



**RAPPORT ANNUEL
2007**

Sous projet SC22

**Signature géochimique des oxydes de fer et
application à l'exploration minière – 2e volet.**

Par

Céline Dupuis*, Georges Beaudoin*

* Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec, Québec
beaudoin@ggl.ulaval.ca

**Soumis à l'administration de DIVEX
Mai 2007 – Québec**

DIVEX, INRS, Eau Terre Environnement, 490 de la Couronne, Québec, Québec G1K 9A9
Tél. : (418) 654-2652; Fax : (418) 654-2600; Courriel : info@divex.ca; Site web : www.divex.ca

RÉSUMÉ

La magnétite et l'hématite sont des minéraux abondants dans plusieurs types de gîtes. Ce sont également des minéraux qui forment plusieurs solutions solides et qui sont résistants à l'altération supergène. L'analyse par microsonde électronique de la magnétite et de l'hématite de plusieurs types de gîtes (Cu-Au à oxydes de fer (IOCG), Kiruna, formation de fer (BIF), porphyre à Cu-Au-Mo, skarn, Fe-Ti, V, chromitite, Ni-Cu, SMV, veine de type Opémiska et porphyre archéen) a permis d'établir des variations dans l'abondance de certains éléments-clés selon le type de gîte. La combinaison de ces éléments-clés dans différents diagrammes discriminants a permis de définir des champs de composition précis pour chaque type de gîte, exception faite des gîtes de type porphyre archéen. Tout d'abord, le diagramme discriminant Ni+Cr vs. Si+Mg sépare les gîtes de type Ni-Cu, qui présentent une signature plus variable, surtout ceux de Sudbury, et ceux de type Cr des autres types de gîtes. De même, les diagrammes discriminants Al/(Zn+Ca) vs. Cu/(Si+Ca) et Al/(Si+Ca+Zn) vs. Cu/Ca permettent de séparer des gîtes de types SMV et veine de type Opémiska. Une fois ces quatre types de gîtes « éliminés », les types de gîtes restants (IOCG, Kiruna, BIF, porphyre, skarn, Fe-Ti et V) peuvent être délimités dans des champs de composition bien définis à l'aide des diagrammes discriminants Ni/(Cr+Mn) vs. Ti+V et Ca vs. Ti+V. Les oxydes de fer de roches encaissant une minéralisation donnée ne présentent pas les signatures géochimiques caractéristiques de cette minéralisation et ne peuvent pas être utilisés dans les diagrammes discriminants comme indicateurs d'un type de minéralisation. En somme, la microsonde électronique offre une nouvelle méthode rapide et peu coûteuse de classification gîtologique pouvant être utilisée en exploration minière.

1. INTRODUCTION

1.1. Objectifs

Les oxydes de fer sont des minéraux communs qui se retrouvent dans plusieurs types de roches et d'environnements géologiques. Ils peuvent constituer une composante parfois importante de plusieurs types de gîtes minéraux. Bien qu'ils soient très répandus, leur géochimie reste peu étudiée jusqu'à présent.

Cette étude préliminaire a pour but d'établir la composition géochimique des oxydes de fer retrouvés

dans différents types de gîtes minéraux. Elle vise à définir une signature géochimique caractéristique qui pourra être utile à l'exploration minière. Bien que de nombreuses techniques analytiques soient possibles pour analyser les oxydes de fer, l'utilisation de la microsonde électronique (EMP) présente l'avantage de pouvoir effectuer de nombreuses analyses à l'intérieur d'un court laps de temps et à faible coût (p.ex. ICP-MS par ablation laser). C'est donc un outil idéal pour l'industrie de l'exploration qui a souvent de grandes quantités d'échantillons à analyser et qui désire avoir des résultats rapidement.

1.2. Propriétés chimiques des oxydes de fer

La magnétite est un minéral membre du groupe des spinels, dont la formule générale est XY_2O_4 , où X est un ion divalent (2+) et Y un ion trivalent (3+). La magnétite (Fe_3O_4) possède un ion Fe^{2+} et deux ions Fe^{3+} . Le groupe des spinels se divise en trois séries selon l'ion trivalent : la série du spinelle (Al), la série de la magnétite (Fe), et la série de la chromite (Cr). La série de la magnétite présente des substitutions divalentes en Mg, Fe, Zn, Mn, Ni, et Ti. Ces substitutions forment respectivement la magnésioferrite ($MgFe_2O_4$), la magnétite, la franklinite ($ZnFe_2O_4$), la jacobsite ($MnFe_2O_4$), la trévorite ($NiFe_2O_4$) et l'ulvospinel (Fe_2TiO_4). Il existe des solutions solides complètes entre la magnétite et la magnésioferrite ainsi qu'entre la magnétite et l'ulvospinel; des exsolutions d'ulvospinel apparaissent toutefois dans la magnétite sous les 600°C (Deer et al., 1997). Des solutions solides partielles existent entre la magnétite et la franklinite, la jacobsite et la trévorite, en plus de solutions solides avec les minéraux des autres séries, soient le spinelle ($MgAl_2O_4$), la gahnite ($ZnAl_2O_4$), l'hercynite ($FeAl_2O_4$) et la galaxite ($MnAl_2O_4$), ainsi qu'avec la magnésiochromite ($MgCr_2O_4$) et la chromite ($FeCr_2O_4$). D'autres substitutions possibles au niveau des ions trivalents et divalents sont possibles dans la magnétite, notamment le vanadium (V^{3+}), ainsi que le calcium (Ca^{2+}) et le cobalt (Co^{2+}). La magnétite est un composant majeur des gîtes de Fe-Ti. Elle est également un composant important de différents types de gîtes comme les skarns, les porphyres et les IOCG, et se retrouve comme minéral accessoire dans une grande variété de gîtes comme les Ni-Cu-EGP, les SEDEX et les SMV.

L'hématite (formule chimique Fe_2O_3) est formée uniquement de fer trivalent (Fe^{3+}). Elle forme une solution solide complète avec l'ilménite ($FeTiO_3$),

cependant des exolutions d'hématite apparaissent dans l'ilménite sous les 950°C. Elle forme également une solution solide partielle avec la magnétite. L'hématite peut incorporer dans sa structure une certaine quantité de Mn²⁺ et Fe²⁺ (Deer et al., 1997). L'hématite est le principal minerai de fer exploité dans le monde et se retrouve principalement dans les formations de fer métamorphisées, où elle remplace souvent la magnétite. Elle forme également une grande partie du minerai exploité à Olympic Dam en Australie (un gîte de type IOCG) ainsi que dans nombre de gîtes du même type. L'hématite forme un minéral primaire des gîtes magmatiques ou hydrothermaux, ainsi que comme minéral secondaire par remplacement de la magnétite ou par altération supergène.

2. SÉLECTION DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons analysés représentent 13 types de gîtes différents : cuivre-or-oxydes de fer (IOCG), IOCG-like, Kiruna, formation de fer rubanées (BIF), porphyre à Cu-Au, skarn, fer-titane (Fe-Ti), vanadium (V), chromitite (Cr), nickel-cuivre (Ni-Cu), sulfures massifs volcanogènes (SMV), veine de type Opémiska et porphyre archéen. Les échantillons de type veine de type Opémiska et porphyre archéen sont restreints à la région de Chibougamau. De ces échantillons, certains ont été sélectionnés par Patrice Gosselin dans les collections d'échantillons de l'université Laval et des professeurs Georges Beaudoin et Michel Jébrak, alors que d'autres ont été gracieusement fournis par divers chercheurs ou représentants de compagnie minière au Canada et à travers le monde (voir le Tableau 1 en annexe). Le

Tableau 1 illustre la provenance des différents échantillons analysés ainsi que leur répartition par type de gîte. Le nombre de grains analysés ainsi que le nombre total d'analyses figurent également au tableau. Il est bon de noter que dans ce tableau, les échantillons analysés par Patrice Gosselin lors du 1er volet du projet apparaissent en gris. Une courte description des échantillons analysés lors du 2e volet du projet est présentée à l'Annexe 3 (les échantillons du 1er volet ont été brièvement décrits dans le rapport précédent [Gosselin et al., 2007]).

3. MÉTHODOLOGIE

Les lames minces polies contenant les grains d'oxydes de fer sélectionnés ont été recouvertes d'une couche de carbone, puis analysées avec la microsonde électronique CAMECA SX-100 de l'université Laval sous des conditions de 15,0 kV et 100,0 nA. Parmi les 28 éléments analysés sur chaque échantillon lors du 1er volet, nous conservons seulement les éléments dont la moyenne de toutes les analyses est 20% au-dessus de la limite de détection. Cette moyenne est calculée après exclusion des analyses provenant des gîtes de Fe-Ti et de Cr, qui donnent des valeurs en Cr et Ti élevées par rapport à la composition de la majorité des échantillons. Parmi les éléments avec une teneur moyenne 20 % plus élevée que la limite de détection, nous conservons seulement les éléments qui montrent une variation de composition importante. Une seule routine d'analyse d'éléments traces a donc été nécessaire afin de pouvoir analyser tous les éléments souhaités.

Élément analysé	Cristal	Ligne	SinusTheta	Décalage	Temps de comptage (s)	Bruit de fond (s)	Limite de détection (ppm)	Limite choisie (ppm)
Zn	LIF	Ka	35635	-500	20	10	325-457	440
Cu	LIF	Ka	38256	-500	30	10	183-252	252
Ni	LIF	Ka	41173	-500	20	10	181-257	240
Mn	LLIF	Ka	52207	-600	20	10	52-83	72
Cr	LLIF	Ka	52207	-600	20	10	37-63	54
V	LLIF	Ka	62197	0	20	10	41-69	60
K	LPET	Ka	42742	-600	20	10	18-22	22
Ca	LPET	Ka	38387	-600	20	10	18-23	23
Ti	LPET	Ka	31423	-600	20	10	22-33	33
Al	TAP	Ka	32462	0	30	10	19-32	32
Si	TAP	Ka	27737	0	30	10	20-24	24
Mg	TAP	Ka	38502	0	30	10	23-44	37

Tableau 2. Méthodologie à la microsonde et limites de détection.

4. RÉSULTATS ANALYTIQUES

Pour les données du 2e volet, un tableau complet des résultats est fourni à l'Annexe 2, tandis qu'un diagramme multiélément illustrant toutes les analyses d'un gîte est présenté à l'Annexe 3. Les données brutes du 1er volet sont disponibles dans Gosselin et al. (2007).

