
Stratégies d'exploration pour le zinc dans le Grenville

Essais pour le sud-ouest grenvillien

PROJET 2008-06

PAR : HUGUES LONGUEPEE

JUILLET 2010



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. 2010. Stratégies d'exploration pour le zinc dans le Grenville. Rapport du projet CONSOREM 2008-06, 28 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

RESUME

Le projet 2008-06 avait comme principal objectif de réévaluer plusieurs modèles ou concepts à l'origine de minéralisations zincifères dans le Grenville afin de proposer de nouveaux outils et de nouvelles stratégies d'exploration. Parmi les modèles les plus prometteurs, les minéralisations de type SEDEX sont considérées comme ayant un fort potentiel. Ce type d'environnement de minéralisation est proposé pour des minéralisations zincifères encaissées dans des marbres (Balmat-Edwards, Franklin, Cadieux, etc.). Les unités de marbre dans le Grenville sont donc des métalotectes à rechercher. Une difficulté importante toutefois, est que dans plusieurs secteurs, ces unités de marbres sont mal délimitées ou simplement non identifiées. Ainsi, une méthode de cartographie prévisionnelle par réseaux neuronaux et logique floue, applicable spécifiquement à la recherche des marbres dans le contexte du Grenville du sud du Québec, a été développée. Celle-ci permet de cibler les petites bandes de marbre (2 à 5 km), mais pas celles de taille inférieure. Les critères utilisés correspondent à la différence entre l'élévation mesurée et l'élévation moyenne (DEM), aux plats magnétiques (dérivée verticale), à la géochimie des sédiments de ruisseaux (minéraux lourds et silts). D'autres part, différents tests ont été réalisés sur certains critères par exemple l'interprétation de failles synsédimentaires.

À partir des anomalies de sédiments de ruisseaux, de la carte prévisionnelle et de la position possible de failles synsédimentaires, plusieurs cibles sectorielles d'exploration ont été identifiées dans les régions de Mont-Laurier, de Montauban et du Wakeham.

TABLE DES MATIERES

RESUME	II
TABLE DES MATIERES	III
1 INTRODUCTION	1
2 OBJECTIF	3
3 REGION CIBLEE	3
4 TECHNIQUES ET CONCEPTS EVALUES.....	4
4.1 Indicateur 1 – Présence de formation de fer	5
4.1.1 Application et résultat	6
4.2 Indicateur 2 - Failles syn-sédimentaires.....	6
4.2.1 Application et résultat	7
4.3 Teneur en manganèse des dolomites.....	8
4.4 Sédiments de ruisseaux	12
4.5 Chlorose	13
4.5.1 Application.....	14
4.6 Carte des sols	14
4.6.1 Résultats	15
4.7 Cédrières.....	16
4.8 Topographie	19
5 CARTOGRAPHIE PREVISIONNELLE	20
6 CIBLES.....	22
7 CONCLUSION.....	25
RÉFÉRENCES	27

LISTE DES FIGURES

- Figure 1.** Localisation des indices de zinc (★) situés dans la partie québécoise de la Province de Grenville. Notez la forte concentration de ces indices dans le sud-ouest de la province. Non localisé, le gîte de Cadieux se situe juste à l'ouest de la frontière Québec-Ontario. CCMS : indices de la ceinture centrale métasédimentaire. Source : Sigéom, 2008. 1
- Figure 2.** Localisation de la zone d'étude. Cette zone correspond à la zone couverte par les relevés de géochimie de ruisseaux revue par Trépanier (2009). 3

Figure 3. Synthèse des éléments génétiques d'un SEDEX et zonalité des métaux associée à ce type de gisement. Modifiée de Leach et al.(2005).	5
Figure 4. Formation de fer du Lac Roddick. Il s'agit d'un mince horizon à magnétite-magnésite-graphite-breunnérite. Photo tirée de Gauthier <i>et al.</i> , 2004.	7
Figure 5. Carte des failles dans la partie sud-ouest du Grenville québécois. A) Localisation des failles selon le Sigéom (2008) et interprétation de leur caractère fragile – ductile (S. Faure, communication personnelle, 2008). B) Failles pouvant être considérées comme des candidats de structures syn-sédimentaires basé sur leur orientation et leur position en tant que limite de grands assemblages méta-sédimentaires.	9
Figure 6. Graphique montrant le contenu en manganèse de quelques gisements et indices échantillonnés. Les analyses ont été effectuées par micro-XRF.	10
Figure 7. Valeur du ratio MnO _d pour des marbres hôtes de minéralisation. La valeur la plus élevée provient d'un échantillon riche en olivine de l'indice Leitch. Analyse par micro-XRF.	11
Figure 8. Localisation des anomalies en zinc telles que définies par les 98 au 99,5 ^{ième} centile (•) dans les sédiments de ruisseaux. Source : Trépanier, 2009.	12
Figure 9. Localisation des anomalies en zinc telles que définies par les 98 au 99,5 ^{ième} centile (•) et les valeurs supérieures au 99,5 ^{ième} centile (•) dans les sédiments de ruisseaux. Source : Trépanier, 2009.	13
Figure 10. Analyse en composante principale des analyses de sédiments de ruisseaux dont le résultat permet d'identifier les éléments chimiques associés aux marbres (P, Ca, Sr). Source : Trépanier, 2009.	14
Figure 11. Couverture des travaux de caractérisation des sols de l'IRDA (vert) comparée à la zone couverte par la présente étude (rouge).	16
Figure 12. Comparaison entre la distribution des unités de marbre connus et la présence de thuyas pour le feuillet SNRC 31J11. A) Géologie de la région (Nantel, 2007). Les marbres sont illustrés en bleu pâle. B) Distribution des peuplements forestiers contenant des thuyas comme espèce principale (rouge), secondaire (orange) ou mineure (jaune). Données de l'IRDA (2008).	17
Figure 13. Analyse spatiale de la distribution des surfaces interprétées de marbres (M13) en fonction des cédrières. La pente d'environ 1 de la droite indique que plus on augmente la taille de la zone tampon autour des cédrières (la taille de la zone tampon correspond aux triangles sur le graphique) plus on retrouve de marbre. Par exemple, à 642 mètres de zone tampon, on englobe 40 % de la zone d'étude et 30 % des marbres. Les deux courbes en pointillé donnent des exemples de corrélation positive (90 % des marbres à 20 % de la surface pour des zones tampon de 327 mètres) et négative (10 % des marbres pour 60 % de la surface pour des zones tampon de 973 mètres). Source des données : Sigéom, 2008 et IRDA, 2008.	18
Figure 14. Analyse spatiale de la distribution des affleurements de marbres (M13) en fonction des cédrières. La pente d'environ 1 indique l'absence de corrélation entre les deux. Source des données : Sigéom, 2008 et IRDA, 2008.	19
Figure 15. Analyse spatiale de la distribution des affleurements de marbres (M13) en fonction de l'élévation. La courbe indique une corrélation positive entre les deux. En effet, environ 80 % des affleurements de marbre se situe sous des élévations de 251 mètres, ce qui correspond à 30 % du territoire.	20
Figure 16. Comparaison des unités de marbre prédites par la cartographie prévisionnelle (en bleu) et les unités cartographiées de marbre (zones grises). A) Comparaison à l'échelle de la zone d'étude. B) Détail de la zone encadrée. Géologie Sigéom, 2008.	21

Figure 17. Synthèse des divers indicateurs et éléments conceptuels reliés à de potentielles minéralisations de type SEDEX encaissées dans les carbonates. On retrouve les marbres cartographiés et prédits, les anomalies de sédiments de ruisseaux et les failles interprétées comme syn-sédimentaires. Les trois encadrés représentent les zones détaillées aux **Figures 18 à 20**.22

Figure 18. Cibles pour les SEDEX dans les marbres dans la Vallée de la Gatineau. La majorité des cibles se retrouvent près d'indices connus. Les deux anomalies encadrées dans la partie sud de la région sont inexplicables et représentent des cibles de premier ordre.23

Figure 19. Cibles pour les SEDEX dans les marbres dans le secteur de Saint-Jovite. Il existe peu d'indices connus dans ce secteur, mais de multiples anomalies dans les sédiments de ruisseaux. Les deux anomalies au sud-ouest sont associées à des marbres prédits, celles au sud-est à des marbres cartographiés. Les deux au centre se retrouvent dans l'extension de failles interprétées comme syn-sédimentaires.24

Figure 20. Cibles pour les minéralisations en zinc dans la Ceinture de Montauban. Les marbres prédits sont possiblement des amphibolites.25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Taille et teneur de plusieurs indices et gîtes de type SEDEX dans les carbonates localisés dans la portion québécoise de la ceinture centrale métasédimentaires.2

1 INTRODUCTION

Le potentiel zincifère de la Province de Grenville ne peut être mis en doute avec des gisements importants comme ceux de Balmat-Edwards (43,5 Mt à 9,5 % Zn; www.midlandexploration.com) et de Franklin - Sterling Hill (6,5 Mt Zn; Johnson et Skinner, 2003) tous deux localisés dans la portion américaine du Grenville. Bien que la portion québécoise du Grenville présente des contextes géologiques semblables ainsi qu'une grande quantité d'indices appréciables de ce type de minéralisation, aucun gisement d'importance n'y a encore été décelé exception faite du gisement de Montauban (0,761 Mt à 3,46 % Zn; Gauthier et Brown, 1980).

Le fait que la plus grande concentration d'indices zincifères reconnus se retrouve dans la partie sud-ouest du Grenville (**Figure 1**) mérite qu'on s'y attarde plus particulièrement. On y dénote deux sous-régions qui semblent plus propices à ce type de minéralisation soit la ceinture volcano-sédimentaire de Montauban, hôte du gisement de Montauban et la ceinture centrale métasédimentaire (CCM). Dans cette dernière, les divers gisements et indices (**Tableau 1**) sont interprétés comme des SEDEX encaissés dans des carbonates à l'exception de Calumet (3,8 Mt à 5,9 % Zn; Gauthier et Brown, 1980) qui est interprété comme un sulfure massif volcanogène.

