

ET 2004-01

LES PRINCIPAUX TYPES DE MINERALISATIONS EN METAUX RARES (Y-ZR-NB-TA-BE-LI-ETR) DU QUEBEC

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



License

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

**Énergie et Ressources
naturelles**

Québec The logo consists of the word "Québec" in a bold, sans-serif font, followed by a stylized graphic element made of four blue diamonds arranged in a cross-like pattern.

Les principaux types de minéralisations en métaux rares (Y-Zr-Nb-Ta-Be-Li-ETR) du Québec

Michel Boily
Charles Gosselin



Mine de niobium (Niobec) dans le Complexe alcalin de Saint-Honoré, région du Saguenay

Les principaux types de minéralisations en métaux rares (Y-Zr-Nb-Ta-Be-Li-ETR) du Québec

**Michel Boily
Charles Gosselin**

ET 2004-01

Résumé

Le présent rapport résulte d'une compilation des principaux indices, prospects et gisements de métaux rares de la province de Québec. Il présente les principales utilisations de ces métaux dans les produits industriels et de consommation, particulièrement dans les secteurs de haute technologie tels que ceux des semi-conducteurs, des supra-conducteurs, des électro-aimants, des céramiques et des alliages.

Une classification génétique des principaux types de minéralisations en métaux rares du Québec a été établie. Celle-ci comprend: le Type I – minéralisations en Li, Be, Ta, Cs, Rb, ± Mo, ± Nb, ± F dans les pegmatites granitiques associées à des complexes plutoniques granitiques peralumineux; le Type II – minéralisations en Nb, Ta, ETR et P associées à des complexes de carbonatite; le Type III – minéralisations en ETR, Y, Zr, F, ± Be, ± Nb, ± Th associées à des pegmatites internes injectées dans les intrusifs granitiques et syénitiques hypercalcins; le Type IV – minéralisations en Fe, Ti, ± Zr, ± ETR associés à des placers ou à des paléoplacers; le Type V – minéralisations en oxyde de fer avec Cu, ± Au, ± U, ± P, ± ETR (Olympic Dam / Kiruna); le Type VI – minéralisations en Mo, U, Th, Zr et ETR dans les pegmatites granitiques et les migmatites associées aux granites hyperalumineux à métalumineux; et le Type VII – minéralisations en Th, U, ± Mo, ± ETR dans les roches calco-silicatées minéralisées (skarns). Une liste des principaux gisements de classe mondiale associés à chaque type est présentée. Enfin, les sites minéralisés du Québec sont décrits en accordant une plus grande attention aux prospects et gisements les plus importants. Quelques critères d'exploration sont proposés.

Des résultats d'analyses effectuées sur des granites et des syénites du Québec ont été extraits de la banque de données SIGEOM. Leur examen a permis d'identifier plusieurs intrusifs fertiles associés à des zones minéralisées en métaux rares ou susceptibles d'en contenir. Ces granitoïdes se regroupent dans six grandes régions du Québec. Les plus importantes, au nombre de quatre, sont : 1) les granites intraplaques grenvilliens de la région de Manitou-Wakeham associés à des minéralisations en oxyde de Fe et en Cu, ETR, Y, P, F, Ag (Type V; Olympic Dam / Kiruna); 2) les plutons granitiques et syénitiques anorogéniques de la Province de Rae reliées à la formation d'un rift pan-continentale d'âge Protérozoïque et susceptibles de contenir de la minéralisation en ETR, Y, Zr (Type III); 3) les monzogranites et les pegmatites granitiques de la région de la Baie James (Granite du Vieux-Comptoir, Ceinture de la Basse et Moyenne Eastmain) minéralisés en Li, Be, Ta (Type I) et 4) les intrusifs monzogranitiques et les pegmatites granitiques de la Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans minéralisés en Li, Be (Type I).

DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC

Directeur

Alain Simard

Chef du service des minéraux industriels et de l'assistance à l'exploration

Christian Morin

Responsable du processus des études géologiques

Pierre Verpaelst

Manuscrit accepté pour publication le 04/03/24

Lecture critique

Pierre Doucet

Édition et mise en pages

Jean-Pierre Lalonde

Dessin assisté par ordinateur

Michel Boily

Charles Gosselin

Supervision technique

Charlotte Grenier

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	3
INTRODUCTION	5
Méthodologie	5
PRINCIPALES UTILISATIONS DES MÉTAUX RARES	5
Lithium (Li)	7
Rubidium (Rb) et Césium (Cs)	7
Tantale (Ta)	7
Zirconium (Zr) et Hafnium (Hf)	7
Les Eléments	
des Terres Rares (ETR)	7
Béryllium (Be)	8
Niobium (Nb)	8
Thorium (Th)	8
CLASSIFICATION DES GISEMENTS DE MÉTAUX RARES	8
Type I : Gîtes de Li, Be, Ta, Cs et Rb associées à des complexes granitiques hyperalumineux <i>(Les mêmes sous-thèmes s'appliquent à chacun des VII types de gîtes)</i>	8
Description	8
Milieu Tectonique	8
Age de la minéralisation	8
Roches hôtes et associées	8
Forme du gisement	9
Zonalité et type de pegmatite	9
Minéralogie des pegmatites	9
Altération	9
Contrôle structural	9
Origine	9
Sites d'exploitation importants	9
Informations	9
Principaux gîtes de Type I au Québec	9
Critères d'exploration	12
Type II : Gîtes de Nb, Ta, ETR et P associés à des complexes de carbonatite	12
Idem	
Type III : Gisements en ETR, Y, Zr et F associés à des complexes hyperalcalins	15
Idem	
Type IV : Gisements de Fe, Ti, ± Zr et ETR associés à des placers ou à des paléoplacers	19
Idem	
Type V : Gisements d'oxyde de fer, Cu, ETR, Y et U (Olympic Dam/Kiruna)	20
Idem	
Type VI : Minéralisations en U, Th, ±ETR, ± Nb, ± Zr et ±Y dans les pegmatites granitiques, migmatites et granites hyperalumineux à métalumineux	24
Idem	

Type VII : Minéralisations en Th, U, ±Mo et ±ETR dans les roches calco-silicatées et métasomatisées (skarns)	25
Idem	
LES MINÉRALISATIONS EN MÉTAUX RARES AU QUÉBEC : UNE APPROCHE GÉOCHIMIQUE	27
Les granites fertiles de la région de Mont-Laurier, Province de Grenville	28
Géochimie	28
Les granites intraplaques de la région de Manitou-Wakeham	28
Géochimie	29
Les granites et les syénites anorogéniques de la Province de Rae	30
Géochimie	30
Les granites et les syénites de la Sous-province de l'Ashuanipi	31
Géochimie	32
Les monzogranites et les pegmatites granitiques de la région de la Baie-James	33
Géochimie	33
Les monzogranites de la Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans	35
Géochimie	35
CONCLUSIONS	35
RÉFÉRENCES	37
ANNEXE 1 - Gîtes mentionnés dans le présent rapport et le DV 2003-03	41
ANNEXE 2 - Liste des numéros d'identification uniques des analyses lithogéochimiques	43

INTRODUCTION

Les pays industrialisés sont en compétition croissante pour créer de nouveaux produits de haute technologie à base de semi-conducteurs, de supraconducteurs, d'électro-aimants, de céramiques et d'une variété d'alliages dans lesquels les métaux rares constituent une composante dominante. Au cours des deux dernières années, nous avons assisté à une augmentation du prix du concentré de Nb-Ta. Cette croissance du prix et de la demande a conduit à une recrudescence de l'exploration pour les métaux rares dans les pegmatites granitiques et les granites hyperalumineux localisés dans la Province du Supérieur. L'intérêt des compagnies minières a incité l'*Ontario Geological Survey (OGS)* à effectuer une étude thématique visant à développer une base de données géochronologiques, géochimiques et minéralogiques sur les granites fertiles et leurs cortèges de pegmatites granitiques affleurant dans la Province du Supérieur (Breaks *et al.*, 2002). Cette étude, en plus de répertorier plusieurs sites à fort potentiel, a permis de découvrir de nouveaux indices de métaux rares (Li, Ta et Cs) à l'intérieur des sous-provinces de Quetico, de Wabigoon, d'English River et d'Uchi.

Il est probable que la partie québécoise de la Province du Supérieur recèle un potentiel tout aussi intéressant que celui de l'Ontario, comme en témoignent les nombreux gîtes et indices de Li et de Ta répertoriés dans les pegmatites granitiques associées au complexe plutonique de Preissac-Lacorne (figure 1), Sous-province d'Abitibi (Boily, 1995). De plus, l'extension des sous-provinces archéennes du nord-ouest ontarien riches en métaux rares a été reconnue dans la région de la Baie-James (sous-provinces d'Opatica, de La Grande, de Némiscau et d'Opinaca; Goutier *et al.*, 1999a, b). Toutefois, hormis la région restreinte de Preissac-Lacorne, aucune étude systématique du potentiel économique en métaux rares n'a été effectuée dans la Province du Supérieur du Québec. D'autre part, le Québec possède plusieurs gîtes et gisements importants de métaux rares à l'intérieur des provinces géologiques de Grenville et de Rae comme par exemple les gisements de Niobec, de Strange Lake et de Kipawa (figure 1). Suite à ces constats, le MRNFP du Québec a débuté en 2002 un projet visant à définir le potentiel minéral en métaux rares au Québec.

Méthodologie

Un travail de recherche et de compilation de toutes les minéralisations connues de métaux rares (Y, Zr, Nb, Ta, Be, Li et ETR) dans la province de Québec a été effectué. Nous avons mis à jour les fiches d'indices, de prospects, de gisements et de mines inventoriés dans la base de données du SIGEOM. Les indices en U et en Th ont également été considérés lorsque associés à des contextes géologi-

ques susceptibles d'offrir un potentiel pour les métaux rares. Enfin, tous les sites minéralisés ont été classés selon 7 types génétiques qui reflétant principalement les processus géologiques qui mènent à leur formation et à leur association avec certains types de roche. Un total de 297 indices, prospects et gisements de métaux rares ont été compilés et les résultats publiés sous forme de CEDEROM (Gosselin *et al.*, 2003). Ce dernier inclut une carte des minéralisations en métaux rares (Y, Zr, Nb, Ta, Be, Li et ETR) ainsi qu'une base de données fournissant de l'information sur chacun des sites minéralisés. Un « hyperlien » permettant d'accéder directement à la fiche descriptive complète de l'indice ou du gîte via le site Internet « E-SIGEOM à la carte » est également intégré à la base de données.

Le présent rapport complète ce CEDEROM et la numérotation utilisée pour identifier les sites minéralisés correspond à celle présentée dans cette publication (Gosselin *et al.*, 2003). La correspondance entre cette numérotation et les numéros d'identification dans l'ancienne banque de données COGITE utilisée dans les publications antérieures se trouve à l'annexe 1. Ce rapport contient d'abord un aperçu des principales utilisations des métaux rares dans les produits industriels et de consommation. Il fournit une description de 7 types de minéralisations en métaux rares observés au Québec, une présentation de quelques prospects ou gisements importants et une liste de critères d'évaluation utiles pour l'exploration. Un volet géochimie est également présenté. L'examen de l'ensemble des analyses lithogéochimiques extraites de la banque de données SIGEOM a permis d'identifier des granitoïdes dits « fertiles » pour les métaux rares. Ces données ont servi à l'évaluation plus complète du potentiel réel de plusieurs secteurs minéralisés connus au Québec.

PRINCIPALES UTILISATIONS DES MÉTAUX RARES

La définition d'un métal rare varie selon l'abondance, le prix courant et l'utilisation industrielle de l'élément. Cependant, les chercheurs, les géologues et les ingénieurs de l'industrie minière de même que les prospecteurs considèrent que les éléments suivants appartiennent au groupe des métaux rares (Cerny, 1981, 1989 ; Boily, 1989) soit : le zirconium (Zr), le niobium (Nb), le tantale (Ta), le beryllium (Be), le lithium (Li), l'hafnium (Hf), le rubidium (Rb) et le thorium (Th) ainsi que les « Éléments des Terres Rares » ou ETR. Les ETR comprennent les lanthanides regroupant 15 éléments (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, et Lu ainsi que l'yttrium (Y). Une description succincte des principales utilisations des divers métaux rares est présentée ici-bas. Une large part des informations fournies provient de documents publiés par l'USGS (*United*

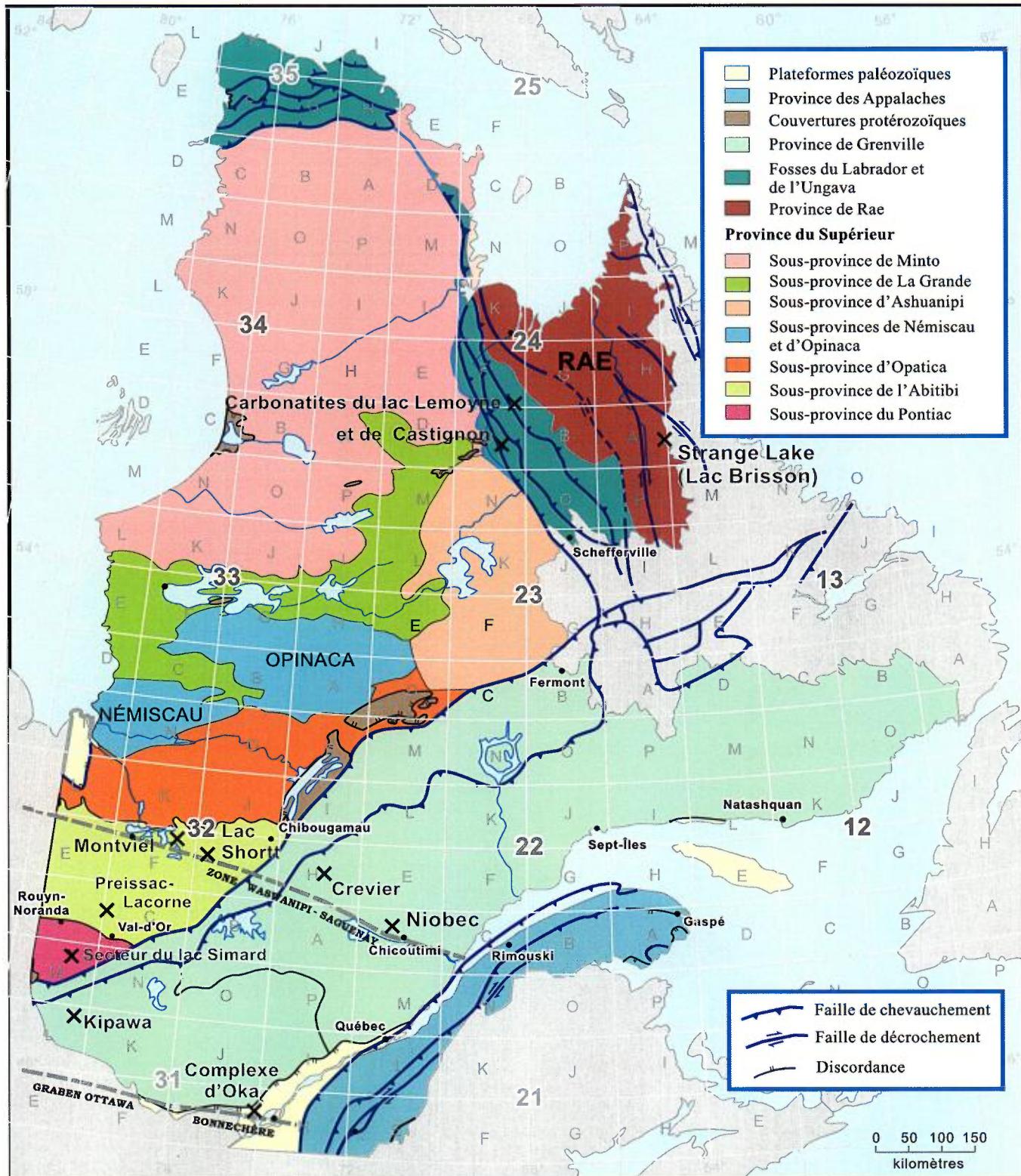


FIGURE 1 - Localisation des grands ensembles tectonostratigraphiques au Québec et des principaux secteurs ou gîtes mentionnés dans le texte.

States Geological Survey). Des informations plus exhaustives peuvent être consultées sur le site Internet «<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mybl/>».

Lithium (Li)

Le lithium (Li) est utilisé dans les produits industriels sous forme de métal, de composé ou de minéral. La faible densité du Li, son petit rayon ionique, son électropositivité élevée, et sa basse température de fusion favorisent sa grande utilisation dans les produits de céramique, les batteries et l'industrie nucléaire.

Batteries : Les propriétés ioniques du Li sont favorables à son utilisation dans les batteries rechargeables de longue durée. Métallurgie : le carbonate de lithium sert d'électrolyte utilisé dans la production de l'aluminium, tandis que le lithium métal ajouté à l'aluminium produit un alliage résistant. Énergie nucléaire : À l'intérieur d'un réacteur à fusion nucléaire, le lithium liquide permet la production efficace du combustible tritium tout en servant de réfrigérant et d'isolant. Industrie chimique : le lithium entre dans la fabrication de caoutchouc (néoprène), les systèmes d'air climatisé, les lubrifiants et les produits pharmaceutiques. Céramiques : La pétalite et/ou le spodumène sont des minéraux de lithium essentiels dans la fabrication de plats de cuisson résistants à la chaleur (plats Corningware). Verre : La pétalite et le spodumène améliorent la résistance des fondants de verres en plus de mener à une économie d'énergie dans les usines productrices.

Rubidium (Rb) et Césium (Cs)

Le rubidium (Rb) et le césium (Cs) font partie des métaux alcalins. Leur grande électropositivité rend ces éléments indispensables dans la recherche et le développement, particulièrement dans les domaines de la chimie et de l'électronique.

Recherche biomédicale : Des composés de Rb et de Cs sont employés comme catalyseurs pour générer de nouveaux produits issus de la recherche biomédicale et chimique (p. ex. la séparation des gènes à partir des molécules de DNA). Photoélectricité : Le faible potentiel ionique du Cs et du Rb permet de les utiliser dans la conception de cellules photoélectriques. Céramiques : Le feldspath de potassium et de césium est incorporé dans les isolants de haut voltage en céramique. Verres : Le verre de carbonate de Rb est utilisé dans les appareils optiques. Propulsion ionique : Le Cs peut servir dans les systèmes de propulsion ionique dans l'espace.

Tantale (Ta)

Le tantale (Ta) possède un point de fusion extrêmement élevé (3017 °C), une force de tension atteignant le double

de celle des alliages d'acier et une résistance à l'altération par les acides.

Appareils électroniques : Approximativement les deux tiers de tout le tantale extrait est utilisé dans la production de composantes électroniques, notamment les capaciteurs. Métallurgie : Des alliages de Ta très résistants et pouvant subir de hautes températures entrent dans la fabrication de moteurs d'avion. Le Ta métal, par ses qualités anti-corrosives et sa résistance à la chaleur, sert de scellant dans les usines chimiques et nucléaires. Produits résistants : L'extrême dureté du carbure de Ta permet son utilisation dans les outils coupants, les têtes de foreuses et d'autres équipements miniers. Verres : L'oxyde de Ta est ajouté au verre pour augmenter son indice de réfraction et produire des lunettes et des lentilles de caméra plus légères. Industrie médicale : La résistance à la corrosion du Ta permet son utilisation dans la fabrication d'implants et d'instruments chirurgicaux.

Zirconium (Zr) et Hafnium (Hf)

Le zirconium (Zr) et le hafnium (Hf) sont deux éléments de transition possédant un rapport « charge ionique/rayon ionique très élevé » (HFSE : *High Field Strength Elements*). Ces éléments sont extrêmement résistants à la corrosion par les acides communs, les alcalis, l'eau de mer, etc..

Bijouterie : L'oxyde de zirconium est utilisé dans la fabrication de zircon cubique, un substitut au diamant. Industries nucléaire et chimique : Le zirconium sert à la fabrication de boucliers pour les radiations émanant des réacteurs nucléaires et des tiges de contrôle dans les réacteurs. Il sert aussi dans la tuyauterie comme anti-corrosif. Alliages : Plusieurs types d'alliages hautement résistants à la chaleur et à la corrosion contiennent du Zr et du Hf.

Les Éléments des Terres Rares (ETR)

Les ETR comprennent les lanthanides et l'yttrium. Sous forme métallique, ils sont ductiles, malléables et très réactifs à haute température ce qui les rend utile dans une vaste gamme d'applications.

Électronique : Le Nd est une composante essentielle des alliages constituant des super aimants très résistants (p. ex. aimants de Bi-Fe-Nd). De plus, il entre dans la fabrication de nouvelles batteries rechargeables de longue durée (téléphones cellulaires, PC portables). Le Nd est également incorporé aux cristaux de LiNbO₃ dans les lasers. Divers : les ETR et l'yttrium entrent dans la production de phosphores, d'abrasifs, d'additifs pour l'essence, de convertisseurs catalytiques pour les automobiles, de colorants non-toxiques et de revêtements pour des plastiques. Des alliages légers de Mg-Y-Nd-Zr sont disponibles commercialement pour tolérer des températures de 250 °C. Le cérium (Ce) et l'oxyde de titane entrent dans la composition de fluides

visqueux utilisés dans les transmissions d'automobiles et les jantes de force. On emploie l'yttrium (Y) dans les peintures anticorrosives et les ETR sont incorporés dans les outils sous forme de ciment de carbure afin d'en augmenter la résistance.

Béryllium (Be)

Le béryllium (Be) est le plus léger des métaux rares. Rigide, il possède un des points de fusion les plus élevés (1278 °C). Ces propriétés en font un des éléments les plus utilisés dans l'industrie aérospatiale et celle de la défense.

Électronique : Les alliages de Be-Cu sont employés dans une panoplie de produits électroniques étant donnée leur excellente conductivité thermique et électrique, leur dureté, leur propriété non-magnétique et leur résistance à la corrosion. Ce type d'alliage est inclus dans les connecteurs, les ressorts, et les commutateurs dans les automobiles, les ordinateurs, les appareils ménagers, les radars, les instruments de contrôle et les équipements de télécommunication. Les alliages de Ni-Al-Be entrent dans les composantes électroniques miniatures. L'oxyde de Be est bon conducteur de chaleur et sert d'isolant électrique dans les circuits électroniques, les systèmes de démarrage automobile, les lasers et les systèmes de radar électroniques Industrie aérospatiale et militaire : Le Be métal est incorporé dans les systèmes de guidage, les freins d'avions militaires, la structure des satellites et les systèmes optiques dans l'espace. Des tubes de Co-Be sont utilisés dans les trains d'atterrissement des avions et les moules dans l'industrie aérospatiale. Industrie nucléaire : le Be sert de modérateur de neutrons et dans les tiges de contrôle dans les réacteurs à fission nucléaire.

Niobium (Nb)

Le niobium (Nb), tout comme le tantale, est un bon conducteur d'électricité et de chaleur. Il possède une température de fusion élevée (2470 °C) et est résistant à l'attaque chimique.

Acières : Le ferrocolumbium et le Ni-columbium sont utilisés dans l'industrie de l'acier. Industrie : De nouveaux superalliages de Fe-Ni-Nb sont utilisés dans l'industrie aérospatiale, la construction des turbines génératrices à gaz ainsi que dans les équipements de combustion résistants à la chaleur et les moteurs de fusée.

Thorium (Th)

Le thorium (Th) est un métal lourd, mou et très ductile de la série des actinides. Il est surtout employé dans les alliages.

Électronique et appareils : Le nitrate de Th sert à la confection d'électrodes de soudure et de cathodes de magnétron inclus dans les systèmes de radar pour le contrôle aérien, la météo, les systèmes de défense et dans

les fours à micro-ondes. Comme catalyseur, le Th entre dans la fabrication de tubes émetteurs d'électrons, d'ampoules électriques, de verres hautement réfractaires et dans les détecteurs de radiation. Aérospatiale : Des alliages de Th-Mg furent employés dans l'industrie aérospatiale étant donné leur légèreté et leur résistance à haute température.

CLASSIFICATION DES GISEMENTS DE MÉTAUX RARES

Ce chapitre traite des principaux critères de classifications des gisements de métaux rares au Québec. Le tableau 1 (voir les pages centrales du rapport) présente de façon condensée l'ensemble de ces critères pour chacun des types de gîtes.

Type I : Gîtes de Li, Be, Ta, Cs et Rb associées à des complexes granitiques hyperalumineux

Description

Minéralisation en Li-Be-Ta-Cs-Rb ± Mo ± Nb ± F concentrée dans des essaims de dykes de pegmatite granitique d'âge Archéen. Ces dykes sont intrusifs dans des épontes métavolcaniques ou métasédimentaires. Les dykes de pegmatite entourent et sont génétiquement reliés à des complexes plutoniques de monzogranite hyperalumineux tardi- à post-tectoniques.

Milieu Tectonique

Les monzogranites hyperalumineux et leur cortège de dykes de pegmatites granitiques se localisent à l'intérieur des ceintures de roches vertes métamorphisées (faciès des schistes verts à celui des amphibolites) ou envahissent les ceintures para- et orthogneissiques hautement métamorphisées. Les monzogranites affleurent en bordure de grands couloirs de déformation délimitant des blocs structuraux présentant des lithologies différentes.

Âge de la minéralisation

Précambrien au Protérozoïque avec de rares manifestations du Mésozoïque au Cénozoïque.

Roches hôtes et associées

Hôtes : Dykes de pegmatite granitique potassique, aplite sodique, albitite, monzogranite à biotite à grains fins ou porphyroblastiques, monzogranite à biotite + muscovite ± grenat à grains fins, monzogranite pegmatitique. Associées :

roches intrusives de la suite TTG (tonalite-trondjhémite-granodiorite), métavolcanite (métabasalte, amphibolite), schiste à biotites (métagrauwackes, orthogneiss et paragneiss).

Forme du gisement

1- Essaim de dykes de pegmatite granitique, homogènes à grossièrement zonés, à fort pendage, d'épaisseur métrique à décamétrique et de longueur décamétrique à plurikilométrique.

2- Masse pegmatitique de forme variable (champignon, filon-couche) modérément à très différenciée parfois métasomatisée et présentant des zones ou couches monominérales (p. ex. albite, tantalite, pétalite).

Zonalité et type de pegmatite

Les pegmatites granitiques deviennent de plus en plus différenciées lorsque l'on s'éloigne du monzogranite parent. Une séquence idéalisée basée sur la paragenèse propose 7 zones : 1) les pegmatites stériles à biotite + magnétite; 2) les pegmatites stériles à plagioclase + microcline avec biotite et tourmaline; 3) les pegmatites à microcline + tourmaline + muscovite + beryl; 4) les pegmatites zonées à microcline + albite + tourmaline + muscovite + beryl; 5) les pegmatites zonées à microcline + albite et minéralisées en Li, Rb, Cs, Be, Ta et riches en B, P et F; 6) les pegmatites à albite minéralisées en Li, Be, Sn et Ta; 7) les pegmatites homogènes à albite et à spodumène et 8) les veines de quartz ± feldspath ± beryl ± cassiterite ± wolframite.

Minéralogie des pegmatites

Gangue : albite (cleavelandite), quartz, microcline (parfois graphique), muscovite, grenat (spessartite). Minerai : le lithium (spodumène, pétalite, lépidolite, tryphilitelithiophyllite, amblygonite-montébrasite), le tantale (colombo-tantalite, wodginite, microlite), le beryllium (beryl) et le césum (pollucite).