4.1. Calcul des moyennes par gîte

Les éléments analysés étant considérés comme des éléments traces dans la magnétite et l'hématite, il n'est pas rare qu'un ou plusieurs éléments ne soient pas mesurés lors d'une analyse donnée. Ces valeurs non mesurées se voient attribuer la valeur «0» par défaut. Cette substitution arbitraire doit être considéré lors du calcul des moyennes pour chaque gîte. Les procédures d'analyse de données pour des séries de données censurées (contenant des valeurs non mesurées) sont divisées en trois classes (Helsel, 2005) : (1) les méthodes de substitution simple, (2) les méthodes paramétriques et (3) les méthodes non-paramétriques. La substitution simple est arbitraire et produit des estimés de statistiques (ex. moyenne) biaisés qui dépendent de la valeur de substitution choisie (ex. Lee et Helsel, 2006). C'est la méthode la plus simple, mais la moins recommandée. Les méthodes paramétriques nécessitent suffisamment de données pour justifier l'utilisation d'un modèle de distribution spécifique, par exemple une distribution normale ou log-normale (ex. Lee et Helsel, 2007). Bien que notre base de données contienne plus de 900 analyses (Tableau 1), le nombre d'analyses propres à chaque gîte est insuffisant pour utiliser ces méthodes. La méthode la plus appropriée pour le calcul des moyennes par gîte est donc une non-paramétrique. La méthode non paramétrique de base pour estimer les paramètres statistiques de données censurées est la méthode de Kaplan-Meier (K-M). Lee et Helsel (2007) ont développé un outil informatique basé un langage S et adapté aux bases de données utilisées pour les sciences de la Terre et de l'environnement. Cet outil fait partie d'un programme appelé NADA pour R. Le logiciel de statistique R a été téléchargé à partir du site internet Comprehensive R Archive Network (). Les limites de détection utilisées pour chaque élément lors du calcul des moyennes avec le logiciel R sont listées dans le Tableau 1, alors que les moyennes calculées pour chaque gîte sont données dans le Tableau 3.

4.2. Diagrammes multiéléments

La composition moyenne de chaque gîte propre à un type donné est présentée sur un diagramme multiéléments. Pour bien cerner les anomalies propres aux différents types de gîtes, les éléments analysés sont placés en ordre décroissant d'abondance moyenne.

4.2.1. Gîtes de type IOCG

Les oxydes de fer des gîtes de type IOCG montrent des patrons multiéléments relativement uniformes (Figure 1A). Ils présentent généralement des teneurs moyennes en tous les éléments, avec une légère pente négative de Si à K. Les gîtes de Guelb Moghreïn et de Nico se démarquent des autres IOCG par des teneurs plus basses en Ti et Cr, respectivement. Les oxydes de fer des andésites porphyriques encaissantes d'Echo Bay montrent des teneurs en Ti et V beaucoup plus élevées (Figure 1B).

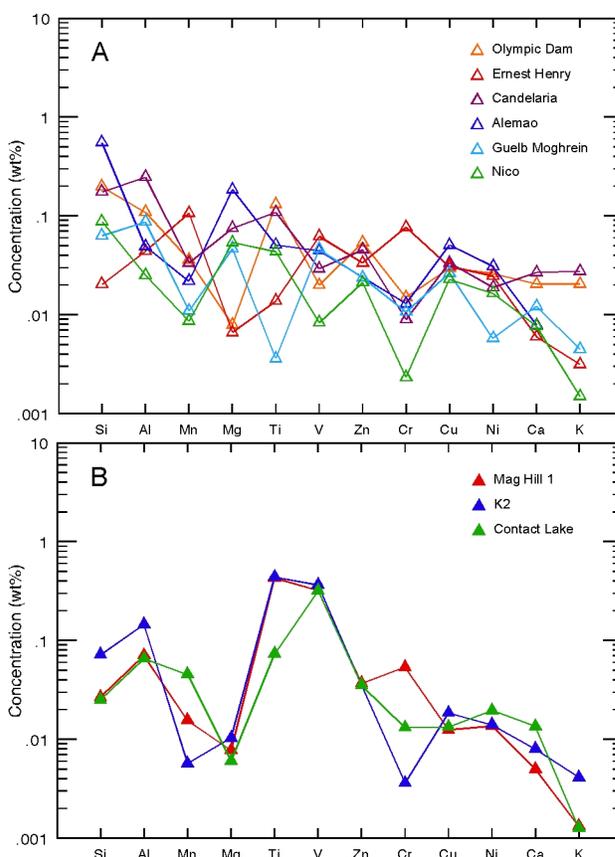


Figure 1. Gîtes de type IOCG. A) minéralisation; B) encaissant.

4.2.2. Gîtes de type IOCG-like

Les oxydes de fer des gîtes de type IOCG-like montrent des patrons multiéléments semblables à ceux des IOCG (Figure 1), sauf pour les teneurs en Ti et V qui sont plus variables (Figure 2).

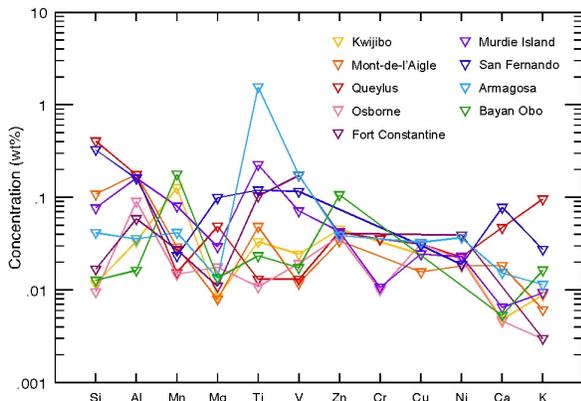


Figure 2. Gîtes de type IOCG-like.

4.2.3. Gîtes de type Kiruna

Les oxydes de fer des gîtes de type Kiruna montrent des patrons multiéléments uniformes (Figure 3) et sont caractérisés par des teneurs combinées en Ti et V plus élevées que celles des IOCG (Figure 1).

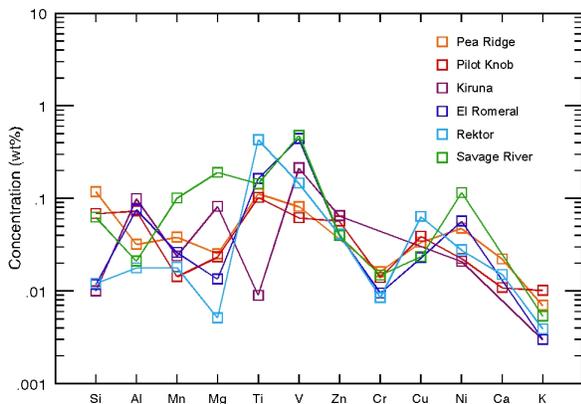


Figure 3. Gîtes de type Kiruna.

4.2.4. Gîtes de type BIF

Les oxydes de fer des gîtes de type BIF montrent des patrons multiéléments généralement uniformes et sont caractérisés par des teneurs très faibles en Ti et V, de même qu'en Ca et K (figure 4). Le gîte du Lac Jeanine fait exception, l'hématite montrant un fort enrichissement en Mn et un léger enrichissement en Al et Mg.

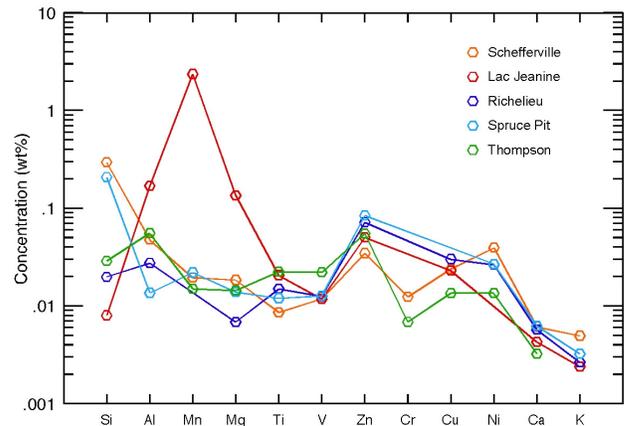


Figure 4. Gîtes de type BIF.

4.2.5. Gîtes de type porphyres à Cu-Au et Cu-Mo

Les oxydes de fer des gîtes de type porphyre montrent des patrons multiéléments relativement uniformes (Figure 5A).

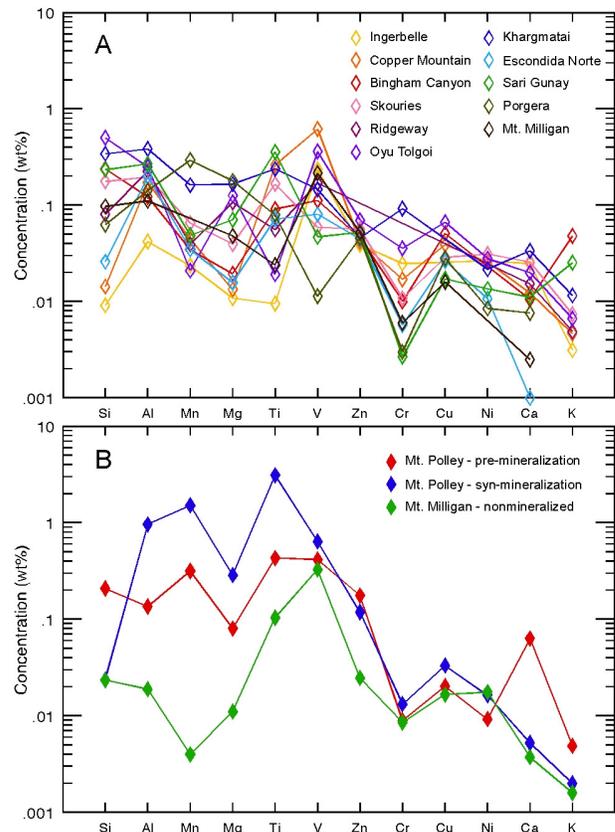


Figure 5. Gîtes de type porphyre. A) minéralisation; B) encaissant.

Ils se caractérisent par des teneurs en Ti et V élevées, plus élevées que celles des gîtes de type IOCG (Figure 1), mais semblables à celles des gîtes de type Kiruna (Figure 3). Par contre, ils présentent généralement des teneurs en Ni légèrement plus basses et des teneurs en Si et Al plus élevées (sauf le gîte d’Ingerbelle) que celles des gîtes de type Kiruna. Les oxydes de fer des roches felsiques encaissantes montrent des signatures très variables et non caractéristiques de la minéralisation (Figure 5A).

4.2.6. Gîtes de types skarn ferrifère et à Cu-Au

Les oxydes de fer des gîtes de type skarn montrent des patrons multiéléments assez variables (Figure 6). Cette variation pourrait être dû au style de minéralisation particulier à chacun des gîtes, les gîtes de Colombie-Britannique (Iron Hill et Klanch Hill) étant des skarns calciques à Fe, tandis que les gîtes de Mongolie (Oyut Ovo et Chandman Uul) sont des skarns à Cu-Au. Par contre, ils se caractérisent par des teneurs élevées en Si, mais surtout en Ca.

