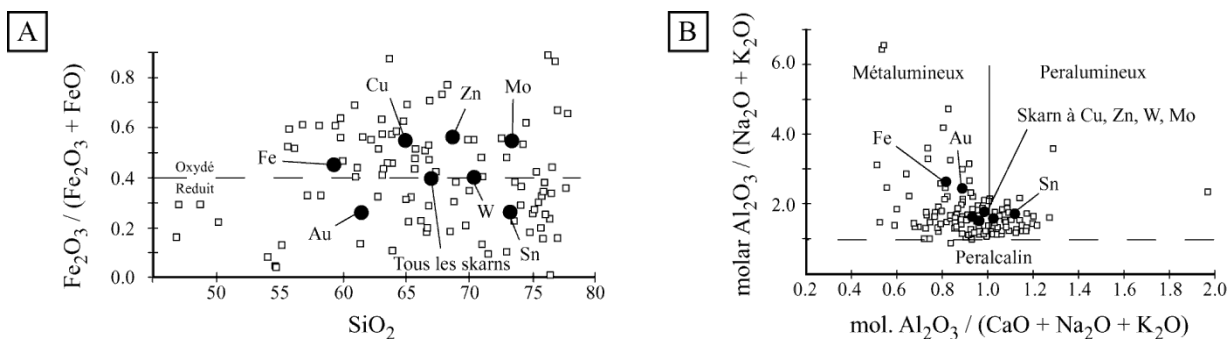


Figure 4. État d'oxydation (A) et saturation en aluminium (B) des plutons associés à différents types de skarn. Figure modifiée de Meinert et al., (2005).

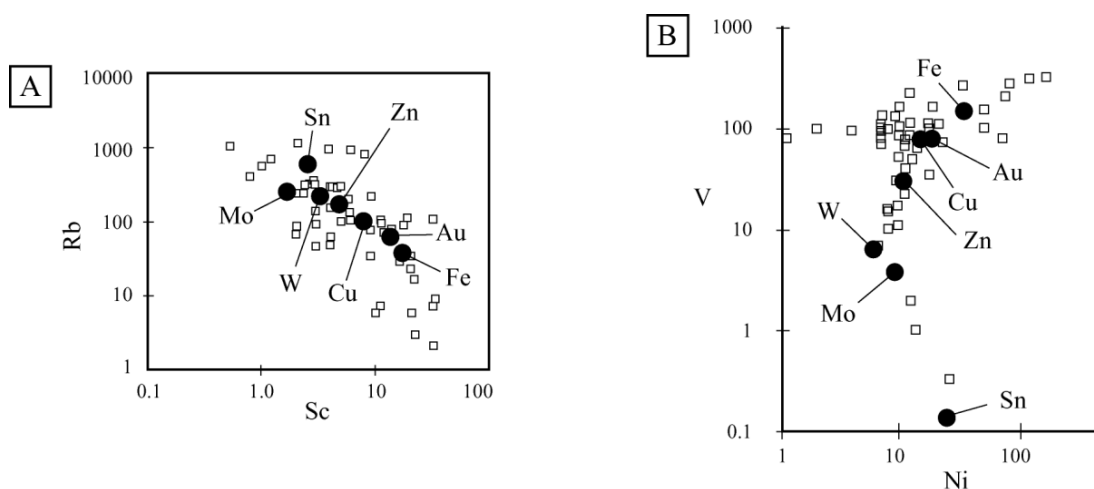


Figure 5. Diagrammes de corrélation (A) Rb vs Sc et, (B) V vs Ni, pour les plutons associés aux principaux types de skarn. Figure modifiée de Meinert et al. (2005).

2.3 Environnement tectonique

La composition géochimique du pluton et son environnement tectonique sont intimement liés. Il devient donc possible de classer les différents types de skarn en utilisant certains diagrammes de discrimination tectonique (**figure 6**). Le modèle conceptuel présenté à la **figure 7** montre la distribution des divers types de skarn en fonction de l'environnement tectonique. La majorité des skarns sont associés à des environnements en collision. Les skarns calciques à Fe-Au se retrouvent, eux, dans des contextes d'îles en arc alors que les skarns à Sn et autres métaux associés (F, Li, Be, U, B et REE) se forment dans des zones de rift associées à des plumes mantelliques.

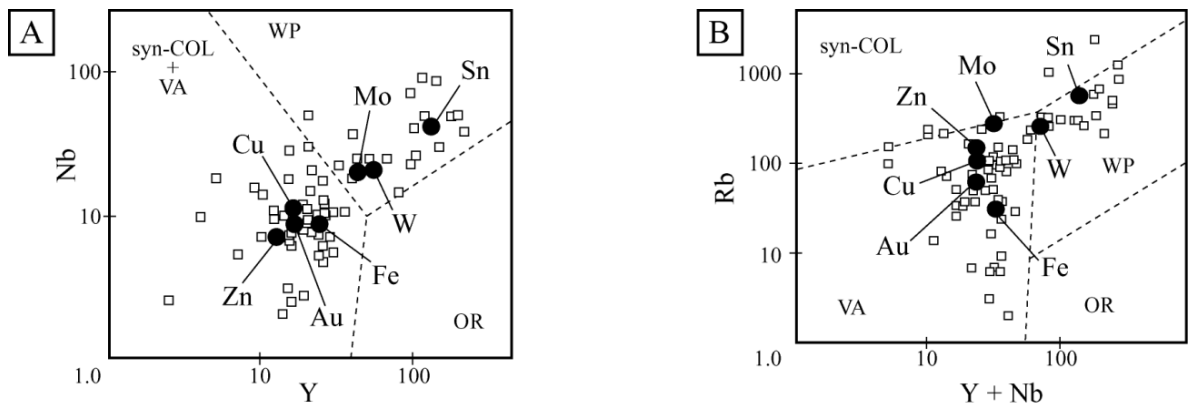


Figure 6. Environnements tectoniques favorables pour les principaux types de skarn définis par le contenu en éléments traces. Les environnements d'arc volcanique (VA), orogéniques (syn-COL) et intra-plaque (WP) peuvent être hôte de gîtes de type skarn, alors que les environnements de ride océanique (OR) sont dépourvus de ce type de minéralisation. Figure modifiée de Meinert et al. (2005).