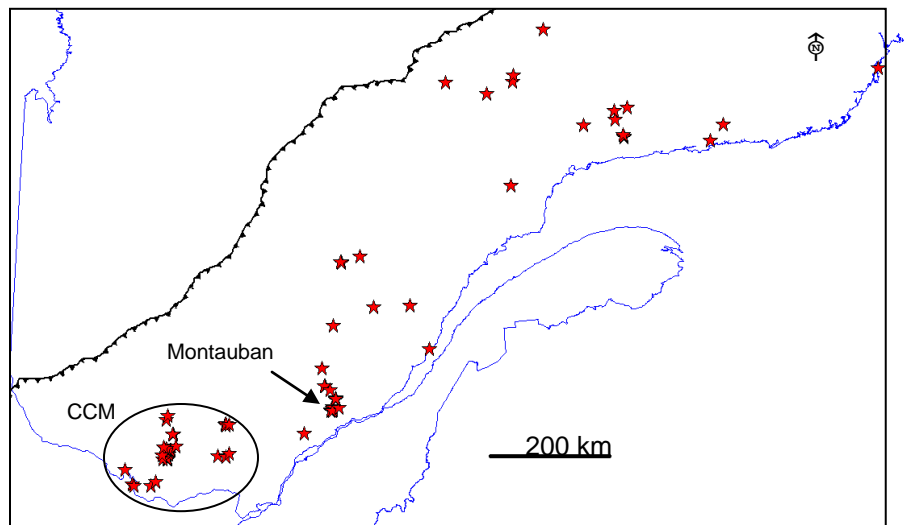


Figure 1. Localisation des indices de zinc (★) situés dans la partie québécoise de la Province de Grenville. Notez la forte concentration de ces indices dans le sud-ouest de la province. Non localisé, le gîte de Cadieux se situe juste à l'ouest de la frontière Québec-Ontario. CCMS : indices de la ceinture centrale métasédimentaire. Source : Sigéom, 2008.

Malgré leur potentiel à former des gisements de grande taille (Leach *et al.*, 2005), les SEDEX sont, de manière générale, relativement difficiles à trouver vu l'absence de zone d'altération marquée (sauf pour les gisements proximaux), leur caractère stratiforme et leur signature géophysique complexe (MacIntyre, 1995). Ces difficultés sont accentuées dans la Province de Grenville en raison du degré élevé de métamorphisme et de déformation (Hocq, 1994), mais également à cause d'un état de connaissances partiel et hétérogène.

Tableau 1. Taille et teneur de plusieurs indices et gîtes de type SEDEX dans les carbonates localisés dans la portion québécoise de la ceinture centrale métasédimentaires. ¹ Gauthier et Brown, 1980, ² www.midlandexploration.com, ³ Gisement de type VMS.

Nom de l'indice	Teneur (% Zn)	Taille (Mt)	Longueur
Walsh ²	9,55		
« Sans nom » ²	8,5		
Bouchette ²	23,9		
Leitch ²	10	0,127	
Chute Rouge ²	18		
Lafontaine ¹	14	0,02	
Lemieux ²	1,78		0,67 m
Aumond ²	5,1		2,45 m
Kilmar ²	9,1		1,15 m
Cadieus ²	9,4	1,25	
Calumet ^{2,3}	5,8	3,8	
Long Lake (Ont.) ²	11,6	0,094	

Les techniques d'exploration communément utilisées dans la recherche de SMV au Québec et plus particulièrement dans les terrains archéens par exemple, ne pourront être efficaces dans un contexte grenvillien. Pourtant, en considérant les éléments nécessaires à la formation de gisements zincifères plusieurs ingrédients peuvent être mis en relation particulièrement pour des minéralisations de type SEDEX. La philosophie de ce projet est donc de revoir les fondements des modèles de minéralisation de type SEDEX et tenter de mettre en évidence des éléments de favorabilité au sein du Grenville, ceci à partir de la base de données SIGEOM du MNRF.

2 OBJECTIF

L'objectif du projet est donc de revoir et de rehausser les éléments d'informations géoscientifiques disponibles afin de formuler des guides d'exploration pour les minéralisations zincifères de type SEDEX adaptés à la Province de Grenville.

3 REGION CIBLEE

La partie ouest de la portion québécoise de la Province de Grenville (**Figure 2**) a été choisie pour cette étude en raison de son contenu en indices zincifères déjà reconnus au sein d'unités de marbres. De plus, cette région comprend une bonne quantité de données publiques (Corriveau *et al.*, 1993 et 1994, Gauthier, 1982, Gauthier et Brown, 1986, etc.) et privées permettant de tester certaines hypothèses. Finalement, la région correspond également au territoire couvert par un autre projet CONSOREM sur les sédiments de ruisseaux par Trépanier (2009).

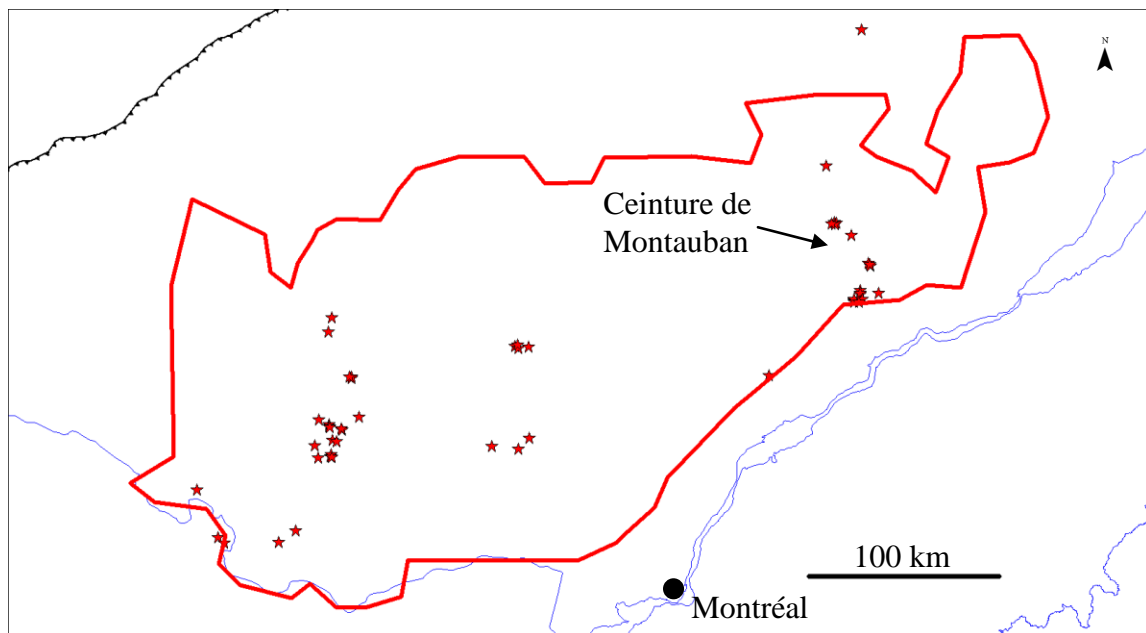


Figure 2. Localisation de la zone d'étude. Cette zone correspond à la zone couverte par les relevés de géochimie de ruisseaux revue par Trépanier (2009).

4 TECHNIQUES ET CONCEPTS EVALUES

Afin de valoriser les données disponibles du secteur d'étude, certains concepts ou techniques seront testés en vue d'évaluer leur applicabilité pour définir des guides ou un support à l'exploration. De cette manière, neuf outils ou concepts ont été analysés. Ces outils et concepts sont considérés comme des indicateurs de favorabilité pour la minéralisation et ont été divisés en trois catégories : les indicateurs primaires, secondaires et tertiaires.

Les indicateurs primaires représentent des éléments directement reliés à la mise en place d'une minéralisation de type SEDEX ou encore, des éléments faisant partie intégrante des modèles génétiques (**Figure 3**). Parmi ces indicateurs on retrouve :

- la présence de formation de fer,
- la présence de failles syn-sédimentaires,
- des anomalies en manganèse.

Les indicateurs secondaires sont des éléments qui découlent de la présence d'anomalies en zinc dans l'environnement secondaire. La géochimie des sédiments de ruisseau et des taux de chlorophylle anormalement bas (chlorose) sont inclus dans ces indices.

Finalement, les indicateurs tertiaires sont des éléments indirects qui permettent, en théorie, de reconnaître la présence de marbre, hôte potentiel de SEDEX. Les indicateurs tertiaires sont entre autre la présence de cédrières, la typologie des sols ou encore des variations topographiques.

Les prochaines sections s'attardent à chacun des indicateurs en expliquant leurs fondements théoriques, leurs applicabilités et leurs efficacités.

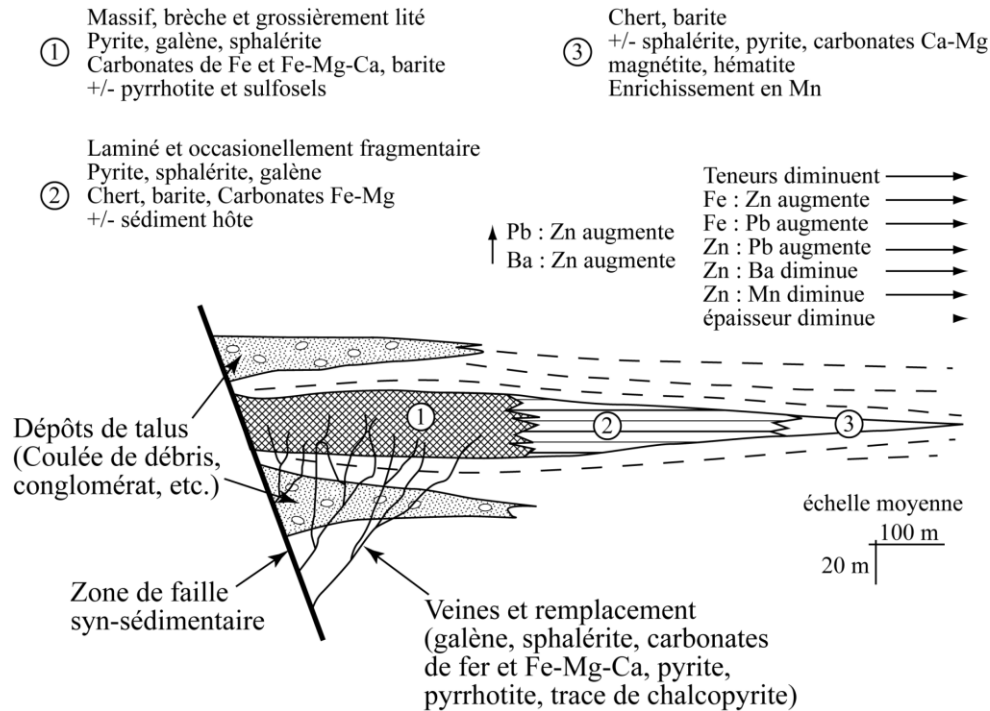


Figure 3. Synthèse des éléments génétiques d'un SEDEX et zonalité des métaux associée à ce type de gisement. Modifiée de Leach et al.(2005).

4.1 Indicateur 1 – Présence de formation de fer

La présence de formation de fer, soit au-dessus, en-dessous ou comme équivalent latéral aux sulfures massifs est commune dans les minéralisations de type SEDEX (Leach *et al.*, 2005). Il s'agit de formation de fer à oxydes, mais aussi à carbonates et/ou sulfures (Ryan *et al.*, 1986). Ces formations de fer ont une puissance variant de quelques centimètres à plusieurs mètres et s'étendent latéralement sur des kilomètres (Ryan *et al.*, 1986). Elles représentent un ou des épisodes d'exhalaison. Dans le modèle SEDEX en remplacement des carbonates on dénote la présence d'enrichissement en fer et manganèse latéralement à la minéralisation (Leach *et al.*, 2005). L'exemple le plus spectaculaire de cette association est le gisement de Franklin qui est associé à de grands gisements de manganèse (Johnson et Skinner, 2003).