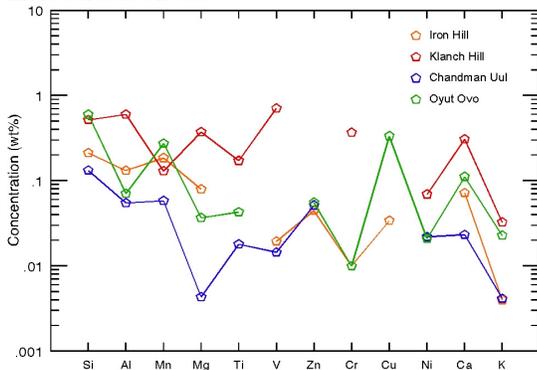


Figure 6. Gîtes de type skarn.

4.2.7. Gîtes de types Fe-Ti

Les oxydes de fer des gîtes de Fe-Ti montrent des patrons multiéléments assez variables (Figure 7).

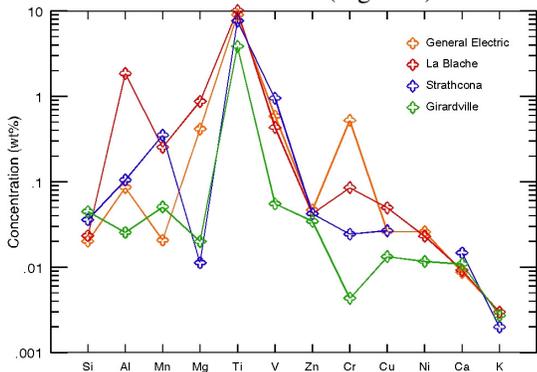


Figure 7. Gîtes de type Fe-Ti.

Par contre, ils se caractérisent par des teneurs en Ti extrêmement élevées caractéristiques des titanomagnétites. Ils présentent aussi souvent un fort enrichissement en V.

4.2.8. Gîtes de types V

Les oxydes de fer du gîte de V du Lac Doré se caractérisent par un fort enrichissement en V, de même que par des teneurs en Ti moyennement élevées (Figure 8).

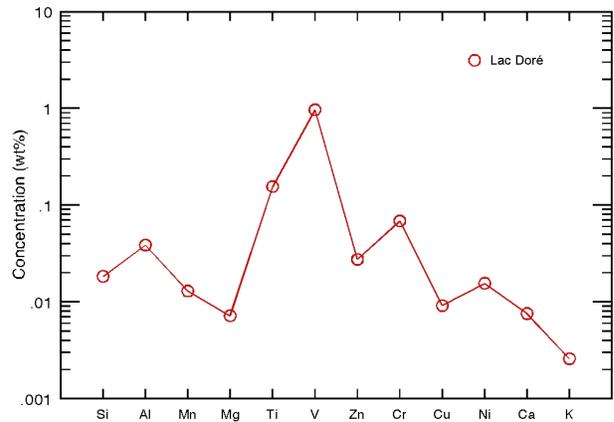


Figure 8. Gîte de type V.

4.2.9. Gîtes de types Cr

Les oxydes de fer du gîte de chromitite de Coleraine montrent un patron multiélément discontinu, mais caractérisé par un fort enrichissement en Cr (Figure 9).

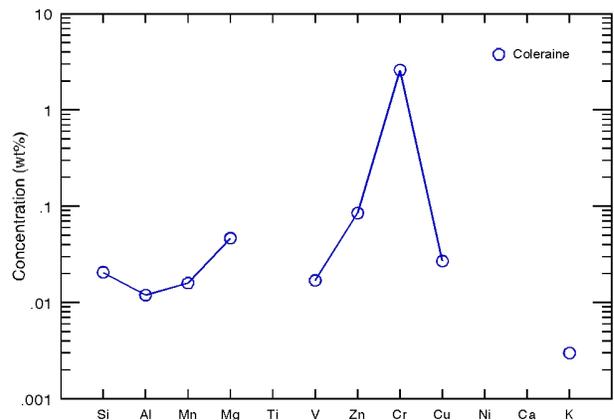


Figure 9. Gîte de type Cr.

4.2.10. Gîtes de type Ni-Cu

Les oxydes de fer des gîtes de Ni-Cu montrent des patrons multiéléments plutôt uniformes (Figure 10A, exception faite du gîte de Blue Lake) si on exclut ceux provenant des mines de Sudbury, qui sont très variables (Figure 10C). Par contre, ils se caractérisent tous par des

teneurs élevées en Ni, souvent combinées à des teneurs élevées en Cr et/ou Ti. Les oxydes de fer des intrusions ultramafiques de la ceinture de Ni de Thompson sont très variables et ne montrent pas l'enrichissement caractéristique en Ni (Figure 10B).

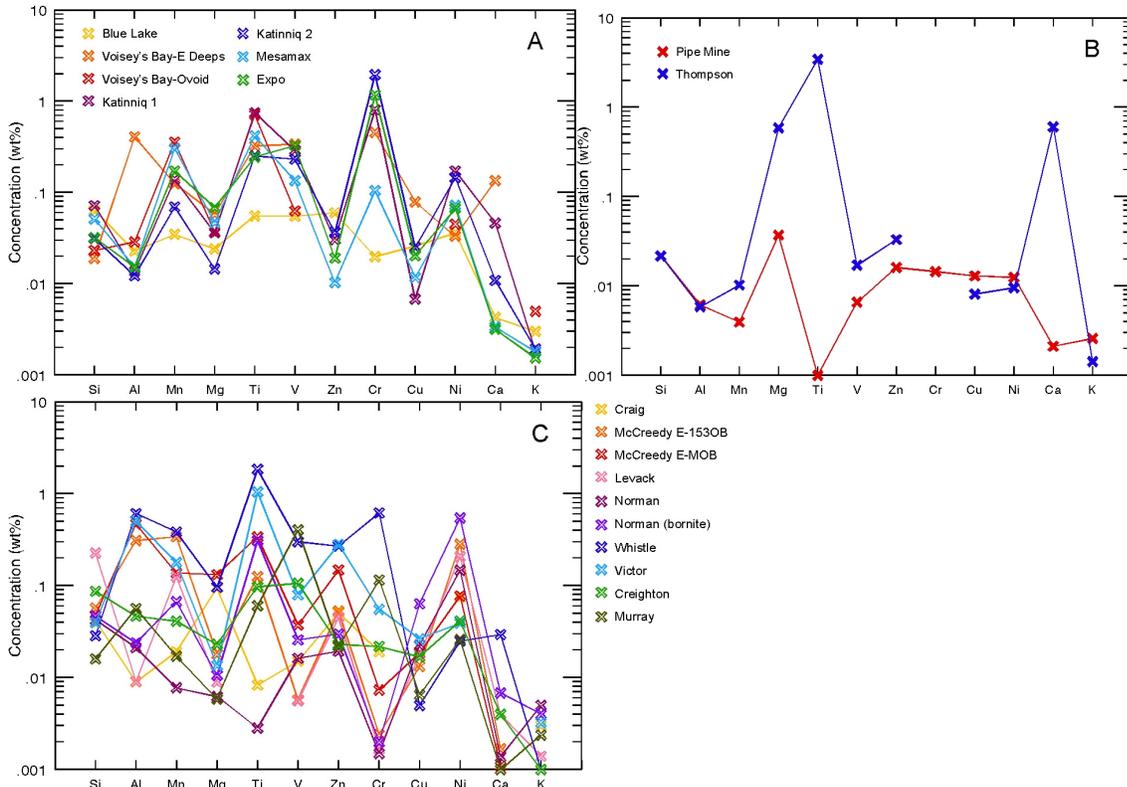


Figure 10. Gîtes de type Ni-Cu. A) minéralisation; B) encaissant; C) mines de Sudbury.

4.2.11. Gîtes de type SMV

Les oxydes de fer des gîtes de type SMV montrent des patrons multiéléments assez uniformes et plutôt plats (Figure 11). Les teneurs en Zn et Ca sont cependant passablement élevées. Les oxydes présentent souvent un fort enrichissement en Si et un rapport Si/Al élevé. L'absence de Si à Normétal pourrait être expliquée par le fait que la magnétite analysée est à un stade avancé de remplacement par les sulfures. Enfin, les teneurs en Ti et V sont généralement faibles. La présence d'un pic en V à Aldermac est peut-être due au fait que la magnétite semble avoir co-précipité avec la sphalérite et les autres sulfures. Les faibles teneurs de l'indice Scott à Chibougamau n'ont pas d'explication.

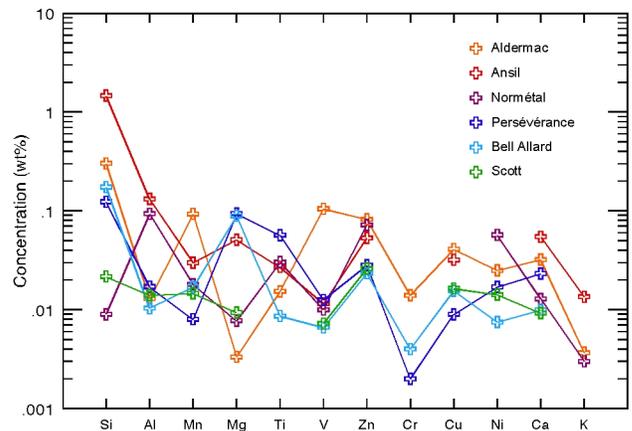


Figure 11. Gîtes de type SMV.

4.2.12. Gîtes de type veine de type Opémiska (Chibougamau)

Les oxydes de fer des gîtes de type veine de type Opémiska montrent des patrons multiéléments très uniformes (Figure 12) et très semblables à ceux des gîtes de type SMV (Figure 11). L'enrichissement en Ca et K peut être très prononcé.

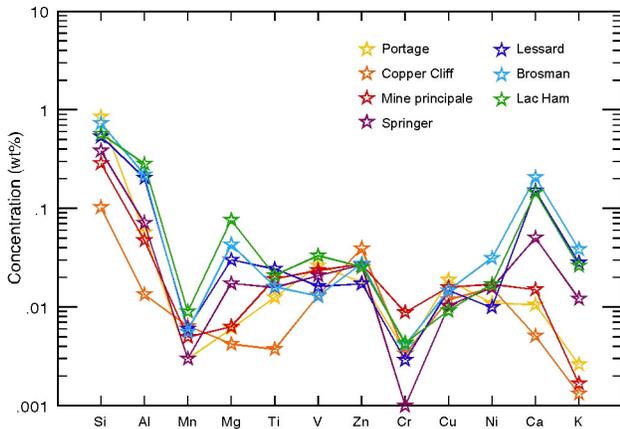


Figure 12. Gîtes de type veine de type Opémiska.

4.2.13. Gîtes de type porphyre archéen de Chibougamau

Enfin, les oxydes de fer des gîtes de type porphyre archéen de Chibougamau montrent des patrons multiéléments uniformes, sauf pour le gîte de Queylus qui est considéré par certains (Furic et Jébrak, 2006) comme un gîte de type IOCG-like (Figure 13). En excluant le gîte Queylus, ils sont appauvris en plusieurs éléments, notamment en Si et Al, mais sont relativement enrichis en Zn et Cu.