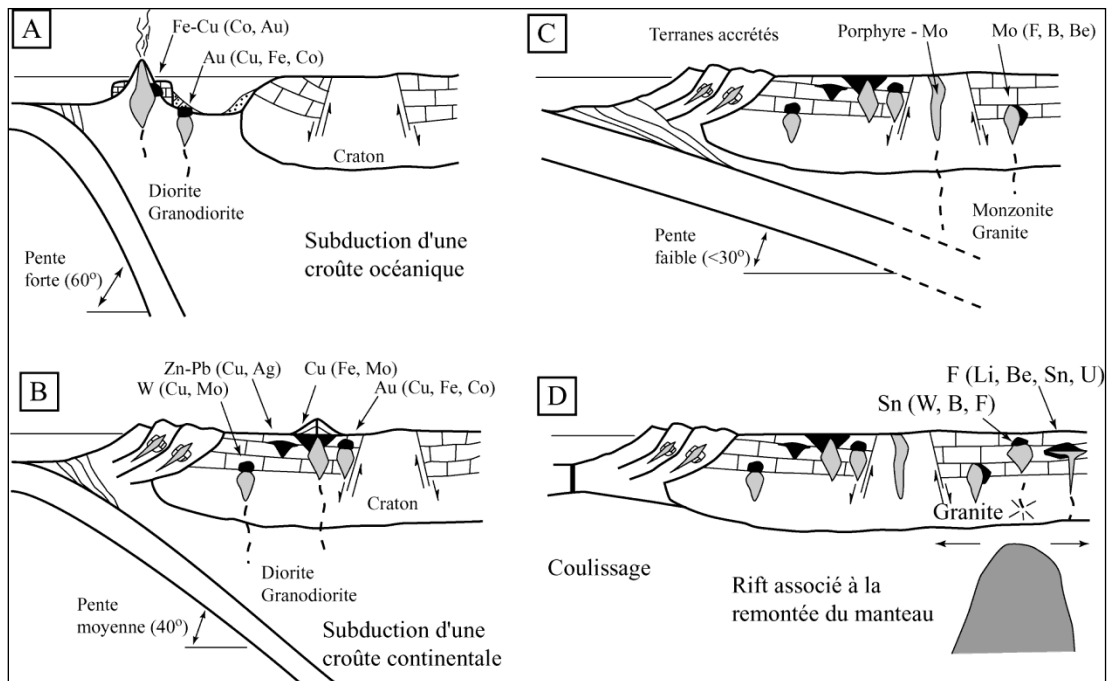


Figure 7. Représentation schématique des environnements tectoniques auxquels sont associés les gîtes de type skarn. A) Subduction de croûte océanique et bassin arrière-arc, B) Subduction de croûte continentale avec accréation de terranes océaniques, C) Subduction avec faible angle de la croûte subductée et D) Rift continental. Modifiée de Meinert et al. (2005).

2.4 Halo géochimique

Malgré que le contenu en métaux des gîtes de type skarn soit variable, certaines teneurs peuvent être considérées anormales et servir comme un outil d'exploration (**tableau 2**). Chaque type de skarn a toutefois une suite d'éléments anormaux qui lui est propre (**tableau 3**).

Tableau 2. Concentrations en métaux considérées anormales dans les skarns.
Tiré de Meinert et al., (1990).

Métal	Seuil anormal	Métal	Seuil anormal	Métal	Seuil anormal
Au	75 ppb	Ag	5 ppm	As	50 ppm
Bi	50 ppm	Te	1 ppm	Se	5 ppm
Cd	10 ppm	Cu	100 ppm	Pb	100 ppm
W	100 ppm	Mo	25 ppm	Co	50 ppm
Cr	25 ppm	Zn	200 ppm	Sb	1 ppm
Ni	75 ppm	Hg	250 ppb		

Tableau 3. Suites métalliques pour les différents types de skarns.

Type de skarn	Suite métallique
Skarn à Cu	Au, Ag, Cu, W, Mo
Skarn à Zn	Ag, Cd, Pb, Zn ± Bi, Te, W
Skarn à W	W, Mo ± Bi, Te, Cu, Zn
Skarn à Au	Au, Ag, As, Sb, Bi, Te, Hg ± Co, Ni, Cr, Cu, Pb, Zn, W

2.5 Signature géophysique

Il existe peu de travaux relatifs à la signature géophysique des gisements de type skarn. Malgré une signature géophysique généralement complexe, certaines caractéristiques communes aux différents types de skarn sont reconnues. Presque tous les skarns sont plus denses que la roche encaissante, formant ainsi des anomalies gravimétriques ou des discontinuités sismiques. Ceci est particulièrement vrai pour les skarns de fer de grande échelle.

Les skarns et plutons associés peuvent avoir une signature magnétique identifiable. Ainsi, les plutons plus oxydés présentent un haut magnétique causé par la présence de magnétite alors que les plutons réduits et contenant de l'ilménite forment un bas magnétique. Puisque la dolomitisation métasomatique tend à former de la magnétite, les skarns magnésiens ont une signature magnétique distincte du protolithe.

Les relevés électriques (IP et EM) donnent des résultats peu probants et doivent être interprétés de façon minutieuse. Lors de la formation d'un skarn, il y a redistribution du carbone et formation de graphite. Ainsi, des conducteurs peuvent être associés à des sulfures ou du graphite distal.

La complexité de la signature des skarns fait en sorte que les méthodes géophysiques peuvent être utiles à l'échelle d'un système connu (c.-à-d. pour localiser la minéralisation), mais ne constitue pas une méthode de premier choix pour un programme d'exploration régionale.

3 EFFET DU MÉTAMORPHISME

La Province de Grenville est caractérisée par un grade métamorphique élevé (Hocq, 1994). L'enfouissement à grande profondeur et l'exhumation des unités lithologiques peuvent influencer les processus de minéralisation et aussi changer les caractéristiques morphologiques et minéralogiques

d'un gisement, qu'il soit de type skarn ou autre. Les deux prochaines sections aborderont, de façon très générale, deux scénarios reliés au métamorphisme de gîtes de type skarn, un où la roche réactive fut métamorphisée avant d'être recoupée par l'intrusion et l'autre dans lequel le gîte est métamorphisé.

3.1 Métamorphisme pré-minéralisation

Le métamorphisme pré-minéralisation de l'encaissant s'apparente au contexte de formation de skarn à grande profondeur. L'étude d'inclusions fluides démontre que la température d'homogénéisation peut atteindre, et même dépasser, 700 °C sauf pour les skarns à Zn et à Sn dont la température est plus basse (300 °C à 500 °C). Des températures d'environ 700 °C sont mentionnées pour des roches métasédimentaires du Terrane de Morin (Peck et al., 2005) et de la région de Montauban (Tomkins, 2007). La nature polycyclique du métamorphisme grenvillien vient toutefois compliquer les choses.

Tel que mentionné précédemment, si la température de l'encaissant est trop élevée lors de la mise en place du pluton, l'altération rétrograde et par le fait même, la formation de sulfure sera limitée. La porosité de l'encaissant sera aussi réduite lors du métamorphisme.

3.2 Métamorphisme post-minéralisation

Le métamorphisme de gîtes minéralisés est un sujet complexe. Dans le cas des gisements de type skarn, l'effet d'un métamorphisme post-minéralisation peut être quasi inexistant, car il s'agit de gisements de haute température, particulièrement pour les skarns à W. Dans le cas de phases moins stables à haute température (présentes surtout dans les skarns à Zn et à Sn), il peut y avoir remobilisation des sulfures. Les minéraux d'altération rétrograde (épidote, chlorite, amphibole et autres phases hydratées) seront métamorphisés en un assemblage similaire à l'altération proximale en grenat et pyroxène avec possiblement de la biotite.