4.1.1 Application et résultat

Les banques de données SIGEOM et les données privées ont été utilisées pour relever la présence des formations de fer. Dans la région à l'étude, aucune formation de fer n'est répertoriée dans la base de données SIGEOM. Toutefois, une petite unité de formation de fer est reconnue dans le secteur du Lac Roddick (Gauthier *et al.*, 2004; **Figure 4**). Cette formation de fer est riche en manganèse, mais possède une puissance de seulement quelques centimètres et elle est discontinue et peut se suivre seulement sur une courte distance. Cette formation de fer n'est donc pas identifiée sur les cartes régionales. Toutefois, sa présence est une indication qu'il est possible d'en reconnaître d'autres. Toutefois, pour ce faire, des travaux de terrain sont nécessaires, car avec des telles dimensions les chances qu'elles soient visibles sur des levés magnétiques aéroportés sont faibles.

4.2 Indicateur 2 - Failles syn-sédimentaires

Un élément essentiel à la mise en place de minéralisation de type SEDEX est la présence d'une faille syn-sédimentaire qui canalise les fluides minéralisateurs (Leach *et al.*, 2005). Ces failles peuvent être proximales ou distales à la minéralisation.

Les failles syn-sédimentaires marquent la limite de bassins sédimentaires et sont souvent associées à des dépôts de talus tels des conglomérats, des coulées de débris, et autres dépôts dus à la présence d'une pente abrupte. La reconnaissance d'une telle faille peut servir de point de départ pour définir des tendances géochimiques ou minéralogiques indicatrices de minéralisation.



Figure 4. Formation de fer du Lac Roddick. Il s'agit d'un mince horizon à magnétite-magnésite-graphite-breunnérite. Photo tirée de Gauthier *et al.*, 2004.

4.2.1 Application et résultat

La Faille de Balmat, qui passe à proximité des gisements de Balmat-Edwards et Pierrepont est interprétée comme une faille syn-sédimentaire (Whelan *et al.*, 1984). Cette interprétation se base sur la proximité relative des gisements énumérés. Ailleurs dans la Province de Grenville, il est difficile de reconnaître un tel type de faille, car ses caractéristiques primaires sont masquées par le métamorphisme et la déformation. Aucune mention de conglomérat n'a été relevée dans les bases de données et les structures sédimentaires associées (c.-à-d. slumps) ont fort probablement été détruites lors de la recristallisation. Donc, dans le cas présent, seule la limite de bassins ou sous-bassins sédimentaires peut être utilisée comme critère. Si l'on se fie aux limites de distribution des grandes étendues de calcaires et marbres ainsi qu'à l'orientation des failles par rapport à la Faille de Balmat, plusieurs failles pourraient être de bon candidats pour être considérées comme syn-sédimentaires (**Figure 5**). Ces failles seront intégrées dans un exercice de définition de cible dans une section ultérieure du présent rapport. Les travaux antérieurs du CONSOREM ont permis d'attribuer un caractère surtout fragile ou surtout ductile à ces failles (**Figure 5**).

4.3 Teneur en manganèse des dolomites

Comme c'est le cas pour les formations de fer associées aux SEDEX, les dolomies hôtes de ce type de minéralisations contiennent beaucoup de manganèse (Large et McGoldrick, 1998). Cet ajout de manganèse, ainsi que de magnésium (dolomitisation de la calcite) sont des indicateurs d'altération des calcaires. C'est pourquoi Large et McGoldrick (1998) ont établi un ratio permettant de définir la quantité de Mn dans la dolomite à partir des analyses de roche totale (**Équation 1**).

$$\text{MnO}_d = 30,41\text{MnO}/\text{CaO}$$

Équation 1

L'application de ce concept pourrait être simple pour le Grenville puisqu'il s'agirait d'appliquer l'**Équation 1** aux analyses de calcaire et marbre de la région d'étude et ainsi cibler les zones où le MnO_d est le plus élevé. Toutefois, les analyses de marbre sont quasi-inexistantes. Afin de pallier à ce manque de données, plusieurs échantillons provenant de la région d'étude ont été récoltés puis analysés au micro-XRF autant au niveau du contenu en MnO dans les dolomites et que dans les autres minéraux.

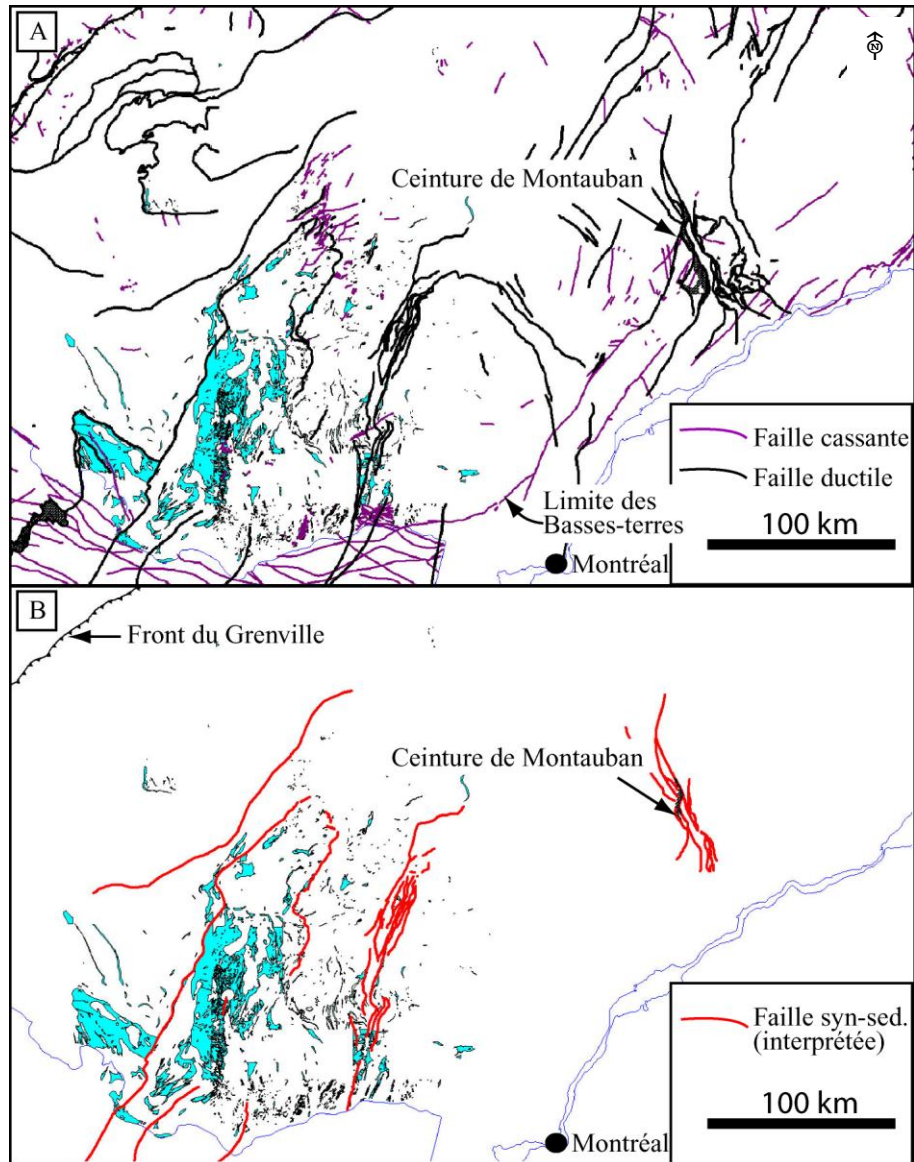


Figure 5. Carte des failles dans la partie sud-ouest du Grenville québécois. A) Localisation des failles selon le Sigéom (2008) et interprétation de leur caractère fragile – ductile (S. Faure, communication personnelle, 2008). B) Failles pouvant être considérées comme des candidats de structures syn-sédimentaires basé sur leur orientation et leur position en tant que limite de grands assemblages méta-sédimentaires.

Les analyses ponctuelles des grains de dolomite (**Figure 6**) montrent que le contenu en MnO n'est pas relié au volume du gisement. On peut donc s'interroger sur l'intensité de cette altération. La **Figure 7** montre qu'un des échantillons de l'indice Leitch a un MnO₂ élevé et que cet échantillon contient beaucoup d'olivine. On peut supposer que le MnO se retrouve principalement dans l'olivine. On note également que les marbres de Balmat

ne sont pas plus enrichis en MnO que les autres localités. Ces deux observations permettent de conclure que la teneur en MnO de la dolomite semble peu applicable à la Province de Grenville pour deux raisons.

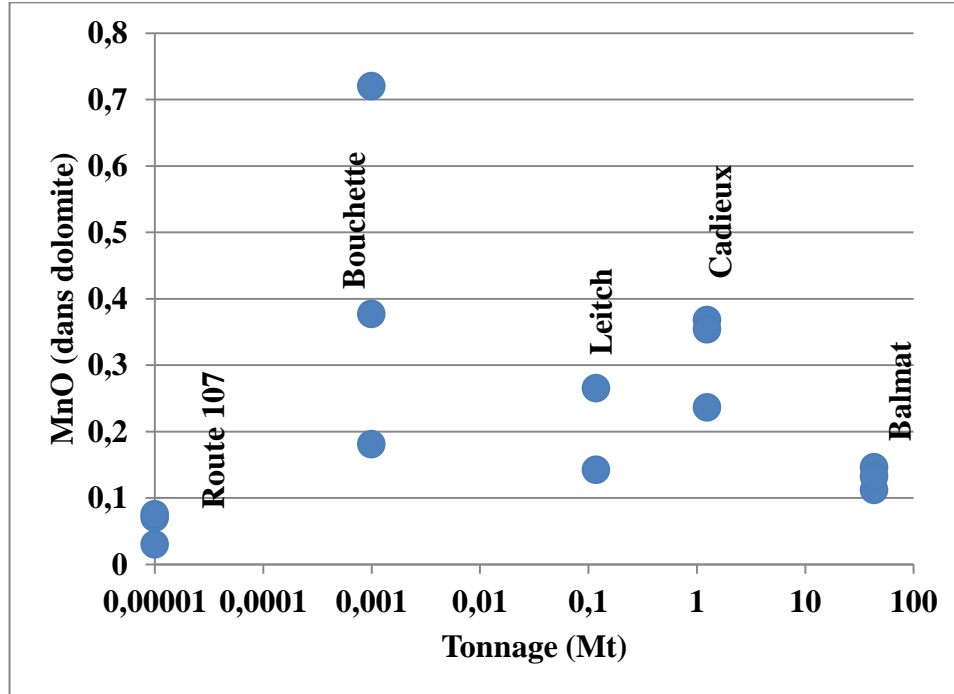


Figure 6. Graphique montrant le contenu en manganèse de quelques gisements et indices échantillonnés. Les analyses ont été effectuées par micro-XRF.