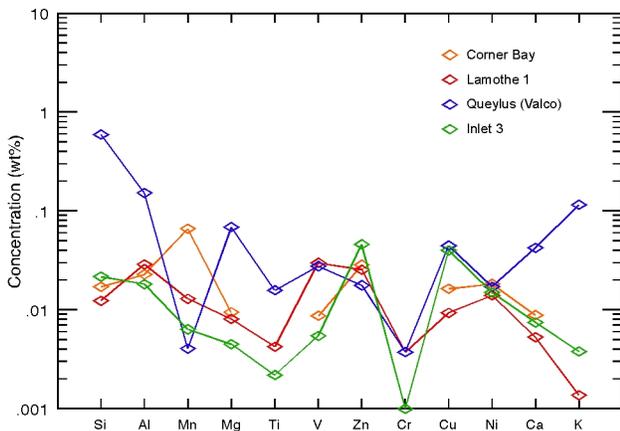


Figure 13. Gîtes de type porphyre archéen.

5. DIAGRAMMES DISCRIMINANTS

Les diagrammes multiéléments présentés aux figures 1 à 13 montrent bien que, même si certains types de gîtes sont facilement identifiables grâce à un fort enrichissement en un élément donné, par exemple le Ti pour les gîtes de type Fe-Ti (Figure 7), le V pour les gîtes de type V (Figure 8) et le Cr pour les gîtes de type chromitite (Figure 9), la majorité des types de gîtes montrent des concentrations moyennes trop semblables pour être discriminés facilement et convenablement. Cependant, ces diagrammes nous permettent d'identifier des combinaisons d'éléments qui sont caractéristiques de certains types de gîtes ou qui montrent une plus grande variabilité d'un type de gîte à l'autre, et qui sont utilisés dans des diagrammes discriminants pour définir des champs de composition propres à chaque type de gîte. Une combinaison de 5 diagrammes discriminants nous permet de séparer adéquatement tous les types de gîtes. Notons que sur ces diagrammes, les symboles pleins représentent les roches encaissantes du type de gîte aux symboles correspondants. Ces roches encaissantes montrent généralement des signatures géochimiques variables qui ne concordent pas à celles de la minéralisation correspondante.

5.1. Diagramme Ni+Cr vs. Si+Mg

Les oxydes de fer des gîtes de type Ni-Cu, particulièrement ceux de Sudbury, montrent des compositions variables en plusieurs éléments (Figure 10). Par contre, ils sont enrichis en Ni et souvent en Cr. Le diagramme Ni+Cr vs. Si+Mg permet donc de les séparer des autres types de gîtes (Figure 14). Par ailleurs, les intrusions ultramafiques encaissantes ne tombent pas dans le champ des gîtes de type Ni-Cu. De plus, le gîte de type Cr se retrouve dans la partie supérieure de ce champ, mais son fort enrichissement en Cr (Figure 9) le distingue facilement des gîtes de type Ni-Cu. On remarque sur ce diagramme que les gîtes de Sudbury, particulièrement ceux moins enrichis en Ni+Cr, montrent des teneurs en Si+Mg plus variables que les autres gîtes de type Ni-Cu. Cette variation s'applique entre les gîtes, mais aussi à l'intérieur d'un gîte (Figure 15). Elle est due à la présence de multiples exolutions de spinelle dans les grains de magnétite de ces gîtes qui fait grandement varier la teneur en Mg des magnétites selon que ces exolutions aient pu être exclues ou non des analyses. Par exemple, les magnétites des échantillons RX168 et RX169 de la mine McCreedy E forment deux groupes selon l'axe Si+Mg : un groupe riche en Mg et un autre pauvre en Mg (Figure 15). Quelques photos prises sur le MEB montrent bien

que la quantité et la taille des exsolutions de spinelle est variable et que les grains de magnétite possèdent des zones riches en Mg et des zones proportionnellement appauvries en Mg (Figure 16). D'ailleurs, les magnétites de l'échantillon RX 167, qui ne montrent pas

d'exsolutions de spinelle, ont des teneurs en Si+Mg constantes qui se situent approximativement là où la moyenne des magnétites des échantillons RX168 et RX169 se retrouverait (Figure 15).

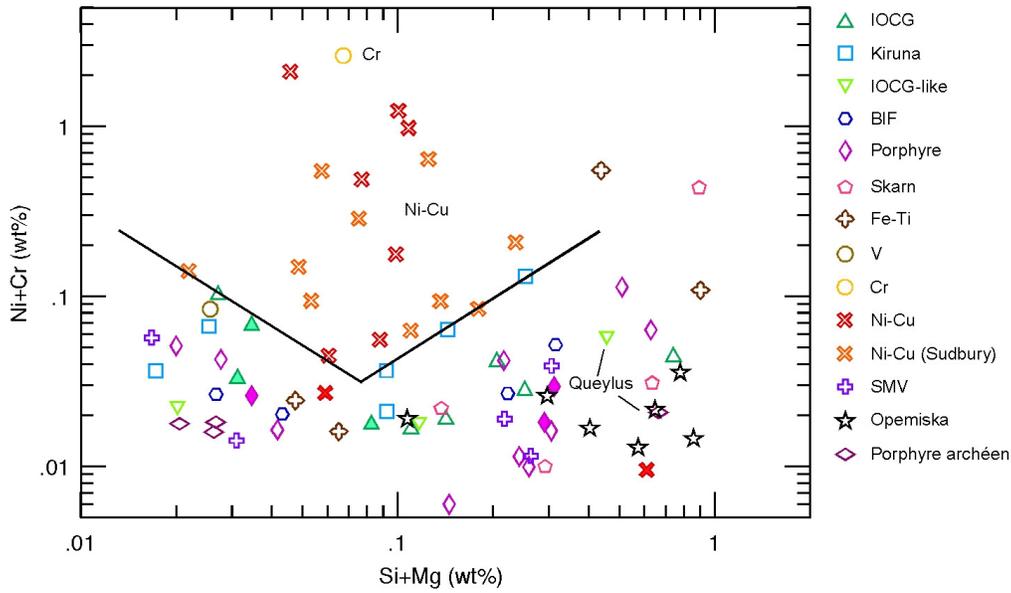


Figure 14. Diagramme discriminant Ni+Cr vs. Si+Mg.

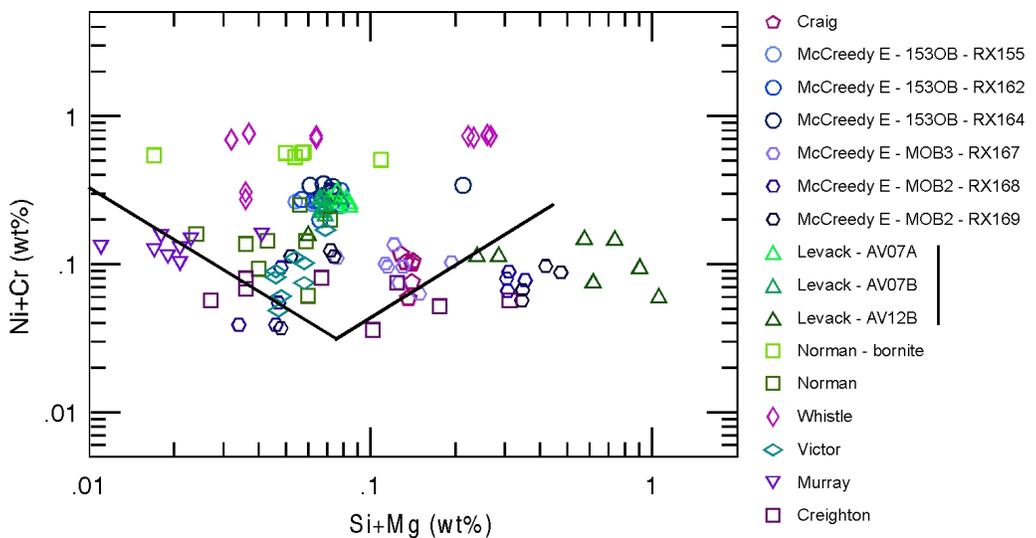


Figure 15. Diagramme discriminant Ni+Cr vs. Si+Mg pour les analyses individuelles des gîtes de Sudbury.

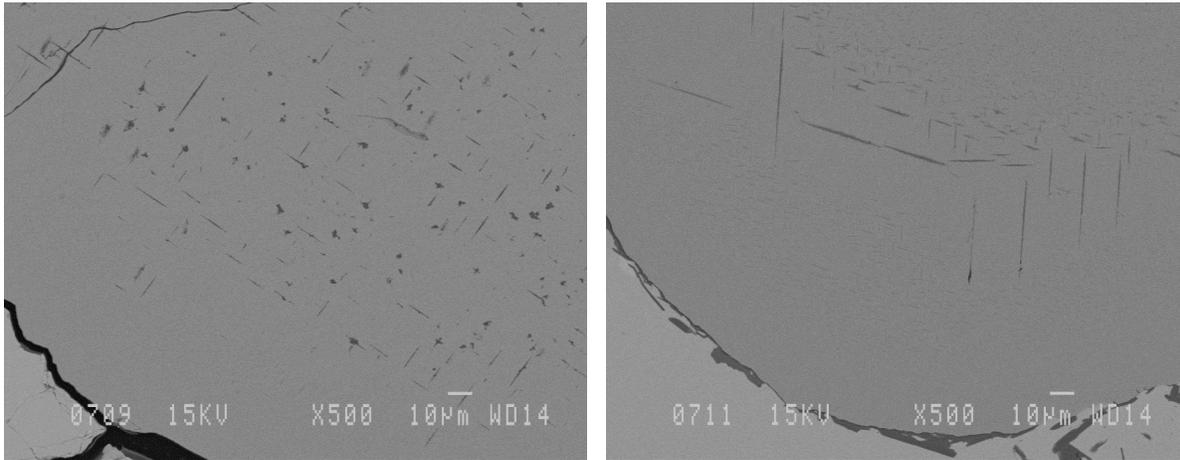


Figure 16. Photos prises MEB de grains de magnétite de l'échantillon RX168 contenant des exsolutions de spinelle. Gauche : magnétite riche en Mg; droite : magnétite pauvre en Mg.