Altération

Pegmatite : Métasomatisme interne des pegmatites : albitisation (souvent associée à la minéralisation en Ta), tourmalinitisation, lessivage en Li des spodumène. Éponte : Tourmalinitisation (B); biotitisation (biotite-zinnwaldite; Li, K); holmquistite (Li); fluorine (F).

Contrôle structural

Les pegmatites granitiques remplissent les fractures, les joints et les diaclases dans les granitoïdes et se mettent en place dans les fractures et les plans de schistosité. dans les épontes. À plus grande échelle, les intrusions

de monzogranite tardif à post-tectonique et leur cortège pegmatitique sont contrôlés par les grandes failles et les couloirs de déformation délimitant les blocs structuraux.

Origine

La minéralisation des pegmatites granitiques est essentiellement d'origine magmatique. Elle résulte de la cristallisation fractionnée extrême d'un granite parent hyperalumineux (type-S) enrichi en Li, Be, Ta, Cs, Rb et en phases volatiles (H_2O , F, et B). Les magmas résiduels enrichis en métaux rares et en phases volatiles sont expulsés dans les fractures des épontes dans lesquelles les corps pegmatitiques se différencient en établissant diverses zones minéralogiques. Les fluides orthomagmatiques précipitent généralement en fin de cristallisation causant parfois un autometasomatisme et/ou un lessivage accompagnant la minéralisation en Ta. L'expulsion de ces fluides dans les roches encaissantes conduit à la création d'un halo d'altération enrichi en Li, K, F et B (Jahns, 1982; Cerny *et al.*, 1985; Manning et Pichavant, 1985).

Sites d'exploitation importants

International : Kings Mountains, Caroline du Nord, USA : 70 Mt à 1,5 % Li_2O ; Greenbushes, Australie : 7,96 Mt à 3,96 % Li_2O et 88,6 Mt à 222 ppm Ta_2O_5 ; Wodgina, Australie : 63,54 Mt à 366 ppm Ta_2O_5 . Canada : Mine Tanco, Lac Bernic, Manitoba : 1 500 000 lbs de Ta_2O_5 ; Mine Québec Lithium (en production de 1954 à 1966), Barraute, Québec (réserves de 18,1 Mt à 1,30 % Li_2O).

Informations

Plusieurs sources, dont Boily *et al.* (1989), Boily (1992 et 1995) et Cerny (1982).

Principaux gîtes de Type I au Québec

Au Québec, des minéralisations associées à des complexes granitiques hyperalumineux (Type I) ont été observées dans les sous-provinces de l'Abitibi, de Pontiac, d'Opatica et de Némiscau. Une des régions les plus explorées pour ce type de minéralisation est celle de Preissac-Lacorne, dans la Sous-province de l'Abitibi. On y trouve un grand nombre de gîtes en Li ± Ta ± Be concentrés autour du Complexe de Preissac-Lacorne (gîtes n° 198 à 212 et 215 à 231, annexe 1, figure 2) dont la Mine Québec Lithium (figure 3). Le complexe a fait l'objet d'une étude détaillée de la part de Boily (1992) qui a défini une zonalité spatiale et minéralogique des dykes de pegmatites granitiques et des albitites (figure 2). Les pegmatites stériles (Zone 1) se localisent au cœur des plutons monzogranitiques et possèdent une paragenèse similaire. Les pegmatites à beryl ± Ta ± Li (Zone 2) affleurent en marge de ces plutons, tandis

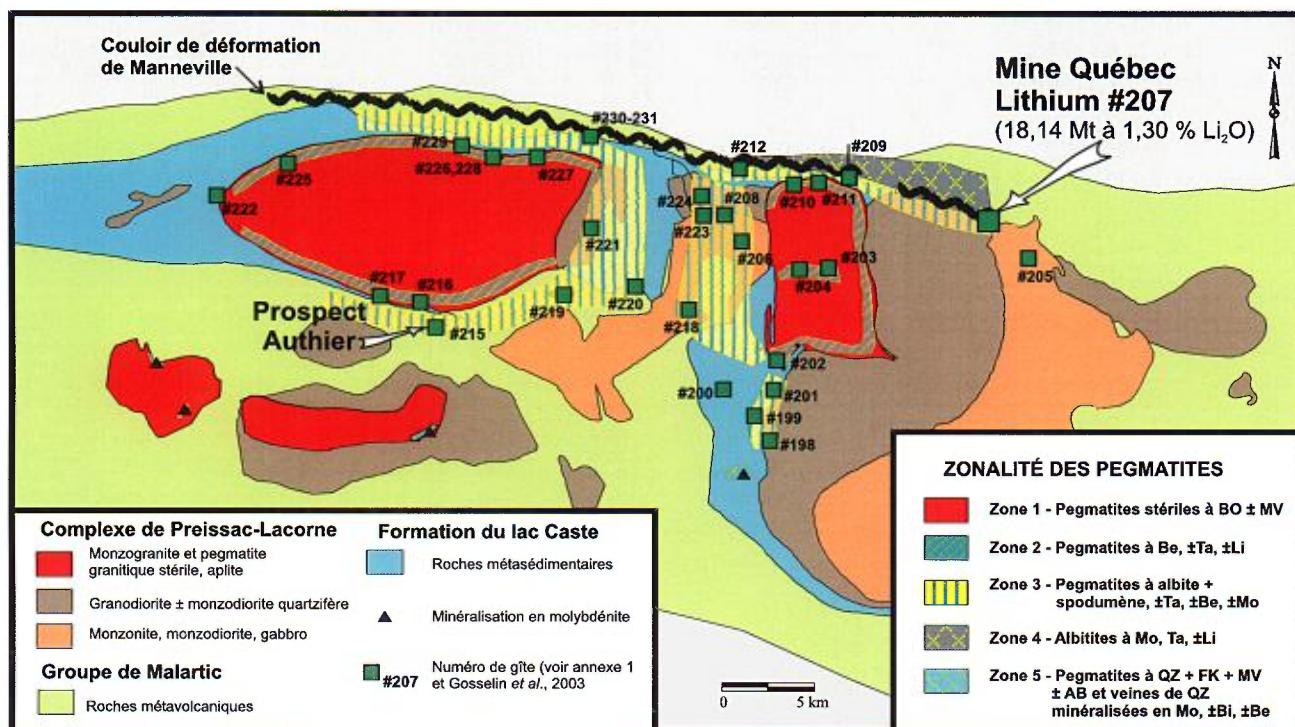


FIGURE 2 - Zonalité minéralogique des pegmatites granitiques minéralisées du Complexe plutonique de Preissac-Lacorne, Sous-province de l’Abitibi, Québec (d’après Boily *et al.*, 1990). Voir Sharma, 1996 pour la signification des codes minéralogiques.

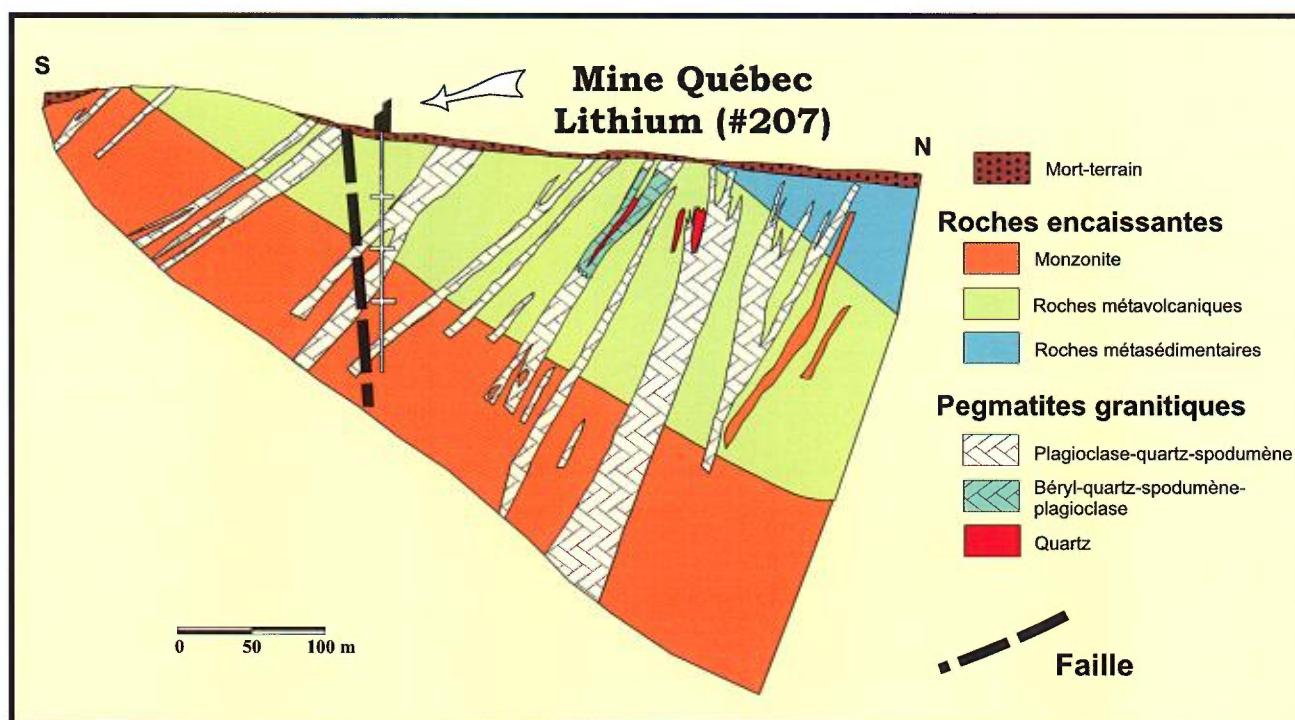


FIGURE 3 - Géologie de la mine Québec Lithium, Barraute, Québec, Sous-province de l’Abitibi (d’après Karpov, 1957; Boily, 1995).

que les pegmatites à albite + spodumène \pm Ta \pm Be \pm Mo (Zone 3) affleurent dans les roches encaissantes (phases intrusives précoce du Complexe de Preissac-Lacorne et roches volcanosédimentaires) dans un rayon de 1 km du contact. Les dykes d'ablitite (Zone 4) riches en molybdénite et en colombo-tantalite \pm spodumène ont été trouvés hors de l'enveloppe contenant les dykes à albite + spodumène. Enfin, les minéralisations en molybdénite sont contenues dans des pegmatites à quartz + feldspath potassique + muscovite \pm albite et dans des veines de quartz minéralisées en Mo \pm Bi \pm Be (Zone 5). Les principaux gisements et prospects de lithium de Preissac-Lacorne se situent à l'intérieur de la Zone 3. On y trouve le Prospect Authier (gîte n° 215, figure 2) de Raymor Industries, dont les réserves sont évaluées à 4,55 Mt à 1,05 % Li₂O ainsi que l'ancienne mine Québec Lithium (gîte n° 207) exploitée de 1954 à 1966 et dont les réserves étaient d'environ 18,14 Mt à 1,30 % Li₂O au moment de la fermeture.

D'importants prospects et indices de lithium sont répertoriés à l'intérieur des sous-provinces d'Opatica et de Némiscau (gîtes n° 244 à 248, 250 et 255 à 258, annexe 1). Les principaux sont le Prospect Sirmac (gîte n° 245, figure 4) présent dans la Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans (réserves de 318 000 t à 2,0 % Li₂O), le Prospect Cyr-Lithium (gîte n° 258, figure 4), dans la Ceinture de la Basse et Moyenne Eastmain (réserves de 12 Mt à 1,7 %

Li₂O) et l'indice du lac des Montagnes, récemment évalué pour son potentiel en tantale et où deux échantillons prélevés en surface contiennent des teneurs de 207 et de 317 g/t Ta₂O₅ (gîte n° 250). Sources : Ce dyke de pegmatite à spodumène de grande dimension (1 200 m de longueur par 100 m de largeur), possède une direction NE-SW et serait associé à un essaim de pegmatites différenciées. Ces pegmatites pourraient s'étendre le long d'une structure cassante majeure de plus de 110 km de longueur et délimitant la frontière entre les sous-provinces de Némiscau et d'Opatica. (figure 4).

La Sous-province de Pontiac renferme également plusieurs indices de Li \pm Ta dans le secteur du lac Simard (figure 1), au sud de Rouyn-Noranda (gîtes n° 188 à 193, annexe 1). Des concentrations particulièrement intéressantes en tantale y ont été répertoriées et semblent susciter l'intérêt des compagnies minières (communiqué de presse d'Osisko Exploration Ltd., 2002).

La Mine Québec Lithium

La Mine Québec Lithium est composée de 13 dykes de pegmatites granitiques homogènes à spodumène de 0,3 à 50,0 mètres d'épaisseur (figure 3). Les dykes coupent une monzonite à hornblende appartenant au Complexe de Preissac-Lacorne, des métavolcanites et des métasédiments.

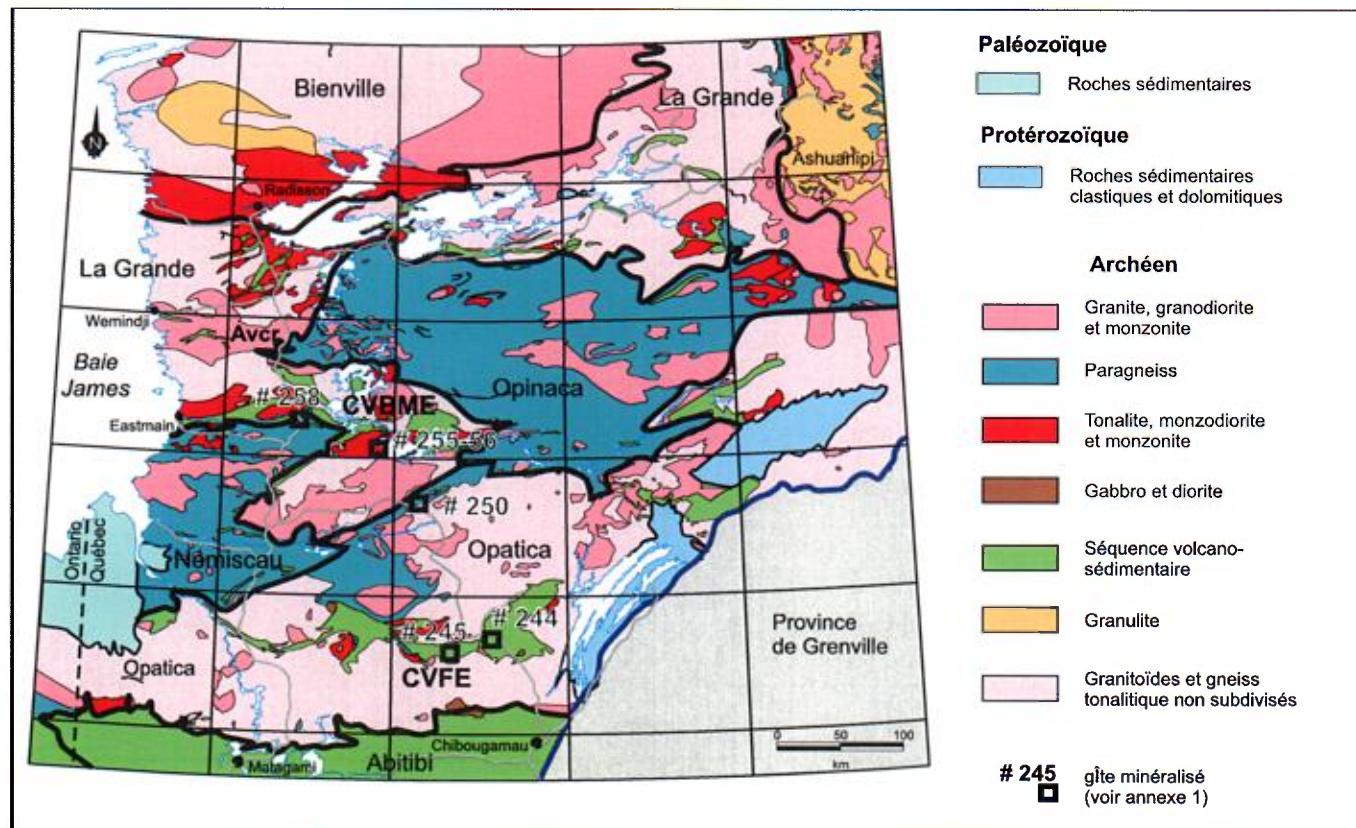


FIGURE 4 - Géologie simplifiée de la région du Moyen-Nord et limites des sous-provinces de la Province du Supérieur (modifiée de Perreault *et al.*, 2003). CVFE = Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Évans; CVBME = Ceinture volcanosédimentaire de la Basse et Moyenne Eastmain; Avcr = Granite du Vieux-Comptoir.

Les pegmatites associées aux suites monzogranitiques tardives du complexe se sont mises en place en bordure du Couloir de déformation de Manneville (figure 2). Elles sont constituées d'albite, de quartz, de spodumène, de muscovite, de spessartite et de minéraux accessoires tels le beryl, la lépidolite, la colombo-tantalite, la bismuthine, le bismuth natif et la bétafite. Le spodumène forme de petits cristaux prismatiques (1,2 à 1,5 cm) distribués uniformément et orientés perpendiculaires au contact avec les éponges. Parfois, on observe des dykes avec des bordures d'aplite et des coeurs de quartz (figure 3). Les roches encaissantes sont métasomatisées jusqu'à 1 m d'épaisseur et on observe de la holmquistite (une amphibole lithinifère violacée) et de la biotite (Karpov, 1957; Boily, 1995).

Critères d'exploration

- Présence de complexes monzogranitiques parents tardifs à post-tectoniques et généralement peu déformés.

- Les monzogranites se mettent en place le long de couloirs de déformation majeurs qui délimitent des blocs structuraux (p. ex. : Couloir de déformation de Manneville, Sous-province de l'Abitibi, Québec) ou en marge des contacts entre les sous-provinces présentant des assemblages lithologiques différents (p. ex. : limite des sous-provinces de Wabigoon-English River; English River-Uchi, Quetico-Wabigoon, Ontario; Breaks *et al.*, 2002).

- Présence de faciès de leucogranite à grains fins à muscovite + biotite + grenat, leucogranite pegmatitique à mégacristaux de feldspath potassique, dykes d'aplite et de pegmatite granitique potassique à beryl ± spodumène ± tantalite.

- Les pegmatites granitiques minéralisées en métaux rares (Li, Ta, Be, Cs et Rb) affleurent dans roches hôtes métasédimentaires et/ou métavolcaniques métamorphisées du faciès des schistes verts à celui des amphibolites jusqu'à une distance de 1 à 2 km à partir du contact avec les monzogranites parents.

- Les pegmatites minéralisées en métaux rares sont fréquemment entourées par une auréole métasomatique soulignée par l'apparition de minéraux indicateurs tels la holmquistite (amphibole lithinifère), la tourmaline et la biotite dans les fractures. La présence de cleavelandite (albite) et de muscovite de couleur verdâtre-argenté sont des indicateurs du potentiel élevé en Li (spodumène-pétalite). Le métasomatisme interne, caractérisé par l'albitisation et l'apparition de lépidolite, est également indicateur de minéralisation en Ta et en Li.

- Les principales caractéristiques géochimiques des granites fertiles sont : $\text{SiO}_2 = 72 \text{ à } 76\%$ poids; un indice de peraluminosité A/CNK [$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ (moléculaire)] > 1 qui parfois atteint 1,5. De faibles concentrations en TiO_2 (< 0,1 % poids); $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Total}$ (< 2 % poids); MgO (< 0,2 % poids); Sr (< 200 ppm); Ba (< 400 ppm); Zr (< 80 ppm); des teneurs élevées en Rb (> 300 ppm); Li (> 100 ppm); Be (> 3 ppm); Cs (> 10 ppm); Nb (> 15 ppm) et Ta (> 10 ppm)

et des rapports $\text{Rb/Sr} > 1$; $\text{K/Rb} < 250$; $\text{Rb/Ba} > 0,5$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$.

- À l'exception de certaines propriétés radioactives attribuées aux pegmatites riches en U et en Th (p. ex. : les minéraux tels la bétafite, l'apatite et la monazite), la recherche de la plupart des pegmatites granitiques minéralisées ne se prête pas aux méthodes d'exploration géophysiques. Par contre, si la masse pegmatitique est de dimension hectométrique à kilométrique, le contraste de densité entre celle-ci et la roche encaissante peut être suffisamment important pour être détecté par méthode gravimétrique (par ex. : la pegmatite de Tanco, Sous-province de Winnipeg River, Manitoba; Trueman et Cerny, 1982).

Type II : Gîtes de Nb, Ta, ETR et P associés à des complexes de carbonatite

Description

Des minéralisations en Nb, Ta, ETR et P sont concentrées dans des intrusions de carbonatite. Les carbonatites sont des roches ignées contenant plus de 50 % de carbonates. Les carbonatites à calcite (sövite), dolomite (beforsite) et ankérite (rauhaugeite) constituent les principaux types. Les carbonatites s'associent à des complexes intrusifs alcalins ou forment des filons-couches, dykes ou masses isolées. La minéralisation est principalement d'origine magmatique, hydrothermale (remplacement) ou résiduelle (érosion, dissolution et concentration du minéral). Les principaux minéraux exploités sont le pyrochlore (Nb), l'apatite (P) et la bastnaésite (La, Ce).

Milieu tectonique

L'intrusion de carbonatite est associée à la formation de structures continentales majeures, notamment les grabens et les rifts engendrés lors d'épisodes d'extension ou apparaissant lors de soulèvements épéirogéniques.

Âge de la minéralisation

Précambrien à récent.

Roches hôtes et associées

Sövite, rauhaugite, beforsite, intrusif à magnétite + olivine + apatite ± phlogopite, néphélinite, syénite, pyroxénite, périclase et phonolite.

Forme du gisement

Les carbonatites forment de petites masses circulaires (pipes de 3 à 4 km de diamètre), elliptiques ou irrégulières, des dykes et des filons-couches. La minéralisation dans les corps circulaires et elliptiques prend la forme d'un croissant

à fort pendage. L'altération métasomatique produit des veines et des veinules irrégulières. La forme des gisements de type résiduel causée par l'érosion est contrôlée par la topographie, la profondeur de l'érosion et le développement du drainage.

Minéralogie

Magmatique : bastnaésite, pyrochlore, apatite, anatase, zircon, baddéleyite, magnétite, monazite, parisite, fersmite. Hydrothermale/métasomatique : fluorine, vermiculite, chalcopyrite, bornite, hématite. Résiduelle : anatase, pyrochlore, apatite, crandallite.

Altération

Un halo de fénitisation (roches encaissantes métasomatisées en alcalis \pm Fe accompagnant une désilicification) entoure la carbonatite. Les minéraux typiques d'altérations sont : l'amphibole sodique, la wollastonite, la néphéline, le mésoperthite, l'antiperthite, l'aégyrine-augite, la biotite, la phlogopite et l'albite.

Contrôle structural

La forme de l'intrusif et son historique de cristallisation contrôlent les gisements d'origine ignée (cristallisation fractionnée). La tectonique et la structure locale dictent la forme de la minéralisation hydrothermale/métasomatique tandis que l'érosion et le patron de drainage contrôlent les gisements d'apatite et de pyrochlore résiduels.

Origine

Différents stages (syn à post-intrusions) sont impliqués : 1) minéralisation magmatique liée aux processus de cristallisation fractionnée ou à l'immiscibilité de fluides magmatiques (par ex. : l'intrusion de sövite et de beförsite riches en ETR, magnétite, pyrochlore et apatite); 2) injection de veines de fluorine et de barytine; 3) métasomatisme/hydrothermalisme : silification et déposition de minéraux riches en Th-U, veines de calcite et reprécipitation de l'hématite; 4) minéralisation résiduelle : altération et érosion de la carbonatite, accumulation de pyrochlore, d'anatase et d'apatite.

Informations

Plusieurs sources, dont Birkett et Simandl (1999).

Sites d'exploitation importants

International : Mountain Pass, Californie, 36 Mt à 7,67 % (ETR₂O₃); Araxa, Brésil, 495 Mt à 2,5 % Nb₂O₅ (minéralisation résiduelle). Québec : St-Lawrence Columbium (1961-

1976), Oka, 25 Mt à 0,44 % Nb₂O₅; Mine Niobec, St-Honoré, Saguenay, 12,33 Mt à 0,66 % Nb₂O₅; Gisement Niocan, Oka, Québec, 12,3 Mt à 0,66 % Nb₂O₅.

Principaux gîtes de type II au Québec

La majorité des minéralisations en niobium (\pm Ta \pm ETR) associées à des complexes de carbonatites a été décelée le long des corridors structuraux de Waswanipi-Saguenay et d'Ottawa-Bonnechère (figure 1). Dans la zone Waswanipi-Saguenay, les principaux gisements sont : la Mine Niobec, près de Chicoutimi et le Prospect de Crevier, situé au sud-est de Chibougamau. Vers l'ouest, la carbonatite du lac Shortt et celle de Montviel (gîtes n° 241 et 237, annexe 1) constituent d'autres sites minéralisés (ETR \pm Nb) reliés à cette structure (figure 1). Dans le graben d'Ottawa-Bonnechère, les principaux gisements sont localisés dans le Complexe d'Oka, à l'ouest de Montréal (figure 1). Ce complexe contient, entre autres, l'ancienne Mine St-Lawrence Columbium et le Gisement de Niocan. Plus à l'ouest, la Carbonatite de Saint-André contient l'indice de St-André-2 (gîte n° 127, figure 5) qui présente également une minéralisation en niobium et en ETR. Finalement, d'autres zones minéralisées sont associées aux complexes de carbonatite de Castignon et de Lemoyne dans la Fosse du Labrador (figure 1 ; gîtes n° 95, 96 et 98 à 102, annexe 1).

La Mine Niobec

La Mine Niobec (gîte n° 48, annexe 1) est l'unique producteur de niobium en Amérique du Nord et l'un des trois plus importants producteurs mondiaux. Elle est associée au Complexe de St-Honoré, situé dans la région du Saguenay (figure 1) et possède des réserves de 22,0 Mt à 0,67 % Nb₂O₅. Le complexe se compose de carbonatites et de roches intrusives alcalines d'âge tardi-précambrien à début cambrien (584-650 Ma), associées à la formation du Graben du Saguenay (Vallée et Dubuc, 1970; Fortin-Bélanger, 1977). C'est un complexe annulaire dont les unités présentent un pendage vers le centre, ce qui lui confère la forme d'un cône renversé. Une fénitisation intense des roches encaissantes a précédé la mise en place d'intrusions alcalines précoces (ijolite, urtite, syénite alcaline et syénite à feldspathoïde) suivi de l'intrusion d'un cœur de carbonatite dolomitique (beförsite), ankéritique (rauhaugite) et calcitique (sövite) (figure 6). La zone minéralisée en Nb (pyrochlore) se concentre dans deux sites formant des bandes lenticulaires (600 x 750 m) à l'intérieur d'une sövite accompagnée de beförsite, tandis que le cœur dolomitique est enrichi en ETR légères (3 à 4 % ETR). Le cœur de la carbonatite est bréchifié et les minéraux de Terres Rares (monazite et bastnaésite) sont contenus dans le ciment calcitique qui lie les fragments dolomitiques, suggérant une minéralisation post-bréchification.