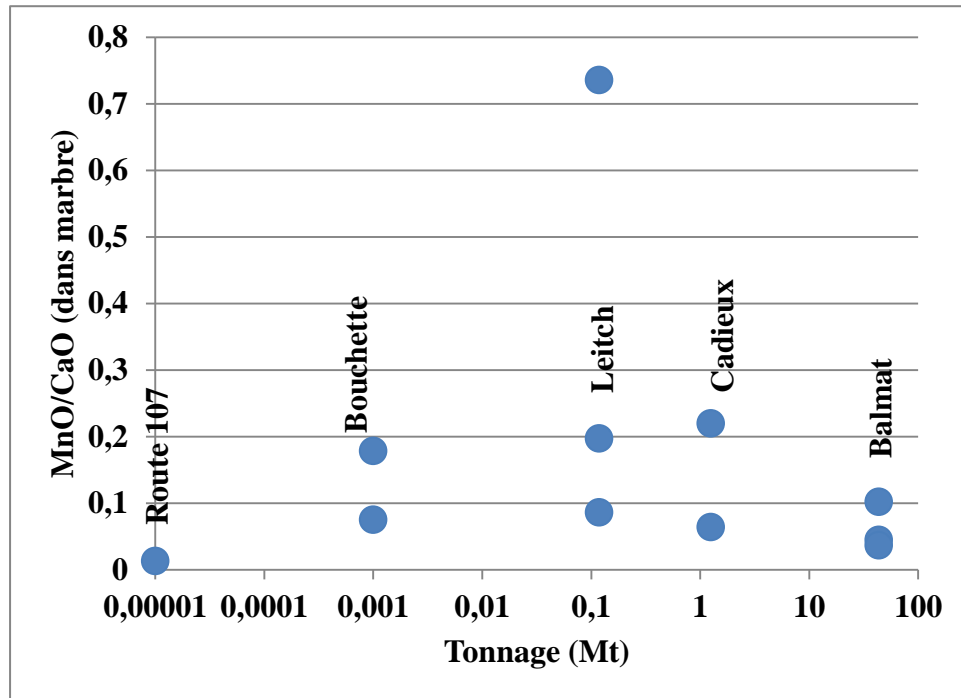


Figure 7. Valeur du ratio MnO_d pour des marbres hôtes de minéralisation. La valeur la plus élevée provient d'un échantillon riche en olivine de l'indice Leitch. Analyse par micro-XRF.

La première raison est que, lors du métamorphisme, le manganèse est potentiellement transféré des carbonates vers les silicates, en l'occurrence l'olivine, L'effet réel de ce phénomène sur l'Équation 1 est mal défini, car ce ratio est défini pour la roche totale.

La deuxième raison concerne la remobilisation des sulfures lors du métamorphisme. À Balmat, il y a plusieurs évidences de remobilisation (de Lorraine et Dill, 1982) ce qui pourrait expliquer le déplacement des sulfures dans des zones moins altérées, donc dans des marbres calciques pauvres en MnO.

À ces deux problèmes, on peut également ajouter la difficulté à suivre un horizon altéré, encore une fois à cause de la complexité structurale de cette province géologique. Donc, la teneur en MnO de la dolomite est probablement peu efficace pour le secteur à l'étude. Ce ratio peut s'avérer utile sur une petite zone (propriété) afin de déterminer des vecteurs d'altération, mais ceci reste à confirmer par des études plus spécifiques.

4.4 Sédiments de ruisseaux

L'analyse des sédiments de ruisseau est considérée dans le présent rapport comme un indicateur secondaire, car une anomalie découle fort probablement d'une anomalie dans le socle. Dans le cas des SEDEX, on recherche des anomalies en Zn et Pb.

Le traitement des données de géochimie des sédiments de ruisseaux a fait l'objet de plusieurs projets Consorem et plus particulièrement le projet 2008-09 (Trépanier, 2009) qui traite des nombreuses analyses de ce type dans la région à l'étude. Les résultats présentés proviennent de ce rapport.

Les **Figures 8** et **9** montrent la localisation des diverses anomalies en zinc dans la région d'étude. Ces anomalies sont significatives dans un contexte de gisements de type SEDEX encaissés dans les carbonates, car la source de l'anomalie est fort probablement proximale. En effet, le caractère basique des calcaires neutralise les acides produits par les sulfures ce qui limite la mobilité des métaux (Trépanier, 2010). Une classification des multiples anomalies sera établie ultérieurement dans le rapport suite à l'intégration des autres indicateurs ou éléments conceptuels.

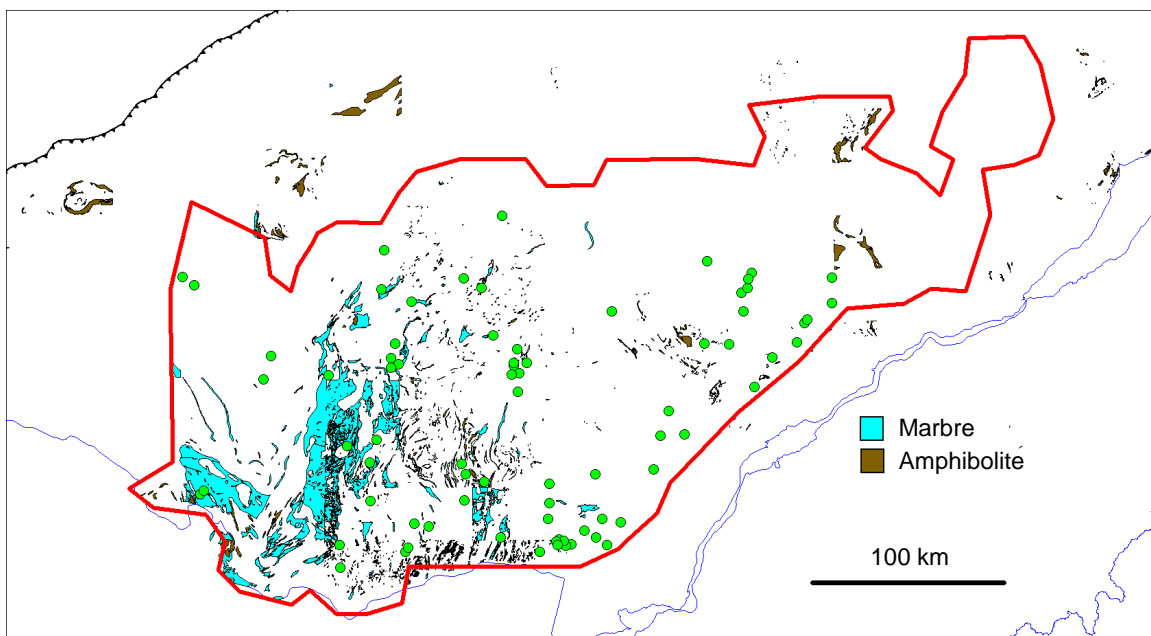


Figure 8. Localisation des anomalies en zinc telles que définies par les 98^{ème} au 99,5^{ème} centile (•) dans les sédiments de ruisseaux. Source : Trépanier, 2009.

Le traitement des données de sédiments de ruisseaux lors du projet 2008-09, n'a pas seulement permis de définir des anomalies en Zn, mais aussi des populations d'échantillons dont la composition chimique est liée à une source carbonatée (Trépanier, 2009; **Figure 10**). Ces échantillons seront utilisés ultérieurement afin de définir de nouvelles bandes de marbre.

4.5 Chlorose

La chlorose est une déficience en chlorophylle produite par une trop forte concentration en métaux dans le sol (http://www.ksre.ksu.edu/dp_hfrr/extensn/problems/irnchlor.htm). La liste des espèces affectées par ce phénomène comprend le chêne, les érables (à sucre et argenté) et le pin blanc, mais ne se limite toutefois pas uniquement à ces espèces.

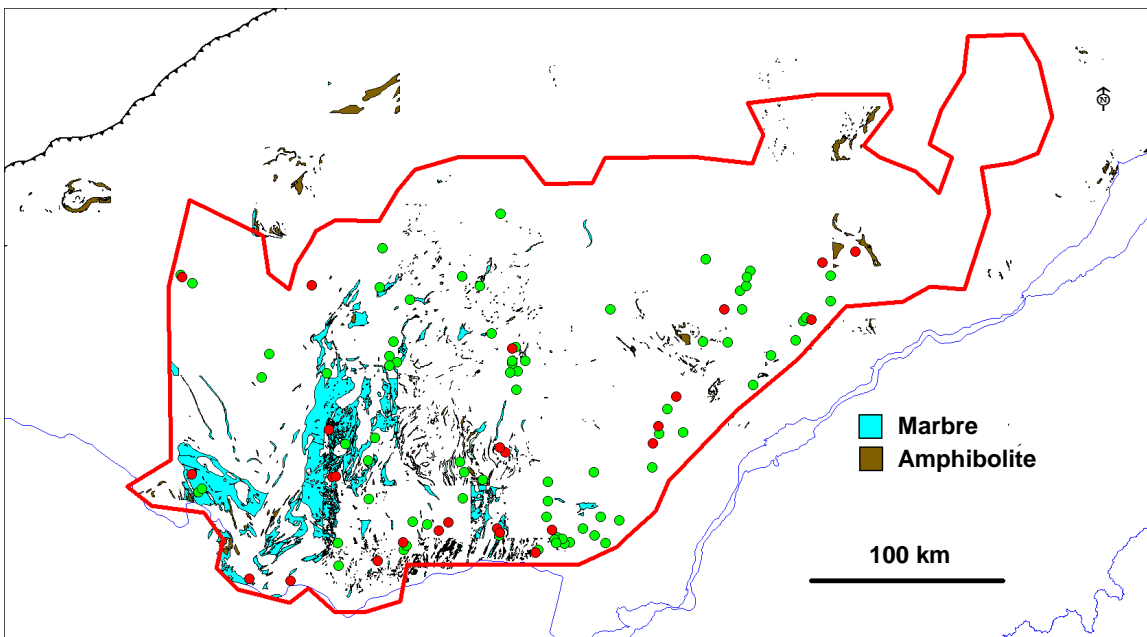


Figure 9. Localisation des anomalies en zinc telles que définies par les 98^{ième} au 99,5^{ième} centile (•) et les valeurs supérieures au 99,5^{ième} centile (•) dans les sédiments de ruisseaux. Source : Trépanier, 2009.

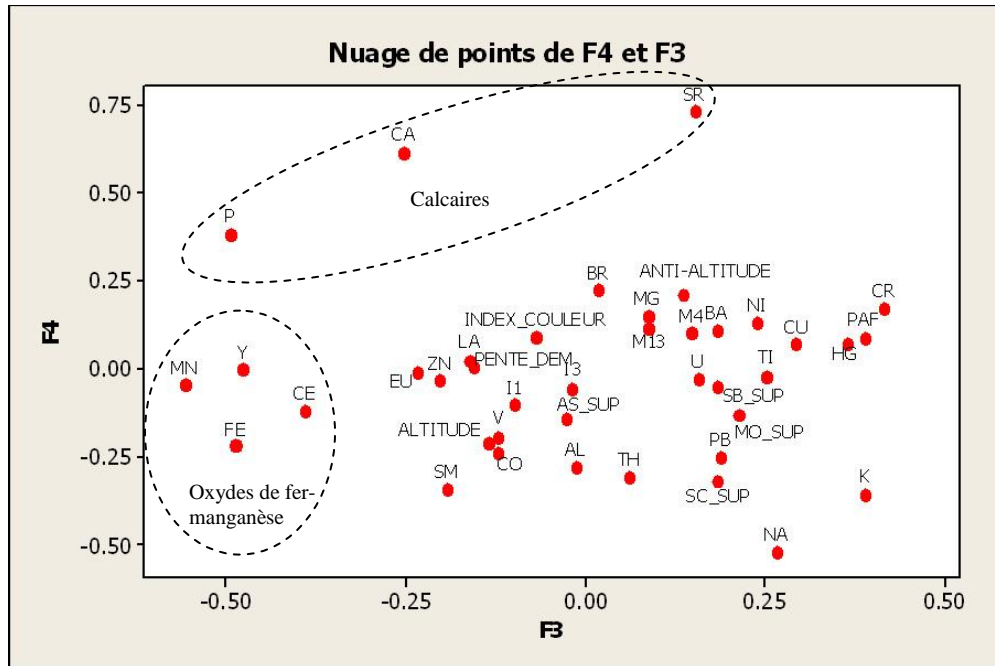


Figure 10. Analyse en composante principale des analyses de sédiments de ruisseaux dont le résultat permet d'identifier les éléments chimiques associés aux marbres (P, Ca, Sr). Source : Trépanier, 2009.

4.5.1 Application

La chlorophylle est un excellent réflecteur visible sur des images Landsat (Ren-hua et Zhi-lin, 1997). Donc, une carence en celle-ci crée une signature spécifique sur des données satellitaires. Il est possible d'identifier les zones où le sol est riche en métaux grâce aux bandes TM4 et TM5 (Tiwari *et al.*, 2011, Kujjo, 2010). La signature de la chlorophylle sur ces deux bandes est toutefois influencée par d'autres facteurs tels le métal anomalique, l'espèce végétale, l'architecture du couvert végétal et la topographie. Donc, cette technique peut s'avérer efficace, mais nécessite une connaissance de caractéristiques précises de la zone d'étude, ce qui constitue un projet en soi. Cette avenue n'a pas été testée dans le cadre du présent projet.

4.6 Carte des sols

Étant donné l'importance des marbres dans la recherche de gisements de type SEDEX, tout élément permettant de localiser des bandes de marbres non encore reconnues ou recensés par les cartes géologiques sera considéré comme un indicateur tertiaire.

La cartographie des sols est considérée justement comme un indicateur tertiaire, car les données ne donnent pas directement d'indication sur les minéralisations, mais plutôt sur le substrat rocheux. Au Québec, l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA) produit des cartes des sols détaillées. Ces cartes sont produites en utilisant 711 types de sols dont l'un des qualificatifs est intitulé « calcaire ». La présence de sols calcaires peut donc dénoter un socle de marbre.

La couverture des cartes de sols correspond en grande partie à la zone d'étude du présent projet (**Figure 11**). Cependant, les données sont divisées en feuillet 1 : 20 000 et disponibles au coût de 30 \$ le feuillet. Les coûts pour couvrir la zone d'étude sont très élevés. Des plus, le focus de ces études sont les zones agricoles. Il existe cependant une banque de données sur les sols disponibles sur le portail web de l'IRDA (<http://www.irda.qc.ca/fr/>) qui permet de relever toutes les occurrences de différents types de sols.

4.6.1 Résultats

En interrogeant la banque de données de l'IRDA, on se rend compte qu'il n'existe aucune mention de sols calcaires ou avec une teneur élevée en calcaire dans la sous-zone étudiée. La quasi-totalité des sols calcaires répertoriée par l'IRDA se situe dans les Basses-terres du Saint-Laurent, donc à l'extérieur de la Province de Grenville. En conséquence, les cartes de sols sont considérées comme inutiles pour l'identification de bandes de marbre dans le Grenville.

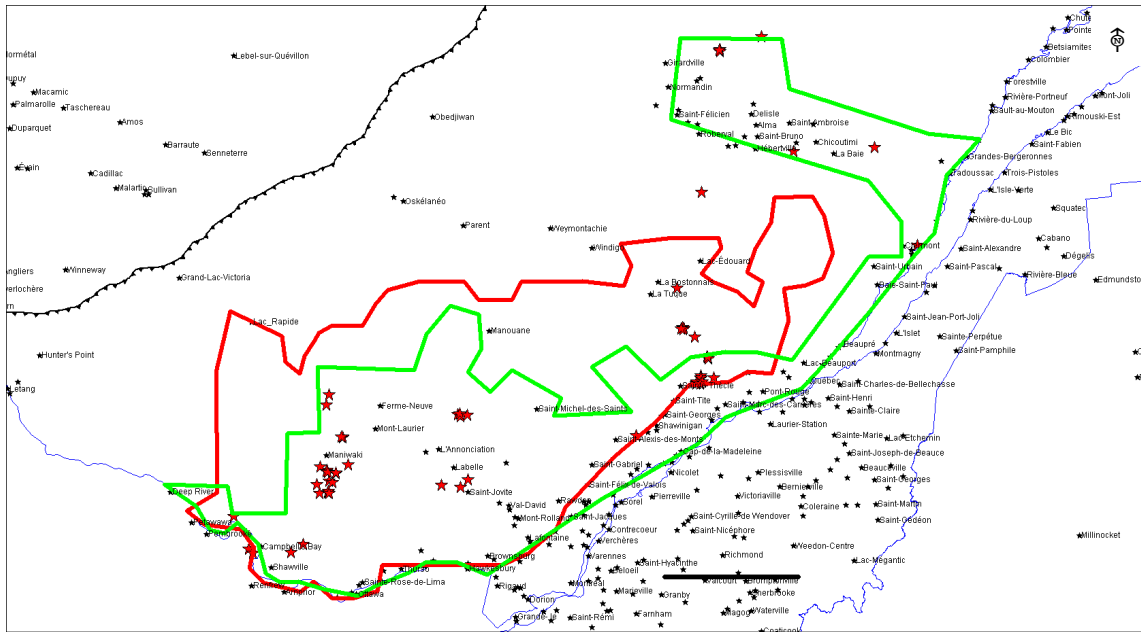


Figure 11. Couverture des travaux de caractérisation des sols de l'IRDA (vert) comparée à la zone couverte par la présente étude (rouge).

4.7 Cédrières

De l'avis de plusieurs intervenants de l'industrie minière, il existerait un lien entre la présence de cédrières et un socle composé de marbre. Ce lien a un fondement botanique vérifié qui indique que les cèdres, qui sont en réalité des thuyas, préfèrent les sols calcaires. Donc, l'hypothèse est simple en apparence, les cédrières permettraient possiblement d'interpréter des zones de marbre non encore reconnues.

À partir des cartes des espèces végétales produites par le Service de l'Inventaire forestier du Québec (<http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/index.jsp>), il est possible de les utiliser pour vérifier concrètement ce lien et en vérifier l'applicabilité en exploration minière.

Afin de vérifier la correspondance entre la géologie et les espèces végétales de type thuyas, une analyse spatiale entre ces deux couches d'information a été faite pour le secteur de Mont-Laurier (**Figure 11**) car cette zone a récemment été cartographiée au 1 : 50 000 (Nantel, 2007).

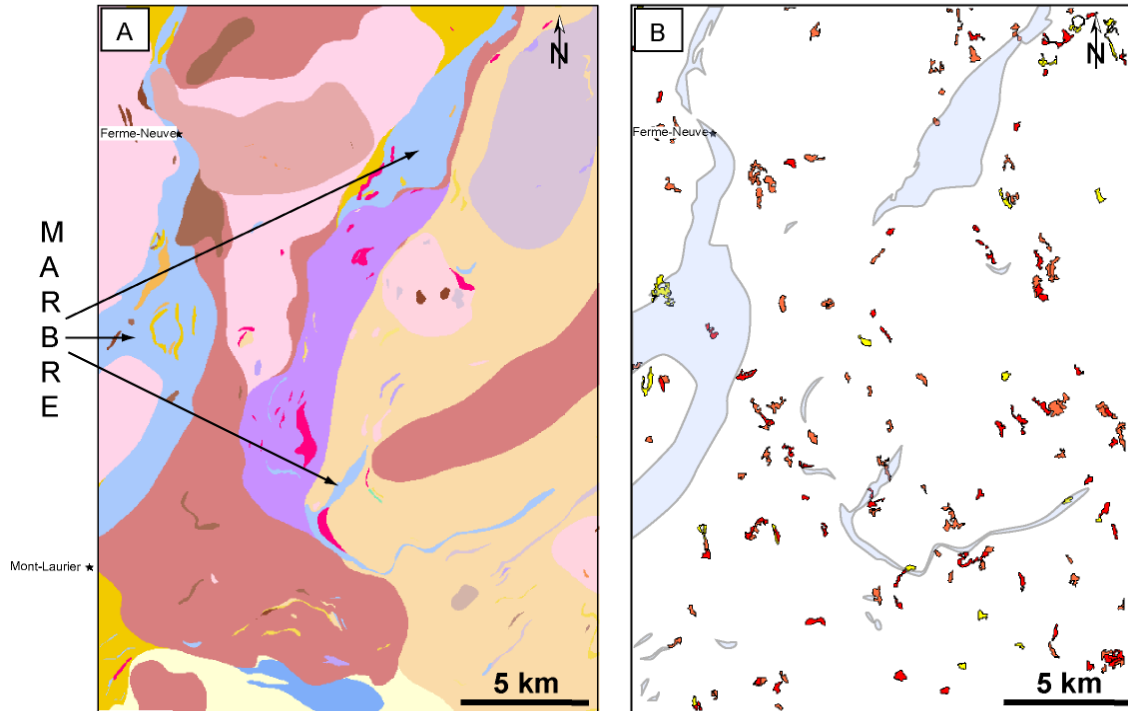


Figure 12. Comparaison entre la distribution des unités de marbre connus et la présence de thuyas pour le feuillet SNRC 31J11. A) Géologie de la région (Nantel, 2007). Les marbres sont illustrés en bleu pâle. B) Distribution des peuplements forestiers contenant des thuyas comme espèce principale (rouge), secondaire (orange) ou mineure (jaune). Données de l'IRDA (2008).

Les résultats de l'analyse spatiale montrent clairement l'absence de corrélations entre les bandes de marbre cartographiées et les zones où le thuya a été répertorié comme espèce principale ou subordonnée (**Figure 13**). Comme l'étendue des bandes de marbre implique un certain niveau d'interprétation cartographique, la comparaison entre la présence de thuyas et les affleurements de marbre a également été réalisée, et ce, avec les mêmes résultats (**Figure 14**). À la lumière de ces résultats, on peut affirmer que le lien entre cédrières et marbre n'est pas significatif. La raison principale pour expliquer ce manque de corrélation est que la distribution des espèces végétales est fort probablement le reflet de modifications anthropiques (coupe forestière, agriculture) plutôt que son caractère original.