5.2. Diagrammes $Al/(Zn+Ca)$ vs $Cu/(Si+Ca)$ et $Al/(Si+Ca+Zn)$ vs Cu/Ca

Les oxydes de fer des gîtes de types SMV et veine de type Opémiska possèdent généralement des teneurs plus élevées que la moyenne des autres gîtes en Zn, Ca et/ou Si, de même que des teneurs généralement faibles en Al (Figures 11 et 12). En combinant ces éléments sous forme de divers ratios, il est possible d'isoler ces deux types de gîtes des autres (lignes pleines, Figure 17). La présence de deux gîtes de type Ni-Cu dans le champ des gîtes de types SMV et veine de type Opémiska ne pose pas problème puisque les premiers se distinguent facilement

des deuxièmes dans le diagramme discriminant Ni+Cr vs. Si+Mg (Figure 14). Seul l'indice Scott, dont la teneur en Si est très inférieure à la teneur moyenne des gîtes de type SMV (Figure 11), tombe un peu en retrait du champ défini. En incluant ce gîte avec les autres, le champ reste bien défini pour le diagramme $Al/(Zn+Ca)$ vs. $Cu/(Si+Ca)$ (ligne tiretée, Figure 17A), car les quelques gîtes (Ni-Cu, Fe-Ti et Cr) inclus dans ce nouveau champ se distinguent facilement des gîtes de types SMV et veine de type Opémiska. Ce n'est pas le cas pour le diagramme $Al/(Si+Ca+Zn)$ vs. Cu/Ca (ligne tiretée, Figure 17B). Par contre, ce diagramme permet de distinguer les autres gîtes de type SMV des gîtes de type veine de type Opémiska.

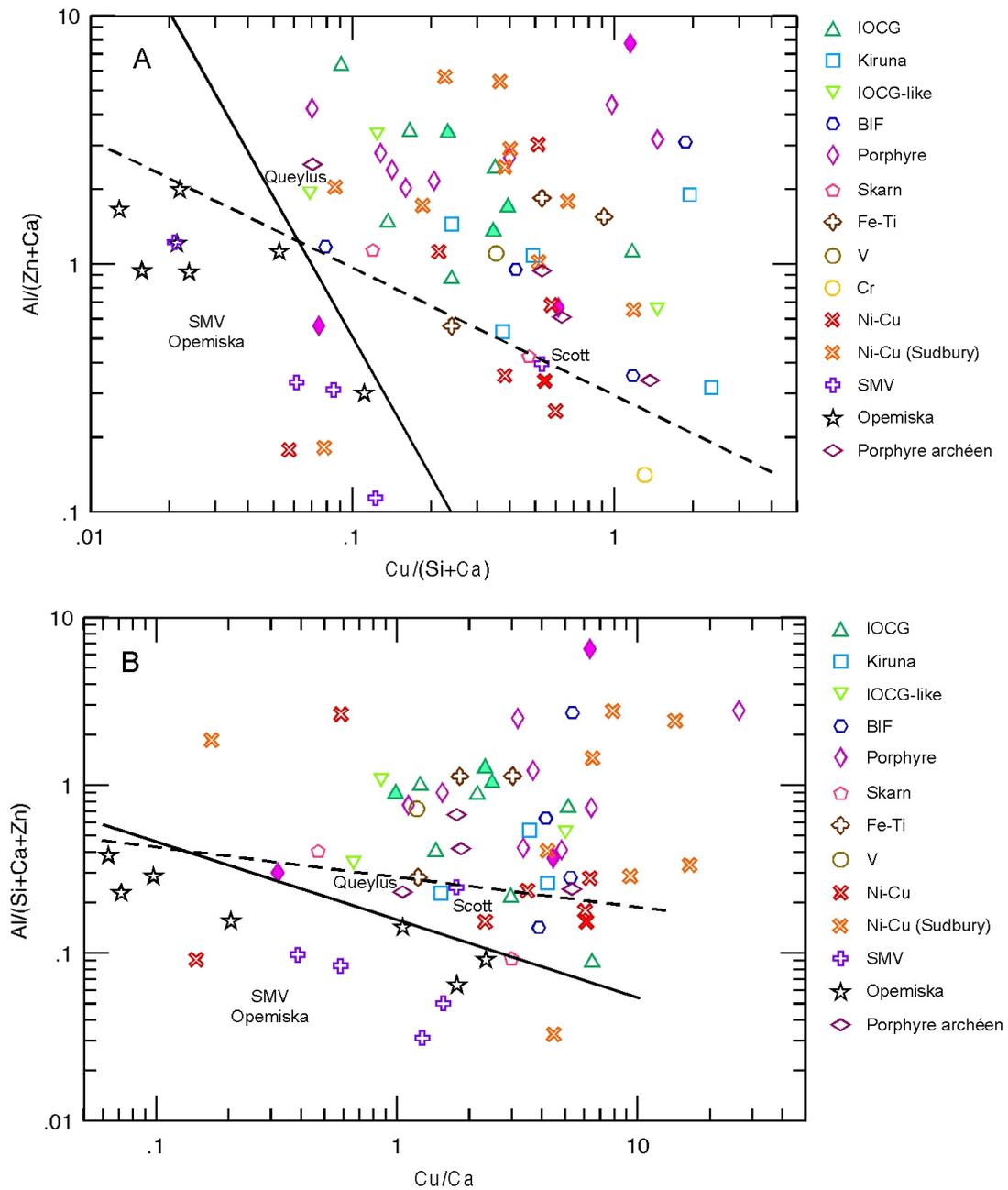


Figure 17. Diagrammes discriminants : A) $Al/(Zn+Ca)$ vs. $Cu/(Si+Ca)$; B) $Al/(Si+Ca+Zn)$ vs. Cu/Ca .

5.3. Diagrammes Ni/(Cr+Mn) vs Ti+V et Ca vs Ti+V

Sauf pour les gîtes de type Ni-Cu, les teneurs combinées en Ti+V sont généralement de bons discriminants. En « éliminant » les gîtes de types Ni-Cu, SMV et veine de type Opémiska à l'aide des diagrammes discriminants

précédents, il est possible de définir correctement des champs de composition pour tous les autres types de gîtes (IOCG, Kiruna, BIF, porphyre, skarn, V et Fe-Ti) à l'aide des diagrammes discriminants Ni/(Cr+Mn) vs. Ti+V (Figure 18A) et Ca vs. Ti+V (Figure 18B), exception faite des porphyres archéens (voir section suivante).

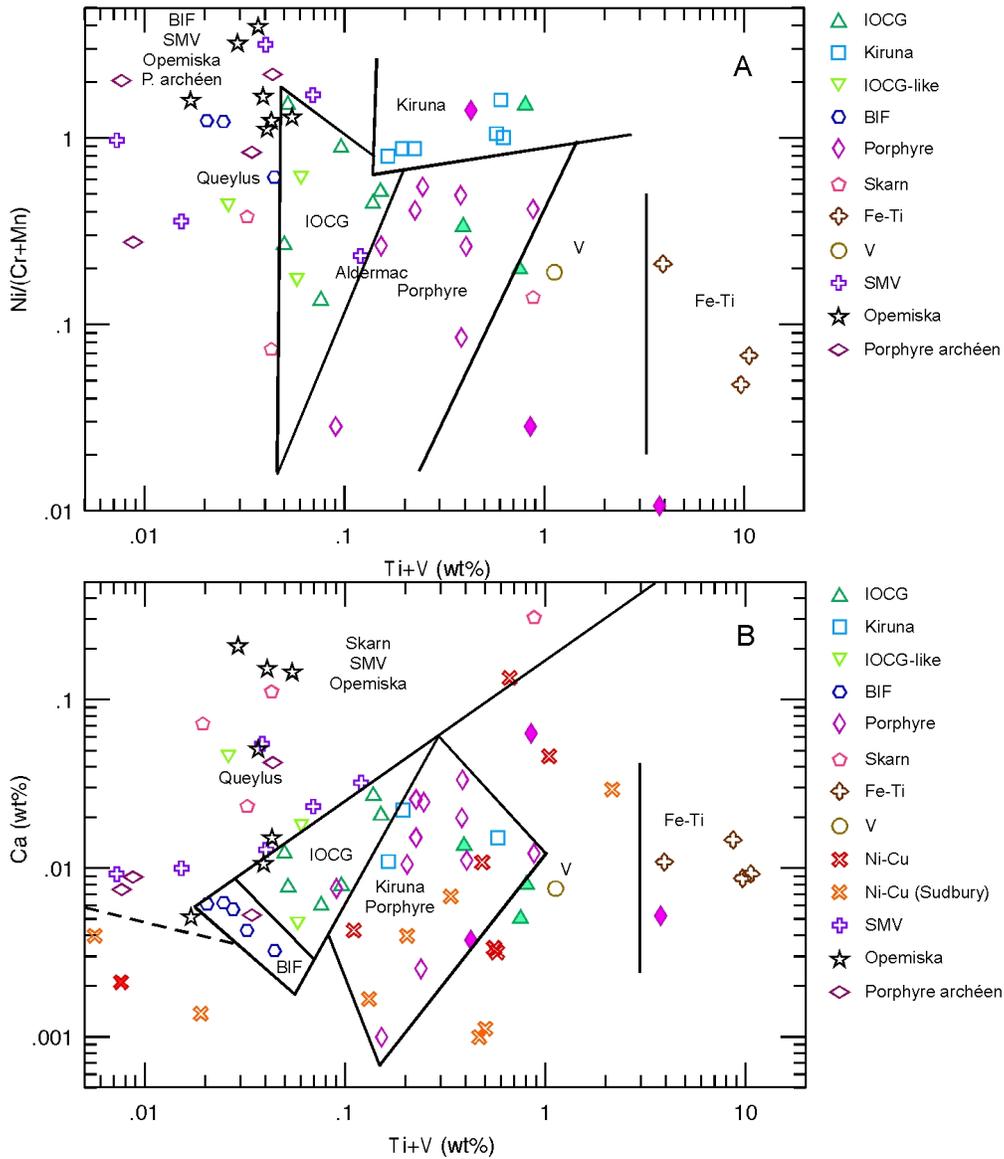


Figure 18. Diagrammes discriminants : A) Ni/(Cr+Mn) vs. Ti+V; B) Ca vs. Ti+V.

5.4. Cas d'exception : les porphyres archéens

Les gîtes de type porphyre archéen provenant de Chibougamau sont les seuls qui ne forment pas un champ de composition bien défini. Ils ne sont jamais vraiment associés aux gîtes de type porphyre (Figures 14, 17 et 18). Ils montrent certaines caractéristiques des gîtes de type veine de type Opémiska, lesquelles proviennent aussi de Chibougamau, dont un appauvrissement en Al et un enrichissement en Zn (Figure 13), et se retrouvent généralement près de ce type de gîtes sur les diagrammes discriminants $Ni/(Cr+Mn)$ vs. $Ti+V$ et Ca vs. $Ti+V$ (Figure 18). Cependant, ils ne montrent pas l'enrichissement caractéristique en Si et ne tombent pas dans le champ des gîtes de type SMV et veine de type Opémiska sur les diagrammes discriminants $Al/(Zn+Ca)$ vs. $Cu/(Si+Ca)$ et $Al/(Si+Ca+Zn)$ vs. Cu/Ca (Figure 17). Par ailleurs, le gîte de Queylus demeure problématique : sa signature géochimique diffère grandement de celles des autres gîtes de type porphyre archéen (Figure 13) et elle ne correspond pas non plus tout à fait à celles des gîtes de type IOCG (Figure 18).