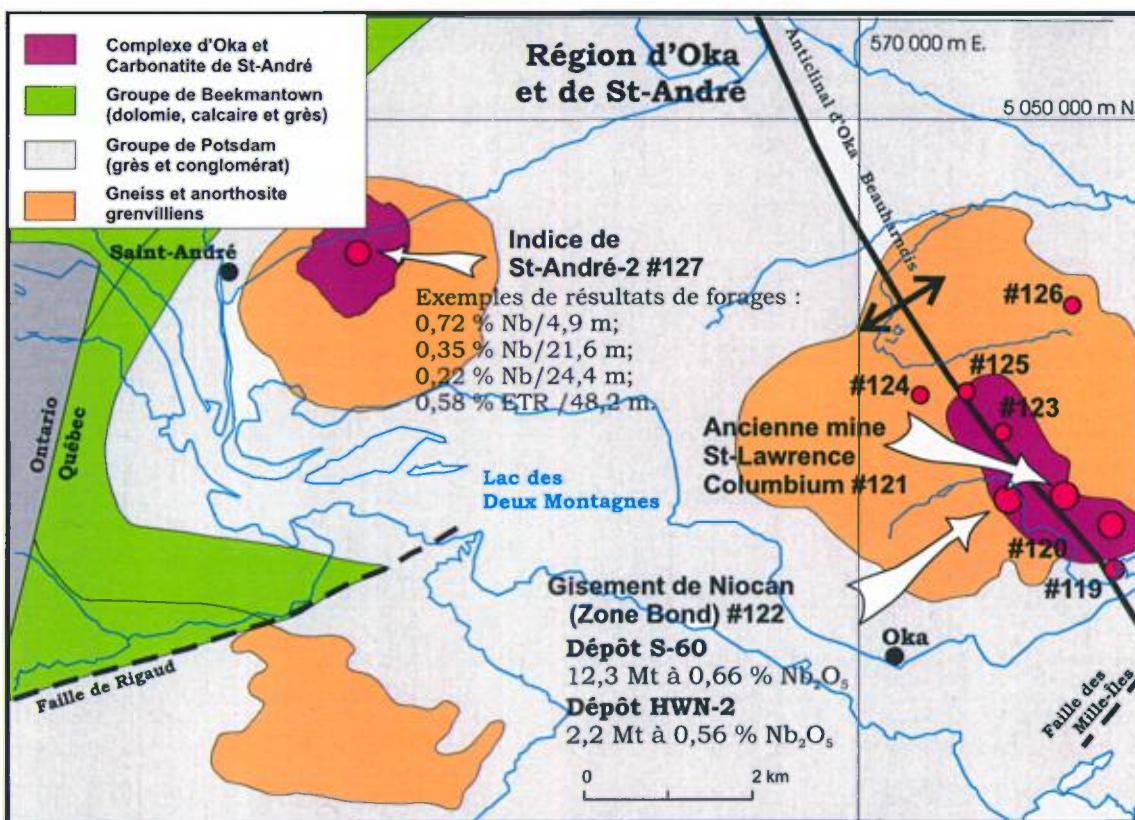


FIGURE 5 - Géologie de la région d'Oka et de St-André. Localisation de l'ancienne mine St-Lawrence Columbium, du Gisement de Niocan et de l'indice de Saint-André-2 (voir l'annexe 1 pour le nom des autres gîtes de la région).

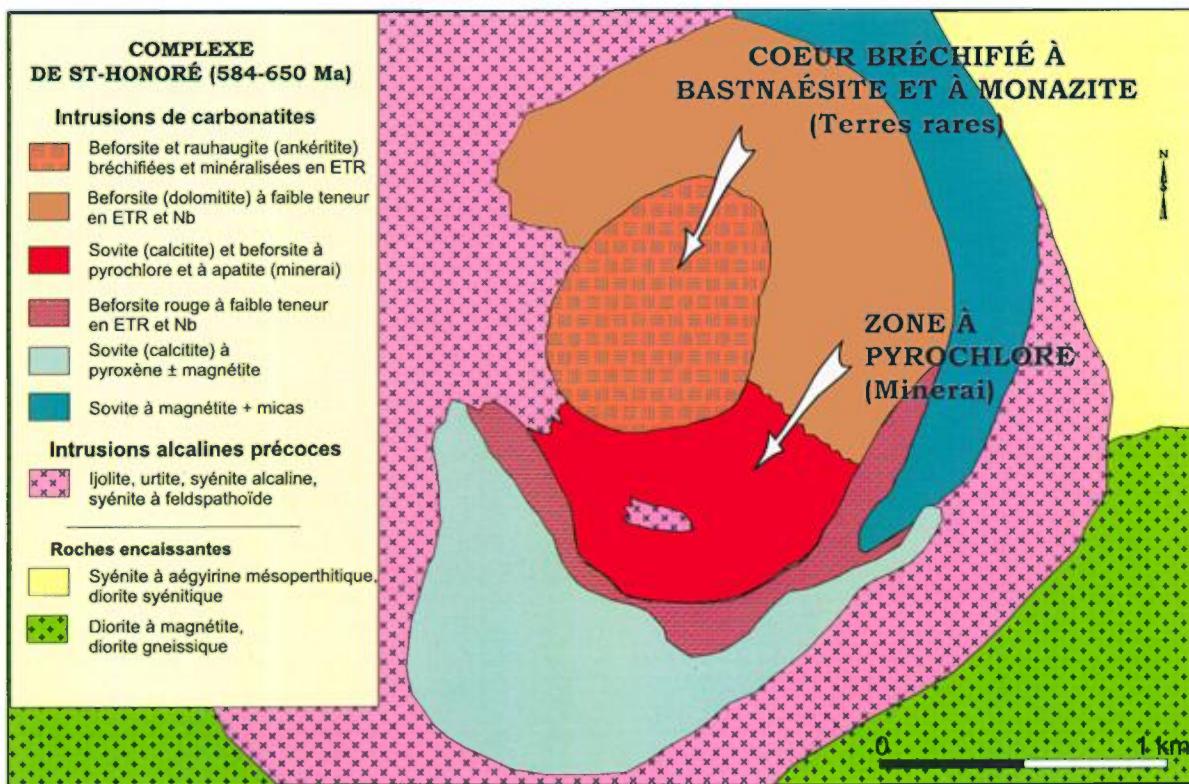


FIGURE 6 - Géologie de la Carbonatite de St-Honoré, Mine Niobec, région du Saguenay, Québec (simplifiée de Gauthier et Landry, 1980).

Le Prospect de Crevier

Le Prospect de Crevier (gîte n° 242, annexe 1) est associé au Complexe alcalin de Crevier (911 à 849 Ma) qui se compose principalement de syénite, de syénite à néphéline et d'intrusions mineures de carbonatite. La minéralisation en Nb-Ta est associée à des pegmatites à albite et à néphéline. Le dépôt contient des ressources inférées de 33 Mt à 201 ppm Ta₂O₅ et 0,19 % Nb₂O₅ (Fournier, 2002).

La Mine St-Lawrence Columbium

La Mine St-Lawrence Columbium (gîte n° 121, annexe 1, réserves prouvées et probables de 16,69 Mt à 0,44 % Nb₂O₅ et 0,2 à 0,5 % ETR) ne constitue qu'une des huit zones riches en niobium exploitées dans les carbonatites du Complexe d'Oka (figure 5, gîtes n° 121 à 126, annexe 1). Celui-ci (100 ± 15 Ma) comprend deux noyaux de carbonatite entourés de nombreux dykes arqués, *ring-dykes* et *cone-sheets* composés de roches silicatées et de carbonatites qui s'intercalent de façon complexe. Le complexe est constitué principalement de carbonatite, d'intrusifs de la série okaïte-jacupirangite et ijolite-urtite, de fénite et de dykes et culots d'alnoïte. Les roches du complexe ont envahi un socle grenvillien formé de gneiss et d'anorthosites. On observe neuf types de carbonatites suivant leur minéralogie et leur texture. Il s'agit essentiellement de sövites grossièrement subdivisées en suites à monticellite et à pyrochlore. La minéralisation en Nb se trouve dans le pyrochlore et se concentre en lentilles à l'intérieur d'unités de sövites/ijolites.

Le Gisement de Niocan

Le Gisement de Niocan (Zone Bond, gîte n° 122, annexe 1) est situé en marge du Complexe d'Oka (figure 5). La principale zone minéralisée (S-60) est un endoskarn en forme de cheminée (100 x 200 m) qui contient du pyrochlore. Les réserves de la zone S-60 sont de 12,3 Mt à 0,66 % Nb₂O₅. Elle contient également des sous-produits, dont l'apatite (10 %), la magnétite (10 %) et des ETR (10 % dans le pyrochlore). La deuxième zone minéralisée (HWN-2) forme une bande s'étendant sur 600 m de longueur et 25 m de largeur. Les réserves sont estimées à 2,2 Mt à 0,56 % Nb₂O₅.

Critères d'exploration

- Les carbonatites s'associent à de vastes systèmes de fractures en milieu continental (rifts, graben) mais elles ont tendance à former de petits intrusifs isolés.

- Les intrusifs de carbonatite présentent d'excellentes signatures magnétiques et radiométriques circulaires et peuvent être associés à des accidents topographiques annulaires.

- La fénitisation des roches hôtes est un indice de l'intrusion de carbonatites et peut permettre d'agrandir la zone

visée lors de l'exploration régionale.

- La présence de minéraux radioactifs associés à la fluorine et à la barytine dans les carbonatites est un indicateur indirect de minéralisation en ETR.

Type III : Gisements en ETR, Y, Zr et F associés à des complexes hyperalcalins

Description

La minéralisation en ETR - Y - Zr - F ± Be ± Nb ± Th se trouve dans les pegmatites granitiques ou syénitiques hyperalcalines; dans la coupole de complexes intrusifs hyperalcalins sursaturés en Si (granite à aégyrine) ou sous-saturés en Si (syénite à augite-aégyrine, foyaite sodique et lujavrite). Les intrusifs parents sont de type A (anorogénique) et forment des complexes annulaires ou des corps massifs subvolcaniques mis en place dans les zones d'extension post-orogénique d'âge Protérozoïque.

Milieu tectonique

Structures continentales majeures, notamment les grabens et les rifts associés à des épisodes d'extension continentale et de plume mantellique.

Âge de la minéralisation

Protérozoïque à cénozoïque

Roches hôtes et associées

Pegmatites hyperalcalines : sursaturées à quartz, perthite, albite, orthose aégyrine-riébeckite, fluorine, ou sous-saturées à néphéline. Intrusifs parents : syénite à augite-néphéline, granite hyperalcalin à aégyrine-arvedsonite/riébeckite, naujaite, sodalite, foyaite, lujavrite, kakortokite et monzogranite à biotite. Volcanites : trachyte, commendite, pantellerite, hawaiite et phonolite.

Forme du gisement

Dykes et filons-couches métriques à décamétriques remplissant les fractures de refroidissement au sommet des intrusifs. Dissémination magmatique/hydrothermale au sommet de la coupole intrusive albitisée.

Minéralogie des pegmatites

Gangue : quartz, feldspathoïde, albite, microcline, biotite, et amphibole sodique. Minérai : zircon, monazite, pyrochlore, bastnaésite, beryl, eudyalite, gittinsite, thorite, tantalite, hiortdahlite, armstrongite, elpidite, ilarite, bertrandite, yttriofluorite, gagarinite, britholite, kainosite, mosandrite et gadolinite.

Altération

Les granitoïdes parents sont albitisés dans la partie sommitale de l'intrusif. Des fluides orthomagmatiques de fin de cristallisation (600 à 500 °C) peuvent causer le lessivage du granite en F comme la déstabilisation et l'hématitisation des amphiboles et des feldspaths. La circulation de fluides météoriques de basse température (< 200 °C) et riches en Ca entraîne le remplacement pseudomorphique des silicates sodiques par des silicates calciques. Enfin, il y a silicification.

Contrôle structural

À l'échelle du pluton, les pegmatites minéralisées se logent dans les fractures, les joints et les diaclases produits par la consolidation du pluton. La minéralisation peut également se loger au contact des intrusifs et des épontes ou au contact de deux phases ou faciès intrusifs. À plus grande échelle, les complexes annulaires se mettent en place dans les zones de rifts continentaux.

Origine

Les granites hyperalcalins de type A résultent de la fusion d'une croûte résiduelle suite à l'extraction d'un fondant felsique. Une fusion crustale de haute température sous condition anhydre conduit à la destruction de l'amphibole résiduelle, de la biotite et des minéraux accessoires (par ex. : zircon) et à l'enrichissement en halogènes (F, Cl) et HFSE (Nb, Zr, ETR, Y, U et Th) du fondant (Collins *et al.*, 1982). Il est également probable que cette croûte résiduelle ait été préalablement métasomatée par des fluides/fondants d'origine mantellique riches en F, Cl et métaux rares. L'introduction du fluor permet la dépolymérisation du fondant, la réduction de la température du solidus et la formation de complexes alcalins ioniques avec les ETR et les HFSE. Ceci retarde la cristallisation des minéraux porteurs de métaux rares et conduit à une cristallisation fractionnée extrême menant à un enrichissement des fondants/fluides résiduels qui cristallisent dans la coupole de l'intrusif et/ou envahissent les fractures sous forme de pegmatite minéralisée en métaux rares. Des fluides hydrothermaux tardifs peuvent métasomatiser les granites parents et les pegmatites (albitisation, hématitisation et silicification) et précipiter des minéraux riches en ETR (bastnaésite et fluorine).

Informations

Plusieurs sources, dont Pillet (1989), Miller (1986) et Boily et Williams-Jones (1994).

Sites d'exploitation importants

International : Mines de Karnasurt et Umbozero, massif de syénite à néphéline du Complexe de Lovozero, Péninsule

de Kola, Russie; 25 000 tonnes de concentré de loparite ((Ce, Na, K)₂(Ti, Nb, Ta)₂O₆) sont extraites chaque année pour leur contenu en ETR, en Nb et en Ta.

Principaux gîtes de Type III au Québec

Les minéralisations reliées à des complexes hyperalcalins sont relativement peu nombreuses au Québec (gîtes n° 89, 92, 93, 128, 177, 183 à 186, annexe 1) et correspondent souvent à des indices mineurs. Toutefois, deux sites font exception par leur importance, soit : le Gisement de Strange Lake, dans la Province de Rae (30 Mt à 2,4 % Zr₂O₃, 1,1 % ETR₂O₃, 0,52 % Y₂O₃ et 0,39 % Nb₂O₅) ainsi que le Prospect de Kipawa découvert dans la Province de Grenville (zone ouest : 786 000 t à 0,18 % Y₂O₃ et 0,95 % ZrO₂; zone est : 1 Mt à 0,14 % Y₂O₃ et 1,17 % ZrO₂; figure 1).

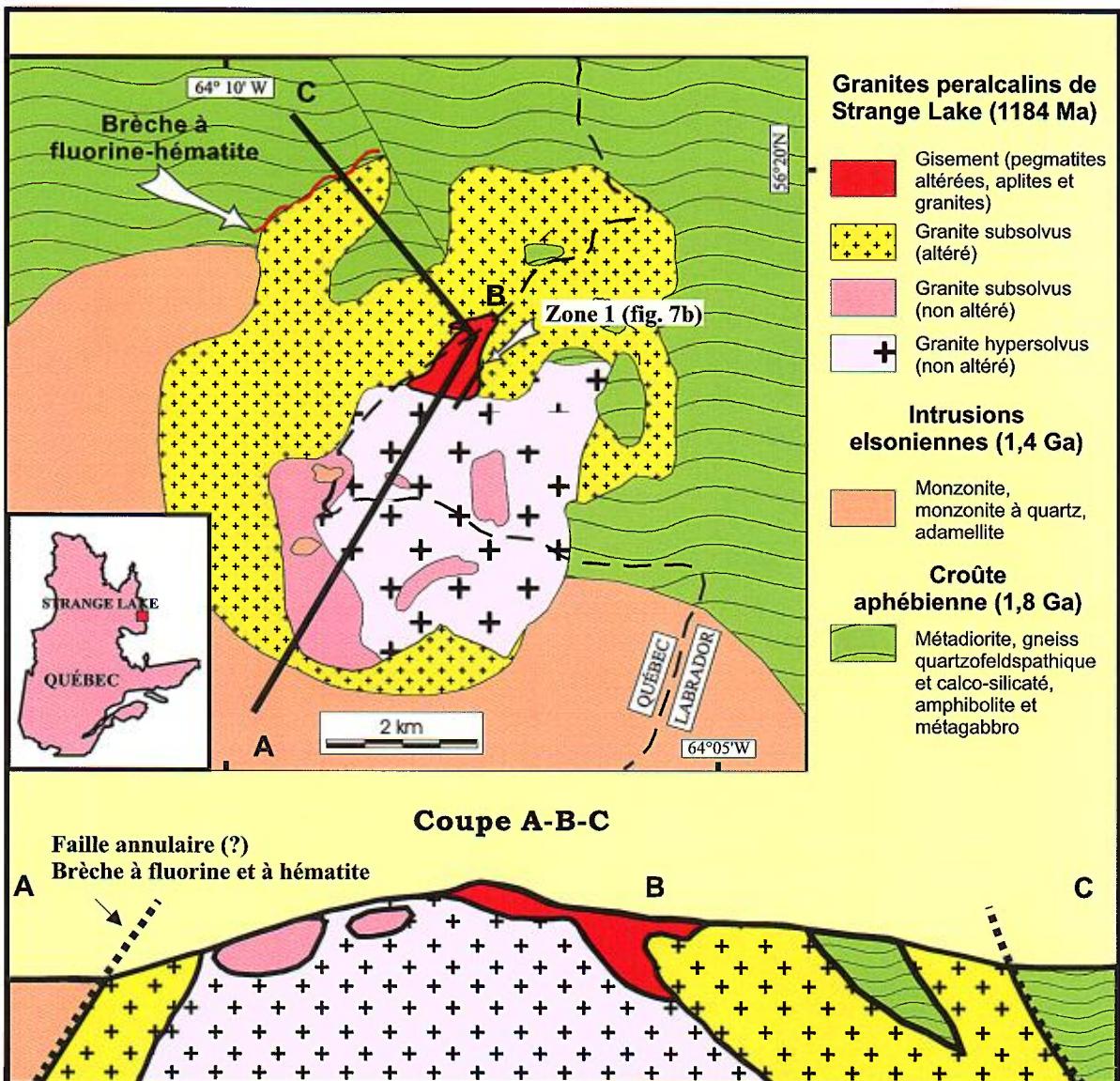
Le Gisement de Strange Lake (Lac Brisson)

Le gisement de Zr, ETR, Y et Nb de Strange Lake (Lac Brisson, gîte n° 93, annexe 1) est associé au complexe épizonal de granite hyperalcalin à aégyrine-arfvedsonite situé dans la Province de Rae, à la limite de la frontière Québec-Labrador. D'âge Mésoproterozoïque (1184 Ma; Pillet, 1989), le complexe de 6 km de diamètre est entouré par une brèche riche en fluorine et en hématite. Il est constitué de trois unités de granite hyperalcalin (hypersolvus non-altéré, subsolvus non-altéré et subsolvus altéré) mis en place sous forme d'un complexe intrusif annulaire (figure 7a; Miller, 1986; Pillet, 1989; Boily et Williams-Jones, 1994). Le complexe a cependant acquis son renom par l'abondance inhabituelle (jusqu'à 50 %) de minéraux exotiques riches en métaux rares¹. L'altération des granites est marquée par : 1) la présence de zones d'hématite englobant une variété de minéraux calciques riches en ETR et HFSE; 2) le remplacement de l'arfvedsonite par l'assemblage hématite ± aégyrine ± quartz; 3) le pseudomorphisme des phases sodiques par leurs équivalents calciques + quartz; 4) l'apparition de fluorine bleu-pourpre secondaire.

La minéralisation en métaux rares se localise principalement dans les lentilles sub-horizontales et les veines de pegmatite/aplite associées génétiquement au faciès des granites subsolvus altérés. La lentille de la zone 1 (figure 7b) contient l'ensemble de la minéralisation. Située dans la coupole du granite subsolvus altéré et coupant les faciès de granite subsolvus et hypersolvus non-altérés, la lentille couvre une surface de 0,75 km² et possède une épaisseur moyenne de 6 à 10 m. Elle est caractérisée par une zonalité texturale bien développée dans laquelle les phases aplitiques et pegmatitiques dominent respectivement la partie inférieure et la partie supérieure de la lentille. Les aplites se composent d'albite, de pseudomorphes de narsarsukite

¹ -l'elpidite (Na₂ZrSi₄O₉H₂O), la gittinsite (CaZrSi₄O₉), le pyrochlore ((Na,Ca,ETRLé)(Nb,Ta)₂O₆(OH,F)), la gadolinite (Y₂Fe³⁺Be₂Si₂O₉+ETR), la kainosite (Ca₂(Ce,Y,ETRLé)₂Si₂O₉(CO₃))H₂O, la gagarinité (Na(Y,Ca,Na,ETR)₂F₆), la bastnaésite ((ETRLé)CO₃F) et la thorite (ThSiO₄).

a)



b)



FIGURE 7 - a) Géologie et coupe schématique A-B-C du Complexe plutonique peralcalin de Strange Lake (d'après Miller, 1986; Boily et Williams-Jones, 1994). **b)** Coupe verticale de la lentille de la zone 1 (d'après Miller, 1990).

et d'elpidite, d'aégyrine, de thorite, de quartz et de feldspath potassique. La transition entre la zone des aplites et des pegmatites est caractérisée par des unités d'aplite et de pegmatite présentant une couleur rouge-brunâtre à rouge-pourpre, due à la présence de gittinsite et d'aégyrine hématitisés, de thorite et de fluorine. La zone pegmatitique est très hétérogène, suite à la variation granulométrique (1-20 mm) et à sa couleur, allant de beige à brun jusqu'à jaune, vert ou pourpre. Dans la zone d'aplite, l'aégyrine est plus abondante que la riébeckite, tandis que la micropertite est plus abondante que l'albite. La quantité de fluorine paraît plus élevée dans la pegmatite que dans l'aplite.

La formation des lentilles de pegmatite/aplite minéralisées débute par l'intrusion de l'unité granitique subsolvus altérée initialement enrichie en ETR et HFSE (figure 8). Lors de la cristallisation du granite subsolvus, une zone apicale résiduelle extrêmement enrichie en métaux rares est créée par la migration de fluides orthomagmatiques porteurs de fluor accompagnant la formation de fluoro-complexes de HFSE et ETR dans une coulée hyperalcaline très différenciée et dépolymérisée. Ces fondants résiduels sont ensuite injectés dans les fractures créées au contact du granite subsolvus altéré et des autres unités, pour former les lentilles sub-horizontales de pegmatite/aplite. Un enrichissement sélectif des ETR et HFSE accompagne la formation des différents faciès aplitiques et pegmatitiques par processus

de cristallisation/migration des phases volatiles (Miller, 1986).

Le Prospect de Kipawa

Le prospect de Zr-Y ± ETR de **Kipawa** (Lac Sheffield-2, gîte n° 183, annexe 1; figure 1), ainsi que les autres minéralisations de ce secteur (gîtes n° 184 à 186, annexe 1), se trouvent dans la Province de Grenville et sont associés au Complexe alcalin de Kipawa, dont l'âge est d'environ 1,0 Ga (Currie et Gittins, 1993). Le complexe est fortement métamorphisé et déformé. Il se compose d'unités calcosilicatées (roches à pyroxènes, marbres), de gneiss syénitiques et de gneiss granitiques hyperalcalins. Les travaux d'Unocal Ltd. (1985-90) ont permis de définir, dans la zone ouest, des réserves de 786 000 t à 0,18 % Y₂O₃ et 0,95 % ZrO₂ et de 1 Mt à 0,14 % Y₂O₃ et 1,17 % ZrO₂ dans la zone est.

Critères d'exploration

- Plutons de type A (anorogénique) non-déformés associés à un cortège d'intrusifs alcalins mis en place dans de grandes zones d'extension continentale.

- Les granites et les syénites alcalines contenant des minéraux radioactifs (thorite, pyrochlore et gagarnite) révèlent leur présence par d'intenses anomalies radiométriques

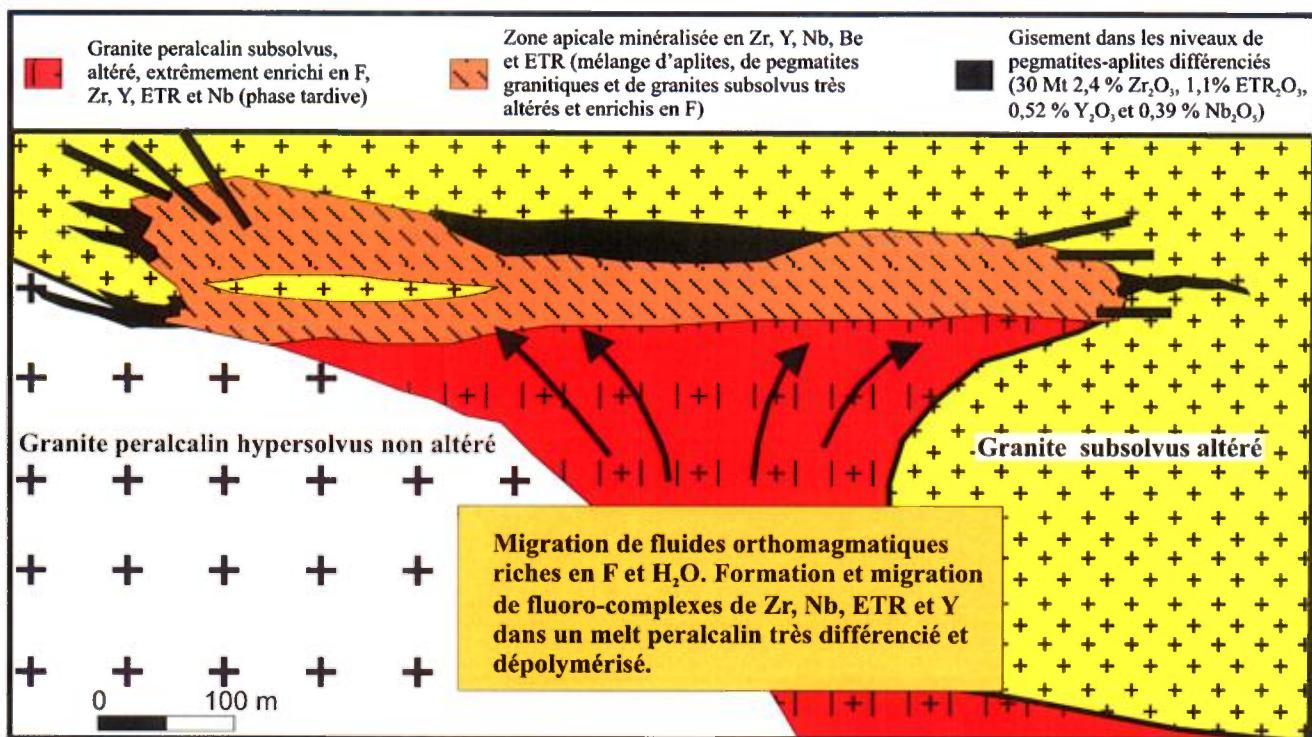


FIGURE 8 - Modèle pétrogénétique de la formation du gisement de Zr, ETR, Y et Nb de Strange Lake, Québec-Labrador, Province de Rae (adapté de Miller, 1990).

aériennes. Au sol, dans les régions ayant subit la glaciation, la prospection par scintillomètre est un outil efficace pour découvrir un essaim de blocs radioactifs.

- L'analyse des échantillons de sédiments et d'eaux provenant de lacs et de ruisseaux révèle des anomalies en ETR, F, U, Th et Y.

- Sur le terrain, les granites et les syénites possèdent une minéralogie particulière dominée par la riébeckite-arfvedsonite, l'aégyrine, la fluorine et une panoplie de minéraux exotiques riches en métaux rares.