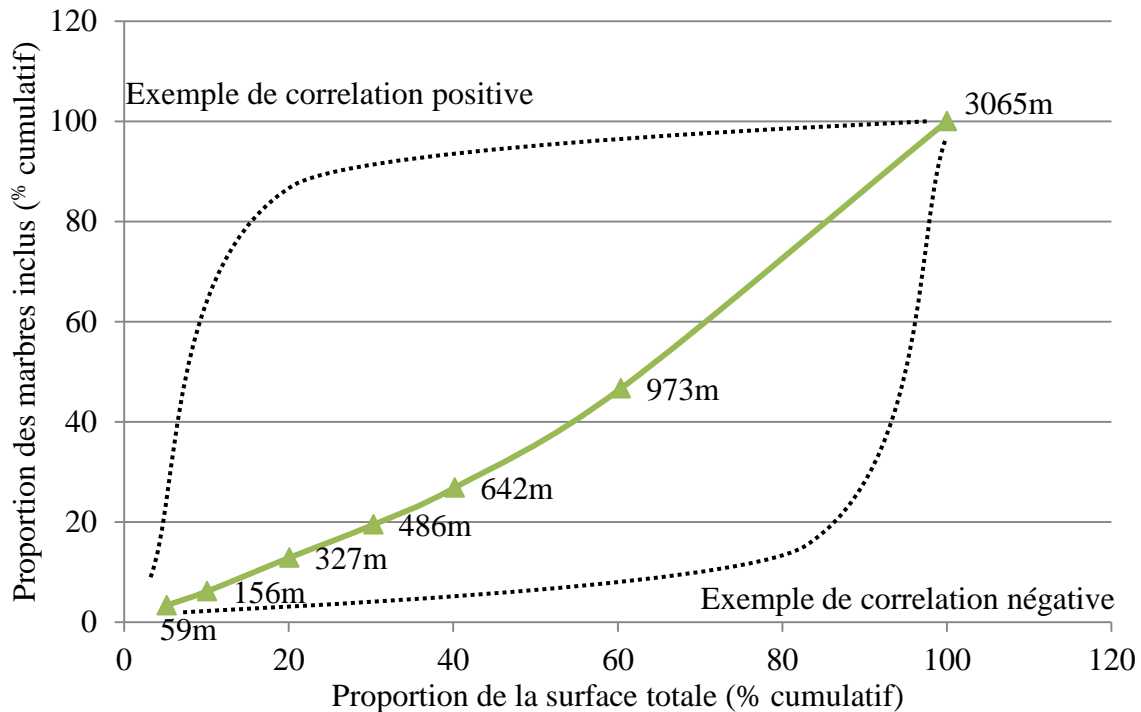


Figure 13. Analyse spatiale de la distribution des surfaces interprétées de marbres (M13) en fonction des cédrrières. La pente d'environ 1 de la droite indique que plus on augmente la taille de la zone tampon autour des cédrrières (la taille de la zone tampon correspond aux triangles sur le graphique) plus on retrouve de marbre. Par exemple, à 642 mètres de zone tampon, on englobe 40 % de la zone d'étude et 30 % des marbres. Les deux courbes en pointillé donnent des exemples de corrélation positive (90 % des marbres à 20 % de la surface pour des zones tampon de 327 mètres) et négative (10 % des marbres pour 60 % de la surface pour des zones tampon de 973 mètres). Source des données : Sigéom, 2008 et IRDA, 2008.

On peut poser la question à savoir s'il est possible d'utiliser d'autres espèces végétales afin d'identifier les bandes de marbre. De trop fortes concentrations en calcium peuvent provoquer une chlorose chez certains végétaux (Callot, 2010), mais les problèmes liés à la cartographie de ce phénomène sont les mêmes que ceux présentés précédemment.

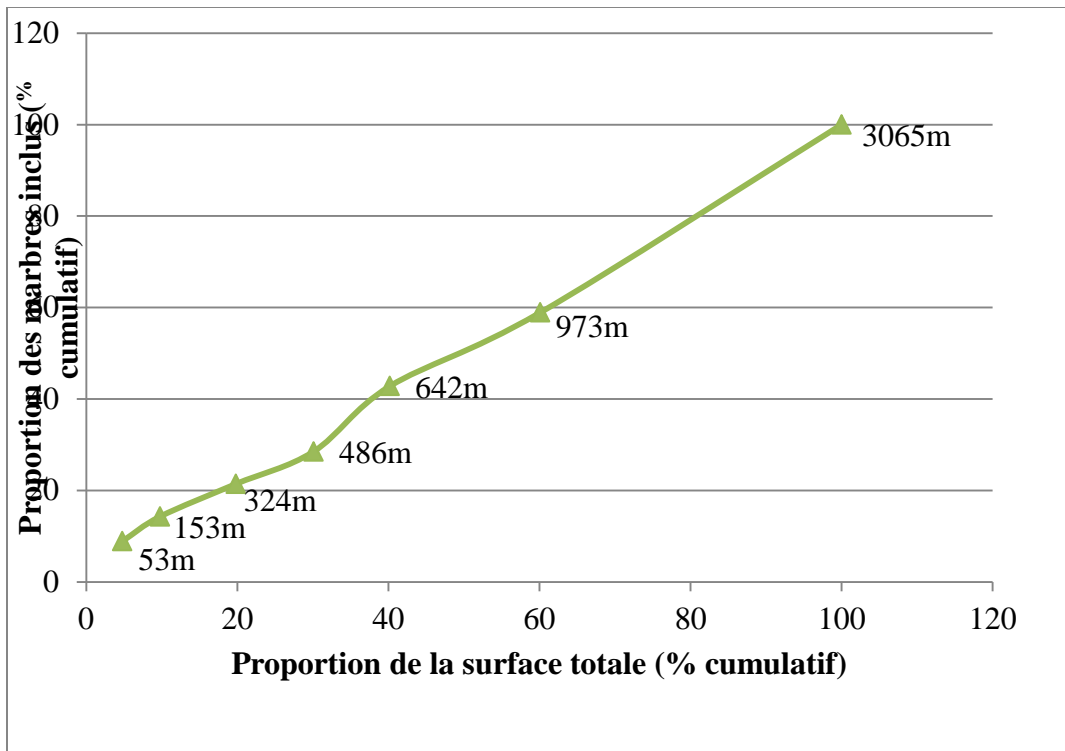


Figure 14. Analyse spatiale de la distribution des affleurements de marbres (M13) en fonction des cédrières. La pente d'environ 1 indique l'absence de corrélation entre les deux. Source des données : Sigéom, 2008 et IRDA, 2008.

4.8 Topographie

Les marbres sont des roches généralement plus molles et plus facilement solubles que des roches silicoclastiques. Il serait donc logique que les bandes de marbre, lorsqu'elles sont de largeur significative puissent générer des creux topographiques. Une analyse spatiale de la distribution des affleurements de marbre en fonction de la topographie a donc été réalisée.

La **Figure 15** montre un lien direct entre l'élévation et la présence d'affleurement de marbre pour un secteur test. En effet, 85 % des affleurements de marbre sont présents à des altitudes de 260 mètres et moins, ce qui correspond à 35 % du territoire. Cette corrélation sera utilisée dans un exercice de cartographie prévisionnelle qui permettra de définir de nouvelles bandes de marbre.

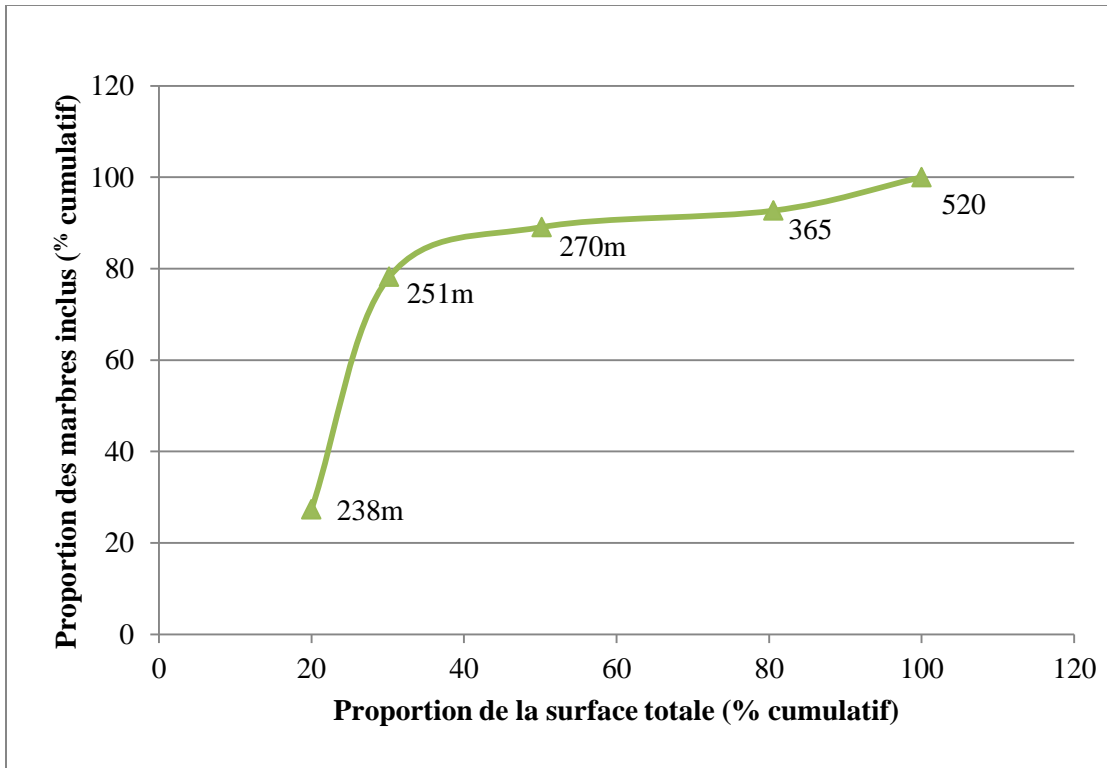


Figure 15. Analyse spatiale de la distribution des affleurements de marbres (M13) en fonction de l'élévation. La courbe indique une corrélation positive entre les deux. En effet, environ 80 % des affleurements de marbre se situe sous des élévations de 251 mètres, ce qui correspond à 30 % du territoire.

5 CARTOGRAPHIE PREVISIONNELLE

Les divers tests effectués sur les indices secondaires et tertiaires ont permis d'identifier des critères utilisables pour la reconnaissance de nouvelles bandes de marbre. La géochimie des sédiments de ruisseaux et la topographie seront combinées à un relevé magnétique aéroporté dans un exercice de cartographie prévisionnelle tel que défini par Trépanier et Faure (2006). Afin de compenser pour les variations régionales d'élévation, les anomalies topographiques associées au marbre seront définies par l'**Équation 2**.

Indication topographique = élévation mesurée – élévation moyenne **Équation 2**

Sur les données magnétiques, les marbres sont associés à des plats magnétiques dans la première dérivée verticale. La cartographie couvre entièrement le territoire visé par la présente étude.

Les résultats de la cartographie prévisionnelle (**Figure 16**) montrent une multitude de petites étendues de marbre qui, généralement, correspondent assez bien avec des marbres connus dont la longueur varie de 2 à 5 kilomètres. L'analyse des résultats montre que c'est la topographie qui constitue le facteur le plus déterminant.

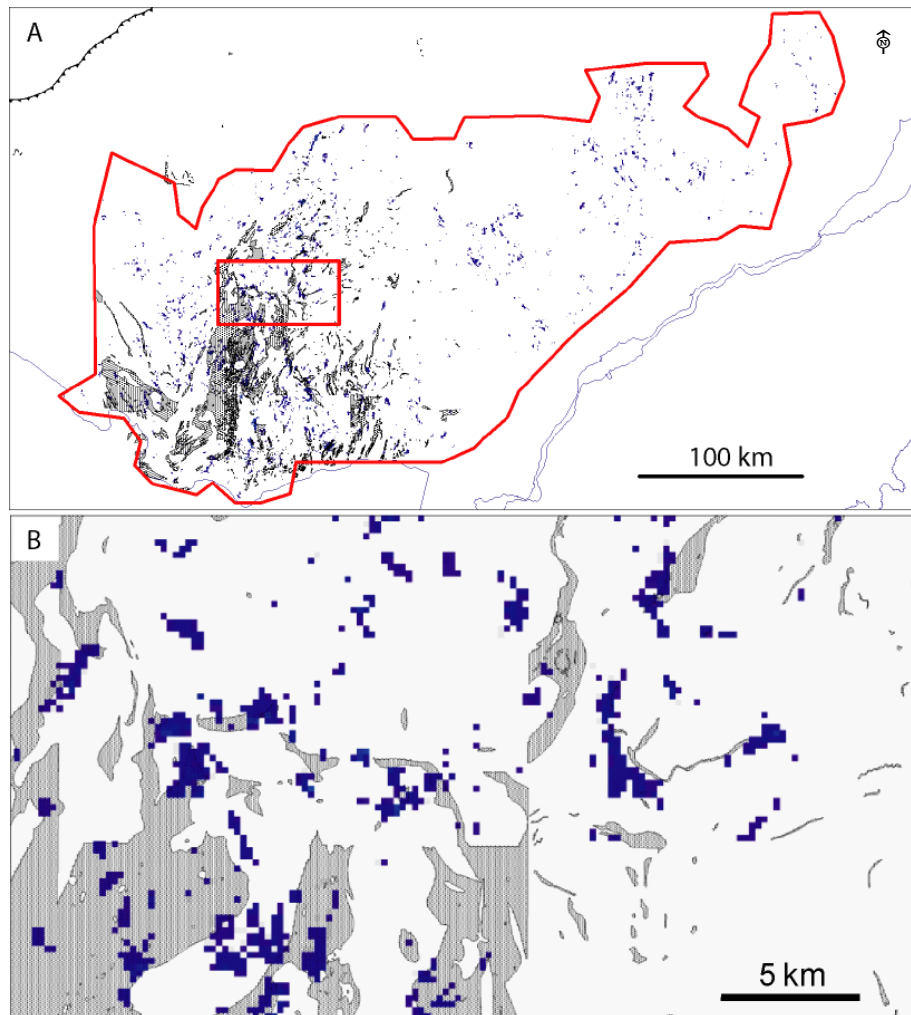


Figure 16. Comparaison des unités de marbre prédites par la cartographie prévisionnelle (en bleu) et les unités cartographiées de marbre (zones grises). A) Comparaison à l'échelle de la zone d'étude. B) Détail de la zone encadrée. Géologie Sigéom, 2008.

6 CIBLES

Le traitement des données de chimie de sédiments de ruisseaux a permis de définir plusieurs anomalies en Zn alors que la cartographie prévisionnelle a permis d'identifier plusieurs étendues de marbre. Ces deux éléments, combinés à l'interprétation de failles syn-sédimentaires permettent de cibler des secteurs d'intérêt pour les minéralisations en zinc (**Figures 17 à 20**).

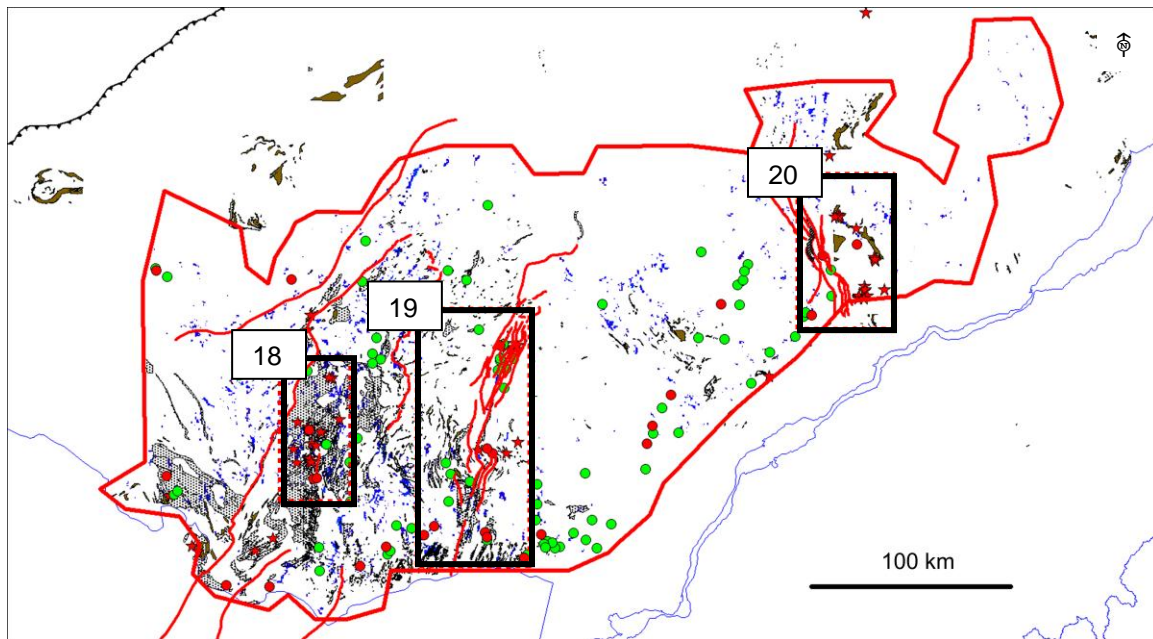


Figure 17. Synthèse des divers indicateurs et éléments conceptuels liés à de potentielles minéralisations de type SEDEX encaissées dans les carbonates. On retrouve les marbres cartographiés et prédits, les anomalies de sédiments de ruisseaux et les failles interprétées comme syn-sédimentaires. Les trois encadrés représentent les zones détaillées aux **Figures 18 à 20**.

Dans la Vallée de la rivière Gatineau, il existe plusieurs indices qui ont l'objet de plusieurs travaux d'exploration. Outre ces indices, on retrouve deux anomalies de sédiments de ruisseaux qui ne correspondent à aucune minéralisation connue (**Figure 18**). Ces anomalies se retrouvent dans un secteur avec beaucoup de marbre et non loin (1 kilomètre ou moins) d'une faille majeure qui limite les marbres (faille syn-sédimentaire ?).

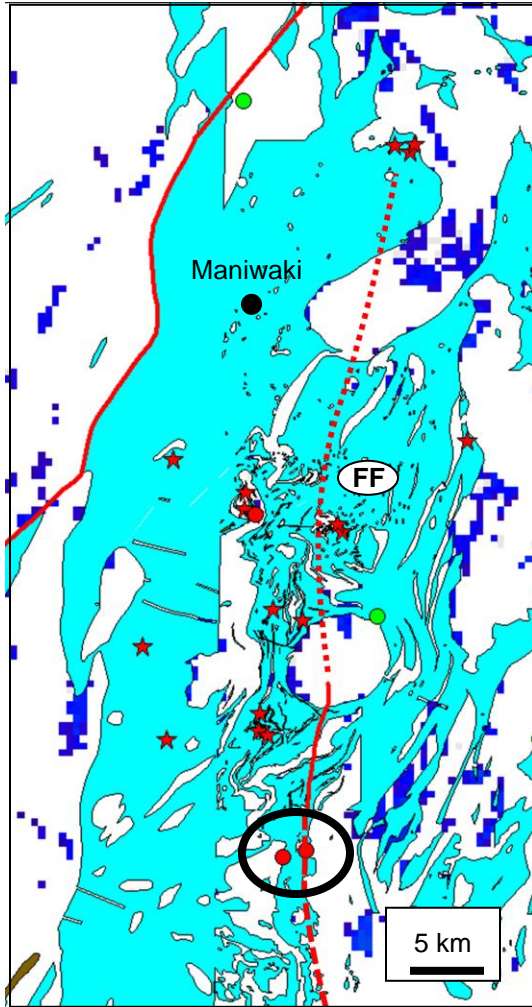











Figure 18. Cibles pour les SEDEX dans les marbres dans la Vallée de la Gatineau. La majorité des cibles se retrouvent près d'indices connus. Les deux anomalies encadrées dans la partie sud de la région sont inexpliquées et représentent des cibles de premier ordre.

Légende

-  Marbre cartographié
 -  Marbre prédit
 -  Faille syn-sédimentaire (interp.)
 -  Extension présumée des failles
 -  Formation de fer du Lac Roddick
 -  Anomalies 98-99,5^{ième} centile
 -  Anomalies >99,5^{ième} centile
- FF**



Il n'existe pas d'indices de zinc connus dans le secteur de Saint-Jovite, toutefois les sédiments de ruisseaux contiennent multiples anomalies (**Figure 19**). De ces anomalies, certaines se retrouvent dans des marbres connus, d'autres près de bandes de marbre identifiées par cartographie prévisionnelle et d'autres dans des marbres près de failles dont la trajectoire est similaire aux failles syn-sédimentaires potentielles.

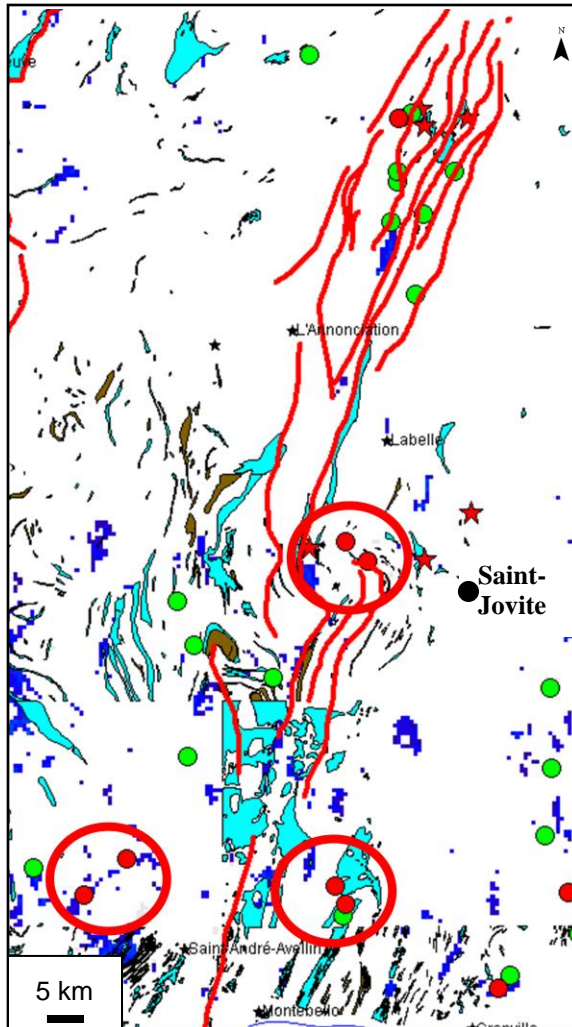









Figure 19. Cibles pour les SEDEX dans les marbres dans le secteur de Saint-Jovite. Il existe peu d'indices connus dans ce secteur, mais de multiples anomalies dans les sédiments de ruisseaux. Les deux anomalies au sud-ouest sont associées à des marbres prédits, celles au sud-est à des marbres cartographiés. Les deux au centre se retrouvent dans l'extension de failles interprétées comme syn-sédimentaires.

Légende

-  Marbre cartographié
-  Marbre prédit
-  Faille syn-sédimentaire (interp.)
-  Anomalies 98-99,5^{ième} centile
-  Anomalies >99,5^{ième} centile
- 
- 

Le troisième secteur qui montre des anomalies en Zn dans les sédiments de ruisseaux se retrouve dans ceinture de Montauban (**Figure 20**). Il existe plusieurs indices de zinc, mais ceux-ci sont associés à des méta-volcanites mafiques. D'ailleurs, certaines étendues de marbre définies par cartographie prévisionnelle se confondent avec des volcanites mafiques. Il est donc possible que les éléments utilisés ne soient pas parfaitement discriminants. Dans les cas de sulfures massifs volcanogènes, comme cela pourrait être le cas dans cette région, la dispersion du zinc est probablement plus importante que dans les marbres. Il n'en reste pas moins que ce secteur mérite d'être investigué.

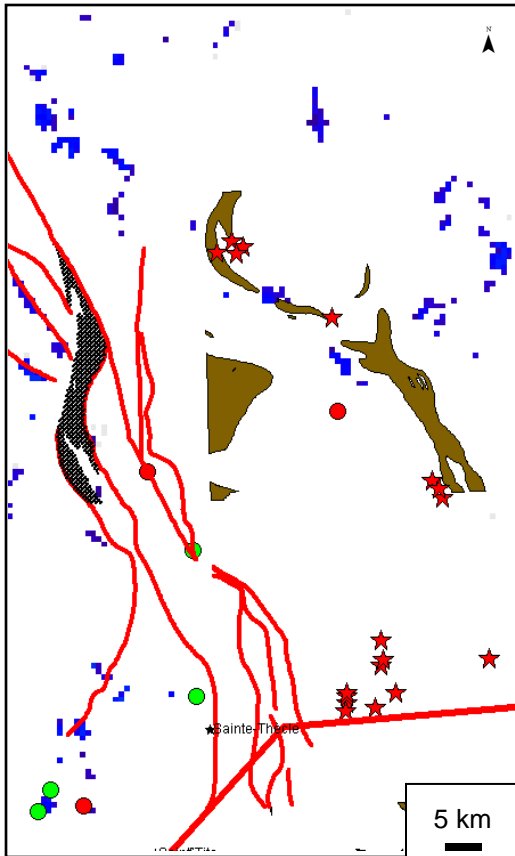


Figure 20. Cibles pour les minéralisations en zinc dans la Ceinture de Montauban. Les marbres prédits sont possiblement des amphibolites.

Légende

- Amphibolite
- Marbre prédit
- Faille syn-sédimentaire (interp.)
- Anomalies 98-99,5^{ième} centile
- Anomalies >99,5^{ième} centile
-
-

7 CONCLUSION

Les multiples indicateurs de minéralisation en Zn de type SEDEX et les éléments pouvant être liés à la présence de marbre se sont majoritairement avérés non applicables pour la région à l'étude. Les divers éléments faisant partie des modèles de mise en place de minéralisation en Zn dans les marbres sont peu applicables, car le métamorphisme et la complexité structurale de la Province de Grenville, modifient ou efface la signature primaire de la minéralisation. Il a été démontré que le lien avec les cédrières (thuyas), bien que théoriquement valide, n'est pas applicable, car l'activité humaine constitue le contrôle principal de répartition des espèces.

Cependant, la géochimie des sédiments de ruisseaux et les variations topographiques combinées aux levés aéroportés du champ magnétique donnent de bons résultats dans le cadre d'une cartographie prévisionnelle servant à identifier de nouvelles bandes de

marbre. Les nouvelles étendues de marbre couplées aux anomalies en Zn dans l'environnement secondaire ont permis d'identifier plusieurs cibles pour le Zn dans des zones où l'on rencontre d'autres indices et, dans des zones vierges.

RÉFÉRENCES

- Callot, T., 2010. Structure pédologique et fonctionnement du sol en relation avec la production végétale. Analyse au niveau parcellaire. Association Française pour l'étude du sol – www.afes.fr. pp. 167 – 181.
- Corriveau, L., Morin, D. et Boggs, K., 1993. Cibles d'exploration dans la Ceinture métasédimentaire, Province de Grenville, région de Mont-Laurier, Québec (SNRC 31J/2, 31J/3 et 31J/6). Commission Géologique du Canada, Dossier public 2617, 11 p.
- Corriveau, L., Morin, D. et Madore, L., 1994. Géologie et cibles d'exploration de la partie centre-est de la Ceinture métasédimentaire du Québec, Province de Grenville. Commission Géologique du Canada, Étude 94-C, pp. 355-365.
- de Lorraine, W.F. et Dill, D.B., 1982. Structure, stratigraphic controls, and genesis of the Balmat zinc deposits, Northwest Adirondaks, New York. *Dans Precambrian Sulphide Deposits, H.S. Robinson Memorial Volume, R.W. Hutchinson, Spence, C.D. et Franklin, J.M., Geological Association of Canada Special Paper 25, 571-596.*
- Gauthier, M. et Brown, A.C., 1980. Lithologic and stratigraphic setting of zinc mineralization in Grenville Metasediments, Quebec. *Mineralium deposita*, vol. 15, 163-174.
- Gauthier, M. et Brown, A.C., 1986. Zinc and iron metallogeny in the Maniwaki-Gracefield district, southwestern Quebec. *Economic Geology*, v. 81, pp. 89-112.
- Gauthier, M., 1982. Métallogénie du zinc dans la région de Maniwaki-Gracefield, Québec. Ministère de l'Énergie et des ressources du Québec, MM 82-03, 105 p.
- Gauthier, M., Corriveau, L. et Chouteau, M., 2004. Les gîtes minéraux métamorphisés et métamorphogéniques de la Ceinture centrale de Métasédiments du sud-ouest du Québec et sud-est de l'Ontario, Province de Grenville. Livret-guide d'excursion (12-13-14 mai 2004), Réseau de recherche Divex, 42 pages.
- Hocq, M., 1994. La Province de Grenville. *Dans Géologie du Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec MM 94-01, 75-94.*
- IRDA - <http://www.irda.qc.ca/fr/>, 2008
- Johnson, C.A. et Skinner, B.J., 2003. Geochemistry of the Furnace Magnetite Bed, Franklin, New Jersey, and the relationship between stratiform iron oxide ores and stratiform zinc oxide-silicate ores in the New Jersey Highlands. *Economic Geology*, vol. 98, 837-854.
- Kujjo, C.P., 2010. Application of remote sensing for gold exploration in the Nuba Mountains, Sudan. Master of Science. 99 p.
- Large, R.R. et McGoldrick, P.J., 1998. Lithogeochemical halos and geochemical vectors to stratiform sediment-hosted Zn-Pb-Ag deposits, Part 1: Lady Loretta deposit, Queensland. *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 63, 37-56.

- Leach, D.L., Sangster, D.F., Kelley, K.D., Large, R.R., Garven, G., Allen, C.R., Gutzmer, J., et Walters, S. 2005. Sediments-hosted lead-zinc deposits: A global perspective. *Dans Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Society of Economic Geologists, United States. pp. 561-607.
- MacIntyre, D., 1995. Sedimentary Exhalative Zn-Pb-Ag, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 1 - Metallics and Coal, Lefebure, D.V. and Ray, G.E., Editors, British Columbia Ministry of Energy of Employment and Investment, Open File 1995-20, 37-39.
- Nantel, S., 2007. Carte géologique de la partie nord de la ceinture centrale des métasédiments, Province de Grenville, version préliminaire. Ministère des Ressources naturelles, Québec.
- Ren-hua, Z. et Zhi-lin, Z., 1997. A remote sensing model for determining chlorophyll content and its distribution using Landsat images. *Acta Botanica Sinica*, vol. 39, no.9, pp 821-825.
- Sigéom 2008 – www.sigeom.mrnf.gouv.qc.ca
- Tiwari, P.S., Sen, A.K. and Garg, R.D., 2011. Application of DPCA technique in Khetri Copper Belt, India for alteration zones. *Asian Journal of Earth Sciences*, Vol. 4 no. 1, pp. 54-59.
- Trépanier, S., 2009. Optimisation des levés de sédiments de ruisseaux pour l'exploration Partie B : Géochimie des sédiments de ruisseaux : étude des données du sud-ouest du Grenville. *Projet Consorem 2008-09, Rapport préliminaire*, 83 pages.
- Trépanier, S., 2010. Lithomodeleur - Logiciel de traitement de la lithogéochimie phase 2. *Projet Consorem 2010-01*.
- Trépanier, S. et Faure, S. 2006. Application of artificial neural networks to continental-scale mineral potential mapping for diamondiferous kimberlites in North America. *GAC-MAC Montréal 2006*, p. 151.
- Ryan, P.J., Lawrence, A.L., Lipson, R.D., Moore, J.M., Paterson, A, Stedman, D.P. et Van Zyl, D., 1986. The Aggeney's base metal sulphide deposits, Namaqualand District. *Dans Mineral Deposits of Southern Africa*, vol I et II. C.R. Anhaeusser et S. Maske Eds. Geological Society of South Africa. 1447-1473.
- Whelan, J.F., Rye, R. O. et de Lorraine, W., 1984. The Balmat-Edwards Zinc-Lead deposits - sedimentary ore from Mississippi Valley-type fluids. *Economic Geology*, vol. 79, 239-265.