6. CONCLUSIONS

Le 2e volet de cette étude a confirmé que la composition chimique des oxydes de fer est généralement uniforme chez les différents gîtes d'un même type, mais variable d'un type de gîte à l'autre. Grâce à ces signatures géochimiques, une combinaison de 5 diagrammes discriminants, $Ni+Cr$ vs. $Si+Mg$, $Al/(Zn+Ca)$ vs. $Cu/(Si+Ca)$, $Al/(Si+Ca+Zn)$ vs. Cu/Ca , $Ni/(Cr+Mn)$ vs. $Ti+V$ et Ca vs. $Ti+V$, permet de définir des champs de composition précis pour chaque type de gîte, exception faite des gîtes de type porphyre archéen. Il a aussi été montré que les oxydes de fer de roches encaissantes à une minéralisation donnée ne présentent pas les signatures géochimiques caractéristiques de cette minéralisation.

7. REMERCIEMENTS

Les auteurs de ce rapport aimeraient remercier les nombreux donateurs d'échantillons : Jochen Kolb (RWTH Aachen University), Louise Corriveau (CGC-Québec), Jeremy P. Richards (University of Alberta), Meghan Jackson, Paul Jago et Janina Micko (University of British Columbia), Éric David (Université Laval), Danielle Giovenazzo (Xtrata Nickel Canada), Bruce Durham (Canadian Royalties Inc.), Peter Lightfoot

(INCO), Dorren E. Ames et Beth McClenaghan (CGC-Ottawa), Gilles Roy (Xstrata Zinc), Patrice Roy (Géologie Québec, MRNFP) et Olivier Côté-Mantha (UQAC). Marc Choquette, responsable du laboratoire de micrographie de l'Université Laval, fut d'une aide précieuse pour les analyses à la microsonde. Enfin, merci à Éric David pour son aide technique et sa production de lames minces polies malgré les délais serrés.

8. RÉFÉRENCES

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1997. Rock-forming Minerals, Vol. 5B: Non-silicates: Sulphates, Carbonates, Phosphates, Halides. Geological Society, London.

Furic, R.E., Jébrak, M., 2006. Rôle des phases gazeuses dans la fragmentation et le transport des brèches, application aux brèches de queylus, Abitibi. GAC-MAC Montréal 2006.

Gosselin, P., Beaudoin, G., Jébrak, M., 2007. Signature géochimique des oxydes de fer et application à l'exploration minière. Rapport de projet, DIVEX-SC16.

Helsel, D., 2005. Nondetects and Data Analysis. Wiley, New York, 250 pp.

Kolb, J., Sakellaris, G.A., Meyer, F.M., 2006. Controls on hydrothermal Fe oxide-Cu-Au-Co mineralization at the Guelb Moghrein deposit, Akjoujt area, Mauritania. *Miner Deposita*, 41, 68-81.

Lee, L., Helsel, D., 2007. Statistical analysis of water-quality data containing multiple detection limits II: S-language software for nonparametric distribution modelling and hypothesis testing. *Computers & Geosciences*, 33, 696-704.

Meyer, F.M., Kolb, J., Sakellaris, G.A., Gerdes, A., 2006. New ages from the Mauritanides Belt: Recognition of Archean IOCG mineralization at Guelb Moghrein, Mauritania. *Terra Nova*, 18, 345-352.

ANNEXES

ANNEXE 1

Tableau 1. Liste et provenance des échantillons analysés.

Type	Gisement	Provenance	LM	Grains	Analyses	Source échantillon
IOCG	Olympic Dam	Australie, Southern Australie	3	11	22	Michel Jébrak, UQAM
	Ernest Henry	Australie, Queensland	2	6	12	Georges Beaudoin, U Laval
	Candelaria	Chili	1	3	6	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines
	Alemao	Brésil	1	3	6	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines
	Guelb Moghrein	Mauritanie	3	11	22	Jochen Kolb, RWTH Aachen University
	Nico	Canada	1	6	16	Louise Corriveau, CGC-Québec
	Echo Bay	Canada	4	17	53	Louise Corriveau, CGC-Québec
IOCG-like	Kwyjibo	Canada, Québec	3	9	18	Michel Gauthier
	Mont-de-l'Aigle	Canada, Québec	3	12	21	Marjorie Simard
	Queylus	Canada, Québec	3	11	22	Michel Jébrak, UQAM
	Fort Constantine	Australie, Queensland	1	5	10	Georges Beaudoin, U Laval
	Osborne	Australie, Queensland	2	6	12	Georges Beaudoin, U Laval
	Murdie Island	Australie, Southern Australie	3	14	28	Mark Cruise
	Amargosa	Mexique, Baja California	1	3	6	Mark Cruise
	San Fernando	Mexique, Baja California	1	3	6	Mark Cruise
	Bayan Obo	Chine, Mongolie Intérieure	1	3	6	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines
	Savage River	Australie, Tasmanie	1	5	10	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines
Kiruna	Pilot Knob	USA, Missouri	1	4	8	Collection GM - UL
	Pea Ridge	USA, Missouri	1	5	10	Collection GM - UL
	Kiruna	Suède	1	3	6	Collection GM - UL
	El Romeral	Chili	1	3	6	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines
	Rektor	Suède	1	4	8	Collection GM - UL
BIF	Schefferville	Canada, Québec	3	11	22	Collection GM - UL
	Lac Jeanine	Canada, Québec	1	4	8	Collection GM - UL
	Richelieu	USA, Minnesota	1	4	8	Collection GM - UL
	Spruce Pit	USA, Minnesota	1	4	8	Collection GM - UL
	Thompson	Canada, Alberta	1	4	8	Beth McClenaghan, CGC-Ottawa
Porphyre	Copper Mountain	Canada, Colombie-Britannique	1	3	6	Collection GM - UL
	Ingerbelle	Canada, Colombie-Britannique	1	4	8	Collection GM - UL
	Khargmatai	Mongolie	1	5	9	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines
	Ridgeway	Australie, New South Wales	1	3	6	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines

Projet DIVEX SC22 – BEAUDOIN : Signature géochimique des oxydes de fer – Volet 2

	Oyu Tulgoi	Mongolie	1	3	6	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines
	Skouries	Grèce	2	8	15	Collection GM - UL
	Bingham Canyon	USA, Utah	1	3	6	Georges Beaudoin, U Laval
	Escondida Norte	Nord du Chili	1	4	16	Jeremy P. Richards, U of Alberta
	Sari Gunay	Iran	2	7	19	Jeremy P. Richards, U of Alberta
	Porgera	Papua Nouvelle Guinée	1	4	8	Jeremy P. Richards, U of Alberta
	Mt. Polley	Canada, Colombie-Britannique	2	8	19	Meghan Jackson, UBC
	Mt. Milligan	Canada, Colombie-Britannique	2	8	17	Paul Jago, UBC
	Galore Creek	Canada, Colombie-Britannique	2	0	0	Janina Micko, UBC
Skarn	Klanch	Canada, Colombie-Britannique	1	3	6	Larry Meinert, Smith College
	Chandman Uul	Mongolie	1	3	6	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines
	Oyut Ovov	Mongolie	1	5	9	Doug Kirwin, Ivanhoe Mines
	Iron Hill	Canada, Colombie-Britannique	1	2	4	Larry Meinert, Smith College
Fe-Ti	GE mine	Canada, Québec	1	4	8	Collection GM - UL
	Lablache	Canada, Québec	1	2	4	Marc Constatntin, U Laval
	Sudbury (Strathcona)	Canada, Québec	1	3	6	Collection GM - UL
	Girardville	Canada, Québec	2	10	15	Éric David, U Laval
V	Lac Doré	Canada, Québec	1	4	5	Patrice Roy, Géologie Québec, MRNFP
Cr	Coleraine	Canada, Québec	1	2	3	Collection GM - UL
Ni-Cu	Sudbury (craig)	Canada, Ontario	1	3	6	Collection GM - UL
	Blue Lake	Canada, Québec	1	3	6	Georges Beaudoin, U Laval
	Voisey's Bay	Canada, Labrador	2	4	8	Peter Lightfoot, INCO
	Raglan	Canada, Québec	2	12	23	Danielle Giovenezzo, Xtrata Nickel Canada
	Raglan sud	Canada, Québec	2	8	16	Bruce Durham, Canadian Royalties Inc.
	Sudbury (McCreedy E)	Canada, Québec	6	22	44	Peter Lightfoot, INCO
	Sudbury (Levack)	Canada, Québec	3	12	24	Dorren E. Ames, CGC-Ottawa
	Sudbury (Norman)	Canada, Québec	2	8	14	Dorren E. Ames, CGC-Ottawa
	Sudbury (Whistle)	Canada, Québec	2	5	10	Dorren E. Ames, CGC-Ottawa
	Sudbury (Victor)	Canada, Québec	1	4	8	Dorren E. Ames, CGC-Ottawa
	Sudbury (Murray)	Canada, Québec	1	4	8	Dorren E. Ames, CGC-Ottawa
	Sudbury (Creighton)	Canada, Québec	1	4	8	Dorren E. Ames, CGC-Ottawa
	Thompson	Canada, Alberta	4	15	28	Beth McClenaghan, CGC-Ottawa
	SMV	Aldermac	Canada, Québec	1	2	3
Normétal		Canada, Québec	1	2	4	Collection GM - UL
Ansil		Canada, Québec	2	6	12	Collection GM - UL
Persévérance		Canada, Québec	1	4	9	Gilles Roy, Xstrata Zinc

Projet DIVEX SC22 – BEAUDOIN : Signature géochimique des oxydes de fer – Volet 2

	Bell Allard	Canada, Québec	1	4	8	Gilles Roy, Xstrata Zinc
	Indice Scott	Canada, Québec	1	4	8	Patrice Roy, Géologie Québec, MRNFP
Veine Opémiska	Lac Line	Canada, Québec	3	12	26	Olivier Côté-Mantha, GERM, UQAC
	Mine Springer	Canada, Québec	1	4	8	Olivier Côté-Mantha, GERM, UQAC
	Mine Portage	Canada, Québec	1	4	8	Patrice Roy, Géologie Québec, MRNFP
	Mine Copper Cliff	Canada, Québec	1	4	9	Patrice Roy, Géologie Québec, MRNFP
	Mine principale	Canada, Québec	1	4	8	Patrice Roy, Géologie Québec, MRNFP
Porphyre archéen	Lamothe #1	Canada, Québec	1	4	8	Patrice Roy, Géologie Québec, MRNFP
	Queylus (Valco)	Canada, Québec	1	4	8	Patrice Roy, Géologie Québec, MRNFP
	Inlet (#3)	Canada, Québec	1	4	8	Patrice Roy, Géologie Québec, MRNFP
	Corner Bay	Canada, Québec	1	4	8	Patrice Roy, Géologie Québec, MRNFP
TOTAL			121	442	907	

Tableau 3. Moyennes par gîte calculées par le méthode de Kaplan-Meier à l'aide du logiciel R.