- On observe fréquemment une altération intense des granites minéralisés manifestée par une teinte rougeâtre des feldspaths potassiques, une hématitisation des amphiboles sodiques, des zones riches en fluorine et de l'albitisation.

- Les intrusifs granitiques et syénitiques minéralisés constituent souvent le cœur de complexes annulaires comprenant des roches alcalines mafiques à intermédiaires (gabbros, monzodiorites) avec des structures de *ring-dykes* et de *cone sheets* suggérant une subsidence en caldera.

- Les granites et les syénites coupent ou s'associent à des roches extrusives felsiques alcalines, notamment des trachytes et des commendites-pantellérites.

- Les masses ou dykes de pegmatites minéralisées se localisent à l'intérieur des plutons granitiques, habituellement dans la coupole.

- Les granites alcalins fertiles contenant de la minéralisation en ETR, Y, Zr, Be, Nb, Th et F présentent les signatures géochimiques suivantes : $\text{SiO}_2 > 72\%$ poids; $\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ Total} > 4\%$ poids; $\text{MgO} < 0,1\%$ poids; $\text{Al}_2\text{O}_3 < 12\%$ poids; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 10\%$ poids; $\text{F} > 0,5\%$; $\text{Rb} > 400 \text{ ppm}$; $\text{Sr} < 50 \text{ ppm}$; $\text{La} > 200 \text{ ppm}$; $\text{Zr} > 300 \text{ ppm}$; $\text{Th} > 50 \text{ ppm}$; $\text{U} > 10 \text{ ppm}$; $\text{Rb/Sr} = 5$ à 160 et $\text{K/Rb} = 27$ à 120.

- Pour les intrusifs syénitiques, les critères sont les suivants: $\text{SiO}_2 = 55\text{à }65\%$ poids; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 10\%$ poids; $\text{F} > 0,5\%$ poids; $\text{Rb} > 400 \text{ ppm}$; $\text{Sr} < 50 \text{ ppm}$; $\text{La} > 200 \text{ ppm}$; $\text{Zr} > 300 \text{ ppm}$; $\text{Th} > 50 \text{ ppm}$; $\text{U} > 10 \text{ ppm}$; $\text{Rb/Sr} = 5$ à 160 et $\text{K/Rb} = 27$ à 120.

Type IV : Gisements de Fe, Ti, ± Zr et ETR associés à des placers ou à des paléoplacers

Description

Le type IV est constitué de gisements de minéraux lourds (ilménite, cassitérite, monazite, zircon et beryl) trouvés dans les dépôts holocènes fluviatiles, glaciaires ou fluvio-glaciaires, de plage, de dune, de fond marin soulevé et de cône alluvial.

Milieu tectonique

Les gisements sont situés en marge des cratons où les sédiments clastiques furent constamment remaniés pendant de longues périodes et/ou en marge des complexes

accrétionnaires et des arcs volcaniques d'âge Mésozoïque à Cénozoïque.

Âge de la minéralisation

Elle est Holocène à tardi-Pleistocene dans les régions affectées par les glaciers et Tertiaire, ou plus jeune, dans les autres régions.

Environnement de déposition

Les placers marins se forment le long ou près des côtes lors du remaniement par les vagues, les courants côtiers et les marées. Ils apparaissent le long des plages actuelles, des anciennes plages submergées ou des côtes soulevées lors des glaciations. Les placers fluviatiles se développent à la base des chenaux de rivières énergétiques et sur le bedrock. Les cônes alluviaux et deltaïques sont dominés par les dépôts de sable massif ou granoclassé. Les placers glaciaires et fluvioglaciaires sont restreints aux régions où les glaciers et les eaux de fonte ont érodé des placers préexistants.

Dépôts hôtes et associées

Marin : sables à grains grossiers à moyens bien granoclassés recouvrant des dépôts marins plus fins et peu profonds. Continental : sables à grains grossiers à fins bien granoclassés et arrondis.

Forme du gisement

Marin : le long des côtes, le gisement est peu épais (< 1 m), allongé (> 100 m) et étroit (< 50 m). Continental : Variable et discontinu latéralement; dépôt mince (< 2 m) sous forme de lentilles.

Minéralogie

Marin : Or natif, ilménite, cassitérite, zircon, EGP, magnétite, monazite et grenat. Continental : Or natif, EGP, cassitérite et minéraux industriels.

Contrôle de la minéralisation

Marin : Les minéraux lourds sont concentrés le long de côtes stables où le remaniement des sédiments par les vagues et les courants se produisent. Continental : Dans les environnements fluviatiles, les placers se concentrent dans les irrégularités des chenaux, les dépressions dans le bedrock et dans les espaces créés par les fractures, les joints, les clivages et les failles. Les minéraux des placers grossiers s'accumulent à la base des chenaux où le remaniement est extrême, le long des barres de gravier, ou autour des blocs. Dans les cônes alluviaux, les placers s'accumulent dans les pentes abruptes au-dessus de zones érodées.

Informations

Plusieurs sources, dont Levson (1995a et b).

Sites d'exploitation importants

International : Ticor South Africa, Afrique du Sud, 16 Mt de minéraux lourds. Tamil Nadu, Inde, 29,3 Mt de minerais incluant 9,45 Mt de minéraux lourds dont la monazite, l'ilménite, le rutile et le zircon. Kwale, Kenya, 222 Mt incluant 3,8 Mt d'ilménite, 1,1 Mt de rutile et 0,6 Mt de zircon.

Principaux gîtes de Type IV au Québec

Au Québec, des sables pléistocènes riches en Fe - Ti ± Zr ± ETR sont localisés sur les plages de la Basse-Côte-Nord, le long du Fleuve Saint-Laurent (gîtes n° 1 et 2) ainsi qu'en bordure de cours d'eau et de lacs (gîtes n° 148 et 243). Le plus important dépôt est sans doute le Gisement de Natashquan, sur la Côte Nord. Dans la région des Cantons de l'Est, des paléoplacers constitués de grès à magnétite titanifère, rutile, zircon et monazite sont également identifiés (gîtes n° 30 à 33 et 134 à 138).

Le Gisement de Natashquan

Le Gisement de Ti, Fe et Zr de Natashquan (gîte n° 2; annexe 1) est localisé sur la rive nord du Fleuve Saint-Laurent, à la hauteur du village de Natashquan (figure 1). Il couvre une superficie de 180 km² en surface. Le gisement contient une grande proportion de minéraux lourds dérivés de l'érosion des plutons et des orthogneiss riches en Fe-Ti de la Province de Grenville. Les minéraux lourds exploitables sont l'ilménite (Ti), la magnétite (Fe) et le zircon (Zr). Les faciès sédimentaires du gisement forment quatre groupes. Les deux premiers, pré-deltaïque et pro-deltaïque/deltaïque, constituent la séquence basale. Les deux derniers, *shoreface progradation* et récent, composent la séquence supérieure. L'épaisseur moyenne de la zone riche en minéraux lourds pour les zones nord et sud sont respectivement de 23 et de 18 m. Les réserves sont estimées à 769 Mt à 9 % poids de minéraux lourds (zone nord) et 890 Mt à 7,2 % poids de minéraux lourds (zone sud). Le gisement de Natashquan recèle au-delà de 58 Mt d'ilménite, 22 Mt de magnétite, 995 000 t de zircon et 35 Mt de grenat. La proportion de magnétite, ilménite/hématite et de zircon augmente vers la séquence basale, tandis que la quantité de grenat est plus importante dans la séquence supérieure.

Critères d'exploration

- On retrouve des concentrations anomalies en Ti, Zr, Fe, Cr, Au et Ag dans les sédiments de ruisseaux à proximité du gisement.

- Les émissions radars pénétrant la surface permettent de circonscrire la géométrie, la structure et l'épaisseur des gisements de placer. On peut aussi utiliser les méthodes séismiques en faible profondeur, les méthodes électromagnétiques et de polarisation provoquée et mesurer la résistivité.

- La séparation des minéraux lourds par pannage ou gravité (table Wilfley) permet de déterminer la présence d'or natif, d'ilménite, de zircon, de magnétite et d'autres minéraux lourds.

Type V : Gisements d'oxyde de fer, Cu, ETR, Y et U (Olympic Dam/Kiruna)

Description

Zones de brèches et veines à magnétite et/ou hématite formant des pipes ou des corps tabulaires dans les roches volcaniques épanchées en milieu continental, les sédiments détritiques et les roches intrusives. Les gisements présentent des minéralisations variées en métaux à partir du type monométallique de Kiruna, en Suède (Fe ± P), jusqu'au type polymétallique d'Olympic Dam, en Australie (Fe ± Cu ± U ± Au ± ETR).

Milieu tectonique

Typiquement associés aux grabens produits par une extension crustale intracratonique contemporaine à la mise en place des roches hôtes dans la croûte supérieure.

Âge de la minéralisation

Protérozoïque à Tertiaire. Les gisements polymétalliques protérozoïques se sont formés entre 1,2 et 1,9 Ga.

Roches hôtes

Veines et brèches logées dans une variété de roches extrusives et intrusives, incluant des brèches volcaniques felsiques, des tufs, des roches sédimentaires clastiques et des granites. Il existe une association fréquente à des suites alcalines felsiques de type A (anorogénique) incluant des granites « rouges », des granites à texture rapakivi, des mangérites et des charnockites, ainsi qu'à leurs équivalents volcaniques. Dans plusieurs gisements, les oxydes de fer (magnétite ou hématite) constituent la matrice de brèches hétéroclites composées de fragments lithiques, de clasts d'hématite, de microbrèches d'hématite + quartz et de brèches massives à grains fins.

Forme du gisement

Masses discordantes, veines, dykes, corps tabulaires et stockwerks. Les veines et les zones tabulaires ont une

extension latérale kilométrique et une extension verticale de plusieurs centaines de mètres.

Minéralogie

Minerai : gisements de magnétite/hématite + apatite + actinolite ou pyroxène (type Kiruna) avec des teneurs variables en sulfures de Cu, d'Au et d'Ag, de minéraux d'uranium et d'ETR. **Minéraux constituants majeurs** : hématite, magnétite, spéculaire, bornite, chalcopyrite, chalcocite et pyrite. **Minéraux constituants mineurs** : digénite, covellite, cuivre natif, carrolite, cobaltite, arsénures de Cu-Ni-Co, pitchblende, coffinite, branérite, bastnaésite, monazite, xénotime, florencite, Ag natif et tellures d'Au et d'Ag. **Gangue** : associée au minerai sous forme de veines ou de fragments dans les brèches; elle contient de la séricite, des carbonates, de la chlorite, du quartz, de la fluorine et de la barytine.

Altération

Olympic Dam : altération variée et intense en séricite et en hématite en surface et en chlorite + feldspath potassique en profondeur. **Kiruna** : scapolite et albite; actinolite + epidote dans les épontes mafiques.

Contrôle structural

Important. Emplacement le long de failles et/ou des contacts lithologiques particulièrement dans les grabens restreints. Activité hydrothermale intense dans les failles associées à la bréchification.

Origine

Controversée. Certains considèrent une origine hydrothermale, tandis que d'autres mettent l'accent sur la nature magmatique des gisements (Nystrom et Henriquez, 1994; Gow *et al.*, 1994).

Sites d'exploitation importants

International : Le gisement de Fe-ETR-Nb de Bayan Obo, Chine; 1500 Mt d'oxydes de Fe à 35 % Fe, 48 Mt à 6 % ETR₂O₃ et 1 Mt à 0,13 % de Nb₂O₅. Le gisement d'Olympic Dam, Australie; 2000 Mt de minerai à 1,6 % Cu; une zone de 450 Mt contient 2,5 % Cu, 0,08 % U₂O₃, 6 g/t Ag, 0,6 g/t Au et 5000 g/t ETR.

Informations

Diverses sources, dont Lefebvre (1995) et Ray et Lefebvre (2000).

Principaux indices et prospects de Type V au Québec

Les minéralisations en Fe, Cu, ETR, Y, P, F et Ag de Type V (Olympic Dam – Kiruna) se trouvent à l'intérieur de la Province de Grenville et sont restreintes à la région de Manitou, au nord-est de Sept-Îles (gîtes n° 56 à 58 et 76 à 83, annexe 1, figure 9). Elles sont associées à des structures bréchiques ou filonniennes et caractérisées par l'abondance de magnétite. Le secteur de Kwyjibo, au nord du lac Manitou, est particulièrement intéressant. On y trouve de nombreux indices à l'intérieur de trois bandes ferrifères en échelons ayant de 5 à 50 m d'épaisseur. Ces bandes sont concordantes avec la structure régionale et encaissées dans une masse de leucogranite porphyroïde (alaskite) appartenant au Complexe de Canatiche. Les zones minéralisées comprennent de la magnétite, de l'apatite, des sulfures (chalcopyrite, pyrite, pyrrhotite, sphalerite), de la titanite, de l'allanite et de la fluorine apparaissant sous forme disséminée, massive ou en veinules. Les principales altérations sont l'hématitisation, l'épidotisation, la silicification et l'altération calco-silicatée. Les meilleures teneurs en ETR légères (Ce, La, Nd et Sm) et en yttrium proviennent des indices Josette (gîte n° 76 ; 1,83 % Cu, 0,96 % TR, 0,81 % Y), Fluorine (gîte n° 80 ; 1,95 % ETR, 0,41 % Y, 0,69 % Cu), Andradite (gîte n° 81 ; 0,65 % ETR, 0,16 % Y, 1,5-4,5 % Cu) et Rodrigue (gîte n° 82 ; 0,79 % ETR, 1,32 % Cu).

D'âge Postgrenvillien (972 ± 5 Ma), la minéralisation serait associée à des fluides hydrothermaux reliés au Complexe de Canatiche et canalisés dans les zones de failles (Clark, 2003). La chimie des granites à biotite ± hornblende et des leucogranites du Complexe de Canatiche indique une affinité intraplaque de type A. Ces roches sont pour la plupart enrichies en ETR, Zr, Nb, Y et F.

Critères d'exploration

- Les régions recelant un potentiel pour ce type de gisement sont des zones étroites et linéaires de rift et les zones de failles ductiles profondes en milieu cratonique. Elles sont majoritairement d'âge Protérozoïque moyen (1,9-1,2 Ga) et peuvent s'étendre sur plusieurs centaines de kilomètres.

- Bien que ce type de gisement soit associé à plusieurs types de roches sédimentaires, ignées ou métamorphiques, la signature géochimique des roches ignées est nettement de type anorogénique (type A).

- Les intrusions associées montrent des altérations potassiques ou sodiques, l'apparition d'oxydes d'U et des zones d'altérations riches en ETR. On remarque la présence d'oxydes de fer particulièrement dans les brèches, les stockwerks et les veines.

- Les résultats des analyses des sédiments de ruisseaux et de lacs présentent des anomalies en ETR - Fe - Cu - Au - Ag ± F ± P.

Tableau 1 - Résumé des principaux critères de classification des gisements de métaux rares.

Type	Minéralisation	Roches hôtes et associées	Forme	Minéralogie	altération
I	Li, Be, Ta, Cs, Rb, ± Mo, ± Nb et ± F	Dykes de pegmatites, aplites, albitites, monzogranites à biotite + muscovite ± grenat, monzogranites pegmatitiques. Associées : intrusions TTG*, métavolcanites, schistes à biotite.	Essaims de dykes de pegmatites granitiques, homogènes à grossièrement zonées. Masses pegmatitiques de forme variable (modérément à très différenciées).	Li : spodumène, pétalite, lépidolite, tourmaline-lithiophyllite, amblygonite-montébrassite. Ta : colombo-tantalite, wodginite, microlite. Be : beryl, Cs : pollucite.	Pegmatite : albitisation, tourmalinitisation, lessivage en Li des spodumènes. Épante : tourmalinitisation (B); biotitisation (biotite-zinnwaldite; Li, K); holmquistite (Li); fluorine.
II	Nb, Ta, ETR et P	Carbonatites : sôvites, rauhaugites, bœfrites. Associées : intrusifs à magnétite + olivine + apatite ± phlogopite, néphélinites, syénites, pyroxénites, péridotites et phonolites.	Masses circulaires, elliptiques ou irrégulières. Dykes et filons-couche. Minéralisation dans les corps circulaires et elliptiques sous forme d'un croissant à fort pendage.	Magnétique : ETR : bastnaésite, parisite, apatite, monazite. Nb, Ta : pyrochlore, P, ETR : apatite. Hydrothermal/métasomatique : fluorine, vermiculite, bornite, chalcopyrite. Résiduel : pyrochlore, apatite, crandallite (P, ETR).	Halo de fénétisation (épentes métasomatiques en alcalis ± Fe accompagnant une désilicification) entourant la carbonatite.
III	ÉTR, Y, Zr, ± Be, ± Nb, ± Th	Pegmatites hyperalcalines sursaturées à quartz : aégyrine + riébeckite, fluorine, sous-saturées : néphéline. Associées : syénites à augite + néphéline, granites hyperalcalins à aégyrine-arvedsonite, iujavrites, kakortokites, monzogranites à biotite.	Dykes et filons-couche remplaçant les fractures de refroidissement et/ou dissémination magmatique/hydrothermale au sommet de la coupole intrusive albitisée.	Zircon, monazite, pyrochlore, bastnaésite, beryl, eudyalite (Zr), gittinsite (Zr), thorite, lantalite, elpidite (Zr), gagarinite (ETR, Y), britholite, kainosite (ETR, Y), mosandrite (ETR), gadolinite (Y, Be, ETR), loparite (ETR, Nb, Ta).	Albitisation des granitoïdes parents dans la coupole. Déstabilisation et hématitisation des amphiboles et des feldspaths. Circulation de fluides météoriques de basse température entraînant le remplacement des silicates sodiques par des silicates calciques. Silicification.
IV	Fe, Ti, ± Zr, ± ETR (Placers et paléoplacers)	Marin : sable à grain grossier à moyen, bien granoclassé, recouvrant des dépôts marins plus fins et peu profonds. Continental : sable à grain fin à grossier, bien granoclassé et arrondi.	Marin : peu épais le long des côtes (< 1 m); allongé (> 100 m) et étroit (> 50 m). Continental : lentilles discontinues (< 2 m).	Or natif, ilménite, cassitérite, zircon, EGP, magnétite, monazite, grenat.	
V	Oxyde de fer, Cu, ETR, Y et U (Olympic Dam/Kiruna)	Veines et brèches recoupantes ou concordantes, à l'intérieur brèches volcaniques felsiques, de lufs, de roches sédimentaires clastiques et de granites alcalins de type A.	Masses discordantes, veines, dykes, corps tabulaires et stockwerks.	Hématite, magnétite, spéculaire, bornite, chalcopyrite, chalcocite, pyrite, pitchblende, coffinite (U), branérite (U), bastnaésite, monazite, xénotime. Gangue (brèches ou veines) : séricite, carbonate, chlorite, quartz, fluorine, barytine.	Olympic Dam : altération intense en séricite et hématite en surface et chlorite + feldspath potassique en profondeur. Kiruna : scapolite et albite; actinolite + épidote dans les épentes mafiques.
VI	U, Th, ± ETR, ± Nb, ± Zr et ± Y	Dykes de pegmatites granitiques potassiques, migmatites granitiques, granites à biotite ± muscovite, intrusifs de la suite TTG. Associées : métavolcanites, schistes à biotite, orthogneiss et paragneiss, roches calcosilicatées.	Essaims de dykes de pegmatites granitiques, homogènes à grossièrement zonées. Masses hétérogènes de migmatites granitiques et de granites.	Monazite, xénotime, allanite, zircon, magnétite, uraninite, pechblende, thorite, thorianite, pyrochlore, samarskite (Nb, Ta, U), coffinite (U), uranophane, fergusonite (Y, Nb, Ta), gadolinite, ferrocolumbite.	Pegmatite : albitisation, chlorisation, oxydation et hydratation.
VII	Th, U, ± Mo et ± ETR (skarn)	Associées : pegmatites granitiques, granites, syénites, pyroxénites (skam à pyroxène), gneiss calco-silicatés, marbres, volcanites.	Zones irrégulières le long des contacts intrusifs.	Minerai : uraninite, monazite, xénotime, allanite, zircon, magnétite, uraninite, pechblende, thorite, thorianite, pyrochlore, molybdénite, allanite. Skarn : clinopyroxène, grenat, wollastonite, homblende, épidote, olivine.	

* TTG = Tonalite-trondjhemite-granodiorite

Type	Contrôle structural	Origine	Exemples	Critères d'exploration
I	Les pegmatites remplissent les fractures, les joints et les plans de schistosités dans les granitoïdes et les épontes. Les intrusions de monzogranites sont contrôlées par les grandes failles et les couloirs de déformation délimitant les blocs structuraux.	Magmatique.	Mines Greenbushes et Wodgina (Australie), Mine Tanco (Canada), Mine Québec Lithium (Québec)	Complexes monzogranitiques peralumineux tardi- à post-tectoniques. Couloirs de déformation délimitant de grands blocs structuraux. Les pegmatites granitiques minéralisées affleurent dans les épontes métasédimentaires et/ou métavolcaniques dans un rayon de 1 à 2 km à partir du contact avec les monzogranites parents.
II	<i>Magmatique</i> : forme de l'intrusif et de son historique de cristallisation. <i>Hydrothermal/métasomatique</i> : la tectonique et la structure. <i>Résiduel</i> : érosion et le patron de drainage.	Magmatique, métasomatique/ hydrothermale, résiduelle.	Mountain Pass (Californie), St-Lawrence Columbium et Niocan (Oka, Québec), Mine Niobec (St-Honoré, Québec).	Les carbonatites s'associent à des rifts et grabens continentaux. Elles présentent d'excellentes signatures magnétiques et radiométriques circulaires et peuvent être associées à des accidents topographiques annulaires. Fénétisation.
III	Les pegmatites minéralisées se logent dans les fractures, joints et diaclases de la coupole, au contact intrusif/éponte ou de deux phases intrusives.	Magmatique, hydrothermal de basse température.	Karnasurt et Umbozero (Péninsule de Kola, Russie), Strange Lake (Québec-Labrador), Kipawa (Québec).	Plutons de type A (anorogéniques) non-déformés. Les granites et syénites alcalines radioactifs sont associés à des anomalies radiométriques aériennes. La prospection par scintillomètre permet de retracer des essaims de blocs radioactifs. Les résultats d'analyses d'échantillons de sédiments et d'eaux de lacs et de ruisseaux révèlent des anomalies en ETR, F, U, Th et Y.
IV	<i>Marin</i> : Les minéraux lourds se concentrent le long des côtes dans les sédiments remaniés par les vagues et les courants. <i>Continental</i> : Dans les zones fluviales, les placers se concentrent dans les irrégularités des chenaux et les dépressions de surface.	Sédimentaire.	Ticor South Africa (Afrique du Sud), Tamil Nadu (Inde), Kwale (Kenya), Natashquan (Côte Nord, Québec).	Concentrations anomalies en Ti, Zr, Fe, Cr, Au et Ag dans les sédiments de ruisseaux à proximité du gisement. La séparation des minéraux lourds par pannage ou densité (table Wilfley) permet de déterminer la présence d'or natif, d'ilmenite, de zircon, de magnétite et d'autres minéraux lourds.
V	Emplacement le long de failles et/ou contacts lithologiques, particulièrement dans les grabens restreints. Activité hydrothermale intense dans les failles associées à la bréchification.	Magmatique et hydrothermale.	Bayan Obo (Chine), Olympic Dam (Australie), Kiruna (Suède).	Zones de rift et zones de failles dans les cratons protérozoïques. Roches intrusives et volcaniques de type A montrant des altérations potassiques ou sodiques et une bréchification intense. Les oxydes de fer particulièrement dans les brèches, les stockworks et les veines, produisent des anomalies gravimétriques et aéromagnétiques positives.
VI	Les pegmatites granitiques et les migmatites remplissent les fractures, les joints, les diaclases et les plans de foliations dans les granitoïdes et les épontes.	Magmatique. L'altération hydrothermale et la remobilisation lors du métamorphisme peuvent jouer un rôle.	Indices du granite du lac Turgeon (Basse Côte-Nord, Québec).	Les minéraux radioactifs (uraninite, pechblende, thorite, thorianite, pyrochlore, samarskite) dans les granites et les pegmatites produisent d'excellentes anomalies radiométriques aériennes. La prospection par scintillomètre permet de reconnaître et de délimiter les zones minéralisées radioactives.
VII	Dans les roches calcaires et calco-silicatées formant des auréoles thermiques en bordure des intrusifs.	Métamorphisme de contact et/ou métasomatisme de calcaires purs et de calcaires siliceux.	Indices de Lataille (Sous-province de Minto, Québec) et de Baie-Mercier (Province de Grenville, Québec).	La présence de minéraux radioactifs dans les granites et les skarns produit des anomalies radiométriques aériennes. La prospection par scintillomètre au sol permet de reconnaître et de délimiter les zones minéralisées radioactives.

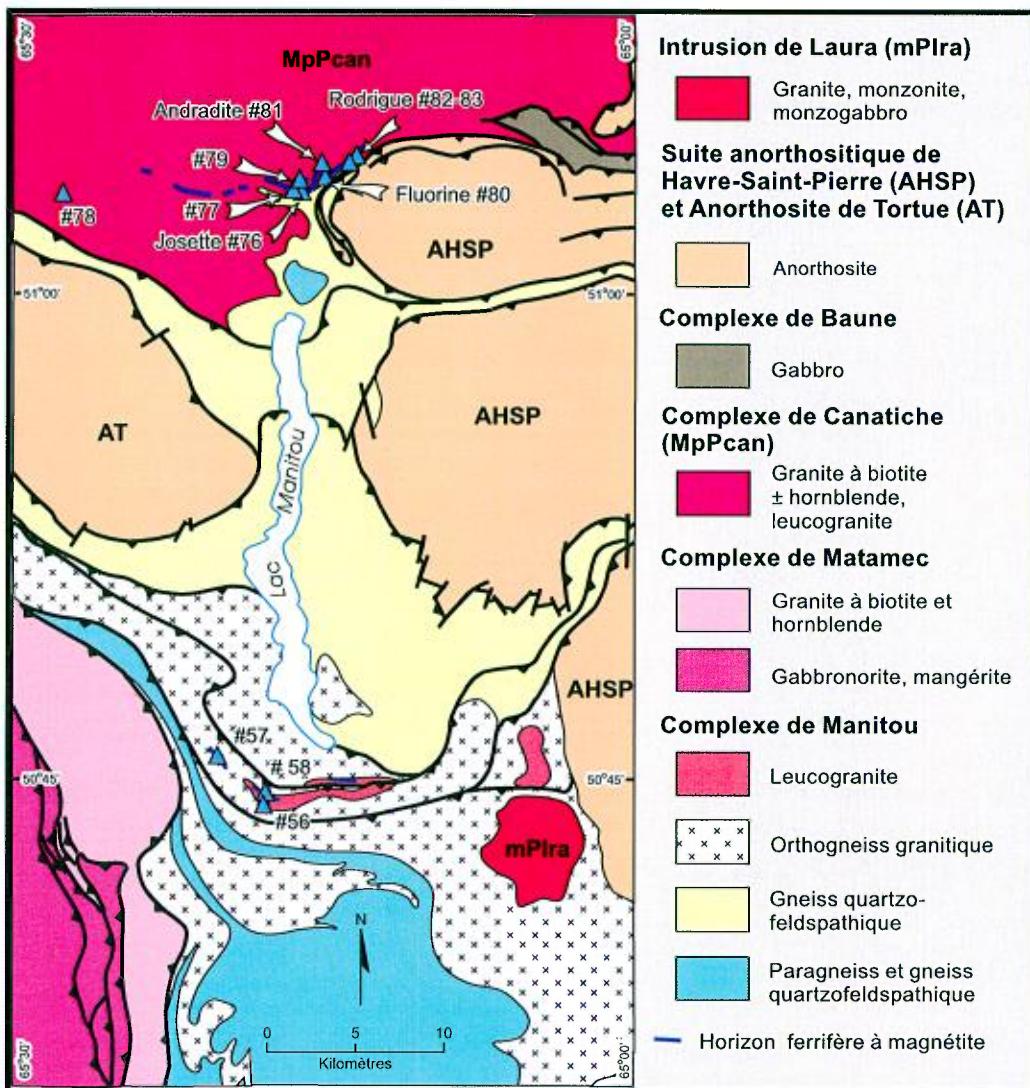


FIGURE 9 - Géologie de la région du lac Manitou, Province de Grenville et indices de Fe, Cu, ETR, Y, P, F et Ag (modifiée de Clark, 2003; voir l'annexe 1 pour le nom des indices numérotés).