4 APPROCHE PRÉCONISÉE ET MÉTHODOLOGIE

Comme l'objectif du projet est de définir le potentiel pour les minéralisations de type skarn pour un grand territoire, où seulement quelques indices de ce type ont été reconnus, l'évaluation du potentiel sera faite à partir d'une approche basée sur des éléments reconnaissables dans les bases de données disponibles. Ainsi, les principaux critères utilisés seront la nature des intrusions et des roches encaissantes telles que définies sur les cartes géologiques.

4.1 Identification des lithologies favorables

4.1.1 Intrusions

Afin de bien identifier les intrusions qui sont favorables à la mise en place de minéralisations de type skarn, un cheminement inverse est effectué, c'est-à-dire éliminer celles qui ne sont clairement pas favorables. Si l'on se fie aux modèles et à la compilation de 1 348 skarns réalisées par Meinert et al., (2005), les intrusions mafiques ont un potentiel nul pour les minéralisations de type skarn. Donc, toutes les roches intrusives mafiques (13 sur les cartes de compilation SIGEOM) ont été supprimées. Comme les skarns se forment généralement à des profondeurs de moins de 10 km et que des fluides hydratés sont nécessaires, les plutons de la suite des charnockites n'ont pas été considérés. Finalement, il semble que les skarns soient majoritairement associés à des roches d'affinité calco-alcaline. Ce critère

est peu discriminant pour le territoire étudié, car plusieurs plutons sont composés de phases d'affinités tholéiitique et calco-alcaline.

Un tri a également fait pour éliminer les zones où la roche intrusive est plus vieille que la roche réactive en contact. Ce critère est fortement dicté par le niveau d'information disponible.

4.1.2 Roches réactives

La nature des roches réactives (encaissantes) favorables à la formation d'un skarn est très variable. Les calcaires, dolomies et marbres sont les unités les plus réactives, mais des skarns ont été reconnus dans des roches sédimentaires silicoclastiques et des roches volcaniques. Les intrusions mafiques et ultramafiques, bien qu'ayant un potentiel nul lorsque considéré comme roches intrusives dans un système de type skarn, peuvent agir comme roche réactive et doivent être retenues pour le traitement des données.

4.2 Zones de contacts

Les skarns se formant au contact de l'intrusion et de son encaissant, seuls les contacts ont été retenus dans le traitement des données. Comme la minéralisation peut se retrouver à une certaine distance du contact, des zones tampons ont été créées à partir de ces contacts. Il est impossible de déterminer une largeur précise pour des zones tampons binaires, car la distance sur laquelle le processus de skarnification opère dépend de facteurs tels l'attitude des couches réactives, elle-même dépendante de la profondeur de mise en place du pluton, de la température du pluton et du gradient de température. Des zones tampons de 1 km de part et d'autre du contact sont considérés comme raisonnables, car ils englobent les zones à skarn et endoskarn (c.-à-d. skarn à l'intérieur de l'intrusion). Même si la minéralisation peut potentiellement se retrouver à l'extérieur de ces zones tampons, surtout pour les skarns à zinc, la minéralogie typique des skarns (pyroxène – grenat) sera visible près du contact.

4.3 Carte du coefficient skarn

Afin de faire ressortir les zones avec un meilleur potentiel en fonction des différents contacts intrusions – roches réactives, des coefficients de favorabilité ont été établis selon les caractéristiques de plus de 1 000 skarns recensés par Meinert et al., (2005). Les coefficients intrusifs (C_{intrusif}) et réactifs ($C_{\text{réactif}}$) sont énumérés dans le **tableau 4**. Un coefficient a été assigné à toutes les zones tampons.

Le coefficient skarn (C_{skarn}) tient compte des deux coefficients précédents et se calcule par la multiplication de ceux-ci. Il en résulte qu'un contact entre un granite et un marbre sera plus favorable ($C_{\text{skarn}} = 0,1326$) qu'un contact entre une diorite et un marbre ($C_{\text{skarn}} = 0,0816$) et beaucoup plus qu'un contact tonalite – gabbro ($C_{\text{skarn}} = 0,0002$). Les zones tampons vectorielles pour les roches intrusives et réactives ont ensuite été transformées en matrice (taille des cellules de 250 m par 250 m). La couche matricielle résultante est créée par la multiplication des coefficients de la couche « intrusive » et de la couche « réactive ». Cette technique permet d'éliminer les zones où il n'y a pas de contact entre une intrusion et une roche réactive, car en l'absence de l'un des deux types de lithologie, il y aura multiplication par 0.

Tableau 4. Liste des coefficients intrusifs et réactifs basés sur la compilation de Meinert et al., (2005). Le coefficient est calculé selon le pourcentage de skarn montrant une association avec les différentes lithologies énumérées.

Intrusion	Nb skarn	C_{intrusif}	Encaissant	Nb skarn	$C_{\text{réactif}}$
Granite	277	0,29	Calcaires et dolomies	689	0,51
Granodiorite	234	0,24	Pélites	196	0,15
Diorite	152	0,16	Grès	167	0,12
Diorite à quartz	48	0,05	Volcanites felsiques	116	0,09
Monzonite à quartz	46	0,05	Volcanites mafiques	89	0,07
Monzonite	41	0,04	Roches métamorphiques	32	0,02
Porphyre à quartz	41	0,04	Sédiments chimiques	17	0,01
Monzodiorite	31	0,03	Roches calco-silicatées	16	0,01
Syénite	29	0,03	Hornfels	12	0,01
Gabbro	26	0,03	Intrusions mafiques	7	0,01
Tonalite	21	0,02	Roches ultramafiques	6	0,00
Dykes mafiques	4	0,00	Intrusions felsiques	1	0,00
Syénite à quartz	4	0,00			
Leucitite	2	0,00			
Monzodiorite à quartz	2	0,00			
Granite à FP alcalin	1	0,00			
Phonolite	1	0,00			
Syénite à néphéline	1	0,00			

Lorsqu'il y a superposition de plusieurs zones tampons dans une même couche d'information (**figure 8**), un traitement a été réalisé afin d'isoler les zones de superposition et de leur assigner le coefficient de la lithologie dont le coefficient est le plus élevé. Ainsi, au point triple entre un granite, un marbre et un paragneiss, le C_{skarn} a été calculé à partir des coefficients du granite et du marbre ($C_{\text{skarn}} = 0,1326$) et non de la combinaison granite – paragneiss ($C_{\text{skarn}} = 0,0364$).