Type de gîte	Gîte	Zn	Cu	Ni	Mn	Cr	V	K	Ca	Ti	Al	Si	Mg
IOCG	Olympic Dam	0,054	0,030	0,026	0,036	0,015	0,020	0,021	0,021	0,131	0,110	0,198	0,008
	Ernest Henry	0,034	0,031	0,025	0,107	0,077	0,062	0,003	0,006	0,014	0,044	0,020	0,007
	Candelaria	0,046	0,034	0,019	0,034	0,009	0,029	0,028	0,027	0,109	0,247	0,176	0,075
	Alemao	0	0,051	0,031	0,022	0,013	0,045	0	0,008	0,051	0,049	0,555	0,186
	Guelb Moghrein	0,024	0,027	0,006	0,011	0,011	0,046	0,004	0,012	0,004	0,088	0,063	0,047
	Nico	0,021	0,023	0,017	0,009	0,002	0,008	0,002	0,008	0,044	0,025	0,088	0,054
	Echo Bay-MagHill 1	0,037	0,012	0,014	0,016	0,054	0,321	0,001	0,005	0,430	0,071	0,027	0,008
	Echo Bay-K2	0,035	0,019	0,014	0,006	0,004	0,365	0,004	0,008	0,440	0,146	0,072	0,010
IOCG-like	Echo Bay-CL	0,035	0,013	0,020	0,046	0,013	0,319	0,001	0,014	0,074	0,066	0,025	0,006
	Kwijibo	0,046	0,024	0,023	0,128	0	0,025	0,009	0,005	0,033	0,034	0,012	0,008
	Mont de l'Aigle	0,034	0,016	0,018	0,029	0	0,012	0,006	0,018	0,049	0,178	0,109	0,008
	Queylus	0,043	0,031	0,023	0,015	0,036	0,013	0,097	0,047	0,013	0,177	0,408	0,049
	Osborne	0,039	0,032	0,022	0,015	0,010	0,019	0,003	0,005	0,011	0,091	0,010	0,018
	Fort Constantine	0,041	0,000	0,039	0,027	0,000	0,174	0,003	0	0,104	0,059	0,017	0,011
	Murdie Island	0,043	0,025	0,023	0,081	0,011	0,072	0,009	0,007	0,227	0,164	0,077	0,029
	San Fernando	0	0,031	0,019	0,024	0	0,116	0,028	0,079	0,121	0,161	0,329	0,100
	Armagosa	0,039	0,033	0,037	0,042	0	0,176	0,012	0,015	1,564	0,036	0,042	0,014
	Bayan Obo	0,107	0	0	0,179	0	0,018	0,017	0,005	0,024	0,016	0,013	0,014
Kiruna	Pea Ridge	0	0,034	0,048	0,038	0,016	0,082	0,007	0,022	0,113	0,032	0,119	0,025
	Pilot Knob	0,057	0,039	0,023	0,014	0,014	0,062	0,010	0,011	0,103	0,074	0,069	0,023
	Kiruna	0,065	0	0,021	0,024	0	0,214	0,003	0	0,009	0,100	0,010	0,082
	El Romeral	0,040	0,023	0,057	0,026	0,010	0,443	0,003	0	0,164	0,076	0,012	0,014
	Rektor	0,041	0,064	0,028	0,018	0,009	0,147	0,004	0,015	0,431	0,018	0,012	0,005
	Savage River	0,040	0,024	0,116	0,101	0,015	0,479	0,005	0	0,145	0,021	0,063	0,191
BIF	Schefferville	0,035	0,024	0,039	0,020	0,012	0,012	0,005	0,006	0,009	0,048	0,296	0,018
	Lac Jeanine	0,050	0,023	0	2,356	0	0,012	0,002	0,004	0,021	0,169	0,008	0,135
	Richelieu	0,072	0,030	0,027	0	0	0,013	0,003	0,006	0,015	0,028	0,020	0,007
	Spruce Pit	0,084	0	0,027	0,022	0	0,013	0,003	0,006	0,012	0,014	0,208	0,014
	Thompson-FeFm	0,055	0,014	0,014	0,015	0,007	0,022	0,000	0,003	0,022	0,056	0,029	0,014
Porphyre	Ingerbelle	0,039	0	0,027	0,024	0,025	0,237	0,003	0,025	0,010	0,042	0,009	0,011
	Copper Mountain	0,042	0,039	0,026	0,045	0,017	0,619	0,005	0,012	0,260	0,172	0,014	0,013
	Bingham Canyon	0,046	0,051	0,000	0,035	0,010	0,112	0,048	0,011	0,092	0,123	0,240	0,020
	Skouries	0,056	0,029	0,031	0,066	0,011	0,059	0,007	0,026	0,166	0,197	0,177	0,040
	Ridgeway	0	0	0,000	0,039	0,000	0,170	0,005	0,015	0,056	0,226	0,081	0,107
	Oyu Tolgoi	0,070	0,067	0,028	0,021	0,036	0,363	0,007	0,020	0,019	0,252	0,502	0,127
	Khargmatai	0,046	0,000	0,022	0,162	0,092	0,146	0,012	0,034	0,239	0,385	0,343	0,167
	Escondida Norte	0,045	0,026	0,011	0,035	0,006	0,081	0	0,001	0,072	0,200	0,026	0,016
Sari Gunay	0,053	0,017	0,014	0,049	0,003	0,047	0,025	0,011	0,358	0,270	0,234	0,071	

Projet DIVEX SC22 – BEAUDOIN : Signature géochimique des oxydes de fer – Volet 2

	Porgera	0,046	0,028	0,009	0,295	0,003	0,011	0	0,008	0,079	0,143	0,063	0,179
	Mt. Polley-pre	0,177	0,020	0,009	0,317	0,009	0,417	0,005	0,064	0,432	0,136	0,209	0,081
	Mt. Polley-syn	0,119	0,033	0,016	1,517	0,013	0,642	0,002	0,005	3,119	0,963	0,024	0,288
	Mt. Milligan-nmin	0,025	0,017	0,018	0,004	0,009	0,329	0,002	0,004	0,104	0,019	0,023	0,011
	Mt. Milligan-min	0,052	0,016	0	0	0,006	0,216	0	0,003	0,024	0,111	0,098	0,048
Skarn	Iron Hill	0,045	0,034	0	0,185	0,010	0,020	0,004	0,072	0	0,133	0,212	0,080
	Klanch Hill	0	0	0,069	0,130	0,367	0,708	0,033	0,308	0,171	0,603	0,520	0,373
	Chandman Uul	0,052	0	0,022	0,058	0	0,015	0,004	0,023	0,018	0,055	0,133	0,004
	Oyut Ovo	0,056	0,335	0,021	0,275	0,010	0	0,023	0,112	0,043	0,071	0,598	0,037
Fe-Ti	GE	0,047	0,027	0,026	0,021	0,527	0,590	0,003	0,009	9,052	0,086	0,020	0,418
	La Blache	0,043	0,050	0,023	0,255	0,086	0,435	0,003	0,009	10,170	1,861	0,024	0,879
	Strathcona	0,043	0,027	0	0,353	0,025	0,958	0,002	0,015	7,696	0,106	0,036	0,011
	Girardville	0,035	0,013	0,012	0,051	0,004	0,055	0,003	0,011	3,873	0,026	0,045	0,020
V	Lac Doré	0,028	0,009	0,016	0,013	0,069	0,968	0,003	0,008	0,156	0,039	0,018	0,007
Cr	Coleraine	0,085	0,027	0	0,016	2,608	0,017	0,003	0,000	0	0,012	0,021	0,047
Ni-Cu	Blue Lake	0,060	0,026	0,036	0,035	0,020	0,055	0,003	0,004	0,056	0,023	0,064	0,024
	Voiseys Bay-E Deeps	0	0,079	0,033	0,126	0,456	0,339	0,000	0,135	0,324	0,410	0,019	0,058
	Voiseys Bay-Ovoid	0	0,000	0,045	0,358	0	0,063	0,005	0,000	0,715	0,029	0,023	0,037
	KATINNIQ 1	0,030	0,007	0,173	0,139	0,808	0,291	0,002	0,046	0,752	0,014	0,072	0,036
	KATINNIQ 2	0,037	0,025	0,145	0,070	1,959	0,233	0,002	0,011	0,252	0,012	0,031	0,015
	Mesamax	0,010	0,012	0,072	0,307	0,105	0,136	0,002	0,003	0,419	0,015	0,051	0,047
	Expo	0,019	0,020	0,067	0,173	1,173	0,329	0,002	0,003	0,245	0,015	0,032	0,069
	Pipe Mine	0,016	0,013	0,012	0,004	0,015	0,007	0,003	0,002	0,001	0,006	0,022	0,037
	Thompson	0,033	0,008	0,010	0,010	0,000	0,017	0,001	0,604	3,441	0,006	0,022	0,589
Ni-Cu (Sudbury)	Craig	0,051	0	0,075	0,019	0,019	0,015	0,003	0,000	0,008	0,009	0,042	0,095
	McCreeley E-153OB	0,053	0,013	0,285	0,341	0,002	0,006	0	0,002	0,126	0,311	0,057	0,018
	McCreeley E-MOB	0,149	0,019	0,078	0,138	0,007	0,038	0	0,001	0,340	0,470	0,047	0,132
	Levack	0,046	0,018	0,207	0,125	0,002	0,006	0,001	0,004	0	0,009	0,226	0,009
	Norman	0,019	0,023	0,148	0,008	0,002	0,016	0,005	0,001	0,003	0,021	0,043	0,006
	Norman-Bn	0,030	0,064	0,545	0,067	0,002	0,026	0,004	0,007	0,312	0,024	0,047	0,011
	Whistle	0,270	0,005	0,025	0,384	0,620	0,301	0,001	0,030	1,851	0,610	0,029	0,096
	Victor	0,282	0,026	0,039	0,180	0,056	0,080	0,003	0	1,047	0,504	0,040	0,014
	Creighton	0,023	0,017	0,041	0,041	0,022	0,106	0,001	0,004	0,098	0,047	0,087	0,023
	Murray	0,022	0,007	0,026	0,017	0,115	0,408	0,002	0,001	0,061	0,057	0,016	0,006
SMV	Aldermac	0,082	0,041	0,025	0,093	0,014	0,105	0,004	0,032	0,015	0,013	0,302	0,003
	Ansil	0,053	0,032	0	0,030	0	0,012	0,014	0,055	0,027	0,132	1,462	0,051
	Normétal	0,072	0	0,057	0,018	0	0,010	0,003	0,013	0,030	0,093	0,009	0,008
	Persévérance	0,028	0,009	0,017	0,008	0,002	0,013	0	0,023	0,057	0,017	0,124	0,094
	Bell Allard	0,023	0,016	0,008	0,017	0,004	0,007	0	0,010	0,009	0,010	0,174	0,089
	Scott	0,026	0,016	0,014	0,015	0	0,007	0	0,009	0	0,014	0,022	0,009
Porphyre archéen	Corner Bay	0,029	0,016	0,018	0,066	0	0,009	0	0,009	0	0,023	0,017	0,010