- La présence d'oxyde de fer dans ce type de gisement est reflétée dans les anomalies gravimétriques positives très importantes. De fortes anomalies aéromagnétiques régionales sont associées à la présence de magnétite. Des anomalies radiométriques sont détectées lorsque le prospect contient de la minéralisation en U ou une altération potassique.

Type VI : Minéralisations en U, Th ± (ETR, Nb, Zr et Y) dans les pegmatites granitiques, migmatites et granites hyperalumineux à métalumineux

Description

Les minéralisations en U, Th, ± (ETR, Nb, Zr et Y) sont associées aux dykes de pegmatites granitiques, de granites

ou de migmatites. Les pegmatites, granites et migmatites syn à tardi-tectoniques sont métalumineux à hyperalumineux et présentent une minéralisation essentiellement d'origine magmatique (zircon, monazite, uraninite, thorite, magnétite). Par contre, la remobilisation et la concentration des métaux rares lors du métamorphisme et des processus hydrothermaux peuvent jouer un rôle important.

Milieu tectonique

Les pegmatites, granites et migmatites sont syn à tarditectoniques et se forment dans les orogènes continentaux, habituellement lors d'un métamorphisme intense et de l'anatexie crustale. L'épaississement crustal due à la collision de blocs continentaux, ou au collage de matériel mafique du manteau à la base de la croûte, initie la fusion.

Âge de la minéralisation

Précambrien à Protérozoïque, rares manifestations mésozoïques et cénozoïques.

Roches hôtes et associées

Dykes de pegmatites granitiques potassiques, migmatites granitiques, granites à biotite ± muscovite, intrusifs de la suite TTG (tonalite-trondjhémite-granodiorite), métavolcanites (métabasaltes, amphibolites), schistes à biotites (métagrauwackes), orthogneiss et paragneiss, roches calco-silicatées.

Forme du gisement

1 - Essaims de dykes de pegmatites granitiques homogènes à grossièrement zonées à fort pendage. Extension variable : épaisseur métrique à décamétrique; longueur décamétrique à plurikilométrique. 2 - Masses hétérogènes de migmatites granitiques et de granites généralement orientées grossièrement parallèles à la foliation métamorphique. 3 - Minéralisations disséminées dans les granites ou le long de joints et de fractures.

Minéralogie

Pegmatites et migmatites : Quartz, orthose, microcline, perthite, biotite, muscovite et grenat. Minérai : monazite, xénotime, allanite, zircon, magnétite, uraninite, pechblende, thorite, thorianite, pyrochlore, samarskite, coffinite, uranophane, fergusonite, chevnickite, gadolinite et ferrocolumbite.

Altération

Pegmatite : Métasomatisme interne des pegmatites : albitisation, chloritisation, oxydation et hydration.

Contrôle structural

Les pegmatites granitiques remplissent les fractures, les joints et les diaclases dans les granitoïdes, ou se mettent en place dans les fractures et les plans de schistosité à l'intérieur des roches hôtes. Les migmatites s'injectent dans les plans de foliations métamorphiques et au contact des diverses unités.

Origine

La minéralisation dans les granites, les pegmatites granitiques et les migmatites est principalement d'origine magmatique. Les migmatites et granites résultent de la fusion d'un protolith (métasédiments, croûte tonalitique ancienne) situé au niveau de la croûte inférieure et médiane sous des conditions de pH_2O et F modérées. Ils accompagnent géné-

ralement un tectono-métamorphisme important, qui conduit à l'anatexie crustale suivant l'épaississement tectonique de la croûte continentale ou de l'introduction à la base de la croûte de magmas mafiques d'origine mantellique. Certaines pegmatites dérivées directement de l'anatexie se mettent en place *in situ*. Toutefois, les granitoïdes peuvent se différencier au point de donner naissance à des pegmatites minéralisées. L'altération hydrothermale tardive et le métamorphisme jouent un rôle dans la remobilisation et la concentration des métaux rares.

Principaux indices de Type VI au Québec

La plupart des indices de Type VI répertoriés (environ 136, Gosselin *et al.*, 2003) ont été découverts lors de campagnes d'exploration pour l'uranium et la présence de métaux rares n'a pas toujours été vérifiée. Des concentrations intéressantes en ETR ± (Nb, Zr, Y) ont néanmoins été décelées dans 26 zones minéralisées, la plupart distribuées à l'intérieur de la Province de Grenville. Mentionnons les gîtes n° 3, 4, 10, 12, 13, 18, 19 et 27 (annexe 1), localisés à l'est de Havre-Saint-Pierre, sur la Basse Côte-Nord (SNRC 12L, figure 10) ainsi que les minéralisations observées dans la partie occidentale du Grenville (région de Mont Laurier, figure 10, gîtes n° 139, 142 à 144, 154, 155 et 158, annexe 1). Quelques indices uranifères associés à un complexe granitique de la Sous-province de Minto contiennent également des teneurs en ETR (SNRC 34H, figure 1, gîtes n° 281, 285, 288 et 289, annexe 1).

Critères d'exploration

- La présence de minéraux radioactifs (uraninite, pechblende, thorite, thorianite, pyrochlore, samarskite) dans les granites et les pegmatites se transpose en excellentes anomalies radiométriques aériennes.

- Au sol, la prospection par scintillomètre s'avère un outil extrêmement efficace pour déceler et délimiter les zones minéralisées radioactives.

- L'échantillonnage des sédiments et des eaux de lac et des ruisseaux permet d'obtenir des analyses dont les résultats révèlent des anomalies en U, Th et possiblement en F et ETR.

Type VII : Minéralisations en Th, U ± (Mo et ETR) dans les roches calco-silicatées et métasomatisées (skarns)

Description

Les minéralisations en Th, U ± (Mo et ETR) sont associées génétiquement à des skarns (skarns calciques et magnésiens) localisés au contact d'intrusifs granitiques et d'essaims de pegmatites granitiques.

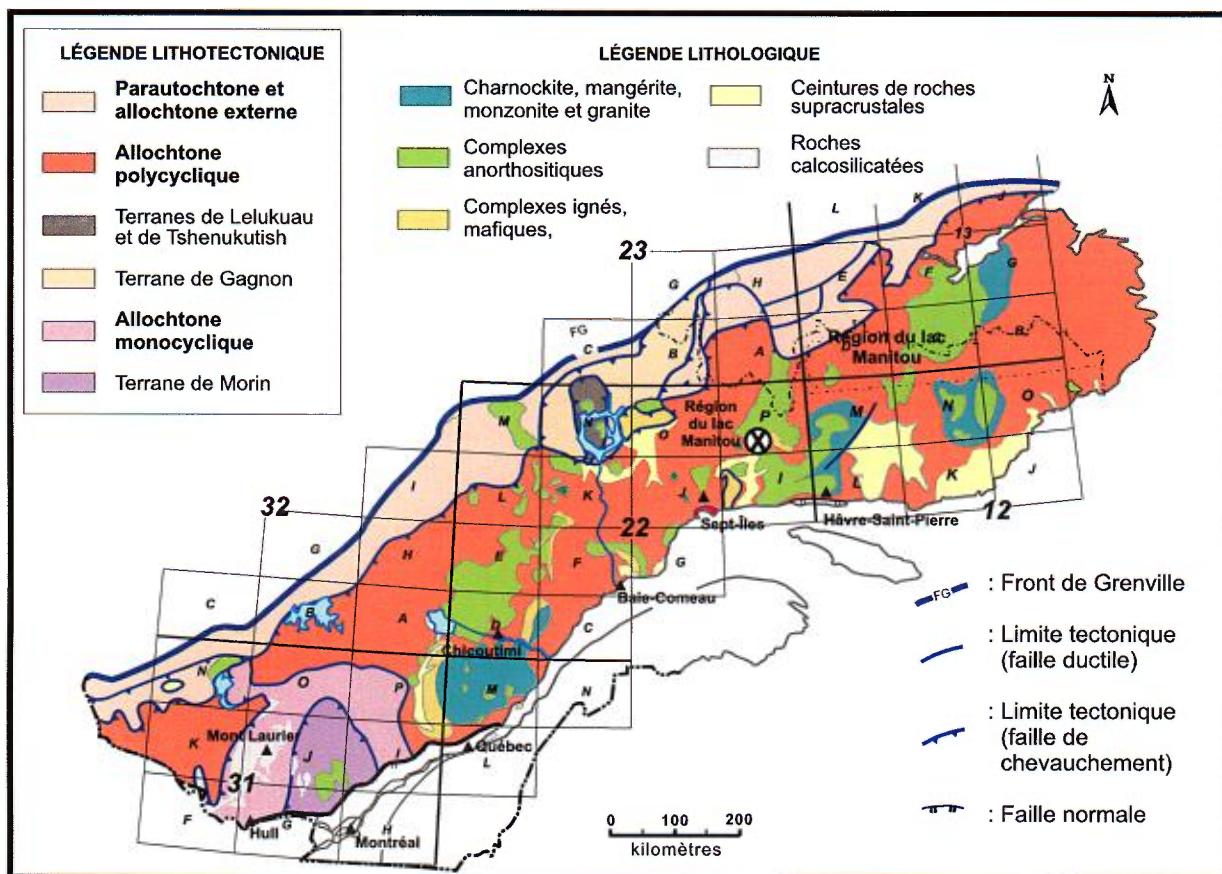


FIGURE 10 - Divisions lithotectoniques et lithologiques de la Province de Grenville et localisation des feuillets SNRC au 1 : 250 000 pour les régions discutées dans le texte (modifiée de Perreault *et al.*, 2003).

Milieu tectonique

Les granites et pegmatites granitiques sont syn à tarditектoniques et se forment dans les orogènes continentaux.

Âge de la minéralisation

Précambrien.

Roches hôtes et associées

Pegmatites granitiques, granites, syénites, pyroxénites (skarn à pyroxène), gneiss calco-silicatés et marbre.

Forme du gisement

Zones irrégulières le long des contacts intrusifs.

Minéralogie

Minerai : uraninite, monazite, xénotime, allanite, zircon, magnétite, uraninite, pechblende, thorite, thorianite, pyrochlore et molybdénite. Skarn : clinopyroxène, grenat,

wollastonite, hornblende, epidote, olivine, feldspath potassique, quartz, chlorite et muscovite.

Contrôle de la minéralisation

Dans les roches calcaires et calco-silicatés formant des auréoles thermiques en bordure des intrusifs.

Origine

Ce type de minéralisation se forme par métamorphisme de contact et/ou par métasomatisme de calcaires purs et de calcaires siliceux. Les fluides métasomatiques provenant de l'intrusif granitique, ou des fluides métamorphiques recyclés par la chaleur de l'intrusif, pénètrent et réagissent avec la roche calcaire, généralement poreuse ou fracturée, en introduisant de l'alumine, de la silice, du magnésium ainsi que des métaux rares et du molybdène.

Principaux indices de Type VII au Québec

Ces minéralisations se localisent principalement dans la partie occidentale de la Province de Grenville, près de

la limite entre l'allochtonie polycyclique et l'allochtonie monocyclique (feuilles 31J, K et F; figure 10). La plupart ont été découvertes dans les années 1950 à 60 lors de campagnes d'exploration par scintillomètre à la recherche d'uranium et, tout comme ce fut le cas pour les minéralisations de Type VI (voir plus haut), la présence de métaux rares n'a pas été vérifiée de façon systématique. Toutefois, des teneurs élevées de 0,48 % en ETR ont été décelées dans les skarns ou marbres à pyroxène de l'indice de Baie Mercier (gîte n° 157). Des analyses de roches calco-silicatées (gîtes n° 172, 174 et 176) contiennent également des teneurs intéressantes entre 0,18 et 0,29 % en ETR, ce qui souligne le potentiel en métaux rares de ce type de minéralisation. Dans la Sous-province de Minto, deux indices en ETR ont été répertoriés dans des marbres associés aux roches volcaniques de la ceinture de Kimber (gîtes n° 296 et 297, annexe 1, SNRC 35H02, figure 1). Bien que l'origine de l'enrichissement en ETR légères de ces marbres demeure encore à être précisée, le contexte géologique suggère un processus métasomatique important associé à des intrusions alcalines (Labbé *et al.*, 2003) et possiblement en relation avec un processus de formation de skarns.

Critères d'exploration

- La présence de minéraux radioactifs dans les granites et les skarns forme des anomalies radiométriques pour être déceler par méthode aéroportée.
- La prospection par scintillomètre au sol permet de discerner et de délimiter les zones minéralisées radioactives.

LES MINÉRALISATIONS EN MÉTAUX RARES AU QUÉBEC : UNE APPROCHE GÉOCHIMIQUE

Dans ce chapitre, nous examinerons des terrains géologiques pour lesquels nous estimons qu'il existe un potentiel en métaux rares. Nous avons toutefois exclu la région de Preissac-Lacorne. Ce complexe plutonique comprenant des monzogranites et son cortège de pegmatites minéralisées en Li ± (Be et Ta) a fait l'objet de nombreuses études géochimiques et métallogéniques ayant bien établi son potentiel minéral (Boily *et al.*, 1989; Boily, 1995; Mulja *et al.*, 1995; Doucet et Ste-Croix, 2001).

Puisque quatre des plus importants types de gisements sont associés aux intrusifs granitiques et syénitiques (i.e. Types I, III, V et VI), nous avons extrait de la banque de données SIGEOM les analyses géochimiques des roches plutoniques granitiques et syénitiques. À partir de ces analyses et de celles que nous possédons pour d'autres complexes, (Strange Lake et Preissac-Lacorne), il est possible

d'élaborer certains critères géochimiques associés à la « fertilité » des granitoïdes en métaux rares. Ces critères sont :

Pour les granites hyperalcalins (Types III et V) : $\text{SiO}_2 > 72\% \text{ poids}$; $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Total} > 4\% \text{ poids}$; $\text{MgO} < 0,1\% \text{ poids}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 < 12\% \text{ poids}$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 10\% \text{ poids}$; $\text{F} > 0,5\% \text{ poids}$; $\text{Rb} > 400 \text{ ppm}$; $\text{Sr} < 50 \text{ ppm}$; $\text{La} > 200 \text{ ppm}$; $\text{Zr} > 300 \text{ ppm}$; $\text{Th} > 50 \text{ ppm}$; $\text{U} > 10 \text{ ppm}$; $\text{Rb/Sr} = 5 \text{ à } 160 \text{ ppm}$ et $\text{K/Rb} = 27 \text{ à } 120 \text{ ppm}$.

Pour les syénites (Types III et V) : $\text{SiO}_2 = 55-65\% \text{ poids}$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 10\% \text{ poids}$; $\text{F} > 0,5\% \text{ poids}$; $\text{Rb} > 400 \text{ ppm}$; $\text{Sr} < 50 \text{ ppm}$; $\text{La} > 200 \text{ ppm}$; $\text{Zr} > 300 \text{ ppm}$; $\text{Th} > 50 \text{ ppm}$; $\text{U} > 10 \text{ ppm}$; $\text{Rb/Sr} = 5-160$ et $\text{K/Rb} = 27-120$.

Pour les monzogranites hyperalumineux (Types I et VI) : $\text{SiO}_2 = 72-76\% \text{ poids}$; un indice de peraluminosité A/CNK [$\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ (moléculaire)] > 1 atteignant jusqu'à 1,5; $\text{TiO}_2 < 0,1\% \text{ poids}$; $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Total} < 2\% \text{ poids}$; $\text{MgO} < 0,2\% \text{ poids}$; $\text{Sr} < 200 \text{ ppm}$; $\text{Ba} < 400 \text{ ppm}$; $\text{Zr} < 80 \text{ ppm}$; $\text{Rb} > 300 \text{ ppm}$; $\text{Li} > 100 \text{ ppm}$; $\text{Be} > 3 \text{ ppm}$; $\text{Cs} > 10 \text{ ppm}$; $\text{Nb} > 15 \text{ ppm}$; $\text{Ta} > 10 \text{ ppm}$; $\text{Rb/Sr} > 1$; $\text{K/Rb} < 250$; $\text{Rb/Ba} > 0,5$ et $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$.

Toutefois, ces critères s'avèrent beaucoup trop restrictifs, puisque plusieurs analyses d'échantillons de granites et de syénites extraits de la banque SIGEOM ne comprennent pas de concentrations en éléments traces pour le Li, Cs, Be, Th, U, Nb et les ETR. Nous avons donc décidé d'assouplir nos critères de discrimination en considérant au départ les teneurs en éléments majeurs, les concentrations en Ba, Rb, Sr, Zr, Y et, lorsque disponibles, les teneurs en ETR. Les diagrammes de Rb vs Sr et de Rb vs Ba ont servi à faire un tri préliminaire pour distinguer les granites dits « fertiles » de ceux considérés « infertiles » (Cerny et Meintzer, 1988). Ces diagrammes permettent d'éliminer les monzogranites peu différenciés (c.-à-d. ceux ayant des rapports $\text{Rb/Sr} < 0,5$ et $\text{K/Rb} > 200$) possédant des teneurs relativement élevées en MgO , $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Total}$, TiO_2 (% poids). Cependant, comme la composition de plusieurs granites chevauche la limite du champ des granites fertiles, nous avons utilisé des critères plus subjectifs pour identifier certains granites pouvant montrer un potentiel intéressant. Ainsi, des seuils de concentrations en métaux rares furent choisis, soit les teneurs suivantes en $\text{Li} > 20 \text{ ppm}$, $\text{Zr} > 200 \text{ ppm}$, $\text{Be} > 1 \text{ ppm}$, $\text{Ta} > 0,5 \text{ ppm}$, $\text{Y} > 50 \text{ ppm}$ et $\text{La} > 120 \text{ ppm}$. De plus, les monzogranites hyperalumineux fertiles de Type I possèdent des profils en ETR normalisés aux chondrites peu à modérément fractionnés (c.-à-d. $[\text{La/Yb}]_{\text{NC}} < 10$) avec des anomalies négatives en Eu (Boily, 1995). Ceux-ci, lorsque disponibles, servent donc de critère de discrimination. Dans le cas des syénites et des granites hyperalcalins associés aux Types III et V, tout comme dans le cas des monzogranites fertiles, le profil des ETR présente un patron plat à peu fractionné avec des concentrations en ETR beaucoup plus élevées (c.-à-d. $30-100 \times$ les valeurs chondritiques) et des anomalies négatives en Eu beaucoup plus importantes (Boily et Williams-Jones, 1994).

L'application de nos critères géochimiques a permis d'extraire 163 échantillons potentiellement fertiles provenant des granitoïdes, sur un total de 1154. Nous avons classé les échantillons identifiés en six groupes à l'intérieur des grands ensembles géologiques auxquels ils appartiennent. Les numéros de tous les échantillons de granite ou de syénite fertile sont présentes à l'annexe 2. Ainsi, le lecteur pourra, s'il le désire, consulter la banque de données SIGEOM pour visualiser les concentrations en éléments majeurs et en traces.

Les granites fertiles de la région de Mont-Laurier, Province de Grenville

La grande région de Mont-Laurier est couverte par les feuillets SNRC 31J, 32K et 31O (figure 10). Lacoste (2000) et Nantel et Pintson (2002) ont cartographié plusieurs suites de monzogranites fertiles (par ex. : les monzogranites à texture porphyroïde et oeillée de la Suite intrusive de Serpent, les monzogranites tardifs du Pluton de Notawassi et le monzogranite de Brockaby). Ces derniers affleurent principalement à l'intérieur de la zone allochtone monocyclique de la Province de Grenville (figure 10). Celle-ci comprend des paragneiss, des roches calco-silicatées et des orthogneiss dioritiques à tonalitiques.

Géochimie

La fertilité des monzogranites est établie par le diagramme Rb vs Ba (figure 11f), bien que leur composition se localise à la limite du champ fertile dans le diagramme Rb vs Sr (figure 11c). Les roches granitiques fertiles sont légèrement à fortement peralumineuses ($A/CNK = 1,00-1,25$), modérément différenciés ($Rb/Sr = 1,2-3,1$) et peu siliceuses ($SiO_2 = 72,0-76,2\% \text{ poids}$, figure 11a). Certains profils normalisés des ETR sont soulignés par un enrichissement en ETR légères (La = 8,5-568 ppm, figure 11b). On note des teneurs présentant un certain intérêt en Zr (88-656 ppm, figure 11d) mais non en d'autres métaux rares, soit Y (12-109 ppm), Nb (8-66 ppm), Cs (1-10 ppm) et Li (12-21 ppm). Cependant, certains monzogranites sont enrichis en Th (10-160 ppm) et en U (2-53 ppm, figure 11e) et attirent l'attention sur le potentiel uranifère et thorifère de la région. Nos travaux de compilation (Gosselin *et al.*, 2003) ont permis de répertorier de nombreux indices de **Type VI** (c.-à-d. des minéralisations en U, Th ± (ETR, Nb, Zr et Y) dans les pegmatites granitiques et les migmatites associées aux granites hyperalumineux et métalumineux. L'enrichissement en Th et U dans les monzogranites suggère qu'il existe un lien génétique entre celles-ci et les petits essaims de pegmatites granitiques radioactives, dont la minéralisation est principa-

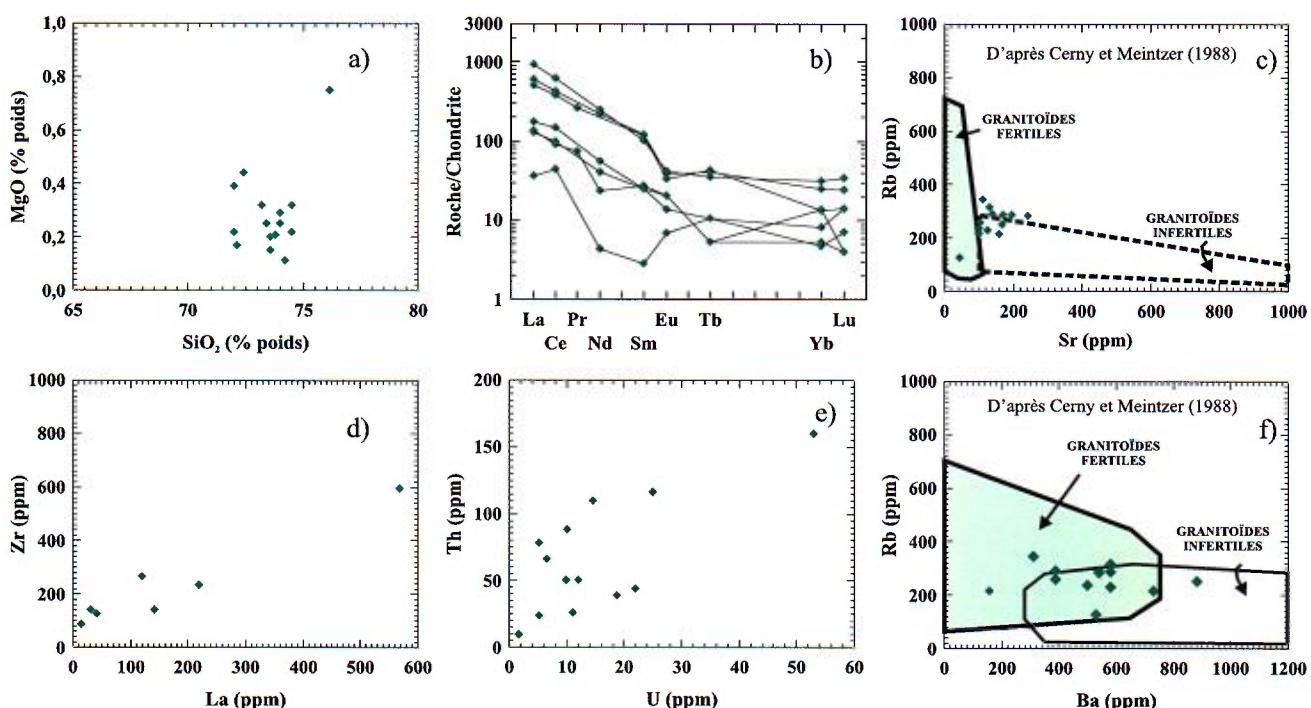


FIGURE 11 - Variations géochimiques des granites fertiles de la région de Mont-Laurier, Province de Grenville (SNRC 31J/10, 11, 15; 31K/08; 31O/03).

lement confinée à l'uraninite, la thorite et la monazite (Hébert, 1995).

Les granites intraplaques de la région de Manitou-Wakeham

Les granites intraplaques grenvilliens de la région de Manitou-Wakeham affleurent sur un vaste territoire appartenant à la zone allochtone polycyclique située au nord et au nord-est des villes de Sept-Îles et de Havre St-Pierre (figure 10). La région couverte par les feuillets SNRC 12K, 12L, 12M, 12N, 22I et 22P comprend des complexes anorthositiques (par ex. : les suites de Havre-Saint-Pierre, de Fournier et de Tortue), des roches supracrustales (par ex. : le Groupe de Wakeham) et plusieurs suites intrusives (par ex. : les intrusions gabbroïques de la Suite de Lillian) (Madore *et al.*, 1997 et 1999; Gobeil *et al.*, 2000, 1999; Verpaelst *et al.* 1999 et Chevé *et al.*, 2001).

La géochimie de plusieurs granitoïdes felsiques et mafiques de la région de Manitou-Wakeham révèle une affinité de type A (anorogénique) et une mise en place en milieu intraplaque continental (Clark, 2003; Verpaelst *et al.*, 1999). La Suite felsique d'Olomane (1245-1239 Ma), les complexes de Canatiche et de Manitou et les porphyres granitiques de Kataht (1495-1510 Ma) sont associés à des indices et prospects minéralisés en oxydes de Fe, Cu, ETR, Y, P, F, et Ag (Type V; Olympic Dam / Kiruna; Clark, 2003).

Dans la région de Manitou (figure 9), les indices de type V sont logés dans une masse de leucogranite (alaskite) d'au moins 3,5 km de largeur, localisée le long de la bordure sud du Complexe de Canatiche (Clark, 2003), tandis qu'au sud, les indices sont situés à l'intérieur ou à proximité d'une masse de leucogranite folié appartenant au Complexe de Manitou (Clark, 2003; Chevé *et al.*, 2001).

Géochimie

La figure 12 illustre les variations géochimiques décelées dans les granites appartenant aux complexes de Canatiche et de Manitou (région de Manitou; Chevé *et al.*, 2001 et Clark, 2003). Ces granites à biotite ± hornblende et ces leucogranites se localisent en grande majorité à l'intérieur du champ des granites fertiles (figures 12c et f). Métalumineux à fortement hyperalumineux ($A/CNK = 0,95-1,10$), ils sont très différenciés ($MgO = 0,66-0,05$ % poids (figure 12a) et $Rb/Sr = 0,4-25$) et ferrifères ($Fe_2O_3\text{Total} = 0,71-4,90$), ce qui est caractéristique des granites de type A, par opposition aux suites monzogranitiques peralumineuses de type I (par ex. : les monzogranites de Preissac-Lacorne; $Fe_2O_3\text{Total} < 1,0$ % poids; Boily, 1995). Enrichis en Zr, Y et ETR (figures 12d et e), ils présentent des profils normalisés des ETR (figure 12b) attribués aux granites minéralisés en métaux rares (par ex. : les gisements de Strange Lake, Québec-Labrador (Boily et Williams-Jones, 1994) et de Thor Lake,

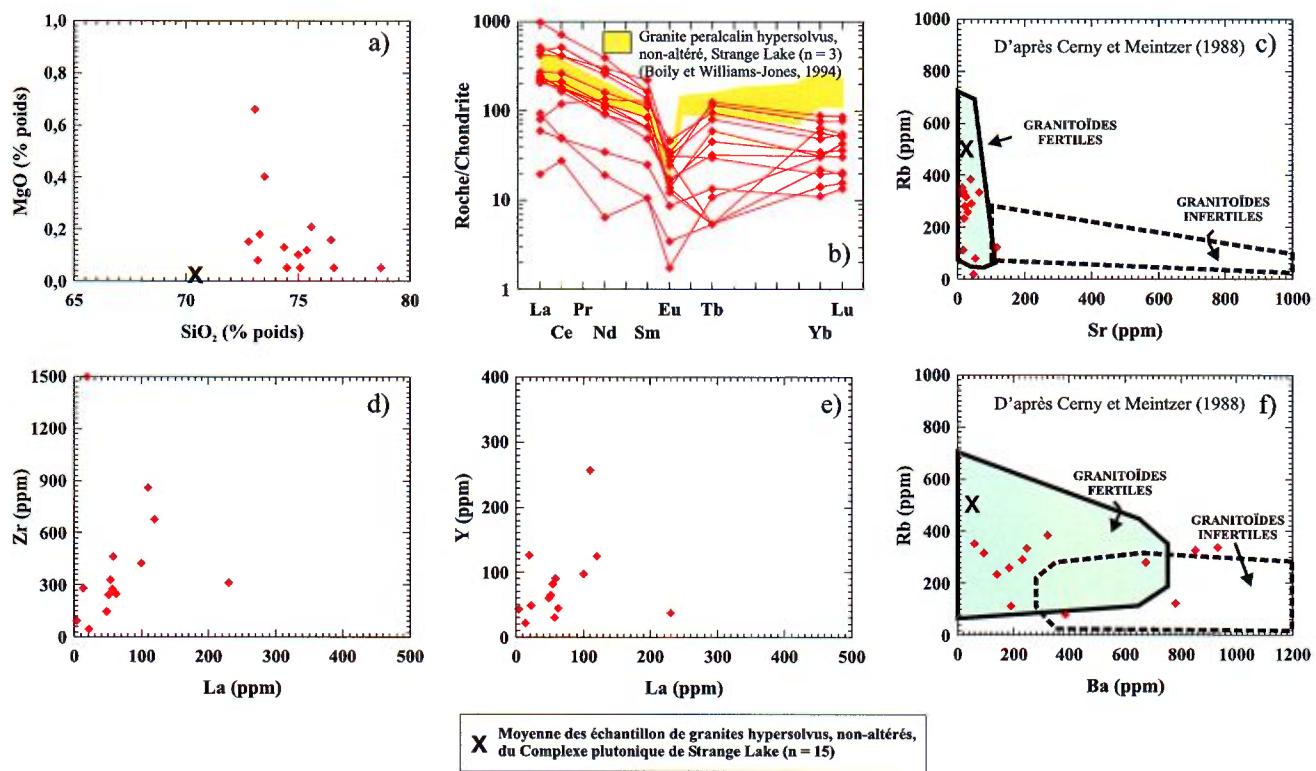


FIGURE 12 - Variations géochimiques des granites appartenant principalement aux complexes de Canatiche et de Manitou (SNRC 22I/12, 13, 14; 22P/02, 03).

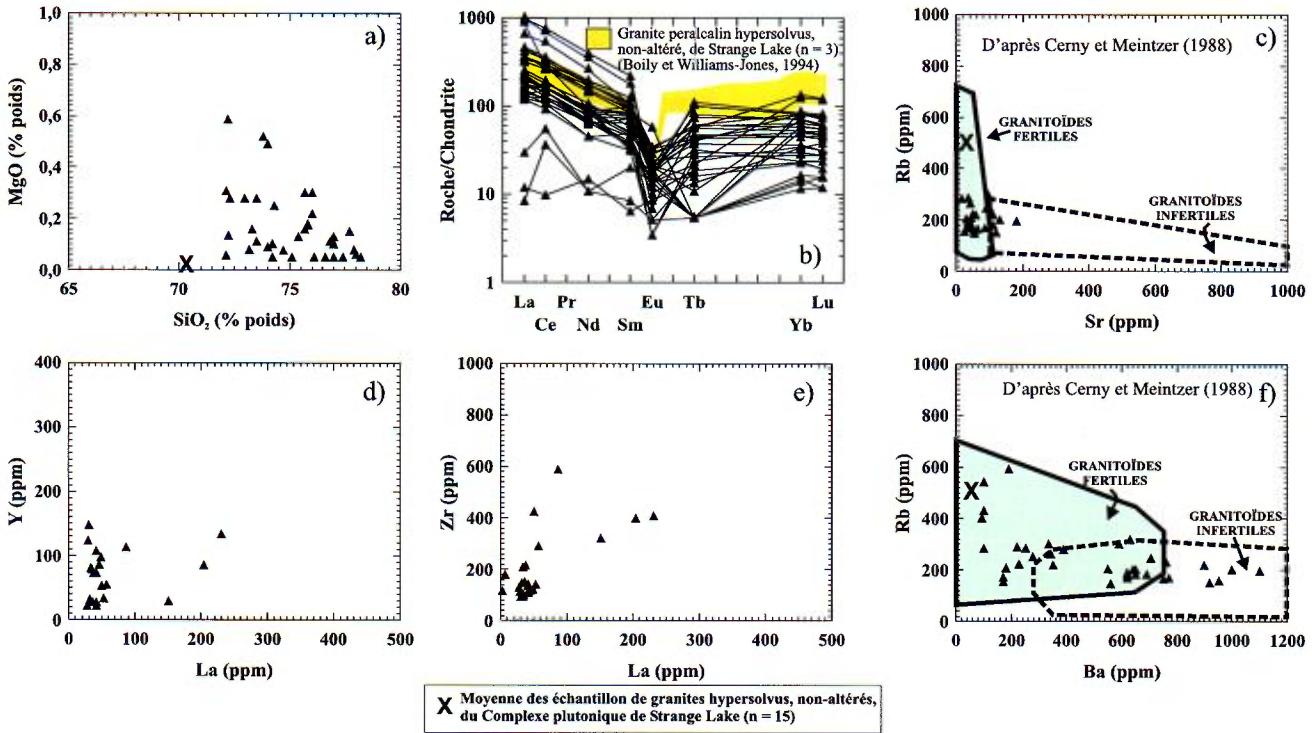


FIGURE 13 - Variations géochimiques des granites appartenant principalement aux complexes de Kataht et d'Olomane (SNRC 12L/07, 08, 11, 14; 12N/03 à 06).

Territoires du Nord-Ouest (Pinckston et Smith, 1991)). Ainsi, certains granites contiennent des teneurs élevées en ETR légères ($> 200 \times$ chondrites), des anomalies négatives et prononcées en Eu, un fractionnement modéré ($[La/Yb]_{NC} < 10$) et de fortes concentrations en ETR lourdes ($> 100 \times$ chondrites) (figure 12b).

La figure 13 illustre les variations chimiques décelées dans les granitoïdes des complexes de Kataht et d'Olomane. Ceux-ci possèdent des compositions très similaires à celles des granites du Complexe de Canatiche. Les leucogranites des complexes de Kataht et d'Olomane ($SiO_2 = 72,1\text{--}78,2\%$ poids) sont fertiles d'après les diagrammes Rb vs Sr et Rb vs Ba (figures 12c et 12f), ferrifères ($Fe_2O_3\text{Total} = 0,49\text{--}4,27\%$ poids) et très différenciés ($Rb/Sr = 1\text{--}19$ et $MgO = 0,05\text{--}0,58\%$, figure 13a). Ils sont enrichis en ETR, Zr, Y, Nb et Th (et aussi en fluor pour les granites de la suite d'Olomane). Leur profil en ETR normalisés est également similaire à celui présenté par les leucogranites du Complexe de Canatiche (figures 12b et 13b).

Ces données mettent en valeur une association déjà connue entre la présence de leucogranites fertiles de type A et la minéralisation de type Olympic Dam/Kiruna. La région de Manitou-Wakeham possède un énorme potentiel en métaux rares du à l'abondance de granites anorogéniques enrichis en F et en métaux rares mis en place dans un milieu d'extension crustale entre 1,1 et 1,2 Ga.

Les granites et les syénites anorogéniques de la Province de Rae

La Province de Rae recèle plusieurs suites de granitoïdes anorogéniques (type A). Elle comprend des orthogneiss et des paragneiss aphébiens et des suites de granitoïdes et de charnockites métamorphisées durant l'orogenèse hudsonien (Danis, 1991; Taner, 1992). Le Batholite de Mistastin est composé de syénite, de monzonite et de granite à biotite et à hornblende. Celui-ci fait partie d'un cortège de plutons anorogéniques bimodaux (i.e. anorthosite-gabbro et adamellite-granite) qui caractérise le magmatisme elsonien associé à un rifting continental dans le nord-est du craton nord-américain (Pillet, 1989). Le Complexe plutonique hyperalcalin de Strange Lake (1189 Ma; Miller, 1986; Boily et Williams-Jones, 1994) constitué de granites à arfvedsonite-aégyrine enrichis en Zr, Y, Nb et ETR fait aussi partie de ce cortège. Il est associé à la phase finale de l'activité anorogénique elsonienne caractérisée par un ensemble d'intrusions alcalines sur- et sous-saturées en silice, formant la Province de Gardar au Groenland (Upton et Emeleus, 1987).

Géochimie

Les échantillons de granites et de syénites identifiés comme fertiles proviennent des régions correspondant aux

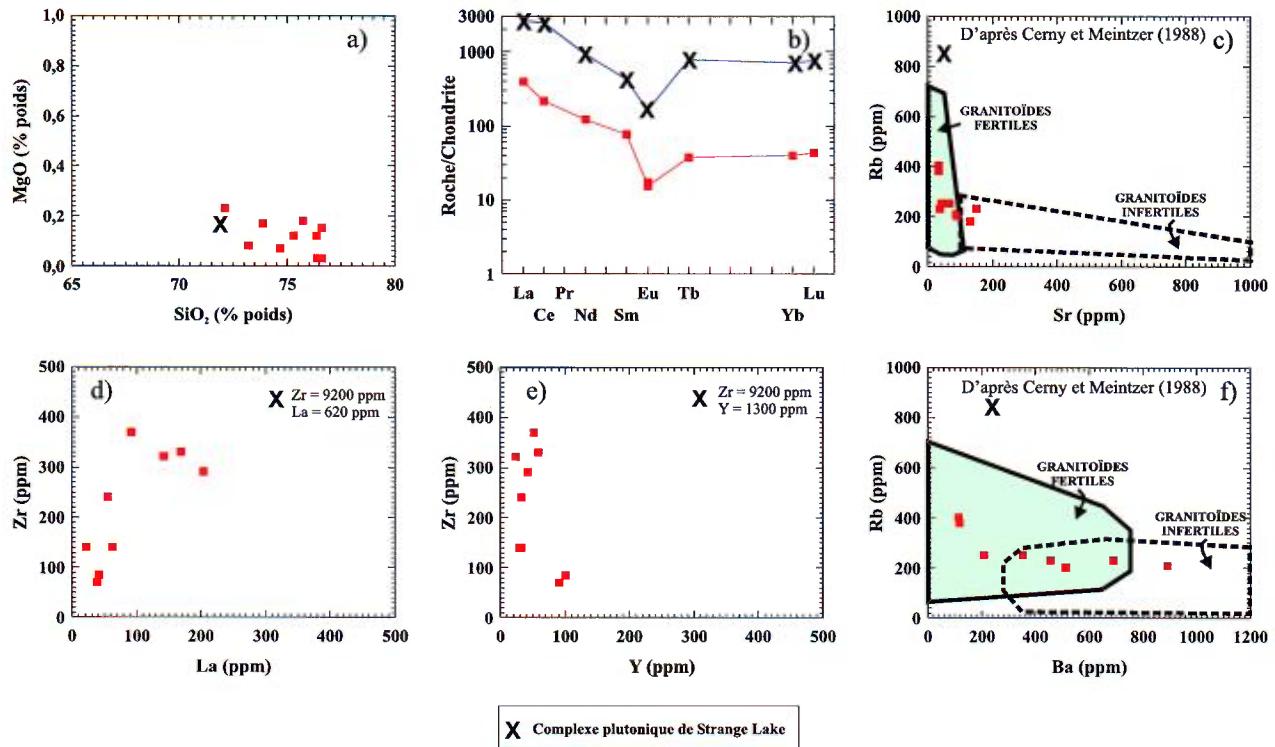


FIGURE 14 - Variations géochimiques des granites anorogéniques de la Province de Rae (SNRC 13L/13; 13M/05,06,13; 23P/08; 24A/01,08).

feuilles SNRC 13M, 13L, 23I, 23P, 23N, 23O et 24A (figure 1) cartographiées par Taner (1992) et Danis (1991). À l’exception d’un échantillon de granite hyperalcalin du Complexe de Strange Lake, les granites fertiles de la Province de Rae sont hyperalumineux ($A/CNK = 1,0\text{--}1,12$), fractionnés ($MgO = 0,23\text{--}0,03\% \text{ poids}$ et $Rb/Sr=1\text{--}13$) et montrent un enrichissement modéré en Zr (70-370 ppm), La (22-204 ppm) et Y (23-101 ppm, figure 14). Ces teneurs sont toutefois très inférieures aux concentrations affichées par les granites hyperalcalins non-altérés et associés au gisement de Strange Lake (par ex. : Y = 940-1650 ppm; Zr = 3700-6300 ppm et La = 130-540 ppm; Boily et Williams-Jones, 1994). N’ayant pas de profils des ETR normalisés sur les chondrites, il est difficile de vérifier si les granites hyperalumineux de la Province de Rae sont typiques des suites anorogéniques. Cependant, les rapports Zr/Y, reflétant les rapports ETR légères/ETR lourdes, sont faibles (1-14; 6 en moyenne) suggérant un fractionnement modéré tel qu’indiqué par le rapport $[La/Yb]_{NC}$ typique des granites de type A. Deux échantillons de granites siliceux et très différenciés ($SiO_2 = 76,4\text{--}76,6\% \text{ poids}$ et $Rb/Sr = 12\text{--}13$) contiennent des concentrations élevées en Li (103-119 ppm), Rb (380-400 ppm) et Be (3-4 ppm) indiquant un potentiel pour la découverte des pegmatites granitiques minéralisées en ces métaux rares.

Les syénites ($SiO_2 = 59,47\text{--}65,69\% \text{ poids}$ et $K_2O = 4,87\text{--}6,47\% \text{ poids}$) (figure 15a) possèdent des teneurs moyennes à élevées en La (9-623 ppm), Zr (94-1300 ppm), Y (38-140 ppm) et Th (4-28 ppm) (figures 15c et 15d). Elles font probable-

ment partie du batholite anorogénique de Mistastin. Une syénite contient une teneur en F de 5900 ppm (la seule teneur disponible) accompagnant une concentration en Zr de 1300 ppm. Celle-ci est cependant appauvrie en ETR, Nb et Y.

La présence de plutons syénitiques enrichis en fluor et de granites hyperalcalins confirme le potentiel de la région pour la minéralisation en Zr, Nb, Y et ETR. En effet, plusieurs plutons syénitiques et granitiques anorogéniques hyperalcalins enrichis en fluor et d’âge Elsonien affleurent dans la Province de Rae et au Labrador (p. ex. : les granites hyperalcalins de Strange Lake, de Flower River (Hill et Thomas, 1983) et le Complexe de Red Wine (Blaxand et Curtis, 1977)).

Les granites et les syénites de la Sous-province de l’Ashuanipi

La région d’où proviennent les échantillons de granites archéens fertiles est située principalement à l’intérieur des sous-provinces de l’Ashuanipi et de l’Opatica, en bordure des sous-provinces archéennes de La Grande et d’Opinaca. Ils ont été prélevés dans les suites intrusives felsiques tardif-tectoniques (par ex. : les suites de Lignerion et de Gamart et le Batholite de Dusterlo; environ 2,64-2,65 Ga) et les granites anorogéniques (les syénogranites à fluorine de la Suite de Viau; environ 2,57 Ga; Leclair *et al.*, 1998; Lamothe *et al.*, 1998, 2000). Ces granites coupent des roches

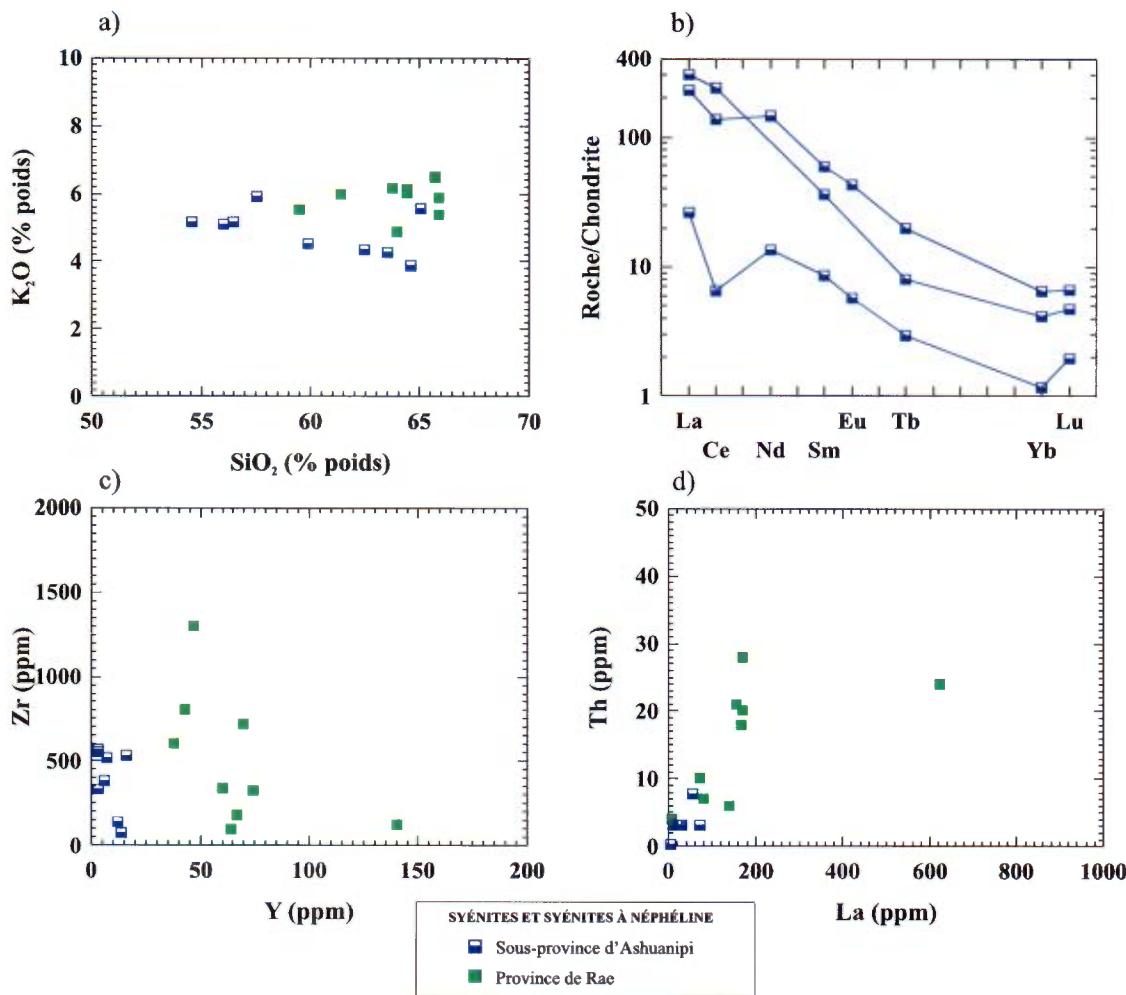


FIGURE 15 - Variations géochimiques dans les syénites et les syénites à néphéline de la Sous-province d'Ashuanipi (SNRC 13M/05, 06; 23I/09, 16) et de la Province de Rae (SNRC 23N/08; 23O/04).

supracrustales, des diatexites et des intrusions précoce de tonalite et de gabbro. Les syénites alcalines et les syénites néphéliniques tardives (2655 ± 3 Ma) proviennent de la partie nord de la Sous-province d'Ashuanipi. Elles sont intrusives dans les assemblages supracrustaux composés de métatexite-diatexite, d'amphibolite, de gneiss tonalitique et de paragneiss (Chevé et Brouillet, 1988 et 1989; Danis, 1991).

Géochimie

Les échantillons de granites proviennent des régions représentées par les feuillets SNRC 23C, 23E et 23F (figure 1). Ils sont tous hyperalumineux ($A/CNK = 1,00-1,17$) et modérément différenciés ($MgO = 0,0-1,03$ % poids; figure 16a) et $Rb/Sr = 0,05-6,5$. Bien que les résultats d'analyse de quelques échantillons de granites sont hors du champ des granites fertiles sur les diagrammes de Rb vs Sr et de Rb vs Ba (figures 16c et 16f), nous les avons inclus dans ce groupe à cause de leurs teneurs élevées en ETR légères

($La = 140-720$ ppm) et en Zr (62-400 ppm; figures 16d et e). Toutefois, des profils des ETR fractionnés ($[La/Yb]_{NC} = 24-235$; figure 16b) et corroborés par des teneurs faibles en Y (14-86 ppm), nous permettent de conclure que leurs compositions sont différentes de celles attribuées aux granites de type A. Deux monzogranites affichent des rapports Zr/Y (1-7) et $[La/Yb]_{NC}$ (0,7-1,4) faibles accompagnés de basses teneurs en ETR et d'anomalies négatives prononcées en Eu (figure 16b). Cependant, ces échantillons ne sont pas enrichis en Li, Be, Cs ou Th.

Les roches syénitiques ($SiO_2 = 54,6-65,0$ % poids et $K_2O = 3,88-5,91$ % poids) (figure 15a), se trouvent dans les régions correspondant aux feuillets SNRC 13M et 23I. Elles sont enrichies en Zr (74-570 ppm), ce qui est prévisible dans les syénites, mais cet enrichissement n'est pas accompagné de teneurs élevées en ETR légères ($La = 6-72$ ppm), Y (3-16 ppm) ou Th (0,2-7,8 ppm) (figures 15c et 15d). Trois profils des ETR normalisées aux chondrites permettent d'observer un fractionnement important du rapport $[La/Yb]_{NC}$ (22-74) (figure 15b), confirmé par de fortes valeurs en Zr/Y

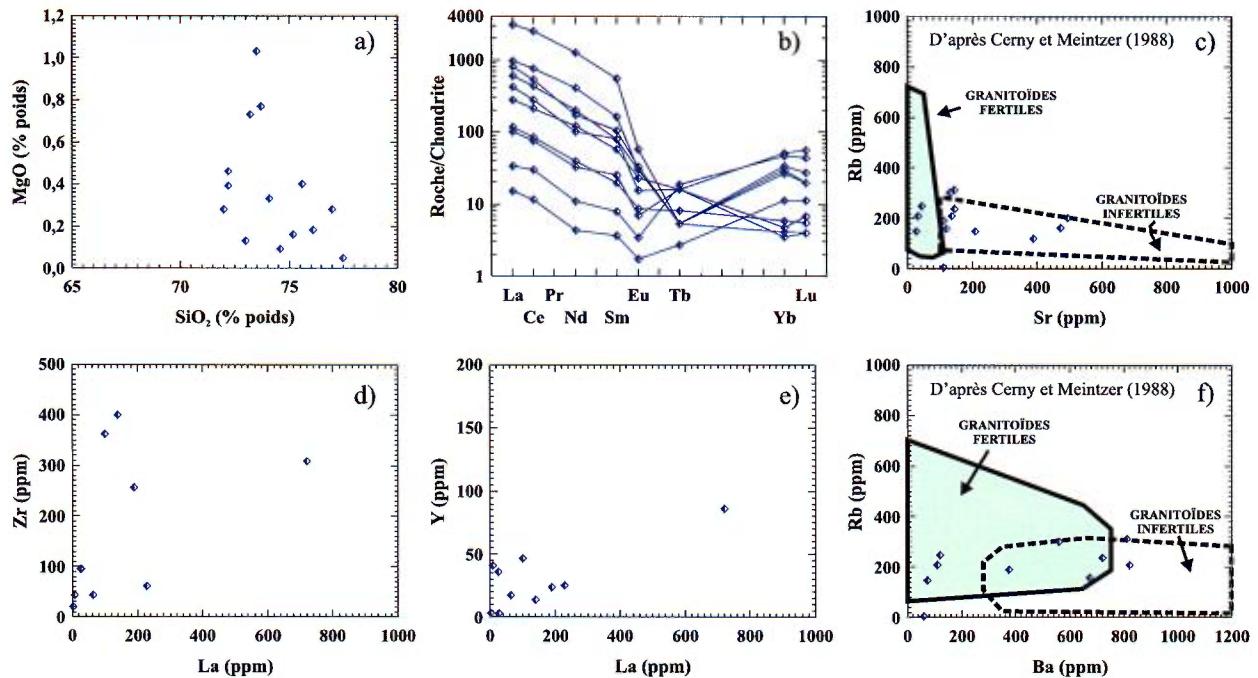


FIGURE 16 - Variations géochimiques des granites de la Sous-province de l’Ashuanipi (SNRC 23C/11, 16; 23E/06, 07, 15, 16; 23F/01 à 04).

(5-190). Selon nous, ces syénites tardives ne présentent pas d’intérêt économique en raison de leur faible contenu en métaux rares.

Les monzogranites et les pegmatites granitiques de la région de la Baie-James

L’intrusion de plutons monzogranitiques au contact de sous-provinces volcanoplutoniques et métasédimentaires constitue un des contextes géotectoniques les plus favorables à la minéralisation en métaux rares. Deux secteurs relativement peu explorés et présentant ce contexte ont été observés dans la région de la Baie-James. Plusieurs zones minéralisées intéressantes ont été décelées. Ces secteurs correspondent à : 1 - Le Granite du Vieux-Comptoir (Avcr) mis en place à la limite entre les assemblages volcanoplutoniques de la Sous-province de La Grande et les métasédiments de la Sous-province d’Opinaca (figure 4 ; feuillets SNRC 33C14, 33F03 et 33F04; Goutier *et al.*, 1999b); 2 - Les masses granitiques à proximité du contact entre les métasédiments de la Sous-province de Némiscau et les roches volcanosédimentaires de la Ceinture de la Basse et de la Moyenne Eastmain (CVBME; figure 4; feuillets 33C01 à 08; Moukhsil *et al.*, 2003). Ces ceintures (2743-2703 Ma) et celles de la Sous-province de La Grande (2820-2736 Ma) comprennent une plate forme de laves tholiéitiques et de coulées komatiitiques, surmontée de tufs et de laves intermédiaires calco-alcalins. L’ensemble est recouvert en discordance de sédiments détritiques. La Ceinture volcanosédimentaire de La Grande repose sur un socle tonalitique ancien (3360-2811 Ma) tandis qu’aucune roche plutonique ou orthogneissique plus vieille que 2750 Ma n’affleure dans la CVBME.

Dans la région de La Grande, le Granite du Vieux-Comptoir (2657-2618 Ma; Goutier *et al.*, 1999a et b) forme un vaste pluton tardi-tectonique non déformé. Il comprend des phases monzogranitiques à biotite ± muscovite et à muscovite ± grenat et il inclut des masses et dykes de pegmatite granitique dont certains contiennent de la tourmaline et, plus rarement, du spodumène et du beryl comme minéraux accessoires. Goutier *et al.* (2002) associe également au Granite du Vieux-Comptoir (Avcr) d’autres plutons de monzogranite à biotite et de granite pegmatitique affleurant dans le secteur du réservoir LG-3. Plus au sud, le long de la rivière Eastmain, Moukhsil (2000) et Moukhsil *et al.* (2001) ont cartographié plusieurs plutons syn à tardi-tectoniques dont ceux de Kawachusi, de Kapiwak, de Mistumis, d’Ukawasis, de Wapamisk, d’Akakanipanuch, de Pawakis et de Kasapawatish. Ils comprennent des phases monzogranitiques et des dykes de pegmatites granitiques, dont certains sont minéralisés en Li et Be.

Géochimie

Le Granite du Vieux-Comptoir

Les quelques résultats d’analyses que nous possédons du Granite du Vieux-Comptoir sont typiques de compositions siliceuses ($\text{SiO}_2 = 72,8\text{-}76,9\%$ poids), hyperalumineuses

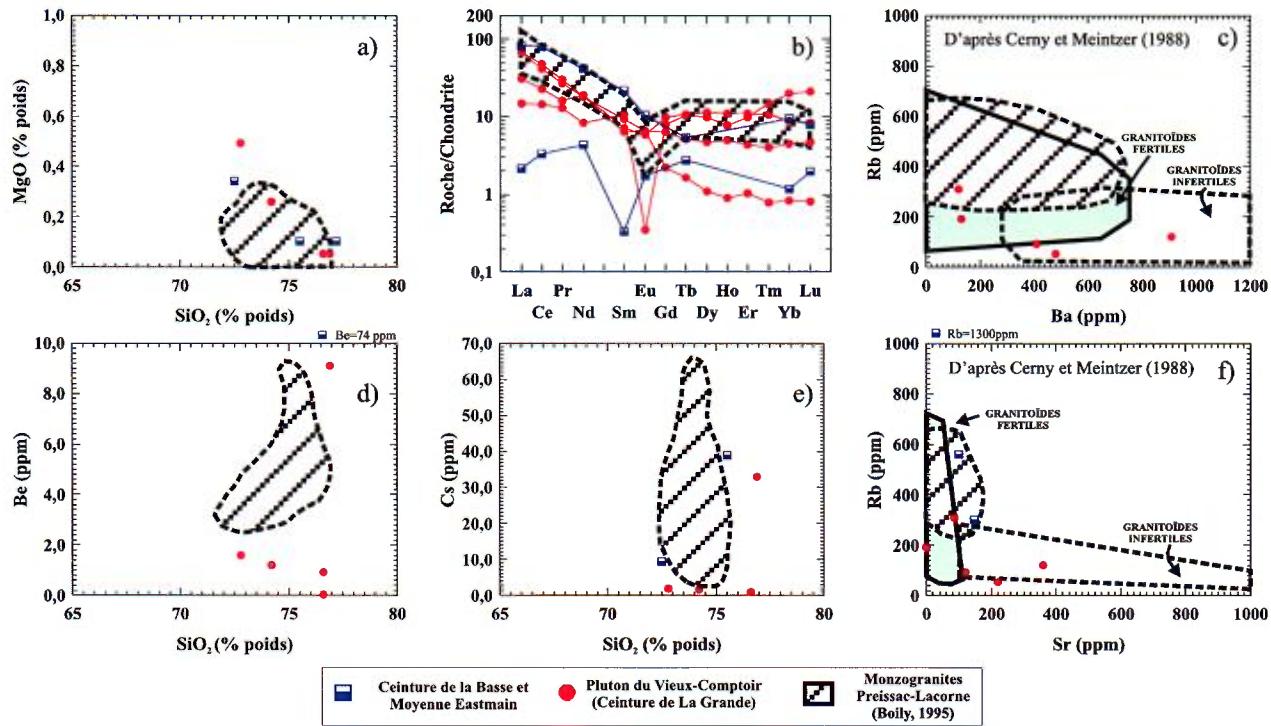


FIGURE 17 - Variations géochimiques dans les monzogranites et les pegmatites granitiques de la région de la Baie-James (SNRC 33C/01, 03, 07, 14; 33E/01; 33F/02, 03).

(A/CNK = 1,05-1,15) et appauvries en MgO (0,49-0,05 % poids) (figure 17a). Bien que les compositions de trois des cinq échantillons se localisent dans le champ des granites fertiles (figures 17c et 17f), le profil des ETR normalisés aux chondrites de trois monzogranites permet d’observer une affinité semblable au profil des monzogranites de Preissac-Lacorne (figure 17b). Un granite pegmatitique enrichi en Be (9,1 ppm) et en Cs (33 ppm) affiche une anomalie négative très prononcée en Eu, un appauvrissement important en ETR (< 15x les valeurs chondritiques) et possède un profil plat (p. ex. : [La/Yb]_{NC} = 0,74). Cette signature géochimique est typique des monzogranites pegmatitiques fertiles en métaux rares (Cerny et Meintzer, 1988).

Il est difficile d’évaluer le potentiel du Granite du Vieux-Comptoir à partir des résultats d’analyse de quatre échantillons. Cependant, les considérations suivantes militent en faveur d’une exploration plus soutenue de ce granite : 1) La nature et la composition chimique et minéralogique du pluton sont largement méconnues, car seule son extrémité nord a été cartographiée en détail par Goutier *et al.* (1999b); 2) Plusieurs petits indices de Li et de Be logés dans des pegmatites granitiques ont été observés sur le pourtour du Granite du Vieux-Comptoir (Remick, 1976; Goutier *et al.*, 1999a et b); 3) Les âges du pluton et de ses intrusifs satellites situés plus à l’est (2657-2618 Ma) sont comparables à ceux des plutons monzogranitiques tardif à post-tectoniques ayant générer un cortège de pegmatites granitiques minéralisées en Li, Be, Ta et Cs (par ex. : le pluton

de Lamotte (2647-2639 Ma) dans le Complexe plutonique de Preissac-Lacorne ; le Groupe de pegmatite granitique de Tanco-Silverleaf au Manitoba (2640 Ma); les leucogranites et pegmatites du terrain de Sioux Lookout (2684-2650 Ma) et de la Ceinture volcanosédimentaire de Separation Lake, Sous-province d’English River (2651-2635 Ma) (Baadsgaard, 1993; Ducharme *et al.*, 1997; Larbi *et al.*, 1999); 4) La mise en place du Granite du Vieux Comptoir et de ses intrusifs satellites s’effectue dans un contexte géologique similaire à celui des sous-provinces d’English River et de Wabigoon, où de nombreux plutons monzogranitiques fertiles ont été trouvés (Breaks *et al.*, 2002).

Les masses granitiques de la Ceinture de la Basse et Moyenne Eastmain

Dans la région de la rivière Eastmain, nous avons répertorié un échantillon de granite fertile sur un total de 16 échantillons de granites et de pegmatites analysés. Peu siliceux (SiO₂= 72,5 % poids; figure 17a) et modérément fractionné (MgO = 0,34 et Rb/Sr = 2,0), cet échantillon présente un profil en ETR normalisés aux chondrites relativement peu fractionné ([La/Yb]_{NC} = 8,5) (figure 17b) ainsi que des teneurs intéressantes en Cs (9,3 ppm) et en Ta (2,5 ppm). Deux analyses de pegmatites minéralisées en Li et Be ont été effectuées sur des échantillons provenant de sites connus, soit l’indice du lac Pivert et le Prospect Cyr-Lithium (gîtes n° 256 et 258, annexe 1 et figure 4). À l’instar des pegmatites

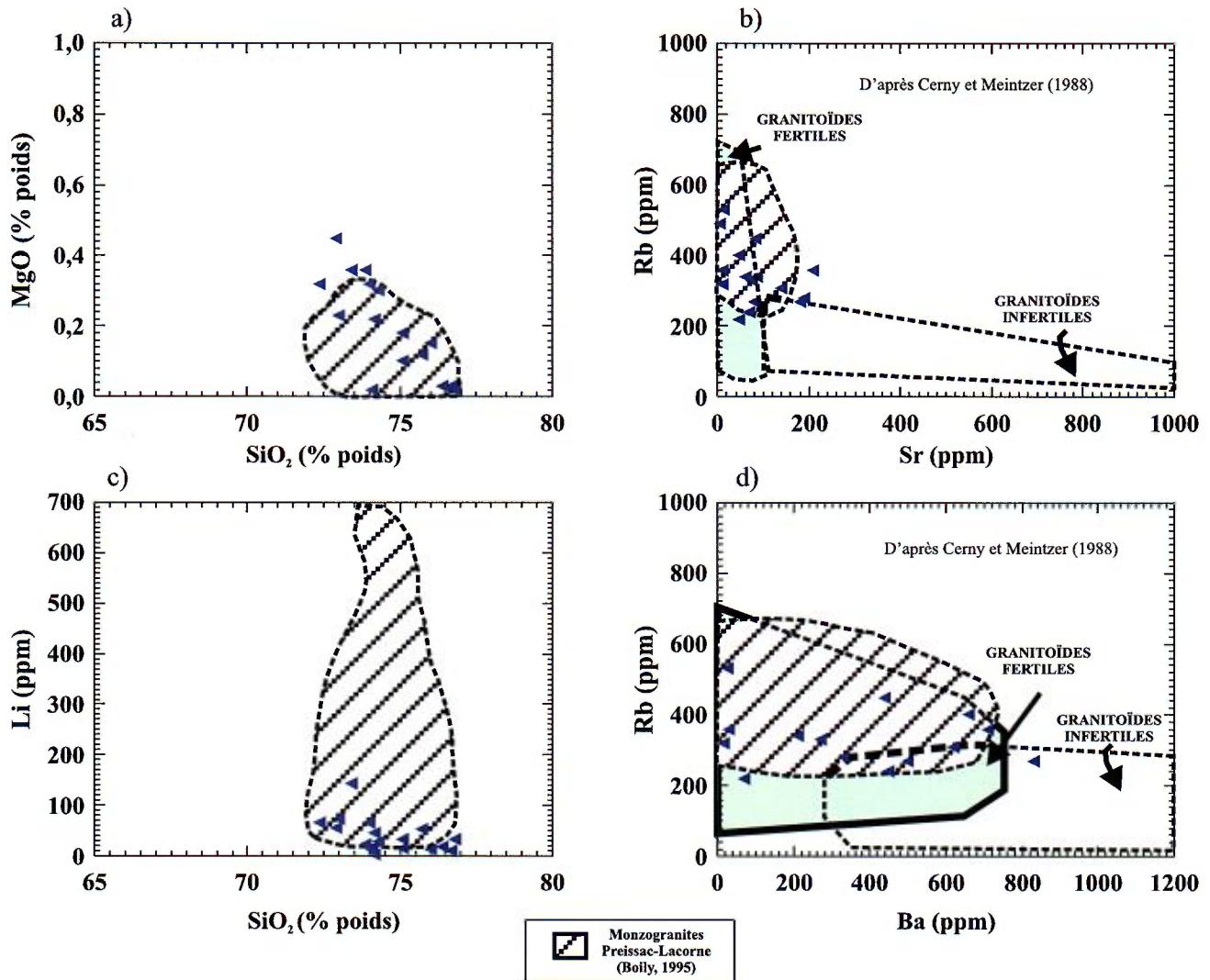


FIGURE 18 - Variations géochimiques des monzogranites de la Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans (CVFE; SNRC 32J/10, 15, 16).

granitiques minéralisées en métaux rares, ces pegmatites sont très siliceuses ($\text{SiO}_2 = 75,5\text{--}77,2\%$ poids; figure 17a), leur profil des ETR est non fractionné ($[\text{La}/\text{Yb}]_{\text{NC}} = 1,8$) (figure 17b) et elles sont appauvries en ETR légères ($\text{La} = 0,5\text{--}2,0\text{ ppm}$) et $\text{Zr}(5\text{--}16\text{ ppm})$.

Malgré un nombre insuffisant d'analyses de granites et de pegmatites provenant de la région, il demeure que le contact entre la Ceinture volcanosédimentaire de la Basse et Moyenne Eastmain (CVBME) et la Sous-province de Némiscau serait un contexte géologique favorable pour la formation de gîtes de métaux rares (figure 4). Ceci est appuyé par la découverte d'indices et de prospects de $\text{Li} \pm \text{Be}$ dont certains sont importants (prospect Cyr-Lithium; gîte n° 258). D'autres n'ont été identifiés que récemment lors de la cartographie menée par Moukshil *et al.* (2001), soit les indices Rose (gîte n° 255) et du lac Pivert (gîte n° 256). Selon Moukshil *et al.* (2003), on devrait pouvoir trouver, dans le secteur du Prospect Cyr-Lithium, des pegmatites riches

en Be , Nb et Ta localisées sur le pourtour du pluton fertile de Kapiwak puisque cette région n'a été que très peu explorée. Un scénario similaire est proposé pour les indices du lac Pivert et Rose, bien que l'intrusion cogénétique à ces dykes de pegmatite n'ait pas été décelée. Rappelons que des valeurs de 207 g/t et 317 g/t Ta_2O_5 ont été obtenues sur l'indice de lithium du Lac des Motagnes (gîte n° 250) situé plus au sud.

Les monzogranites de la Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans

La Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans (CVFE), d'âge Archéen (2793-2755 Ma), forme une immense nappe de charriage située au sommet d'un assemblage de nappes orthogneissiques constituant, avec des plutons syn à tard-tectoniques, le cœur de la Sous-province d'Opatica (Sawyer et Benn, 1993; Boily et Dion, 2002; figure 4). La CVFE est

constituée d'assemblages de laves volcaniques basaltiques tholéitiques et calco-alcalines, de tufs calco-alcalins, intermédiaires à felsiques, recouverts en discordance par des sédiments détritiques (Gosselin, 1996; Brisson *et al.*, 1998; Boily, 1999).

Géochimie

Presque la totalité des analyses de monzogranites répertoriés dans la Ceinture de Frotet-Evans proviennent d'échantillons récoltés dans la portion orientale de la ceinture. Les monzogranites fertiles sont limités au secteur correspondant aux feuillets SNRC 32J10, 15 et 16 où Simard (1987) a cartographié plusieurs plutons de granodiorites et de monzogranites syn à post-tectoniques. Les granites fertiles hyperalumineux ($A/CNK = 0,9\text{--}1,2$) occupent le champ des monzogranites du Complexe plutonique de Preissac-Lacorne sur les diagrammes de Rb vs Sr et de Rb vs Ba (figures 18b et d). Appauvris en MgO (0,01-0,22 % poids; figure 18a), ils ne possèdent pas l'enrichissement prononcé en Li de plusieurs monzogranites de Preissac-Lacorne. Par contre, ces derniers, comme plusieurs granites fertiles donnant naissance à des pegmatites lithinifères, contiennent des concentrations très variables (40-770 ppm; figure 18c). La composition des monzogranites affleurant dans la portion est de la CVFE suggère donc un potentiel pour la minéralisation en Li + Be ± Mo, même si cette région a été ignorée depuis la découverte de l'indice de Moléon-Lithium (gîte n° 244, figure 4) dans les années 1950. D'ailleurs, Rondot (1972) a noté la présence de nombreux dykes de pegmatite autour du lac Moblan, à proximité du lac Coulombe, où affleurent les monzogranites fertiles. Le potentiel de la CVFE pour la découverte de métaux rares s'étend également à la partie centrale de la ceinture, où ont été trouvés les dykes de pegmatites granitiques à spodumène et à beryl du prospect de Sirmac (gîte n°, 245).

CONCLUSIONS

L'accroissement de l'exploration pour les métaux rares dans la Province du Supérieur est en grande partie causée par l'augmentation du prix du concentré de Ta au cours des dernières années. Ce nouvel intérêt de l'industrie minière nous a incité à inventorier les indices, les prospects et les gîtes en métaux rares de la province de Québec (Gosselin *et al.*, 2003). Le présent document, un complément à cet inventaire, décrit les principales utilisations des métaux rares dans les produits industriels et de consommation. Il présente également une classification génétique des principaux types de minéralisation en métaux rares observées au Québec. Celle-ci comprend : le Type I, minéralisations en Li, Be, Ta, Cs, Rb ± (Mo, Nb, F) dans les pegmatites granitiques associées à des complexes plutoniques graniti-

ques hyperalumineux; le Type II, minéralisations en Nb, Ta, ETR et P associées à des complexes de carbonatite; le Type III, minéralisations en ETR, Y, Zr, F ± (Be, Nb, Th) associées à des pegmatites internes injectées dans les intrusifs granitiques et syénitiques hyperalcalins; le Type IV, minéralisations en Fe, Ti ± (Zr, ETR) associées à des placers ou à des paléoplacers; le Type V, oxyde de fer, Cu ± (Au, U, P, ETR) (Olympic Dam/Kiruna); le Type VI, Mo, U, Th, Zr et ETR dans les pegmatites granitiques et migmatites associées aux granites hyperalumineux à métalumineux; et le Type VII, minéralisations en Th, U ± (Mo, ETR) dans les roches calco-silicatées minéralisées (skarns).

Un examen des résultats d'analyses lithogéochimiques effectuées sur des échantillons de granites et de syénites du Québec et compris dans la banque de données SIGEOM a permis d'identifier les granitoïdes dits « fertiles » associés aux minéralisations en métaux rares des types I, III, V et VI. Ces granitoïdes sont, pour la plupart, en association spatiale sinon génétique avec des pegmatites granitiques ou des zones minéralisées en métaux rares. Ainsi, les premières cibles visées dans la recherche de minéralisations en métaux rares, à l'intérieur de terrains peu connus, demeurent les plutons granitiques et syénitiques « fertiles », étant donné l'important volume qu'ils occupent relativement aux pegmatites. Une fois la fertilité des granitoïdes bien établie, ainsi que leur affinité géochimique (p. ex. : granite hyperalcalin « anorogénique »), la détermination de cibles d'exploration plus précises devient possible. Par exemple, dans la recherche de minéralisations de Type I, les pegmatites granitiques riches en Li, Ta, Be et Cs devraient être localisées en marge des granites hyperalumineux ou dans les roches encaissantes, dans un rayon dépassant rarement 1 à 2 km du contact. Par contre, les pegmatites et les aplites hyperalcalines minéralisées en Zr, Y et ETR (Type III) afflueront dans les zones apicales des granites ou syénites hyperalcalins.

Certaines recommandations découlant directement de nos travaux peuvent être formulées. Ce sont :

- 1- Le Granite du Vieux-Comptoir et les monzogranites satellites affleurant le long du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca deviennent des cibles prioritaires d'exploration étant donné : a) le peu de levés géologiques effectués sur ces granites; b) leur composition chimique favorable et leur mise en place tardive post-tectonique (2657-2618 Ma), correspondant à celles des monzogranites fertiles et des pegmatites granitiques minéralisées en Li, Be, Ta et Cs de la Province du Supérieur en Ontario et au Québec; c) la présence de faciès pegmatitiques potassiques à beryl + tourmaline + spodumène qui leur sont associés; d) l'existence de pegmatites externes minéralisées en beryl et en spodumène et e), le contexte tectonique favorable à la jonction d'une sous-province métasédimentaire (Opinaca) et volcanoplutonique/orthogneissique (La Grande).

D'autre part, la région avoisinant le contact de la Ceinture volcanosédimentaire de la Basse et Moyenne Eastmain

(CVBME) mérite également d'être explorée pour son potentiel en métaux rares. Ce contexte géologique favorable est appuyé par la découverte d'indices et de prospects de Li ± Be, certains plus anciens et importants (prospect Cyr-Lithium ; gîte n° 258) et d'autres plus récents décelés lors de la cartographie menée par Moukhsil *et al.* (2001) (indices Rose, gîte n° 255 et Lac Pivert, gîte n° 256).

2- Nous croyons que la ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans (CVFE) possède un bon potentiel pour la découverte de métaux rares. Dans les parties centrale et orientale de la CVFE, plusieurs minéralisations de lithium ont été trouvées (gîtes n° 244 à 248, annexe 1, dont le prospect Sirmac) malgré que l'exploration pour cette substance ait été très sporadique. Les quelques analyses de monzogranites effectuées ne couvrent que la partie orientale de la ceinture mais leurs résultats se comparent, à certains égards, à ceux du pluton fertile de Preissac-Lacorne. Une évaluation plus complète de la fertilité des masses granitiques affleurant à l'intérieur et en bordure de la ceinture, et en particulier dans les parties centrale et occidentale de la région, serait appropriée.

3- Plusieurs plutons felsiques de type A liées à la formation d'un rift continental pan-protérozoïque affleurent dans la Province de Rae. Le pluton hyperalcalin de Strange Lake représente la culmination du magmatisme anorogénique et forme probablement le prolongement occidental de la Province alcaline du Gardar, localisée dans le sud du Groenland (Upton et Emeleus, 1987). Ce pluton, exceptionnel par son enrichissement en Zr, Y, ETR et Nb, semble constituer une masse isolée noyée dans les gneiss aphébiens et autres intrusifs elsonniens. Cependant, si l'exemple de la Province du Gardar s'applique à la Province de Rae, on devrait retrouver plusieurs petits plutons hyperalcalins (saturés et sous-saturés en silice) alignés le long de grandes cassures. Cette région très isolée du Québec n'a fait l'objet que de cartographie très régionale. Le pluton de Strange Lake, découvert grâce à des anomalies en fluor dans les eaux de lacs et d'uranium dans les sédiments de fonds de lacs, affleure très peu (< 5 % selon notre expérience personnelle). De plus, il possède un diamètre d'à peine 6 km, ce qui le rend difficile à repérer lors de levés géologiques régionaux. Nous croyons donc qu'il existe une possibilité de découvrir d'autres petits plutons alcalins à l'intérieur de la Province de Rae.

4- Clark (2003) a récemment publié un document dans lequel il met en évidence les minéralisations en Fe, Cu, ETR, Y, P, F, Ag de type « Olympic Dam/Kiruna » (Type V) dans la région de Manitou-Wakeham. Combiné à notre étude géochimique, les résultats des travaux de Clark (2003) nous incitent à formuler les constatations suivantes : a) la région compte plusieurs suites de plutons felsiques de type A d'âge Mésoprotérozoïque (Complexe de Canatiche, suites felsiques d'Olomane et de Kataht), b) celles-ci manifestent un enrichissement moyen à intense en F, ETR, Zr et Y; et c) les suites d'Olomane et de Kataht coupent une séquence de roches métasédimentaires clastiques, une

association que l'on retrouve également dans les gisements d'Olympic Dam et de Bayan Obo. Les levés cartographiques de la région et l'exploration pour ce type de gisement n'ont débuté que dans les années 1990 (Perry et Raymond, 1996; Verpaelst *et al.*, 1999). À notre avis, le potentiel pour la découverte d'un gisement de classe mondiale dans cette région est parmi les plus élevés au Canada.

5- Bien que les complexes de carbonatite ne fassent pas partie de notre étude géochimique, il ne fait aucun doute que ceux-ci constituent des cibles de premier choix dans la recherche de minéralisations en Nb, Ta et ETR. L'exploitation passée, actuelle ou future des gisements de Niobec, de St-Lawrence Columbium et de Niocan témoigne de la pertinence d'explorer chacun des complexes identifiés au Québec. D'ailleurs, certains prospects de Nb, Ta ± ETR associés au complexes alcalins de Crevier (gîte n° 245) au lac St-Jean et ceux de Castillon (gîtes n° 94 et 95) et du lac Lemoyne (gîtes n° 100 et 101), dans la Fosse du Labrador, ont fait l'objet de prospections récentes (Wright *et al.*, 1997; Fournier, 2002 et les travaux d'Osisko Mining).

RÉFÉRENCES

- BAADSGAARD, H., 1993 - Geochronological studies in the Winnipeg River pegmatite population, southwestern Manitoba. Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada; Program and Abstracts, volume 18, page A5.
- BIRKETT, T.C. - SIMANDL, G.J., 1999 - Carbonatite-associated deposits: Magmatic, Replacement and residual. In : Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles (G.J. Simandl, Z.D. Hora and D.V. Lefebvre, editors). Industrial Minerals, British Columbia Ministry of Energy and Mines; volume 3, pages 133-133.
- BLAXAND, A.B. - CURTIS, J.W., 1977 - Chronology of the Red Wine alkaline province, central Labrador. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 14, pages 1940-1946.
- BOILY, M., 1992 - Exploration des métaux de haute technologie (Li, Be et Ta) dans les systèmes granitiques hyperalumineux de la région de Preissac-Lacorne. Ministère des Ressources naturelles, Québec; ET 91-08, 30 pages.
- BOILY, M., 1995 - La pétrogenèse du batholite de Preissac-Lacorne : Implications pour la métallogenèse des gisements de MHT. Ministère des Ressources naturelles, Québec; ET 95-05, 49 pages.
- BOILY, M., 1999 - Géochimie et tectonique des volcanites du segment de Frotet-Troilus et de la bande de la rivière Eastmain supérieure. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 99-11, 71 pages.
- BOILY, M. - PILOTE, P. - RALLON, H., 1989 - Métallogenèse des Métaux de Haute Technologie en Abitibi-Témiscamingue. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 89-29, 118 pages.
- BOILY, M. - WILLIAMS-JONES, A.E. - MULJA, T. - PILOTE, P., 1990 - Rare Element Granitic Pegmatites in the Abitibi Greenstone Belt: A Case Study of the Preissac-Lacorne

- Batholith. In : The Northwestern Quebec Polymetallic Belt (M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, G. Riverain and A. Simard, editors). Canadian Institute of Mining and Metallurgy; Spécial Volume 43, pages 299-311.
- BOILY, M. - WILLIAMS-JONES, A.E., 1994 - The role of magmatic and hydrothermal processes in the chemical evolution of the Strange Lake plutonic complex, Québec-Labrador. Contribution to Mineralogy and Petrology; volume 118, pages 33-47.
- BOILY, M. - DION, C., 2002 - Geochemistry of boninite-type volcanic rocks in the Frotet-Evans greenstone belt, Opatica subprovince, Québec: Implications for the evolution of Archaean greenstone belts. Precambrian Research; volume 115, pages 349-371.
- BREAKS, F.W. - SELWAY, J.B. - TINDLE, A.G., 2002 - Project Unit 02-003. Fertile and Peraluminous Granites and Related Rare-Element Pegmatite Mineralization, Superior Province, Northeastern Ontario. In : Summary of Field Work and Other Activities 2002, Ontario Geological Survey; Open File Report 6100, pages 6-1 to 6-42.
- BRISSON, H. - GOSELIN, C. - FALLARA, F. - GAULIN, R. - DION, D.-J., 1998 - Géologie de la région du lac Rocher (SNRC 32K/09). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 98-05, 22 pages.
- CERNY, P. - MEINTZER, R.E. - ANDERSON, R.J., 1985 - Extreme Fractionation in Rare-Element Granitic Pegmatites: Selected Examples of Data and Mechanisms. Canadian Mineralogist; volume 23, pages 381-421.
- CERNY, P. - MEINTZER, R.E., 1988 - Fertile granites in the Archean and Proterozoic fields of rare-element pegmatites: crustal environment, geochemistry, and petrogenetic relationships. In : Recent Advances in the Geology of Granite Related Mineral Deposits (R.P. Taylor and D.F. Strong., editors). Canadian Institute of Mining and Metallurgy; Special Volume 39, pages 170-207.
- CERNY, P., 1982 - Anatomy and Classification of Granitic Pegmatites. In : Granitic Pegmatites in Science and Industry (P. Cerny, editor). Mineralogical Association of Canada; Short Courses Handbook, volume 8, pages 405-461.
- CHEVÉ, S. - BROUILLETTE, P., 1988 - Reconnaissance géologique et métallogénique au NW de Schefferville - régions du lac Fontisson et de la rivière Goodwood-Territoire du Nouveau Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 88-36, 33 pages.
- CHEVÉ, S. - BROUILLETTE, P., 1989 - Reconnaissance géologique et métallogénique au NW de Schefferville - régions des lacs Weeks et Paillerault. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 90-12, 41 pages.
- CHEVÉ, S. - GOBEIL, A. - CLARK, T. - TOGOLA, N., 2001 - Géologie de la région de la rivière Baune et des lacs à l'Aigle et Canatiche (22P/02, 22P/03, 22P/04). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 2001-03, 58 pages.
- CLARK, T., 2002 - Métallogénie des métaux usuels et précieux des éléments radioactifs et des éléments des terres-rares, région de la Moyenne Côte-Nord. Dans: Géologie et ressources minérales de la partie est de la Province de Grenville. (T. Clark et D. Brisebois, coordonnateurs) Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec; DV 2002-03, pages 269-327.
- COLLINS, W.J. - BEAMS, S.D. - WHITE, A.J.R. - CHAPPELL, B.W., 1982 - Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. Contribution to Mineralogy and Petrology; volume 80, pages 189-200.
- CURRIE, K.L. - GITTINS, J., 1993 - Preliminary report on peralkaline silica-undersaturated rocks in the Kipawa syenite gneiss complex, western Québec. In : Commission Géologique du Canada; Current Research, Part E, paper 93-1E, pages 197-205.
- DANIS, D., 1991 - Géologie de la région du lac Raude (Territoire du Nouveau-Québec). Ministère des Ressources naturelles, Québec; ET 88-10, 72 pages.
- DOUCET, P. - STE-CROIX, L., 2001 - Potentiel en métaux rares dans les sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac. Ministère des Ressources naturelles, Québec; PRO 2001-08, 14 pages.
- DUCHARME, Y. - STEVENSON, R.K. - MACHADO, N., 1997 - Sm-Nd geochemistry and U-Pb geochronology of the Preissac and Lamotte leucogranites, Abitibi Subprovince. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 34, pages 1059-1071.
- FORTIN-BÉLANGER, M., 1977 - Le complexe annulaire à carbonatites de St-Honoré (P.Q., Canada) et sa minéralisation à niobium : étude pétrographique et géochimique. Thèse de Doctorat 3^e cycle, Université Claude Bernard, Lyon; 200 pages.
- FOURNIER, A., 2002 - Travaux d'échantillonnage et d'interprétation géologiques, propriété Crevier, automne 2001. Ministère des Ressources naturelles, Québec; GM 59422, 45 pages.
- GAUTHIER, A. - LANDRY, D., 1980 - SOQUEM. Rapport d'une campagne de sondages avec 5 journaux des trous. Ministère de l'Énergie et des Ressources; GM 36558.
- GOBEIL, A. - CHEVÉ, S. - CLARK, T. - CORRIVEAU, L. - NABIL, H. - TOGOLA, N. - ST-GERMAIN, P., 2000 - Géologie de la région des lacs Brézel et Cacaoni. Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 99-09, 49 pages.
- GOBEIL, A. - CHEVÉ, S. - CLARK, T. - CORRIVEAU, L. - PERREAU, S. - DION, D.-J. - NABIL, H. 1999 - Géologie de la région du lac Nipisso. Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 98-19, 60 pages.
- GOSELIN, C., 1996 - Synthèse géologique de la région de Frotet-Troilus. Ministère des Ressources naturelles, Québec; ET 96-02, 21 pages.
- GOSELIN, C. - BOILY, M. - BEAUMIER, M. - LEDUC, M. - DION, D.-J. - GARNEAU, C., 2003 - Minéralisations en métaux rares Y-Zr-Nb-Ta-Be-Li-ETR au Québec. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec; DV 2003-03, CDEROM.
- GOUTIER, J. - DION, C. - DAVID, J. - DION, D.-J., 1999a - Géologie de la région de la passe Shimusuminu et du lac Vion (33F/11, 33F/12). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 98-17, 41 pages.
- GOUTIER, J. - DION, C. - LAFRANCE, I. - DAVID, J. - PARENT, M. - DION, D.-J., 1999b - Géologie de la région des lacs Langelier et Threefold (SNRC 33F/03, 33F/04). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 98-18, 52 pages.
- GOUTIER, J. - DION, C. - OUELLET, M.-C. - DAVIS, D.W. - DAVID, J. - PARENT, M., 2002 - Géologie de la région du lac

- GUYER (33G/05, 33G/06 et 33G/11). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 2001-15, 53 pages.
- GOW, P.A. - WALL, V.J. - OLIVER, N.H.S. - VALENTA, R.K., 1994 - Proterozoic iron oxide (Cu-Au-REE) deposits: further evidence of hydrothermal origins. *Geology*; volume 89, pages 1697-1721.
- HÉBERT, Y., 1995 - Les gîtes de terres rares et éléments associés dans les districts de Montréal-Laurentides, Estrie-Laurentides et Côte-Nord - Nouveau-Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 94-17, 134 pages.
- HILL, J.D. - THOMAS, A., 1983 - Correlation of two helikian peralkaline granite-volcanic centres in central Labrador. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 20, pages 753-763.
- JAHNS, R.H., 1982 - Internal Evolution of granitic pegmatites. In : *Granitic Pegmatites in Science and Industry* (P. Cerny editor). Mineralogical Association of Canada; Short Course Handbook, volume 8, pages 293-346.
- KARPOV, B.S., 1957 - The Quebec Lithium deposit, Barraute, Abitibi, Québec. Internal report of the Québec Lithium Mining Company; 26 pages.
- LABBÉ, J.-Y. - LACOSTE, P. - MADORE, L. - LARBI, Y. - SHARMA, K.N.M., 2003 - Minéralisations en terres-rares dans les roches carbonatées de la ceinture de Kimber, région du Grand-Nord. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec; ET 2002-08, 23 pages.
- LACOSTE, P., 2000 - Géologie de la région de Ferme-Neuve (SNRC 31J11). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 2000-01, 34 pages.
- LAMOTHE, D. - LECLAIR, A. - CHOINIÈRE, J., 1998 - Géologie de la région du lac Vallard. Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 98-13, 32 pages.
- LAMOTHE, D. - THÉRIAULT, R. - LECLAIR, A., 2000 - Géologie de la région du lac Nitchequon (23E). Ministère des Ressources naturelles, Québec ; RG 99-14, 40 pages.
- LARBI, Y. - STEVENSON, R. - BREAKS, F. - MACHADO, N. - GARIÉPY, C., 1999 - Age and isotopic composition of late Archean leucogranites: implications for continental collision in the western Superior Province. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 36, pages 495-510.
- LECLAIR, A. - LAMOTHE, D. - CHOINIÈRE, J. - PARENT, M., 1998 - Géologie de la région du lac Bermen (23F). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 97-11, 40 pages.
- LEFEBVRE, D.V., 1995 - Iron Oxide Breccias and Veins P-Cu-Au-Ag-U in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles. In : Volume 1-Metallics and Coal (D.V. Lefebvre and G.E. Ray editors). British Columbia Ministry of Employment and Investment; Open File 1995-20, pages 33-36.
- LEVSON, V.M., 1995a - Marine Placers in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles. In : Volume 1-Metallics and Coal (D.V. Lefebvre and G.E. Ray, editors). British Columbia Ministry of Employment and Investment; Open File 1995-20, pages 29-31.
- LEVSON, V.M., 1995b - Surficial Placers in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles. In : Volume 1-Metallics and Coal (D.V. Lefebvre and G.E. Ray, editors). British Columbia Ministry of Employment and Investment; Open File 1995-20, pages 21-23.
- MADORE, L. - VERPAELST, P. - DION, D.-J. - CHOINIÈRE, J. - HOCQ, M. - MARQUIS, R. - LEFEBVRE, D. - DAVID, J., 1997 - Géologie de la région du lac Briend (12N/05). Ministère des Ressources naturelles, Québec ; RG 96-05, 30 pages.
- MADORE, L. - VERPAELST, P. - BRISEBOIS, D. - HOCQ, M. - DION, D.-J. - LAVALLEE, G. - CHOINIÈRE, J., 1999 - Géologie de la région du lac Allard (12L/11). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 98-01, 37 pages.
- MANNING, D.A.C. - PICHAVANT, M., 1985 - Volatiles and their bearing on the behaviour of metals in granitic systems. In : *Granite-related mineral deposits-geology, petrogenesis and tectonic settings*. Canadian Institute of Mining and Metallurgy; Conference Abstracts, pages 184-187.
- MILLER, R.R., 1986 - Geology of the Strange Lake alkalic complex and the associated Zr-Y-Nb-Be-REE mineralization. In : *Current Research, Newfoundland Department of Mines and Energy, Mineral Development Division*; Report 86-1, pages 11-19.
- MILLER, R.R., 1990 - The Strange Lake pegmatite-aplite-hosted rare-metal deposit, Labrador. *Newfoundland Department of Mines and Energy, Geological Survey Branch*, Report 90-1, pages 171-172.
- MOUKHSIL, A., 2000 - Géologie de la région des lacs Pivert, Anatacau, Kauputauchechun et Wapamisk (SNRC 33C/01, 33C/02, 33C/07 et 33C/08). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 2000-04, 47 pages.
- MOUKHSIL, A. - LEGAULT, M. - BOILY, M. - DOYON, J. - SAWYER, E. - DAVIS, D.W., 2003 - Synthèse géologique et métallogénique de la ceinture de roches vertes de la Moyenne et de la Basse-Eastmain, Baie-James, Québec. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec; ET 2002-06, 55 pages.
- MOUKHSIL, A. - VOICU, G. - DION, C. - DAVID, J. - DAVIS, D.W. - PARENT, P., 2001 - Géologie de la Basse-Eastmain centrale (33C/03, 33C/04, 33C/05 et 33C/06). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 2001-08, 52 pages.
- MULJA, T. - WILLIAMS-JONES, A.E. - WOOD, S.A. - BOILY, M., 1995 - The rare-element enriched monzogranite-pegmatite-quartz vein system in the Preissac-Lacorne batholith, Québec. II. Geochemistry and petrogenesis. *Canadian Mineralogist*; volume 33, pages 817-822.
- NANTEL, S. - PINTSON, H., 2002 - Géologie de la région du lac Dieppe (31O/03). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 2001-16, 36 pages.
- NYSTROM, J.O. - HENRIQUEZ, F., 1994 - Magmatic features of iron ore of the Kiruna type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetic geochemistry. *Economic Geology*; volume 89, pages 820-839.
- PERREAULT, S. - MOORHEAD, J. - HOULE, P. - DOUCET, P. - COTE, S. - MOUKHSIL, A. - LACHANCE, S. - BELLEMARE, Y. - JACOB, H. L. - BUTEAU, P. - CHOINIÈRE, J., 2003 - Rapport sur les activités d'exploration minière au Québec 2002. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec; DV 2003-01, 123 pages.
- PERRY, C. - RAYMOND, D., 1996 - Le projet Nipissis de SOQUEM-IOC : un nouveau type de minéralisation cuprifère sur la Côte-Nord. Dans : *Vers de nouvelles découvertes. Séminaire d'information sur la recherche géologique, Programmes et résumés*. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DV-96-02, page 16.

- PILLET, D., 1989 - Le granite peralcalin du lac Brisson, Labrador central (Province du Québec, Canada): pétrologie, géochronologie et relations avec les minéralisations internes à Zr-Y-Nb. Thèse de Doctorat 3^e cycle, Université Claude Bernard-Lyon I; 205 pages.
- PINCKSTON, D.R. - SMITH, G.W., 1991 - Mineralogy and petrogenesis of the lake zone, Thor Lake rare metals deposit, NWT., Canada. Geological Survey of Canada, Economic Geology Series; volume 1991-5, pages 12-14.
- RAY, G.E. - LEFEBVRE, G.K., 2000 - A synopsis of Iron Oxide ± Cu ± Au ± P ± REE Deposits of the Candelaria-Kiruna-Olympic Dam Family. British Columbia Geological Survey; Geological Fieldwork 1999, paper 2000-1, pages 267-271.
- REMICK, J.H., 1976 - Wemindji area (Municipalité de la Baie-James)-Preliminary Report. Ministère des Ressources naturelles, Québec; DPV 446, 57 pages.
- RONDOT, J., 1972 - Région du lac Regnault, Territoire d'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG-149, 54 pages.
- SAWYER, E.W. - BENN, K., 1993 - Structure of high-grade Opatica Belt and adjacent low-grade Abitibi Subprovince, Canada: an Archean mountain front. Journal of Structural Geology; volume 15, pages 1443-1458.
- SHARMA, K.N.M., 1996 - Légende générale de la carte géologique - édition revue et augmentée. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 96-28.
- SIMARD, A., 1987 - Stratigraphie et volcanisme dans la partie orientale de la bande volcanosédimentaire archéenne de Frotet-Evans. Ministère des Ressources naturelles; Québec; MB 87-17, 300 pages.
- TANER, M.F., 1992 - Reconnaissance géologique de la région du lac Juillet, Territoire du Nouveau-Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 91-19, 132 pages.
- TRUEMAN, D.L. - ERNY, P., 1982 - Exploration for Rare-Element Granitic Permatites. In : Granitic Pegmatites I Science and Industry (P.Cerny, editor). Mineralogical Association of Canada; Short Courses Handbook, volume 8, pages 463-493.
- UPTON, B.G.J. - EMELEUS, C.H., 1987 - Mid-proterozoic alkaline magmatism in southern Greenland: the Gardar province. In : Alkaline igneous rocks (J.G. Fitton and B.G.J. Upton, editors). Geological Society of London Special Publication; volume 30, pages 449-471.
- VALLÉE, M. - DUBUC, F., 1970 - The St-Honoré carbonatite complex, Québec. Canadian institute of Mining and Metallurgy; volume 73, pages 346-356.
- VERPAELST, P. - MADORE, L. - BRISSEBOIS, D. - HOCQ, M. - DION, D.-J. - LAVALLÉE, G. - CHOINIÈRE, J., 1999 - Géologie des régions du lac Jérôme, du lac Sanson et de la Petite-Rivière de l'Abbé Huard (12L/13, 12L/14, 12M/03). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 98-02, 38 pages.
- WRIGHT, W.R. - MARIANO, A. - HAGNI, R.D., 1997 - Pyrochlore, mineralization and glimmerite formation in the Eldor (Lake LeMoigne) carbonatite complex, Labrador Trough, Quebec, Canada. Canadian Institute of Mining and Metallurgy; Special Volume number 50, pages 205-213.

ANNEXE 1 - Gîtes mentionnés dans le présent rapport et le DV 2003-03 dont la numérotation est mise en correspondance avec celle de la banque de données COGITE. (* = analyse chimique avec teneurs anomales en métaux rares; X = nouvel indice sans numéro COGITE).

Présent rapport et DV 2003-03	NOM du GÎTE	Numéro COGITE	Présent rapport et DV 2003-03	NOM du GÎTE	Numéro COGITE
1	Kegashka	12K03-02	184	Zone de la Riv. Kipawa	31L16-06
2	Natashquan-Sud	12K04-05	185	Zones PB & PS	31L16-2000
3	Lac Couillard	12K07-2000	186	Rapides Turner	31L16-04
4	Lac Couillard (Zone 3a)	12K07-1000	188	Vézina	31M10-05
10	Baie Quetachou	12L07-008	189	Île du Refuge	31M10-1000
12	Lac Turgeon (Zone 1)	12L07-1014	190	Claims Legault	31M10-04
13	Lac Petit	12L07-004	191	Lac Simard-Nord	31M10-03
18	Lac Turgeon	12L07-001	192	Dallaire	31M10-2000
27	Indice du Village Saint-Augustin	12O02-1001	193	Lac Simard	31M10-01
30	Wares	x	195	Lac Fourcet	31O06-03
31	Castor 300	21L07-18	196	Riv. Trenche Est	32A07-08
32	St-Charles	21L07-16	197	Lac Moore	32B04-02
33	Du Bloc	21L07-17	198	Chubb	32C05-48
48	Mine Niobec (Saint-Honoré)	22D11-07	199	Lac Baillarge-Est	32C05-35
89	1986016233*	x	200	Baillarge-Ouest	x
92	1983008599*	x	201	Baillarge-Nord	32C05-37
93	Lac Brisson	24A08-01	202	Baillarge-Sud	32C05-38
95	1986025449*	x	203	Valor Lithium	32C05-16
96	Lac Savigny-NE	24C07-01	204	Massberyl (Morono)	32C05-15
97	Lac Bishop	24C08-1008	205	Vallée Lithium	32C05-22
98	1990030908*	x	206	Buffalo Canadian-Abitibi	x
99	1990030913*	x	207	Mine Québec Lithium	32C05-21
100	1990030902*	x	208	La Motte-Est	32C05-13
101	Erlanson No 2	24C16-04	209	Augustus Exploration	32C05-19
102	Erlanson No 1	24C16-03	210	Canadian Lithium	32C05-17
119	Oka Columbium	31G08-02	211	Martin-McNeely	32C05-18
120	St-Lawrence Co.(Bloc D)	31G08-03	212	New Athona-2	32C05-01
121	Mine St-Lawrence Colombium	31G09-18	215	Authier	32D08-38
122	Zone Bond	31G09-14	216	La Motte VI-2	32D08-36
123	Zone Manny	31G09-15	217	Aldous	32D08-20
124	Bouscadillac (Zone A)	31G09-10	218	Lac La Motte	32D08-45
125	Advance	31G09-11	219	Duval-Lithium	32D08-22
126	Manoka	31G09-17	220	La Motte VII-47	32D08-25
127	St-André-2	31G09-21	221	Durmoulon	32D08-24
128	Lac Meach	31G12-92	222	Height of Land	32D08-16
134	1989022827*	x	223	Gaitwin	32D08-27
135	1989022809*	x	224	Lacorne Lithium	32D08-28
136	1989022811*	x	225	Lavandin-2	32D08-19
137	1984091409*	x	226	Tantalum	32D08-05
138	1986021286*	x	227	Boily-1	32D08-2000
139	Second Lac Roberge	31I15-008	228	Quebec Beryllium	32D08-06
142	Alleyn	x	229	Lac des Hauteurs	32D08-03
143	Lac des 31 Milles	x	230	International Lithium	32D08-09
144	Rapide-Tête-des-Six	x	231	Bouvier	32D08-08
154	Ragnar	x	241	Carbonatite du lac Shortt	x
155	Black Smoke Hill	x	242	Crevier	32H07-01
158	Rivière Petawawa	31J13-001	244	Moléon-Lithium	32J10-02
177	Gualillo	31K08-1004	245	Sirmac	32J11-03
183	Lac Sheffield-2	31L15-15	246	Lac Clapier-Nord	32J11-01

ANNEXE 1 - suite

Présent rapport et DV 2003-03	NOM du GÎTE	Numéro COGITE	Présent rapport et DV 2003-03	NOM du GÎTE	Numéro COGITE
247	Lac Sirmac-Ouest	32J12-08	257	Cyr-2	x
248	Lac Gertrude-Sud	32J13-05	258	Cyr-Lithium	33C03-01
249	Lac Marcaut	32N04-02	281	Morrice-Carrier	x
250	Lac des Montagnes	32O12-04	285	Vernot-Dubé-1	x
255	Rose	x	287	Vernot-Larocque-18	x
256	Lac Pivert	33C01-05	289	Vernot-Quirion-4	x

ANNEXE 2 - Liste des numéros d'identification uniques des analyses lithogéo-chimiques d'intrusions granitiques et syénitiques utilisées dans les diagrammes des figures 11 à 18. (* voir Sharma, 1996 pour les codes lithologiques)

N° d'identification	SNRC	Lithologie*	N° d'identification	SNRC	Lithologie*
Région de Mont-Laurier, Province de Grenville,					
1996009827	31J10	I1B	1986016226	13L13	I1B
1996009830	31J10	I1B	1986023687	13L13	I1B
1996009882	31J10	I1B	1986020767	13M05	I1B
1997013317	31J11	I1B	1986020770	13M05	I1B
1997013254	31J11	I1B	1986016984	13M06	I1B
1997013274	31J11	I1M	1984020810	13M13	I1B
1998018971	31J11	I1M	1984020810	13M13	I1B
1998017085	31J14	I1M	1986020765	23P08	I1B
1998017083	31J14	I1M	1983008597	24A01	I1B
1999021672	31J15	I1M	1983008599	24A08	I1A
1991001369	31K08	I1G			
2000030408	31K08	I1M			
2000030415	31O03	I1M			
2000030417	31O03	I1M			
2000030414	31O03	I1M			
Région de Manitou Wakeham, Côte-Nord (Complexes d'Oломане и Kataht)					
1992007531	12L07	I1B	1997013711	23C11	I1G
1992007529	12L08	I1B	1997013694	23C16	I1B
1997013386	12L11	I1B	1997013695	23C16	I1B
1997013357	12L11	I1B	1997013759	23C16	I1M
1997013353	12L11	I1B	1998019974	23E06	I1M
1997013354	12L11	I1B	1998021909	23E06	I1A
1997013351	12L11	I1B	1998021903	23E07	I1M
1997013352	12L11	I1B	1998017103	23E15	I1A
1997013356	12L11	I1B	1998017104	23E15	I1A
1997013380	12L11	I1B	1998017107	23E16	I1A
1997013377	12L11	I1B	1996012294	23F01	I1M
1997013378	12L11	I1B	1996012315	23F02	I1M
1997013384	12L14	I1B	1996012312	23F03	I1A
1997013448	12L14	I1B	1996012346	23F04	I1B
1996009642	12N03	I1B			
1996009684	12N03	I1B			
1996009608	12N03	I1B			
1996009629	12N03	I1B			
1996008568	12N03	I1B			
1996009635	12N04	I1B			
1995006517	12N05	I1F			
1995006537	12N05	I1B			
1995006510	12N05	I1B			
1995006532	12N05	I1B	1986023693	13M05	I2D
1995006522	12N05	I1B	1986016963	13M05	I2C
1995006635	12N05	I1G	1986020758	13M05	I2C
1995006632	12N05	I1B	1986020761	13M05	I2C
1995006535	12N06	I1B	1986016974	13M06	I2C
1995006620	12N06	I1B	1986020771	13M06	I2C
1995006629	12N06	I1B	1986020774	13M06	I2C
1995006569	12N06	I1B	1986016233	23I09	I2D
1995006586	12N06	I1B	1986016232	23I16	I2D

ANNEXE 2 - Suite

N° d'identification	SNRC	TYPE	N° d'identification	SNRC	TYPE
Région de la Baie-James, Granite du Vieux-Comptoir, Sous-province de La Grande			Région de Manitou-Wakeham, Côte-Nord (Complexes de Canatiche et de Manitou)		
1998028930	33C14	I1B	1998016681	22I12	I1B
1998028934	33F02	I1B	1998016623	22I12	I1B
1998028912	33F03	I1B	1996012916	22I13	I1B
1998028913	33F03	I1B	1996012156	22I13	I1B
1998028916	33E01	I1B	1996012904	22I14	I1B
Région de la Baie-James, Ceinture volcanosédimentaire de la Basse et Moyenne Eastmain			1997015594	22P02	I1B
2001038218	33C01	I1G	1997016984	22P02	I1G
2000009774	33C03	I1G	1997015323	22P03	I1B
1999023333	33C07	I1M	1997016981	22P03	I1B
Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans, Sous-province d'Opatica			1997015457	22P03	I1B
1981006546	32J10	I1B	1998017830	22P03	I1B
1981006547	32J10	I1B	1998017807	22P03	I1B
1981006548	32J10	I1B	1997016982	22P03	I1B
1981006549	32J10	I1B	1997015326	22P03	I1B
1981006553	32J10	I1B			
1981006554	32J10	I1F			
1981006832	32J10	I1B			
1981006560	32J10	I1A			
1981006561	32J10	I1B			
1981006562	32J10	I1B			
1981006543	32J10	I1B			
1981006544	32J10	I1F			

Résumé

Le présent rapport résulte d'une compilation des principaux indices, prospects et gisements de métaux rares de la province de Québec. Il présente les principales utilisations de ces métaux dans les produits industriels et de consommation, particulièrement dans les secteurs de haute technologie tels que ceux des semi-conducteurs, des supra-conducteurs, des électro-aimants, des céramiques et des alliages.

Une classification génétique des principaux types de minéralisations en métaux rares du Québec a été établie. Celle-ci comprend : le Type I - minéralisations en Li, Be, Ta, Cs, Rb, \pm Mo, \pm Nb, \pm F dans les pegmatites granitiques associées à des complexes plutoniques granitiques peralumineux; le Type II - minéralisations en Nb, Ta, ETR et P associées à des complexes de carbonatite; le Type III - minéralisations en ETR, Y, Zr, F, \pm Be, \pm Nb, \pm Th associées à des pegmatites internes injectées dans les intrusifs granitiques et syénitiques hypercalcins; le Type IV - minéralisations en Fe, Ti, \pm Zr, \pm ETR associés à des placers ou à des paléoplacers; le Type V - minéralisations en oxyde de fer avec Cu, \pm Au, \pm U, \pm P, \pm ETR (Olympic Dam / Kiruna); le Type VI - minéralisations en Mo, U, Th, Zr et ETR dans les pegmatites granitiques et les migmatites associées aux granites hyperalumineux à métalumineux; et le Type VII - minéralisations en Th, U, \pm Mo, \pm ETR dans les roches calcosilicatées minéralisées (skarns). Une liste des principaux gisements de classe mondiale associés à chaque type est présentée. Enfin, les sites minéralisés du Québec sont décrits en accordant une plus grande attention aux prospects et gisements les plus importants. Quelques critères d'exploration sont proposés.

Des résultats d'analyses effectuées sur des granites et des syénites du Québec ont été extraits de la banque de données SIGEOM. Leur examen a permis d'identifier plusieurs intrusifs fertiles associés à des zones minéralisées en métaux rares ou susceptibles d'en contenir. Ces granitoïdes se regroupent dans six grandes régions du Québec. Les plus importantes, au nombre de quatre, sont : 1) les granites intraplaques grenvilliens de la région de Manitou-Wakeham associés à des minéralisations en oxyde de Fe et en Cu, ETR, Y, P, F, Ag (Type V; Olympic Dam / Kiruna); 2) les plutons granitiques et syénitiques anorogéniques de la Province de Rae reliées à la formation d'un rift pan-continentale d'âge Protérozoïque et susceptibles de contenir de la minéralisation en ETR, Y, Zr (Type III); 3) les monzogranites et les pegmatites granitiques de la région de la Baie James (Granite du Vieux-Comptoir, Ceinture de la Basse et Moyenne Eastmain) minéralisés en Li, Be, Ta (Type I) et 4) les intrusifs monzogranitiques et les pegmatites granitiques de la Ceinture volcanosédimentaire de Frotet-Evans minéralisés en Li, Be (Type I).