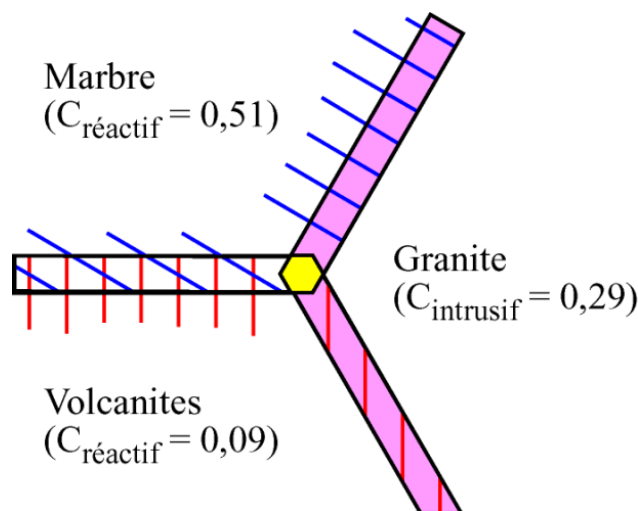


Figure 8. Représentation schématique d'une région (hexagone à la jonction des trois zones tampons) où il y a superposition de 2 zones tampons de roches réactives sur la zone tampon d'une roche intrusive. Un traitement des données permet d'isoler la zone problématique et de lui attribuer un $C_{\text{réactif}}$ semblable à celui de la lithologie la plus favorable, dans le cas illustré, le $C_{\text{réactif}}$ du marbre.

4.4 Rehaussement du coefficient skarn

La présence de minéraux indicateurs de skarn peut être utilisée pour rehausser la valeur du coefficient skarn et ainsi faire ressortir les secteurs où la skarnification a eu lieu. Bien sûr, le détail des travaux de cartographie influence l'information disponible quant à la présence ou l'absence de ces éléments. Il demeure néanmoins qu'il s'agit d'éléments intéressants à utiliser et facilement disponibles à l'aide de requêtes simples dans la banque de données du Sigéom.

4.4.1 Roches métasomatiques

Le code « roches métasomatiques » (M15) utilisé par le MRNF inclut les skarns. Cette mention est une évidence directe (s'il s'agit d'un skarn) de processus de skarnification. Une zone d'influence statistique a subjectivement été établie à 1 km pour chaque affleurement dont la description comporte le code M15. Afin de garder les valeurs statistiques entre 0 et 1, une valeur de 1 a été assignée aux zones avec la mention M15 et une valeur de 0,9 aux cellules à l'extérieur de ces zones. La valeur de 0,9 est subjective et a été choisie afin de ne pas trop influencer le coefficient original et de compenser pour les inégalités de la couverture géographique. Ainsi, une zone où il y a « absence » de skarn ne sera pas trop défavorisée si cette « absence » est due au degré de connaissance de cette région. De plus, comme plusieurs facteurs seront éventuellement multipliés, une valeur de 0,9 évite d'avoir des résultats finaux avec des valeurs infinitésimales. La carte matricielle du coefficient skarn peut donc être multipliée par la carte matricielle de la distribution des roches métasomatiques pour donner la carte du coefficient skarn rehaussé (C_{skarn^*}).

4.4.2 Minéraux indicateurs

L'assemblage minéralogique des skarns est particulier, toutefois les minéraux qui en font partie sont, pour la plupart, communs et non exclusifs aux skarns. Ceci est particulièrement vrai pour les grenats et les pyroxènes.

La distinction entre les divers types de grenats a été faite pour certains affleurements du SIGEOM, donc il est possible d'utiliser ce genre de détails. Ainsi, le pyrope, l'almandin et la spessartine peuvent indiquer la présence d'un skarn à tungstène alors que le grossulaire et l'almandin se retrouvent dans les autres types de skarn. Pour les raisons expliquées précédemment, des facteurs de 1 et 0,9 ont été assignés aux cellules avec et sans ces minéraux.

Le même raisonnement a été suivi pour la scapolite et la wollastonite. Pour cette dernière, la zone d'influence a été étendue à 2 km, car la wollastonite se retrouve dans la partie la plus distale d'un skarn.

4.4.3 Graphite

Les processus de formation d'un skarn impliquent un remplacement du CO_2 des carbonates par la silice amenée par les fluides hydrothermaux. Le CO_2 ainsi relâché peut s'accumuler à certains niveaux dans la séquence sédimentaire et former des horizons de graphite. Dans certains cas, la présence de graphite peut donc être reliée à la formation d'un skarn. Comme il a plusieurs processus menant à la formation de graphite, que la distance à laquelle se forme le graphite par rapport à l'intrusion est très variable et qu'il y aura absence de graphite s'il n'y a pas de piège, le poids donné au graphite pour le rehaussement du coefficient skarn est moindre que celui des autres indicateurs. Une zone tampon

(valeur de 1) de 2 km est établie autour de chaque affleurement avec la mention graphite. Une valeur de 0,95 est donnée aux cellules à l'extérieur de ces zones tampons.

4.5 Anomalies en métaux

Le but du présent exercice étant non seulement de délimiter les zones où il y a présence probable de skarn, mais aussi de définir les zones où il a un potentiel pour des minéralisations associées, la teneur en métaux (Au, Cu, Mo, W, Zn) dans l'environnement secondaire a été ajoutée à la liste des indicateurs. Une carte d'interpolation des concentrations a été réalisée pour chaque élément en utilisant la fraction de sédiment de ruisseaux qui donne la meilleure réponse (minéraux lourds pour l'or, par exemple). Pour le rehaussement du coefficient skarn, une valeur entre 0 et 1 a été assignée à chaque cellule en fonction de la distribution statistique des concentrations en métaux et non de la valeur absolue de cette teneur. La multiplication des valeurs des deux couches d'information permet de rehausser les secteurs anomaux en métaux à l'intérieur des zones ayant un potentiel pour les skarns. Comme il s'agit d'anomalies géochimiques établies à partir de sédiments de ruisseaux, il est impossible de dire si elles sont liées à un skarn ou à un autre type de minéralisation.

5 TERRITOIRE À L'ÉTUDE

Le territoire cible est la Province de Grenville dans son ensemble. Deux zones plus restreintes ont également été étudiées plus en détail. Le premier secteur, situé au nord-est de Mont-Laurier, où des travaux de cartographie récents sont disponibles, a été identifié comme prioritaire. Il s'agit notamment d'un territoire où certains membres du CONSOREM sont actifs. Le second secteur est situé à l'ouest du village de Fort-Coulonge (Outaouais), car les travaux sur l'ensemble du Grenville font ressortir ce territoire comme ayant un potentiel intéressant (voir la section suivante).

6 RÉSULTATS

6.1 Province de Grenville

Le potentiel pour les minéralisations de type skarn pour la Province de Grenville a été établi en utilisant la carte géologique de la Commission géologique du Canada. Cette carte comprend les parties québécoise, ontarienne et terre-neuvienne de cette province géologique ainsi que les Adirondacks. Par souci de synthèse, plusieurs unités lithologiques ont été regroupées par les auteurs en grandes classes qui contiennent parfois des lithologies fortement favorables et certaines beaucoup moins. Pour cette raison les coefficients C_{intrusif} et $C_{\text{réactif}}$ ont été réajustés (**tableau 5**).

La carte du coefficient skarn (**figure 9**) montre deux grands secteurs avec un potentiel pour les skarns: celui du Wakeham sur la Côte-Nord et la Ceinture centrale de métasédiments dans l'ouest du Québec. D'autres petits secteurs ressortent également, comme la bande volcanique hôte du gisement de Montauban et l'extension sud de la Fosse du Labrador. Étant donnée la forte hétérogénéité de la quantité d'information, seuls le graphite et les roches métasomatiques ont été considérés pour créer une nouvelle carte. La majorité des autres indicateurs n'a pas été utilisée. Il n'y a pas de différences importantes entre le C_{skarn} et le coefficient skarn rehaussé (C_{skarn^*}). Seule la carte du cuivre dans l'environnement secondaire est disponible pour la Province de Grenville au complet (créée pour le projet 2007-02), donc seul le potentiel pour les skarns de cuivre a été évalué.

Tableau 5. Coefficients utilisés pour l'évaluation du potentiel skarn de la province de Grenville.

Unités lithologiques – Intrusions	Coefficient intrusif
Granite (0,29) ² et orthogneiss équivalent (0,02) ³	0,20
Granitoïde (0,29) et orthogneiss équivalent (0,02)	0,20
Granite (0,29), rhyolite (0,09) et porphyre (0,04)	0,20
Syénite (0,03), monzonite (0,04), monzodiorite (0,03) et orthogneiss équivalent (0,02)	0,03
Tonalite (0,02), trondhjémite (0,02), granodiorite (0,24) et orthogneiss équivalent (0,02)	0,13
Diorite (0,16), diorite à quartz (0,05) et orthogneiss équivalent (0,02)	0,13
Roches intrusives mafiques (0,03), gabbro (0,03) et norite (0,03)	0,03

Unités lithologiques – Roches réactives	Coefficient réactif
Marbre (0,51)	0,51
Gneiss pélitique et psamitique (0,15), quartzite (0,12)	0,14
Paragneiss	0,14
Roche sédimentaire non différenciée; schiste et gneiss équivalent	0,14
Gneiss volcano-sédimentaire (sédimentaire = 0,14; v. felsique = 0,09; v. mafique = 0,08)	0,10
Roche sédimentaire et volcanite felsique non différenciées	0,10
Roche sédimentaire et volcanite mafique non différenciées	0,10
Roche sédimentaire et volcanite non différenciées	0,10
Volcanite felsique	0,09
Volcanite	0,08
Volcanite mafique	0,07
Gneiss mafique et amphibolite (v. mafique = 0,07; intrusion mafique = 0,01)	0,04
Gneiss dérivé de volcanite felsique	0,10

² Les chiffres entre parenthèses représentent les coefficients tels que préalablement déterminés en utilisant les données de Meinert et al., (2005).

³ Les classes lithologiques sont celles définies sur la carte de la Commission géologique du Canada.

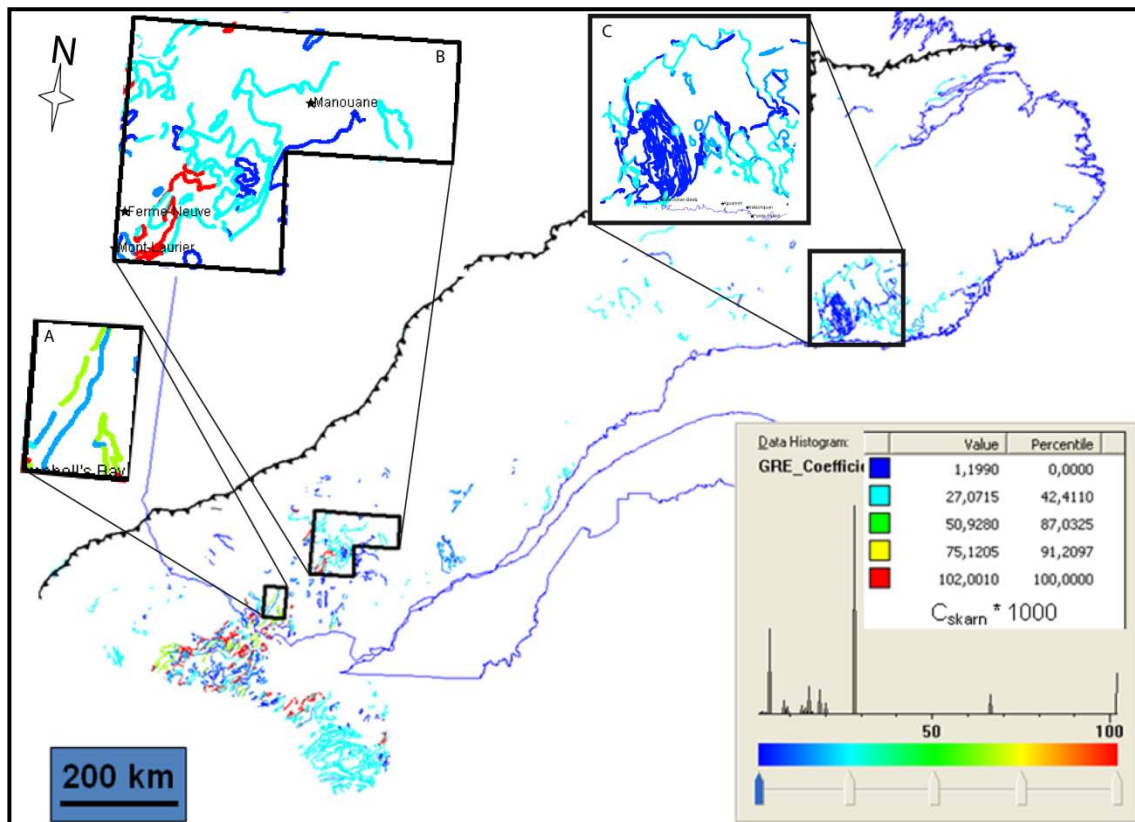


Figure 9. Carte du coefficient skarn pour la Province de Grenville. La valeur du coefficient calculé a été multipliée par 1 000 afin de faciliter la représentation. Les trois encadrés représentent les secteurs de Fort-Coulonge (A), de Mont-Laurier (B) et, encore plus à l'est, le secteur de Wakeham(C).

Dans la Ceinture métasédimentaire centrale, les secteurs de Mont-Laurier et de l'extrême sud-ouest ressortent davantage. Ces deux zones seront abordées plus en détail dans les sections suivantes.

Sur la Basse-Côte-Nord, le Groupe de Wakeham présente, de prime abord, plusieurs zones avec un potentiel favorable pour les skarns à cuivre, surtout à cause de la combinaison de roches volcaniques felsiques (roches réactives) et de granitoïdes (intrusions). Les skarns qui résultent de cette combinaison se retrouvent majoritairement dans les terrains paléoprotérozoïques du district Fennoscandia en Suède (Meinert et al., 2005). La minéralisation à Falun, le plus important de ces gisements, est de type SEDEX ou SMV (<http://www.gi.rhbnc.ac.uk/geode/Fennoscandia/Falun.html>). La présence de skarn ne semble pas être directement liée à la minéralisation, mais plutôt le résultat du métamorphisme des encaissants de la minéralisation. Le potentiel pour les minéralisations de type skarn dans le Wakeham est donc probablement moins élevé que le laisse croire la carte. Toutefois, la présence de paragneiss rend tout de même le secteur potentiel.

Enfin, un dernier secteur présentant un potentiel favorable est celui au nord de Grandes-Bergeronnes, où des anomalies en cuivre se superposent à des contacts entre paragneiss et granitoïdes. Il existe cependant des intrusions mafiques dans cette région qui pourraient être la source du cuivre.

6.2 Secteur Mont-Laurier

Ce secteur contient plusieurs zones favorables aux skarns (**figure 9**). Des travaux de cartographie récents ont été effectués dans la partie ouest par Nantel (2007). Le niveau de détails permet d'utiliser tous les indicateurs énumérés dans les sections précédentes pour bien cibler les zones à fort potentiel. Il y a moins de détails disponibles dans la partie est, mais la découverte récente d'un skarn cuprifère par SOQUEM et Midland Exploration en fait un secteur intéressant aux fins de comparaison.

De façon générale, ce sont les contacts entre les granites et les marbres qui offrent le meilleur potentiel. La majorité des zones favorables se retrouvent dans la bande de paragneiss qui traverse le secteur. Ces paragneiss de la Suite de l'Ascension sont recoupés par plusieurs intrusions felsiques de toutes tailles. Les contacts entre les métasédiments de la Suite de l'Ascension et les monzogranites de la Suite de Brockaby sont les plus intéressants de par la nature et la taille des intrusions. Les anomalies en métaux dans l'environnement secondaire permettent de définir plusieurs cibles (**figure 10**). Plusieurs de ces cibles montrent une combinaison de deux métaux ou plus. La combinaison Cu, W, Mo, (Au) est particulièrement intéressante, car il s'agit d'une association commune aux minéralisations de type skarn. La plupart des cibles montrant une combinaison de métaux de type skarn et un contexte géologique intéressant se retrouvent du côté nord-est de la bande de métasédiments de la Suite de l'Ascension. Cette bande favorable se poursuit potentiellement jusqu'au nord-est de la zone où se trouve l'indice Vermillon caractérisé par une minéralisation s'apparentant à un skarn cuprifère.

Du côté nord-ouest de la zone d'étude, les diverses cibles se retrouvent en proximité d'enclaves de marbre dans les granites de la suite magmatique de Lacoste. Ce contexte est moins favorable pour la formation de skarn, car la chaleur émise dans un tel contexte est probablement trop élevée pour la formation de skarn. Selon Nantel (2007), la Suite de Lacoste serait plus vieille que la Suite de l'Ascension. Finalement, une association Au-Zn atypique des minéralisations de type skarn ressort pour certaines cibles, ce qui suggère que les anomalies du secteur sont probablement associées à des minéralisations autres que des skarns.

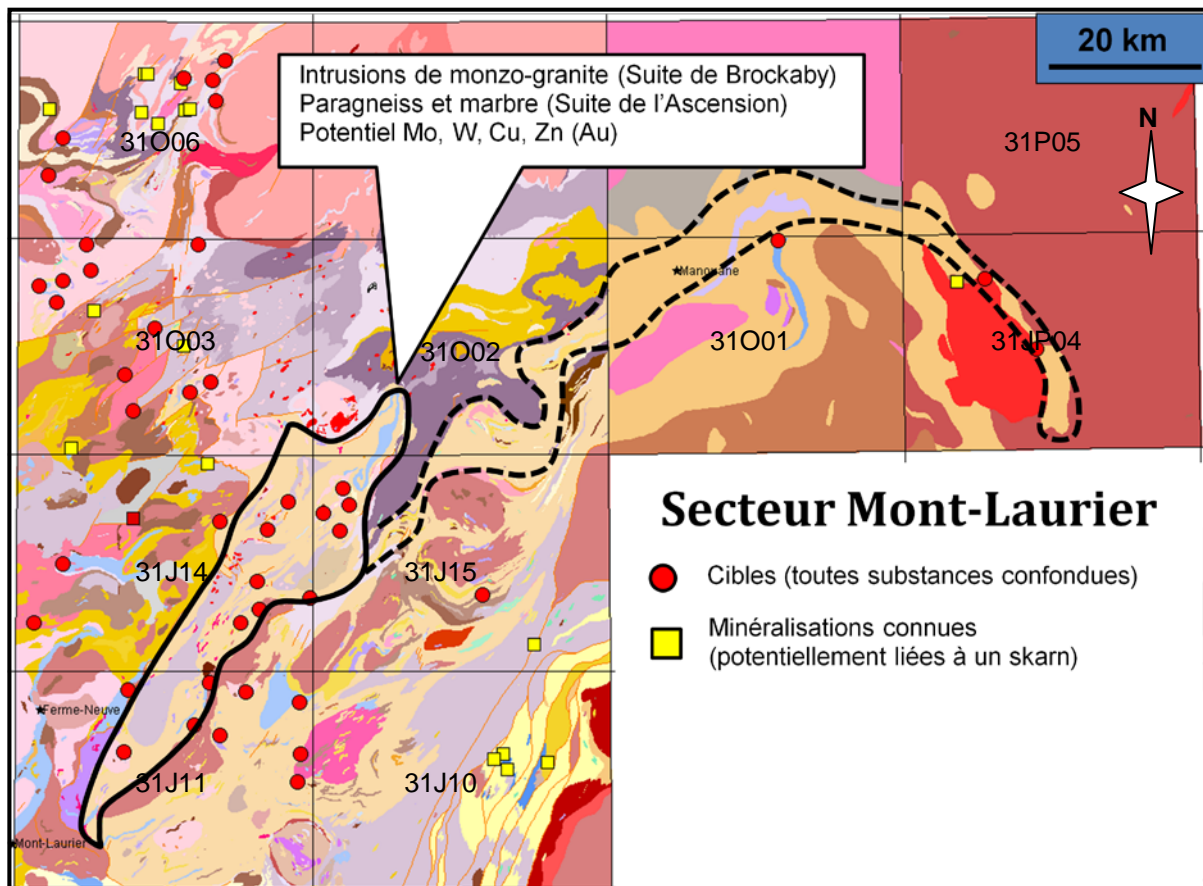


Figure 10. Cibles pour les minéralisations de type skarn dans la région de Mont-Laurier. Les zones délimitées par les lignes noires pleines et pointillées représentent les zones où les cibles se retrouvent dans un contexte favorable, c'est-à-dire où de petites intrusions granitiques recoupent les paragneiss et marbres. La ligne pointillée représente une extension interprétée des assemblages lithologiques présents dans la zone délimitée par le trait plein. Géologie par Nantel (2007) et Davidson (1996). Voir figure 9 pour localisation. Légende en annexe.

6.3 Secteur Gatineau (Fort-Coulonge)

Ce secteur couvre deux feuillets 1/50 000 qui ont été cartographiés au milieu des années 1990 par Madore et al., (1994; 1996). Le niveau de détails de la description minéralogique ne permet pas d'utiliser les différents indicateurs. L'évaluation du potentiel a donc été réalisée à partir de la carte géologique et de différents levés de sédiments de ruisseaux. Plusieurs zones anormales en métaux ressortent et se superposent à des contacts granite – marbre (**figure 11**). Ce type de contexte, c'est-à-dire, des intrusions de granites de tailles restreintes dans une bande de marbre, est typique des minéralisations de type skarn. Les associations Zn-Cu-Mo et Au-Cu seraient favorables aux skarns. Du côté ouest de la région, plusieurs anomalies se retrouvent le long du contact entre des marbres et des orthogneiss. Il s'agit d'un contact de faille, ce qui n'empêche pas la possibilité de minéralisations de type skarn, car les failles peuvent canaliser les fluides nécessaires à la formation de skarn.

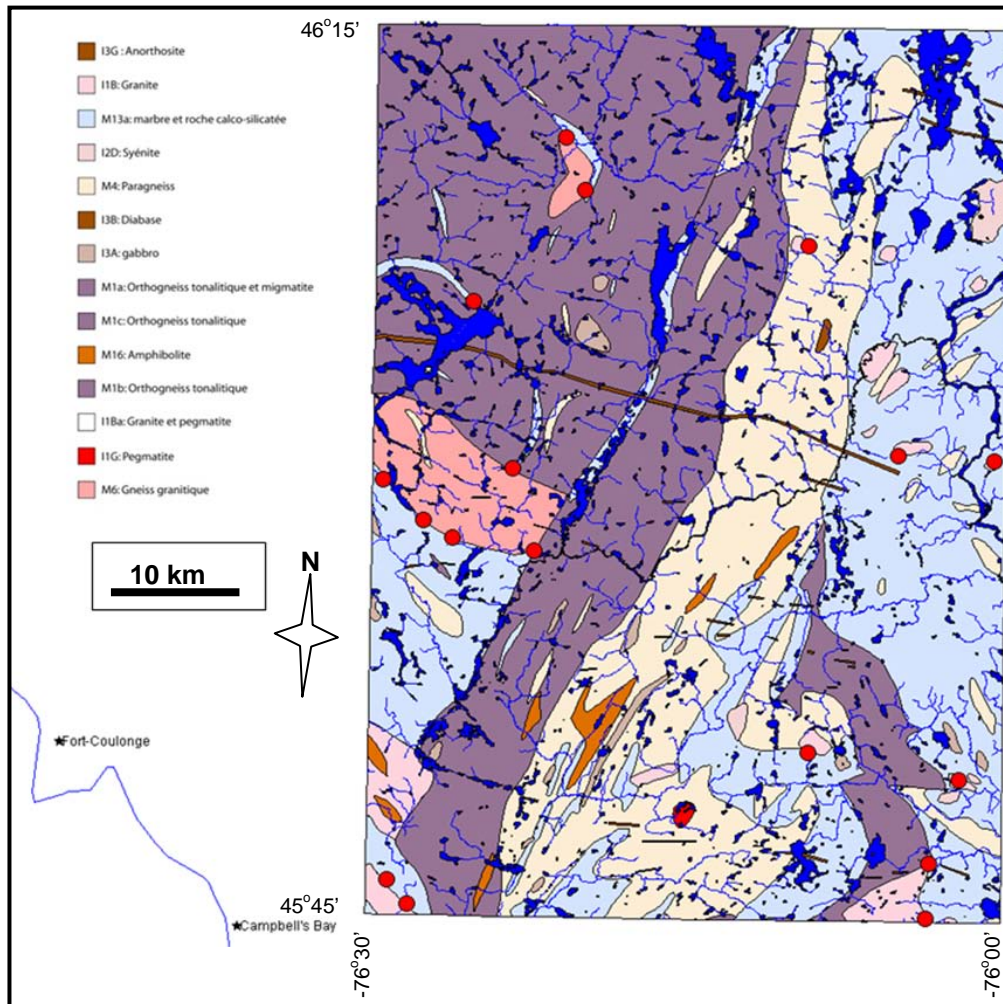


Figure 11. Cibles, tous métaux confondus, pour les minéralisations de type skarn dans le secteur Gatineau (Fort-Coulonge). Géologie par Madore et al., (1994; 1996). Voir figure 9 pour localisation.

7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'évaluation du potentiel pour les minéralisations de type skarn dans le Grenville suggère que deux grands secteurs seraient favorables, soit celui du Groupe de Wakeham et de la Ceinture métasédimentaire centrale. D'autres zones plus localisées ressortent également et sont majoritairement associées à de petites bandes de paragneiss. Il est à noter qu'il est fort probable que des zones potentielles n'aient pas été recensées par la présente étude étant donné le détail de la carte de départ. Il n'en demeure pas moins que les grands terranes sédimentaires sont les endroits à privilégier. Il est important de souligner que les marbres constituent la roche hôte par excellence, mais que les paragneiss, surtout s'ils contiennent de petites bandes de calcaires, peuvent être considérés comme une lithologie favorable. Il est également impératif de comprendre que la minéralisation liée au système de type skarn peut se situer au-delà des zones tampons identifiées. Ceci est surtout vrai pour les systèmes à zinc qui peuvent avoir des minéralisations distales à l'intrusion (*mantos*). Au contraire, le cuivre est plutôt proximal. Que la minéralisation se retrouve près ou loin du contact entre l'intrusion et la roche réactive, la minéralogie de type skarn se retrouvera près de ce contact.

La façon dont les données ont été abordées au cours du présent travail permet de définir des endroits où des minéralisations de type skarn peuvent se retrouver. Toutefois, le détail doit se faire au niveau des travaux de terrain. La géophysique à grande échelle donne des résultats mitigés à cause de la complexité des éléments liés aux skarns. Néanmoins, à l'échelle d'une intrusion, les méthodes conventionnelles (mag, gravité) pourront aider à détecter les anomalies possiblement liées à une minéralisation. Une autre approche à préconiser est la minéralogie fine. Ainsi, la détermination de la chimie et des caractéristiques des minéraux indicateurs (grenat et pyroxène) permettront de définir des vecteurs d'exploration. La seule présence de scapolite peut être trompeuse, car il est appert que seule la variété meionite⁴ est associée aux minéralisations (Meinert et al., 2005).

⁴ Les variétés minérales du groupe des scapolites présentent des compositions variant entre la meionite ($\text{Ca}_4(\text{Si}, \text{Al})_{12}\text{O}_{24}(\text{CO}_3, \text{SO}_4)$) et marialite ($\text{Na}_4(\text{Si}, \text{Al})_{12}\text{O}_{24}\text{Cl}$).

RÉFÉRENCES

- Birkett, T.C., et Sinclair, W.D., 1998. Rare-metal replacement deposits (skarns and fenites) associated with alkalic and carbonatite complexes. *Dans* Mineralized intrusion-related skarn systems. Mineralogical Association of Canada. pp. 445-473.
- Brown, P.E., Bowman, J.R., et Kelly, W.C., 1985. Petrologic and stable isotope constraints on the source and evolution of skarn-forming fluids at Pine Creek, California. *Economic Geology*, **80**: 72-95.
- Corriveau, L., et Gorton, M.P., 1993. Coexisting K-rich alkaline and shoshonitic magmatism of arc affinities in the Proterozoic: A reassessment of syenitic rocks in the southwestern Grenville Province. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **113**: 262-279.
- Davidson, A., 1996. Geological compilation, geology of Grenville province. Commission géologique du Canada, Dossier public 3346
- Hocq, M., 1994. La Province de Grenville. *Dans* Géologie du Québec. Bibliothèque nationale du Québec, Québec: 75-94.
- Madore, L., Globensky, Y., et Sharma, K.N.M., 1994. Synthèse géologique de la région de Fort-Coulonge (MB 94-39), Québec.
- Madore, L., Sharma, K.N.M., Barrette, P., et Boudreault, S., 1996. Synthèse géologique de la région du Lac Pythongas (MB 96-34), Québec.
- Meinert, L.D., 1987. Skarn zonation and fluid evolution in the Groundhog mine, Central mining district, New Mexico. *Economic Geology*, **82**: 523-545.
- Meinert, L.D., 1995. Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits - chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization. *Dans* Magmas, fluids and ore deposits. Mineralogical Association of Canada. pp. 401-418.
- Meinert, L.D., Brooks, J.W., et Myers, G.L., 1990. Whole rock geochemistry and contrasts among skarn types. *Dans* geology and ore deposits of the Great Basin - Field trip guidebook compendium. geological Society of Nevada, Reno, Nevada. pp. 72-80.
- Meinert, L.D., Dipple, G.M., et Nicolescu, S., 2005. World skarn deposits. *Dans* Economic Geology 100th Anniversary Volume. Society of Economic Geologists, United States. pp. 299-336.
- Nantel, S. 2007. Carte géologique de la partie nord de la Ceinture centrale des métasédiments, Province de Grenville - version préliminaire, Québec.
- Newberry, R.J. 1982. Tungsten-bearing skarn of the Sierra Nevada. I. The Pine Creek mine, California. *Economic Geology*, **77**: 823-844.
- Nicolescu, S., et Cornell, D.H., 1999. P-T conditions during skarn formation in the Ocna de Fier ore district, Romania. *Mineralium Deposita*, **34**: 730-742.
- Nörtemann, M.F.J., Mücke, A., Weber, K., et Meinert, L.D., 2001. Mineralogy of the Navachab deposit, Namibia. Henno-Martin Memorial Volume of the Communications of the Geological Survey of Namibia, **12**: 149-156.
- Peck, W.H., DeAngelis, M.T., Meredith, M.T., et Morin, E., 2005. Polymetamorphism of marbles in the Morin terrane, Grenville Province, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **42**: 1949-1965.
- Sheppard, S., Walshe, J.L., et Pooley, G.D., 1995. Noncarbonate, skarnlike, Au-Bi-Te mineralization, Lucky Draw, New South Wales, Australia. *Economic Geology*, **90**: 1553-1569.
- Taylor, B.E., 1976. Origin and significance of C-O-H fluids in the formation of Ca-Fe-Si skarn, Osgood Mountains, Humboldt County, Nevada, Stanford University, Stanford, California.

Tomkins, A.G., 2007. Three mechanisms of ore re-mobilisation during amphibolite facies metamorphism at the Montauban Zn-Pb-Au-Ag deposit. *Mineralium Deposita*, **42**: 627-637.

ANNEXE A – LÉGENDE DE LA FIGURE 10

	Pegmatite rose à quartz et feldspath ± biotite
	Paragneiss,nodule,muscovite,sillimanite,tourmaline
	Tonalite blanche, épidote, fiaser
	Monzogranite, sillimanite, muscovite ± fibrolite
	Diorite,diorite quartzifère, interlitées, tonalite
	Tonalite,granodiorite,diorite,monzodiorite,gabbro
	Paragneiss feldspathique et quartzofeldspathique
	Paragneiss feldspathique, paragneiss alumineux
	Marbre dolomitique trémoilte
	Diorite à hornblende et biotite
	Migmatite rose à grain grossier
	Migmatite grise à biotite à grain moyen à grossier
	Quartzite, gneiss quartzitique
	Alaskite, pegmatite, granite et leucogranite
	Jotunite
	Granulite leucocrate
	Granite rose porphyroïde et pegmatite
	Syérite
	Roches à calcosilicates, pegmatites
	I4B,MI-4
	M13
	Gneiss à biotite-hornblende-plagioclase,leucocrate
	Monzogranite à clinopyroxène
	Migmatite rose à biotite et hornblende
	Leuconorite à hornblende, massif
	Granodiorite, biotite et hornblende, ocellée
	Amphibolite ± grenat
	Paragneiss à biotite, grenat, pyrite, pyrrhotite
	Quartzite à grenat ± sillimanite
	Gabbro, norite, leuconorite et anorthosite
	Brèche intrusive dans une matrice de syénogranite
	Enderbite, opdalite, jotunite et charnockite
	Gabbro,gabbronorites,leuconorite,anorthosite
	Marbre calcitique,dolomitique,scapolite,forstérite
	Paragneiss féritisé
	Syérite leucocrate, porphyroïde, clinopyroxène
	Shonkinite à pyroxène et orthose en phénocristaux
	Monzogranite, schlierens, biotite
	Syérite à néphéline, porphyroïde
	Monzonite,monzonite quartzifère,syérite,apatite
	Serpentinite et diopsidite
	Quartzite et gneiss quartzeux,graphite,tourmaline
	Orthogneiss monzogranitique,magnétique, gabbro
	Monzonite et monzonite quartzifère rose à aegyryne
	Monzogranite,enclave diorite,gneiss,rouille
	Quartzite avec filons-couches de gabbro (mPche1)
	Granite massif, folié ou gneissique
	Paragneiss,sillimanite,grenat,graphite,cordiérite
	Roche métasomatique blanche ou rouille
	Tourbière