Projet DIVEX SC22 – BEAUDOIN : Signature géochimique des oxydes de fer – Volet 2

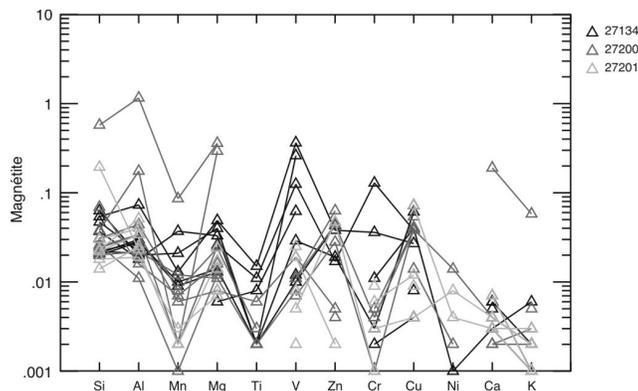
	Lamothe 1	0,026	0,009	0,014	0,013	0,004	0,030	0,001	0,005	0,004	0,029	0,012	0,008
	Queylus (Valco)	0,018	0,045	0,017	0,004	0,004	0,028	0,116	0,043	0,016	0,152	0,594	0,069
	Inlet 3	0,046	0,040	0,015	0,006	0,001	0,005	0,004	0,008	0,002	0,018	0,022	0,005
Veine													
Opemiska	Portage	0,018	0,019	0,011	0,003	0,004	0,027	0,003	0,011	0,013	0,057	0,851	0,006
	Copper Cliff	0,040	0,012	0,016	0,006	0,003	0,013	0,001	0,005	0,004	0,014	0,103	0,004
	Mine principale	0,027	0,016	0,017	0,005	0,009	0,024	0,002	0,015	0,019	0,048	0,289	0,006
	Springer	0,027	0,010	0,016	0,003	0,001	0,021	0,012	0,051	0,016	0,072	0,386	0,018
	Lessard	0,017	0,015	0,010	0,006	0,003	0,016	0,028	0,153	0,025	0,205	0,542	0,030
	Brosman	0,028	0,015	0,032	0,006	0,004	0,013	0,039	0,208	0,016	0,221	0,735	0,043
	Lac Ham	0,026	0,009	0,017	0,009	0,004	0,033	0,026	0,146	0,021	0,285	0,571	0,077

ANNEXE 3 – Description des échantillons

Cuivre-or-oxydes de fer (IOCG)

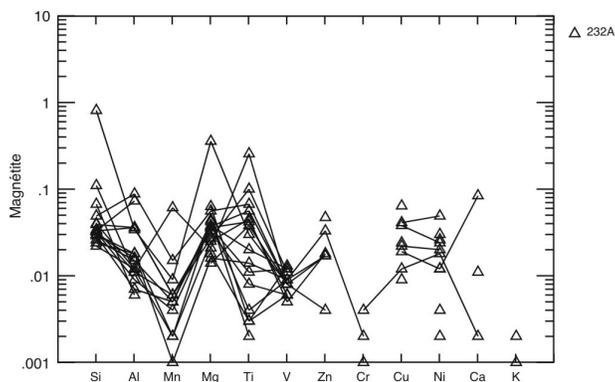
Guelb Moghrein, Mauritanie (Kolb et al., 2006; Meyer et al., 2006)

Trois sections polies (27134, 27200 et 27201) provenant de deux carottes de forage (RCGM80, 119,5 m; RCGM, 97,4 et 100,6 m) nous ont été fournies par le Dr. Jochen Kolb de l'Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre, RWTH Aachen. Les échantillons 27134 et 27200 sont des assemblages proximaux de magnétite et de sulfures massifs provenant de brèches (*pebble-like*) à minerais. La magnétite se trouve sous forme de plages fracturée et « mangées » par de la chalcoppyrite, de la pyrrothite et de la pentlandite. L'échantillon 27201 est un assemblage distal de magnétite provenant d'une brèche à magnétite. La magnétite forme des grandes plages.



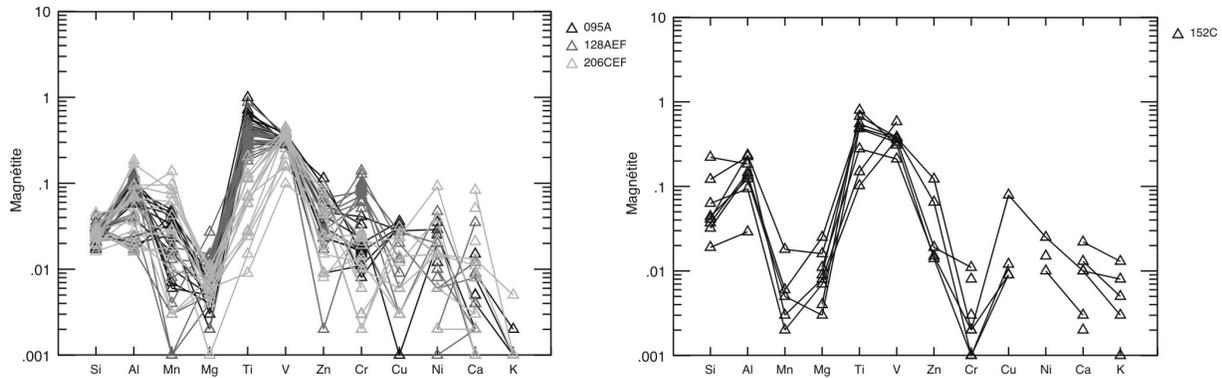
NICO, Canada

Deux lames minces polies (230BC et 232A) nous ont été fournies par Louise Corriveau de la Commission géologique du Canada à Québec. L'échantillon 230BC est une veine d'arsénopyrite dans un sédiment remobilisé et ne contient pas de magnétite analysable. L'échantillon 232A est une magnétite massive partiellement oxydée en hématite. Les deux phases ont été analysées.



Echo Bay, Canada

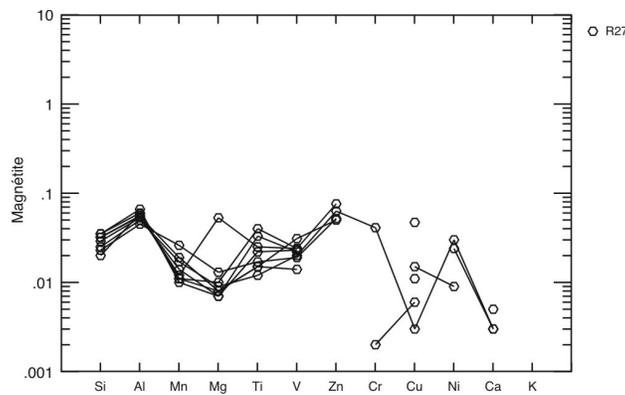
Sur les 13 lames minces polies fournies par Louise Corriveau de la Commission géologique du Canada à Québec, 4 (095A, 128AEF, 152C et 206CEF) ont été sélectionnées pour fin d'analyse. Les échantillons 095A et 128AEF sont des andésites porphyritiques encaissantes situées dans une zone à magnétite-actinote-apatite contenant la minéralisation « Mag Hill 1 ». Elles ont subi du métamorphisme superposé de basse température et la magnétite, très abondante, est souvent poreuse et partiellement oxydée en hématite. Les deux phases ont été analysées. L'échantillon 206CEF est une andésite métasomatisée encaissante située près d'une autre zone à magnétite-actinote-apatite dans la région de Contact Lake. La magnétite se trouve sous forme de bandes ou des grosses plages. Elle est partiellement oxydée en hématite et contient de nombreuses exsolutions d'ilménite. La magnétite et l'hématite ont été analysées. L'échantillon 152C est une hématite massive située dans une zone d'altération d'hématite près de la minéralisation « K2 ».



Formation de fer rubanée (BIF)

Thompson, Alberta, Canada

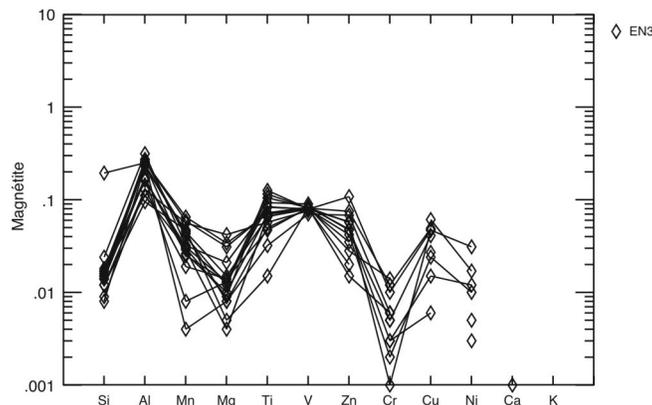
Une lame mince polie (05MPB-R27) nous ont été fournies par Beth McClenaghan de la Commission géologique du Canada à Ottawa. L'échantillon fait partie de la ceinture de Ni de Thompson (voir description plus bas), mais provient de la formation de fer du *Pipe Pit* et est considéré comme un *BIF*. La magnétite abondante est disséminée sous forme de grains allomorphes à hypidiomorphes dans tout l'échantillon.



Porphyres de Cu

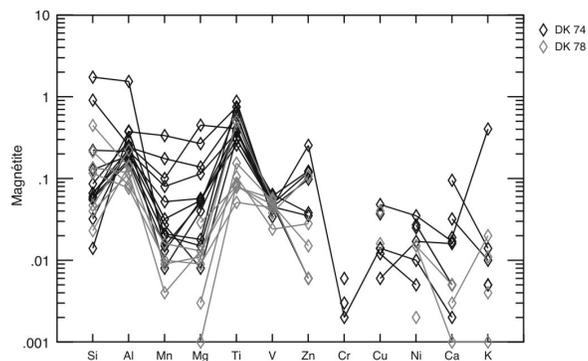
Escondida Norte, Nord du Chili

Une lame mince polie (EN3) nous a été fournie par Jeremy P. Richards de *University of Alberta*. Il s'agit d'une brèche de magnétite cimentée. La magnétite est poreuse et partiellement oxydée en hématite. Les deux phases ont été analysées. Des traces de sulfures, probablement de la chalcopryrite, ont été observées.



Sari Gunay, Iran

Deux lames minces polies (DK 74 et DK 78) nous ont été fournies par Jeremy P. Richards de *University of Alberta*. Les deux échantillons sont des veines de quartz-magnétite. Pyrite et chalcopyrite sont aussi présentes. La magnétite, plus abondante dans l'échantillon DK 74, est poreuse et oxydée en hématite. Les deux phases ont été analysées dans l'échantillon DK 74, alors que seul la magnétite a été analysée dans l'échantillon DK 78, les zones d'altération en hématite étant trop petites pour la résolution de la microsonde.



ERROR: stackunderflow
OFFENDING COMMAND: ~

STACK: