



RAPPORT FINAL

2004

Sous-projet SC3

Atlas et stratégies de reconnaissance de systèmes  
hydrothermaux métamorphisés en terrains gneissiques  
felsiques

Par

Louise Corriveau\* et Anne-Laure Bonnet\*\*

\* Ressources naturelles Canada, Commission géologique du Canada, 880 Chemin Ste-Foy, suite 840,  
Québec, QC G1S 2L2 ; lcorrive@nrcan.gc.ca

\*\* INRS-ETE, C.P. 3700, Ste-Foy, QC G1V4C7; bonnetal@inrs-ete.quebec.ca

Soumis à l'administration de DIVEX  
avril, 2004 – Montréal

## RÉSUMÉ

La recherche de gîtes métallifères métamorphisés au sein de terrains gneissiques protérozoïques et archéens est une tendance mondiale émergente dont le succès dépend fortement de la disponibilité d'une infrastructure géoscientifique de qualité et de stratégies et d'outils de terrain adaptés à ces environnements. Or sur de vastes territoires du Québec, des cibles de premier ordre pour l'exploration soient les ceintures volcaniques, volcano-sédimentaires et volcano-plutoniques et leurs systèmes hydrothermaux demeurent encore aujourd'hui non reconnus car cartographiés comme des unités de gneiss non différenciés ou des métasédiments.

Le projet DIVEX-SC3 élabore des stratégies d'exploration et de cartographie pour reconnaître les systèmes hydrothermaux métamorphisés aux faciès amphibolite supérieur et granulite et leurs environnements volcaniques dans les terrains gneissiques. Ces stratégies, et les clés d'observation qui les accompagnent, s'appuient sur les modèles métallogéniques en vigueur, la gîtologie de camps miniers au sein de terrains métamorphiques, l'analyse de terrain de haut-grade métamorphique et la pétrologie métamorphique. Elles sont illustrées d'exemples de gîtes connus et d'autres provenant de systèmes hydrothermaux cuprifères d'envergure de la Province de Grenville. Les concepts scientifiques nécessaires pour élaborer et utiliser ces stratégies sont synthétisés dans un principal livrable, un document d'une centaine de page intitulé *Atlas et stratégies de reconnaissance de systèmes hydrothermaux métamorphisés en terrains gneissiques*. Ce rapport de progrès présente ce que sera ce livrable et les démarches scientifiques qui ont dû être développées pour le produire. Bien que fondamentalement scientifiques, les clés d'observation et d'interprétation et les décrypteurs 'environnements non métamorphisés versus environnements métamorphisés' que procurent le guide ont été simplifiés au possible. Ils sont aussi amplement illustrés à l'aide d'un atlas axé sur les éléments qui peuvent être observés au niveau de l'affleurement même. L'emphase mise sur les roches d'aspect diagnostique facilite l'analyse de terrain tant par des géologues et prospecteurs chevronnés que par ceux qui débutent dans ces domaines. Des articles scientifiques sont cités comme références complémentaires et permettront aux spécialistes de poursuivre plus en profondeur leurs propres recherches.

Ce guide et atlas d'analyse de terrain représente une contribution scientifique du projet DIVEX et de l'INRS-ETE à l'acquisition et la diffusion de connaissances sur les environnements métallifères en terrains métamorphiques. Il a été réalisé en partenariat avec la Commission géologique du Canada (RNCAN) dans le cadre du projet sur le Grenville oriental de l'Initiative géoscientifique ciblée et le projet de Synthèse minérale. En termes sociétaux, diminuer le risque à l'exploration dans les terrains gneissiques (marge du Bouclier canadien, de la Laurentie et du craton ancestral nord-américain) c'est aussi offrir de nouveaux axes de développement aux communautés isolées nordiques, côtières

et autochtones et aux régions semi-isolées desservies par des infrastructures routières. Qui sait, DIVEX et sa composante SC3 représenteront peut-être un jalon dans le développement durable de ces communautés.

## 1. PROBLÉMATIQUE

Les grands camps miniers sur le territoire québécois, tout comme pour le Bouclier canadien, sont largement restreints aux ceintures de roches vertes archéennes peu ou non métamorphisées. Cette distribution contraste avec la quasi-absence de gisements et de mines dans les terrains de haut-grade métamorphique (faciès amphibolite supérieur et granulite) et plutoniques malgré le fait que ces derniers constituent la majeure partie du territoire (Lydon et al., 2003). À l'échelle mondiale, les terrains protérozoïques de haut-grade métamorphique et leurs suites plutoniques granitiques sont reconnus comme des terrains fertiles en gîtes minéraux (Tab. 1 ; p. ex., Broken Hill, Olympic Dam, Spry et Wonder, 1989; Skirrow et al., 2002). Quant aux extensions fortement métamorphisées des ceintures de roches vertes, elles renferment aussi des gîtes métallifères importants dont le gîte d'or de Challenger en Australie (Tomkins et Mavrogenes, 2002, 2003). Dans les terrains de haut-grade métamorphique de l'est du Bouclier canadien, aucun gisement d'or et de cuivre d'origine hydrothermale comparable à ceux des ceintures de roches vertes de l'Abitibi n'a encore été trouvé malgré de vastes programmes d'exploration dans les années 70. L'insuccès de ces campagnes a non seulement semé un doute concernant la fertilité des terrains de haut-grade métamorphique canadiens mais a laissé des stigmates qui freinent, depuis, les efforts de diversification de l'exploration minérale en dehors des ceintures de roches vertes. Pourquoi cet insuccès? Les connaissances scientifiques actuelles procurent certaines pistes de réponses:

- manque de connaissances scientifiques sur la nature des gneiss explorés,
- nécessité d'adapter aux terrains gneissiques les stratégies et outils de terrains développés pour les ceintures de roches vertes,
- manque d'exemples de gîtes typiques d'arc continental de type Cu-Au plutôt que Cu-Pb-Zn,
- absence de minéraux indicateurs diagnostiques pour les systèmes pauvres en Zn et en Mn (voir l'assise du projet Divex sur le rutile).

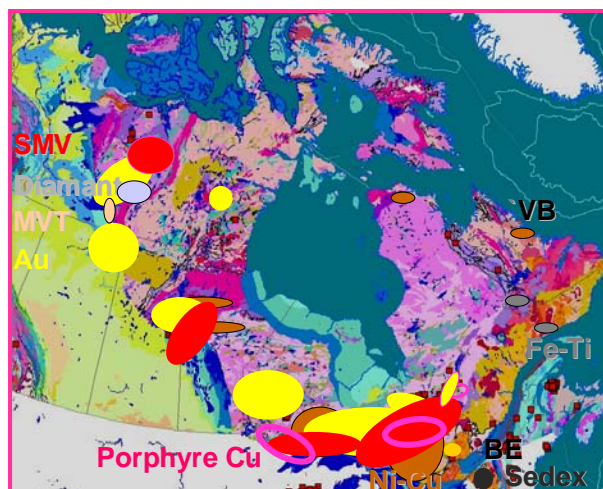


Figure 1. Distribution des gîtes minéraux dans le bouclier canadien (cf. Lydon et al., 2003). VB: Voisy Bay; BE: Balmat-Edwards; Fe-Ti: mine de fer de Wabush et de fer-titane de Lac Tio.

Bien que la couverture géologique dépasse l'échelle du 1: 250 000 dans plusieurs terrains gneissiques de l'est du bouclier canadien, les ceintures volcaniques métamorphisées où prédominent les roches felsiques sont encore peu reconnues laissant de vastes segments orogéniques du bouclier sans la moindre trace de volcanisme. Or des levés récents attestent de la présence de ceintures volcano-plutoniques fertiles dans les terrains gneissiques de la Province de Grenville (p. ex., Corriveau et al., 1996, 2003; Blein et al., 2002, 2004; Clark, 2003; Chartrand et al., 2003; Gobeil et al., 2003). Par analogie avec des environnements similaires au Brésil, en Afrique du Sud et en Australie, le potentiel pour des gîtes d'origine hydrothermale métamorphisées dans ce type de terrains gneissiques est réel (p. ex. Gower et al., 1995; Clark, 2003) même si l'application de modèles métallogéniques dits conventionnels y semble encore aujourd'hui parfois difficile (Tomkins et Mavrogenes, 2002, 2003). Collectivement, nous excellons dans la gîtologie des altérations hydrothermales métamorphisées, c.-à-d. dans celles qui entourent les mines et prospects majeurs (e.g., Froese, 1984, 1997; Theart et al., 1989; Zaleski et al., 1991; Barham et Froese, 1997). Par contre, peu de systèmes hydrothermaux sont trouvés en terrains vierges lors de levés géologiques au delà du faciès moyen des amphibolites (Allard, 1978). Lorsqu'ils le sont, le diagnostic repose souvent sur la présence de schistes à cordiérite-orthoamphibole (p. ex., Thompson et al., 1995) reconnus comme marqueurs des altérations magnésiennes (Froese, 1985, 1998; Schreurs et Westra,

1985) et les équivalents de schistes à chlorite (Trägårdh, 1991).

## 2. LE GUIDE ET ATLAS

Pour contribuer à valoriser les terrains de haut-grade métamorphique et y diminuer le risque à l'exploration, le guide DIVEX-SC3 *Atlas et stratégies de reconnaissance de systèmes hydrothermaux métamorphisés en terrains gneissiques felsiques* documente et illustre une série de vecteurs de cartographie et d'exploration axés sur la reconnaissance de zones d'altérations hydrothermales et d'exhalites métamorphisées aux faciès amphibolite supérieur et granulite au sein de terrains gneissiques à prédominance felsique. Ce rapport de progrès du projet DIVEX SC3 en présente quelques éléments.

Les vecteurs, présentés sous forme de stratégies de cartographie géologique et de clés d'observation, s'appuient sur les modèles métallogéniques en vigueur, la gîtologie de camps miniers au sein de terrains métamorphiques, l'analyse de terrain et la pétrologie métamorphique (Tableau 1). Ils sont illustrés d'exemples de gîtes connus et d'autres provenant de systèmes hydrothermaux cuprifères d'envergure de la Province de Grenville. Le format du guide a été élaboré en tenant compte de plusieurs guides antérieurs dont ceux de Gauthier (1993), McPhie et al. (1993), Hedenquist et al. (1996) et Eilu et al. (1999) ainsi que sur divers outils utilisés pour les altérations hydrothermales peu métamorphisées (p. ex., Barrett et MacLean, 1994) ou métamorphisées jusqu'au faciès amphibolite moyen (p. ex. Allard et Carpenter, 1989; Galley, 1995).

L'emphase du guide porte sur les types de gîtes dont les enveloppes d'altérations hydrothermales peuvent atteindre des puissances hectométriques à kilométriques susceptibles d'être identifiées sur le terrain lorsque déformées et métamorphisées à haut-grade. Ces gîtes sont :

- (i) les porphyres à Cu-Mo associés à des intrusions felsiques,
- (ii) les gîtes épithermaux associés à du volcanisme felsique aérien et
- (iii) les sulfures massifs volcanogènes (SMV) associés à du volcanisme felsique sous-marin.

D'autres gîtes peuvent conduire à la formation de zones d'altérations très importantes tels que les gîtes d'oxydes de fer à Cu-Au-U (Skirrow et al., 2002). Pour simplifier le guide, ces gîtes ont été omis bien qu'il en existe quelques exemples métamorphisés tels que le gisement

d'Osborne en Australie (p. ex. Gauthier et al., 2001) et certains gîtes du New-Jersey (R. Volkert, communication personnelle, 2004). Les éléments de la démarche illustrée dans ce guide peuvent toutefois être adaptés à la recherche de n'importe quels gîtes métamorphosés comportant des zones d'altérations hydrothermales. Ils peuvent aussi servir pour les gîtes d'oxydes de fer à Cu-Au/U-REE non métamorphosés où les altérations sodi-calciques et potassiques forment des roches qui s'apparentent à celles décrites dans ce guide.

## 2.1 Prémisses et concepts

Lorsque métamorphosées aux faciès amphibolite supérieur et granulite, les roches dérivant d'un protolite altéré ou précipité par hydrothermalisme ont un aspect significativement différent de leurs équivalents en terrains de bas grade métamorphique (faciès des schistes verts à amphibolite moyen), traditionnellement explorés (Theart et al., 1989; Williams, 1990; Bernier et McLean, 1993; Conway, 1994). De ce fait, le métamorphisme transforme des gîtes conventionnels en gîtes non conventionnels lorsque comparés à ceux des camps miniers dans les ceintures de roches vertes (p. ex. Tomkins et Mavrogenes, 2002, 2003). Pour être efficaces, les techniques et stratégies d'exploration et d'analyse de contextes métallogéniques doivent donc être adaptées à la spécificité des terrains de haut-grade métamorphique tout comme les techniques d'analyses pétrotectonique axées sur la géologie de terrain ont été affinées pour ce type de terrains au cours des dernières décennies (p. ex. Davidson, 1984; Passchier et al., 1990; Hanmer et Passchier, 1991).

Certains préceptes d'exploration doivent aussi être réexaminés à la lumière des percées scientifiques. Par le passé, les stratégies d'exploration de gîtes métallifères en terrains protérozoïques ont largement considéré stériles les vastes étendues de gneiss non différenciés du fait:

- (i) de la monotonie apparente des gneiss qui les composent,
- (ii) de la difficulté d'identifier leurs protolites,
- (iii) des changements importants dans l'apparence des gîtes recherchés reliés au fort degré de déformation et de métamorphisme et

- (iv) des théories qui prônent le lessivage des cations et des métaux d'intérêt économique par les processus de déshydratation des roches lors du métamorphisme régional (p. ex. Weaver et Tarney, 1985).

Les études réalisées au cours des dernières décennies démontrent que les systèmes géochimiques des roches demeurent robustes malgré un métamorphisme intense et peuvent servir à caractériser la nature des protolites des gneiss (p. ex. Sawyer, 1986; Sheepers et Cornell, 1990; McLelland et al., 1991; Zaleski et Peterson, 1995; Spry et al., 2000; Blein et al., 2002; Slagstad et al., 2004). Elles permettent aussi de caractériser les zones d'altération hydrothermales et d'adapter les modèles et concepts métallogéniques courants à ces territoires d'exploration non conventionnels (p. ex. Floyd et Winchester, 1978; Hashiguchi et al., 1983; Bienvenu et al., 1990; Trägårdh, 1991; Page et Lain, 1992; Bernier et McLean, 1993; Craig et Vokes, 1993; Schandl et al., 1995; Blein et al., 2004).

Lors du métamorphisme à haut grade, les roches et les sulfures peuvent fondre et être remobilisés (p. ex. Sawyer, 1999; Frost et al., 2002). Plusieurs critères sont disponibles pour estimer le degré de remobilisation des liquides anatectiques, potentiellement encore plus mobiles qu'un gîte de sulfures ou d'or dans ces terrains gneissiques (p. ex. Sawyer, 1999). L'application de ces critères démontre que la remobilisation dans les cas qui seront discutés dans ce guide s'effectue sur un maximum de quelques mètres indiquant que s'il y a eu remobilisation, elle n'entraînera pas la disparition d'un gîte (p. ex., Williams, 1990) et peut même s'avérer bénéfique pour sa rentabilité en le concentrant dans certaines trappes structurales ou en augmentant sa teneur en minerais (Gauthier, 1993; Marshall et al., 2000 et références citées).

L'approche cartographique (Fig. 2) permet de déterminer les environnements favorables aux dépôts de gîtes hydrothermaux et de cibler les zones clés nécessitant une exploration détaillée tel qu'il se pratique dans les environnements non à peu métamorphosés (Gibson et al., 1999). L'approche de terrain se base par exemple sur la reconnaissance de protolites volcaniques, de zones d'altération volumineuses et de structures syn-volcaniques (Allard et Carpenter, 1989). La compréhension actuelle des processus physico-chimiques affectant les roches de haut grade métamorphique fournit des outils qui permettent d'identifier, sur le terrain, la présence de

Tableau 1. Table des matières du guide et atlas DIVEX-SC3 Atlas et stratégies de reconnaissance de systèmes hydrothermaux métamorphisés en terrains gneissiques felsiques

AVANT-PROPOS .....	4
INTRODUCTION.....	5
1 LES CEINTURES DE GNEISS FELSIQUES ET LEUR POTENTIEL ÉCONOMIQUE .....	11
1.1 Caractéristiques générales .....	11
1.2 Textures et origine des gneiss felsiques .....	12
1.2.1 Textures et structures des sédiments silico-clastiques.....	12
1.2.2 Textures et structures des roches volcaniques.....	12
1.2.3 Textures et structures des roches plutoniques .....	14
1.3 Les contextes volcano-plutoniques.....	14
1.3.1 Géologie des ceintures volcano-plutoniques métamorphisées .....	14
1.3.2 Géochimie et caractérisation de l’environnement géodynamique.....	15
1.3.3 Métallogénie des ceintures volcano-plutoniques felsiques et environnements géodynamiques.....	19
2 LES ZONES D’ALTÉRATION ET LES EXHALITES DANS LES TERRAINS NON OU PEU MÉTAMORPHISÉS .....	27
2.1 Contextes des gîtes hydrothermaux et processus d’altération .....	27
2.2 Les zones d’altération associées aux gîtes de sulfures massifs volcanogènes (SMV).....	28
2.2.1 Minéralisations.....	28
2.2.2 Taille et morphologie des altérations .....	28
2.2.3 Composition et minéralogie .....	29
2.2.4 Les exhalites .....	32
2.3 Les zones d’altération des gîtes épithermaux .....	33
2.3.1 Minéralisations.....	33
2.3.2 Taille et morphologie des altérations .....	33
2.3.2 Composition et minéralogie .....	33
2.4 Les zones d’altération des gîtes de porphyres Cu et Cu-Mo.....	37
2.4.1 Minéralisations.....	37
2.4.2 Taille et morphologie des altérations .....	37
2.4.2 Composition et minéralogie .....	38
3 EFFETS DU MÉTAMORPHISME SUR LES ASSEMBLAGES DES ROCHES ALTÉRÉES ET EXHALITES .....	40
3.1 Influence du métamorphisme sur la composition des roches altérées et exhalites.....	40
3.2 Stabilité des assemblages des roches altérées et des exhalites.....	41
3.2.1 Les grilles pétrogénétiques.....	41
3.2.2 Exemple d’application des grilles pétrogénétiques (altérations argiliques, chloritiques et séricitiques) .....	44
3.2.3 Application pour les altérations carbonatées et propylitiques .....	47
3.2.4 Synthèse .....	49
3.3 Influence du métamorphisme sur la composition des minéraux des roches altérées .....	50
3.3.1 Minéraux exotiques.....	50
3.3.2 Les rapports Fe-Mg des minéraux ferromagnésiens.....	51
3.3.4 Substitution de Zn, Ba et F dans les minéraux métamorphiques.....	52
4 LES ZONES D’ALTÉRATION ET LES EXHALITES DANS LES TERRAINS DE HAUT-GRADE MÉTAMORPHIQUE 53	
4.1 Les méta-exhalites.....	53
4.1.1 Caractéristiques générales des méta-exhalites.....	53
4.1.2 Textures et minéralogie des coticules .....	53
4.1.3 Textures et minéralogie des tourmalinites.....	53
4.1.4 Textures et minéralogie des formations de fer .....	54
4.2 Les altérations argiliques acides, argiliques, chloritiques et séricitiques.....	54
4.2.1 Caractéristiques générales.....	54
4.2.2 Minéralogie des altérations argiliques et argiliques acides .....	55
4.2.3 Minéralogie des altérations séricitiques .....	55
4.2.4 Minéralogie des altérations à chlorite .....	55
4.3 Carbonatation et altération propylitique .....	55
4.4 Atlas de photographies.....	56
5 OUTILS ET STRATÉGIES D’EXPLORATION .....	73
5.1 Identifier les zones d’altération et exhalite.....	73
5.1.1 Stratégies de terrain.....	73
5.1.2 Les outils.....	74
5.1.3 Exemple: Déterminer l’origine de gneiss alumineux .....	76
5.1.4 Exemple: Déterminer l’origine des gneiss felsiques, des roches mafiques et carbonatées.....	78
5.2 Caractérisation chimique des zones d’altération .....	79
5.2.1 Vecteurs d’altération .....	79
5.2.2 Exemple d’utilisation.....	80
6 CONCLUSION .....	82
RÉFÉRENCES.....	83

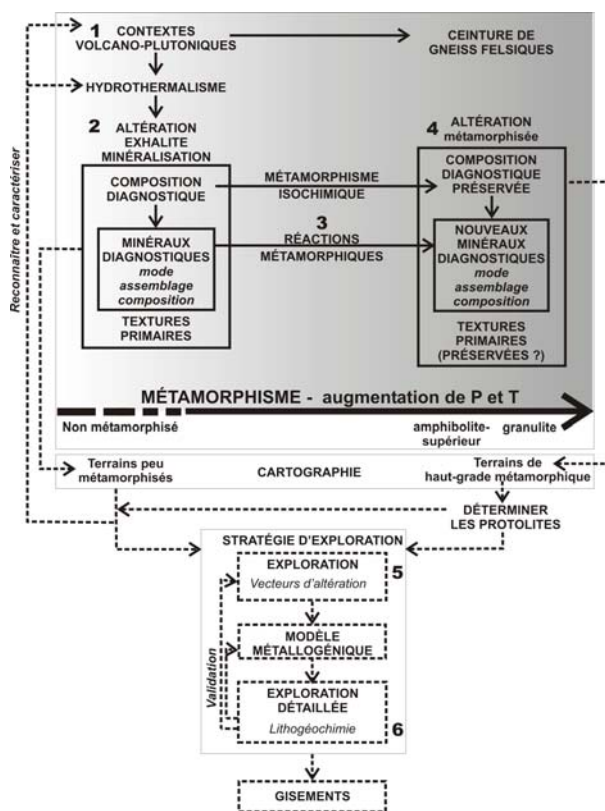


Figure 2. Approche et éléments du guide (1 à 6 : chapitres du guide)

telles zones d'altération hydrothermale hautement métamorphisées. La discrimination sur le terrain des divers lithofaciès d'un système hydrothermal métamorphisé permet de mieux cibler les levés et ainsi mener à la découverte des gîtes auxquels le système pourrait être associé. C'est dans cette optique que les chapitres du guide abordent les caractéristiques générales des altérations hydrothermales régionales et des exhalites (contextes de gîtes de sulfures massifs volcanogènes, épithermaux et de porphyres Cu-Mo) et de la stabilité thermodynamique des assemblages métamorphiques associés à ces altérations hydrothermales. L'atlas et les outils diagnostiques de terrain, les exemples pratiques et une discussion des stratégies avec exemples concrets suivent.

## 2.2 Exercice

La prémisse du projet DIVEX-SC3 est que bon nombre de systèmes hydrothermaux et roches volcaniques sont présentement cartographiés comme des métasédiments

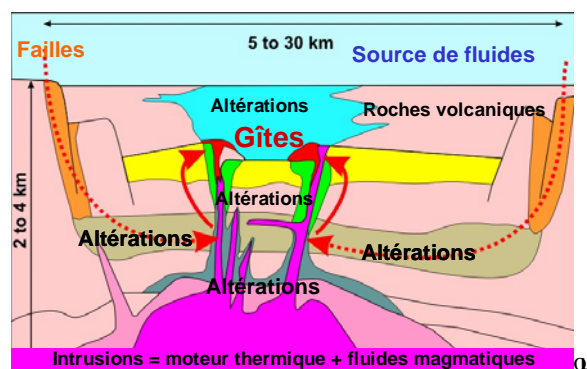


Figure 3. Contexte de sulfures massifs volcanogènes avec altérations hydrothermales et failles synvolcaniques, adapté de Galley (1995).

des gneiss granitiques, des gneiss gris et des amphibolites. Les étapes de cette 'transformation' sont caricaturisées à la figure 3.

Où explorer pour des gîtes de sulfures massifs volcanogènes, des porphyres cuprifères, des gîtes d'or épithermaux et des gîtes d'oxydes de fer à Cu-Au-U-ETR dans un terrain décrit comme constitué d'une variété de gneiss granitiques et de gneiss gris avec des lambeaux d'amphibolite et de métasédiments (p. ex., Claveau, 1950; Bassaget, 1972; Avramchev, 1983)? La région représentée ci-dessous à l'échelle du 1 : 250 000 (Fig. 4) était décrite en ces termes et est maintenant reconnue comme renfermant un système hydrothermal de type sulfures massifs volcanogènes, des zones d'altération en oxyde de fer, des dômes pyroclastiques et volcaniques felsiques, des failles syn-volcaniques altérées et minéralisées telles que dépeintes dans le modèle de Galley (1995; Fig. 3) et une cible pour une faille majeure avec altération de type argillique ou une discordance majeure latéritisée.

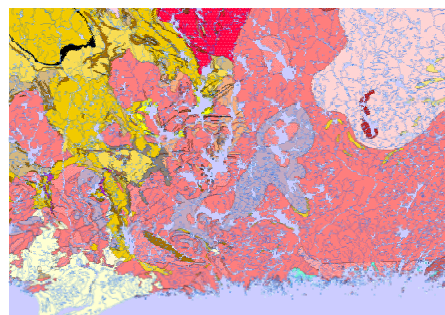


Figure 4. Carte géologique 12K (1 : 250 000) de la région du lac Musquaro en Basse Côte-nord. Tons de jaune et vert : métasédiments au sein du Groupe de Wakeham (au nord-ouest) et roches supracrustales et/ou volcaniques et/ou hydrothermales ailleurs, beige : sédiments, brun : intrusions mafiques et amphibolite, rose et mauve : gneiss granitiques, gneiss gris et plans d'eau.

### 3. EXEMPLES DE SECTIONS DU GUIDE ET DE PLANCHES D'ATLAS

Cependant, la composition et la minéralogie de la cheminée d'altération des gîtes de type VMS-acide, se différencie du schéma classique décrit ci-dessus par la présence de zones d'altération argilique ou argilique acide caractérisées par des assemblages minéralogiques très acides composés de quartz, kaolinite, pyrophyllite, diaspore, alunite, barite et sulfures ... La minéralogie des principales zones d'altération est résumée dans le tableau 2.1.

Notons qu'il faut s'attendre à avoir une proportion modale de biotite importante dans la zone d'altération potassique lorsque la roche hôte est de composition mafique (plus riche en Fe-Mg), mais une dominance du feldspath potassique dans les roches plus felsiques.

Dans certains cas des zones d'altération argilique sont associées à ces gîtes, comme par exemple celui de Maronia en Grèce (Melfos et al., 2002). L'assemblage minéralogique des altérations argiliques est à quartz, illite, pyrite, kaolinite, smectite, montmorillonite (Fig. 2.12).

Une brève synthèse des assemblages minéralogiques observés dans les roches altérées et les exhalites peu à intensément métamorphisées est donnée dans le tableau 3.2. Dans certains cas, les assemblages présents peuvent typiques de roches métamorphiques dérivant de protolites non altérés.

#### 5.1.3 Exemple: Déterminer l'origine de gneiss alumineux

L'origine des gneiss alumineux observés dans les ceintures de gneiss felsique est variée. Ces gneiss peuvent dériver de roches sédimentaires alumineuses (pélites), de latérite ou de roches altérées (altération argilique et argilique acide, chloritisation, séricitisation).

Le détail de la démarche permettant de diagnostiquer l'origine des gneiss alumineux est détaillé dans la figure 5.2.

### 4. L'APPORT DU PROJET SC3

Plusieurs des outils mis de l'avant dans le guide tels que les diagrammes de pétrologie métamorphique sont utilisés depuis au moins une décennie au sein des ceintures de roches vertes archéennes et paléoprotérozoïques (Allard, 1978; Zaleski et al., 1991; Galley, 1995; Thompson et al., 1995; Barham et Froese, 1997). Ils ont donc fait leur preuve pour systématiser les assemblages métamorphiques des altérations hydrothermales métamorphisées aux faciès des schistes verts et des amphibolites moyen (Froese, 1984, 1985, 1997, 1998). Leur adaptation aux terrains gneissiques non différenciés a conduit à la découverte de systèmes hydrothermaux dans le Grenville et ailleurs. L'approche préconisée dans le guide a donc fait ses preuves. Toutefois, avant le projet Divex-SC3, l'adaptation pour, et l'utilisation dans, les terrains gneissiques étaient empiriques et d'utilisation restreinte. Le projet DIVEX a permis de conceptualiser ce qui se faisait dans la pratique et de l'adapter à plus haut-grade métamorphique et à des terrains vierges, des étapes nécessaires à leur application dans les terrains gneissiques du Québec. L'élaboration des stratégies fut en soi une démarche scientifique au cours de laquelle il a fallu étudier le cheminement scientifique utilisé et les concepts qui y servent d'assise. Une fois cette étape accomplie, il a fallu trouver des ponts entre analyse de terrain de haut-grade métamorphique et exploration de ceintures volcaniques peu à non métamorphisées et ce en termes d'expertises requises et de pratique.

L'approche a été testée sur des étudiants en première année de maîtrise et a contribué à la découverte d'altérations hydrothermales au cours de levés du MRNFP dans le front du Grenville (Cadéron et al., 2003). Au cours du projet DIVEX, les interactions avec les divers comités ont permis de mieux cerner les problèmes à résoudre pour affiner le guide et maximiser son utilité. Les stratégies maintenant mises sur pied permettent de mieux cibler les régions fertiles à partir des cartes et rapports géologiques existants puis sur le terrain même. Le contexte du besoin d'études scientifiques pour mieux diversifier l'exploration en terrains gneissiques et les écueils pour y arriver sont plus clairs, la méthodologie pour diversifier l'exploration mieux centrée sur les besoins de l'industrie et des gouvernements. Enfin, le tout est mieux appuyé sur l'acquis et l'expertise provenant des camps miniers canadiens.

Tableau 2.1: Minéralogie des principales zones d'altération associées aux gîtes de type SMV.

Type d'altération	Minéralogie	Schéma
<b>1-Chloritisation</b> (+ Fe, + Mg, + Cu-Zn-Pb, - Si)	chlorite $[Mg_5(Al,Fe)(OH)_8(Al,Si)_4O_{10}]$ pyrite $[FeS_2]$ , pyrrhotite $[FeS]$ , chalcopryrite $[CuFeS_2]$	
<b>2- Altération argilique</b> (+ Al, +Si, -Fe, -Mg, -Na, - Ca, -K)	silicates d'alumine $[Al_2SiO_5]$ pyrophyllite $[Al_2(OH)_2Si_4O_{10}]$	
<b>3- Séricitation</b> (+ K, + Si, + Mg, -Ca, -Na)	séricite $[KAl_2(OH)_2(AlSi_3O_{10})]$ , quartz $[SiO_2]$ , pyrite $[FeS_2]$ , sphalérite $[(Zn,Fe)S]$	
<b>4- Altération carbonatée</b> (+ Fe, + CO <sub>2</sub> , + Mg, - Na)	ankérite $[Ca(Fe,Mg)(CO_3)_2]$ , siderite $[FeCO_3]$	

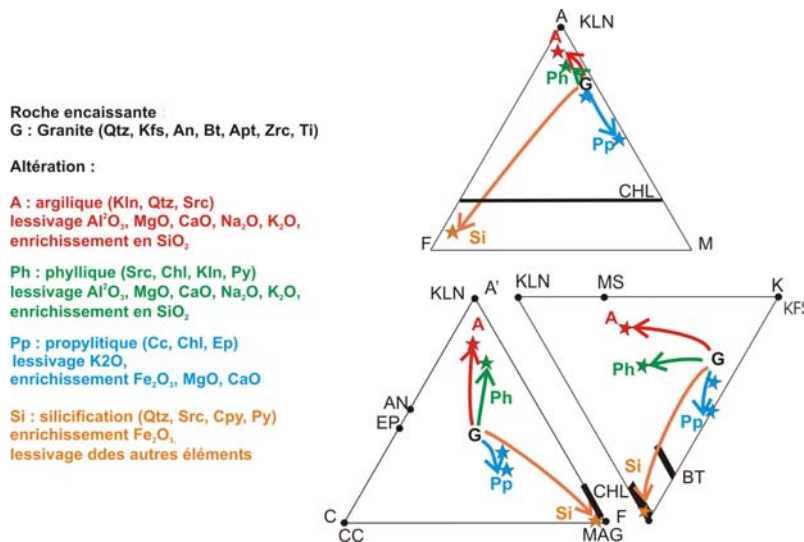


Figure 2.12: Représentation de la composition (étoiles) et de la minéralogie des roches altérées du gîte de type porphyre à Cu-Mo de Maronia et du granite (G) non altéré encaissant ce gîte dans des diagrammes AFM, ACF et AKF. Ces représentations ont été réalisées à partir des données de Melfos et al. (2002). Les changements de la composition du granite lors des processus hydrothermaux sont représentés par les flèches.



Tableau 3.2: Minéraux diagnostiques et composition des différents types d'altération et des exhalites associés aux gîtes de SMV, épithermaux (EP) et de porphyre (PR), métamorphisés au faciès des schistes verts et des granulites.

Type d'altération	Mx indicateurs stables faciès schiste vert	Mx indicateurs stables faciès granulite	Composition diagnostique	Roches similaires	Type de gîte associé
Exhalite	Tourmaline Magnétite, Hématite Minéraux Mn Barite	Tourmaline Magnétite, Hématite Spessartine Barite	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, MnO, Ba, B		SMV
Argilique avancée	Kaolinite Pyrophyllite Andalousite Corindon, Topaze	Sillimanite, Disthène Quartz	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>		SMV-acide, EP acide
Argilique	Séricite Illite Pyrophyllite Kaolinite	Sillimanite, Disthène Quartz Biotite, Cordiérite, Grenat	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , K <sub>2</sub> O, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO	Pélite	SMV-acide, EP-acide, PR
Séricitique	Séricite Illite Quartz	Biotite, Feldspath K Sillimanite, Disthène Quartz Cordiérite, Grenat	K <sub>2</sub> O, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ± MgO, ± SiO <sub>2</sub> ,	Pélite	SMV, EP-acide EP-neutre
Potassique	Feldspath potassique (adulaire) Biotite	Feldspath K (adulaire) Biotite	K <sub>2</sub> O		PR
Chloritique	Chlorite Quartz Séricite	Cordiérite Orthopyroxène Phlogopite Sillimanite, disthène Quartz	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, ± Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ± SiO <sub>2</sub>	Pélite	SMV
Propylitique	Carbonate (Fe, Mg) Epidote Chlorite Séricite Albite	Carbonate Grossulaire Épidote Hornblende Diopside Orthopyroxène	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO	Roche calco-silicatée ou mafique	SMV. EP-acide, EP-neutre, PR

	APPARENCE	TEXTURES/STRUCTURES	EMPREINTES MÉTAMORPHIQUES	PROTOLITHE
<b>GNEISS ALUMINEUX</b>	Homogène	Pas de textures primaires préservées	NON Mode anormal, en Als et/ou fmg, et/ou qtz Couleur variable des fmg	Indéterminé Altération hydrothermale
		Préservation de textures d'un protolite non sédimentaire, ou altéré (lapillis, brèche...)	NON Mode anormal, en Als et/ou fmg, et/ou qtz Couleur variable des fmg	
	Hétérogène	Lentilles ou niveaux hétérogènes (paragenèses variées)	NON Mode anormal, en Als et/ou fmg, et/ou qtz Couleur variable des fmg	Indéterminé Altération hydrothermale
		Fusion partielle	Mode anormal en fmg	Indéterminé, restite ou altération hydrothermale

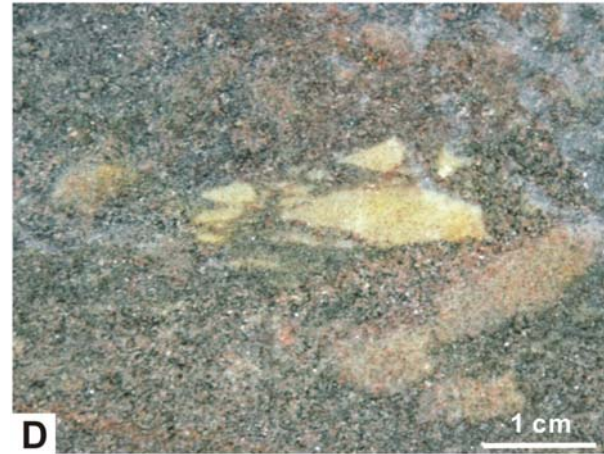
Figure 5.2: Approche permettant d'interpréter l'origine de gneiss alumineux métamorphisés

## Planche IV (suite): Les fragments des roches pyroclastiques

### D Lapillis fragmentés

Le lapillistone renferme localement des lapillis felsiques fragmentés. Ces lapillis sont à grains fins, vésiculeux ou non vésiculeux et ont des bordures très anguleuses. Ces textures, par analogie avec celles observées dans des environnements peu métamorphisés, sont interprétées comme des textures de fragmentation in-situ. Ces dernières sont typiques des environnements volcaniques proximaux.

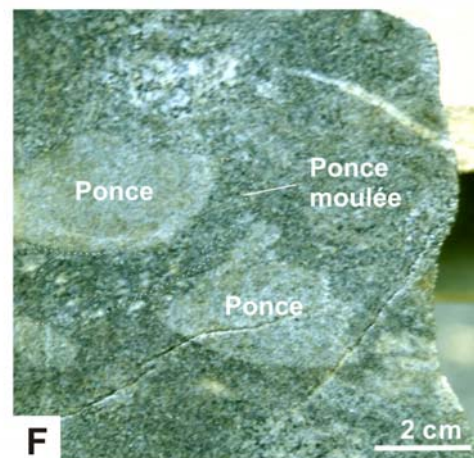
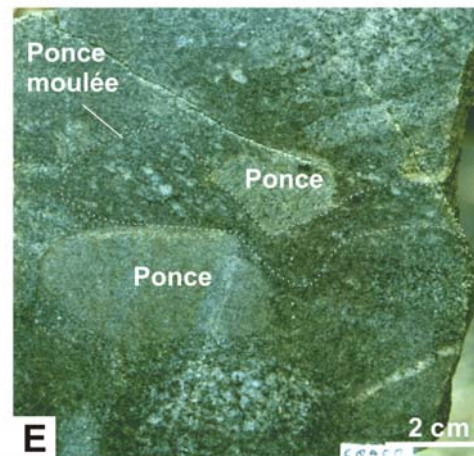
*Ceinture supracrustale de La Romaine, Province de Grenville, région de La Romaine, Québec*



### E, F Texture de moulage

Des ponces de composition intermédiaire et de forme amiboïde sont moulées autour de fragments felsiques dont les contacts sont anguleux à arrondis. Ces textures illustrent le comportement ductile des ponces intermédiaires lors de leur mise en place. La forme anguleuse des fragments felsiques indique au contraire le comportement plus cassant de ces derniers. Ces textures de moulage, préservées malgré le métamorphisme intense, sont diagnostiques de la mise en place à chaud des roches pyroclastiques ce qui suggère un environnement volcanique proximal.

*Marge SE du Groupe de Wakeham, Province de Grenville, région des lacs Musquaro et d'Auteuil, Basse Côte-Nord, Québec.*



## Planche IX : Altération argilique acide et argilique

### A Veines à quartz et disthène dans des coulées pyroclastiques de rhyodacite

Ces veines à quartz et disthène sont interprétées comme une altération à Si-Al en périphérie d'une zone à nombreux filonnets minéralisés (stringer zone). Cette zone d'altération est métamorphisée au faciès inférieur des amphibolites (zone à grenat-biotite).

*Gisement de sulfures massifs du Groupe F, Sturgeon Lake, sous-province de Wabigoon, province du Supérieur.*  
Photo: A. Galley



### B- Système de fractures à quartz, disthène, staurotide et chlorite.

Ces veines à quartz, disthène, staurotide et chlorite représentent l'équivalent de veines à Fe-Al-Mg métamorphisées au faciès amphibolite inférieur (isograde à grenat – biotite). Ces veines sont associées aux gîtes de VMS du camp minier de Snow Lake. Elles sont interprétées comme formées lors de l'interaction de fluides hydrothermaux dérivant de l'eau de mer avec l'intrusion sub-volcanique sous jacente qui constitue la source de chaleur du système.

*Richard Lake pluton, ceinture de Flin Flon, orogène Trans-Hudsonienne, Manitoba.*  
Photo: A. Galley



### C- Veines et nodules à quartz – disthène / sillimanite – magnétite / hématite dans un tuf de composition rhyolitique.

Les veines alumineuses recoupant le tuf sont plissées et boudinées. Les 'nodules', issus du boudinage des veines, sont ré-orientés dans la foliation de plan axial.

La composition (Al-Si±Fe) de ces veines s'apparente à celles observées dans les zones d'altération des gisements de sulfures massifs du Groupe F (Sturgeon Lake, Province du Supérieur, photo A).

*Ceinture supracrustale de La Romaine, Province de Grenville, région de La Romaine, Basse-Côte Nord, Québec*



Plusieurs métallogénistes du Canada et des États-Unis ont fourni des photographies d'affleurements clés provenant de grands camps miniers. En étant à même de comparer les exemples d'unités hydrothermales et d'exhalites en terrains gneissiques vierges à ce même type d'unités à proximité de grands camps miniers, il est plus facile de visualiser les exemples en termes de vecteurs d'exploration et d'émettre des hypothèses de travail quant au contexte métallifère potentiel. Cette démarche permet de faire le lien entre analyse de terrains de haut-grade métamorphique et les pratiques courantes en termes d'exploration au sein des terrains géologiques peu ou non métamorphisés.

## RÉFÉRENCES

- Allard, G.O. (1978). Pétrologie et potentiel économique du prolongement du sillon de roches vertes de Chibougamau dans la Province de Grenville. Ministère des Richesses naturelles, DPV-604.
- Allard, G.O., Carpenter, R.H. (1988). Mineralogical anomalies in metamorphosed terrains, a neglected but promising exploration tool. International Conference on the Geochemical Evolution of the Continental Crust, Pocos de Cladas, Brazil, p. 229-236.
- Avramtchev, L. (1983). Carte des gîtes minéraux du Québec, région de la Côte-Nord. Ministère des Ressources naturelles, Québec, DV 83-14.
- Barham, B.A., Froese, E. (1997). Geology of the New Fox alteration zone, Laurie Lake, Manitoba. Commission géologique du Canada, Étude 86-01B, p. 827-835.
- Barrett, T.J., MacLean, W.H. (1994). Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks. Dans : Alteration and alteration processes associated with ore-forming systems, édité par D.R. Lentz, Geological Association of Canada, Short Course Notes, v. 11, p. 433-467.
- Bassaget, J.P. (1972). Géologie de la région du lac Musquaro (comté de Duplessis). Ministère des Richesses naturelles, Québec, DP 061, 20 p.
- Bernier, L.R., MacLean, W.H. (1993). Lithochemistry of a metamorphosed VMS alteration zone at Montauban, Grenville Province. Exploration Mining Geology, v. 2, p. 367-386.
- Bienvenu, P., Bougeault, H., Joron, J.-L., Treuil, M., Dmitriev, L. (1990). MORB alteration: rare-earth element / non-rare-earth hygromagmatophile element fractionation. Chemical Geology, v. 82, p. 1-14.
- Blein, O., LaFlèche, M.R., Corriveau, L. (2003). Geochemistry of the granulitic Bondy Gneiss Complex: a 1.4 Ga arc in the Central Metasedimentary Belt, Grenville Province, Canada. Precambrian Research, v. 120, p. 193-218.
- Blein, O., Corriveau, L., LaFlèche, M. (2004). Cordierite-orthopyroxene white gneiss: a key to unveiling pre-metamorphic hydrothermal activity in the Bondy gneiss complex, Grenville Province, Québec. Dans : Proterozoic tectonic evolution of the Grenville orogen in eastern North America, édité par R. Tollo, L. Corriveau, J. McLelland et M. Bartholomew, Boulder, Colorado, Geological Society of America Memoir, v. 197, sous presse.
- Cadéron, S., Rhéaume, P., Bandyayera, D., Roy, P. (2003). Le métamorphisme des altérations hydrothermales aux faciès élevés : caractérisation d'un vecteur d'exploration au passage de l'abitiibi au Grenville. Québec Exploration 2003, Résumés des conférences et des Photoprésentations, p. 42.
- Chartrand, F., Roy, I., Cayer, A., Gauthier, M. (2003). The Kwijibo Polymetallic Iron Oxide Deposit, Northeastern Grenville Province, Quebec. Canadian Institute of Mining, Program with Abstract.
- Clark, T. (2003). Métallogénie des métaux usuels, précieux et énergétiques, et des éléments des terres rares, région de Manitou-Wakeham, Moyenne-Côte-Nord. Dans : Synthèse géologique et métallogénique de la partie est de la Province de Grenville, édité par D. Brisebois et T. Clark, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec, DV 2002-03.
- Claveau, J. (1950). La Côte-nord du Saint-Laurent, d'Aganish à la baie Washicoutai, comté de Saguenay. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, RG 043, 74 p.
- Conway, C.M. (1994). Precambrian massive sulfide deposits in amphibolite- and granulite-facies rocks, western Arizona and southeastern California. U.S. Geological Survey, Circular 1103-A, 18 p.
- Corriveau, L., Tellier, M., Morin, D. (1996). Le dyke de minette de Rivard et le complexe gneissique cuprifère de Bondy; implications tectoniques et métallogéniques pour la région de Mont-Laurier, province de Grenville, Québec. Commission géologique du Canada, Dossier public 3078, 73 p.
- Corriveau, L., Bonnet, A.L., van Breemen, O., Pilote, P. (2003). Tracking the Wakeham Group volcanic rocks and associated copper-iron oxide hydrothermal activity from La Romaine eastward, Eastern Grenville Province, Québec. Commission géologique du Canada, Étude 2003-C12, 11 p.
- Craig, J.R., Vokes, F.M. (1993). The metamorphism of pyrite and pyritic ores; an overview. Dans : Sulphide metamorphism and deformation, édité par A.P. Boyle, Mineralogical Magazine, v. 57, p. 3-18.
- Davidson, A. (1984). Identification of ductile shear zones in the southwestern Grenville Province of the Canadian Shield. Dans: Precambrian tectonics illustrated, édité par A. Kröner et R. Greiling; E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, p. 263-279.

- Eilu, P.K., Mathison, C.I., Groves, D.I., Allardice, W.J. (1999) Atlas of alteration assemblages, styles and zoning of orogenic lode-gold deposits in a variety of host rock and metamorphic settings. The University of Western Australia, Publication No. 30, 50 p.
- Floyd, P.A., Winchester, J.A. (1978). Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements. *Chemical Geology*, v. 21, p. 291-306.
- Froese, E. (1984). Geology of the Woldon Bay-Fay Lake area, Manitoba. Commission géologique du Canada, Étude 84-01B, p. 355-358.
- Froese, E. (1985). Anthophyllite-bearing rocks in the Flin Flon-Sherridon area, Manitoba. Commission géologique du Canada, Étude 85-01B, p. 541-544
- Froese, E. (1997). Metamorphism in the Weldon Bay-Syme Lake area, Manitoba. Commission géologique du Canada, Étude 1997-E, p. 35-44.
- Froese, E. (1998). Metamorphism of hydrothermally altered rocks. Commission géologique du Canada, Étude 1998-E, p. 193-196.
- Frost, B.R., Mavrogenes, J.A., Tomkins, A.G. (2002). Partial melting of sulfide ore deposits during medium and high grade metamorphism. *The Canadian Mineralogist*, v. 40, p. 1-18.
- Galley, A.G. (1995). Target vectoring using litho-geochemistry: Applications to the exploration for volcanic-hosted massive sulphide deposits. *Canadian Institute of Mining Bulletin*, v. 88, p. 15-27.
- Gauthier, L., Hall, G., Stein, H., Schaltegger, U. (2001). The Osborne deposit, Cloncurry District: A 1595 Ma Cu-Au skarn deposit. Dans: *A hydrothermal odyssey*, édité par P.J. Williams, Extended Conference Abstracts, EGRU Contribution 59.
- Gauthier, M. (1993). L'aspect que prennent les amas sulfurés en terrain métamorphique: incidences sur la prospection minière. *Bulletin de l'APGGQ (Association professionnelle des géologues et des géophysiciens du Québec)*, v. 10, no. 1, p. 17-22.
- Gibson, H.L., Morton, R.L., Hudak, G.J. (1999). Submarine volcanic processes, deposits, and environments favorable for the location of volcanic-associated massive sulfide deposits. *Reviews in Economic Geology*, v. 8, p. 13-48.
- Gobeil, A., Chev e, S., Clark, T., Corriveau, L., Perreault, S., Dion, D.J., Nabil, H. (1999). Géologie de la région du lac Nipisso (SNRC 221/13). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 98-19, 60 p.
- Gower, C.F., McConnell, J.W., van Nostrand, T. (1995). New mineral-exploration targets in the Pinware Terrane, Grenville Province, southwest Labrador. Newfoundland and Labrador Geological Survey Report no. 95-1, p. 15-24.
- Hanmer, S., Passchier, C.W. (1991). Shear-sense indicators: a review. Commission géologique du Canada, Étude 90-17, 72 p.
- Hashiguchi, H., Yamada, R., Inoue, T. (1983). Practical application of low Na<sub>2</sub>O anomalies in footwall acid lava for delimiting promising areas around the Kosaka and Fukazawa Kuroko deposits, Akita Prefectural, Japan. Dans : *The Kuroko massive sulfide deposits*, édité par H. Ohmoto and B.J. Skinner, *Economic Geology Monograph*, v. 5, p. 387-394.
- Hedenquist, J.W., Izawa, E., Arribas, A., White, N.C. (1996). Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration. The Society of Resources Geology. Special Publication Number 1.
- Lydon et al., 2003
- Marshall, B., Vokes, F.M., Larocque, A.C.L. (2000). Regional metamorphic remobilization: upgrading and formation of ore deposits. Dans: *Metamorphic and metamorphogenic ore deposits*, édité par P.G. Spry, B. Marshall et F.M. Vokes, *Reviews in Economic Geology*, v. 11, p. 19-38.
- McLelland, J., Morrison, J., Selleck, B., Cunningham, B., Olson, C., Schmidt, K. (2002). Hydrothermal alteration of late- to post-tectonic Lyon Mt. Granitic Gneiss, Adirondack Highlands, New York: Origin of quartz-sillimanite segregations, quartz-albite lithologies, and associated Kiruna-type low-Ti Fe-oxide deposits. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 20, p. 175-190.
- McPhie, Doyle, M., Allen, R. (1993) *Volcanic textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. CODES key Centre, 198 p.
- Melfos et al. (2002)
- Morton, P., Franklin, J. (1987) Two fold classification of Archean volcanic-associated massive sulfide deposits. *Economic Geology*, v. 82, p. 1057-1063.
- Page, R.W., Lain, W.P. (1992). Felsic metavolcanic rocks related to the Broken Hill Pb-Zn-Ag orebody, Australia: geology, depositional age, and timing of high-grade metamorphism. *Economic Geology*, v. 87, p. 2138-2168.
- Passchier, C.W., Myers, J.S., Kr oner, A. (1990). *Field geology of high-grade gneiss terrains*. Springer Verlag, Germany, 150 p.
- Sawyer, E.W. (1986). The influence of source rock type, chemical weathering and sorting on the geochemistry of clastic sediments from the Quetico metasedimentary belt, Superior Province, Canada. *Chemical Geology*, v. 55, p. 77-95.
- Sawyer, E.W. (1999). Criteria for the recognition of partial melting. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 24, no. 3, p. 269-279.
- Schreurs, J., Westra, L. (1985). Cordierite-orthopyroxene rocks: the granulite facies equivalents of the Orijarvi cordierite-anthophyllite rocks in West Uusimaa, southwest Finland. *Lithos*, v. 18, p. 215-228.
- Sheepers, D.J., Cornell, D.H. (1990). Host rock protolithology of metamorphosed ore deposits. Dans : *Metamorphism of massive sulphide deposits*, édité par P.Spry; V.S.P. Scientific Publishers, 243 p.
- Skirrow, R.G, Bastrakov, E., Raymond, O.L, Davidson, G., Heithersay, P. (2002). The geological framework, distribution and controls of Fe-Oxide Cu-Au mineralisation in the Gawler Craton, South Australia. Dans : *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*, édité par T.M. Porter;

- PGC Publishing, Adelaide, v. 2, p. 33-47.
- Slagstad, T., Culshaw, N.G., Jamieson, R.A., Ketchum, J.W.F. (2004). Early Mesoproterozoic tectonic history of the southwestern Grenville Province, Ontario: constraints from geochemistry and geochronology of high-grade gneisses. Dans: Proterozoic tectonic evolution of the Grenville orogen in North America, édité par R.P. Tollo, L. Corriveau, J. McLelland et M. Bartholomew, Boulder, Colorado, Geological Society of America Memoir, no. 197, sous presse.
- Spry, P.G., Wonder, J.D., 1989. Manganese-rich garnet rocks associated with the Broken Hill lead–zinc–silver deposit, New South Wales, Australia. *The Canadian Mineralogist*, v. 27, p. 275- 292.
- Spry, P.G., Peter, J.M. et Slack, J.F., 2000. Meta-exhalites as exploration guides to ore. Dans: Metamorphic and metamorphogenic ore deposits, édité par P.G. Spry, B. Marshall et F.M. Vokes, *Reviews in Economic Geology*, v. 11, p. 163-201.
- Theart H.F.J., Cornell, D.H., Schade, J. (1989). Geochemistry and metamorphism of the Prieska Zn-Cu deposit, South Africa. *Economic Geology*, v. 84, p. 34-48.
- Thompson, P.H., Russell, I., Paul, D., Kerswill, J.A., Froese, E. (1995). Regional geology and mineral potential of the Winter Lake-Lac de Gras area, central Slave Province, Northwest Territories. Commission géologique du Canada, Étude 1995-C, p. 107-119.
- Tomkins, A.G., Mavrogenes, J.A. (2002) Mobilization of gold as polymetallic melt during pelite anatexis at the Challenger deposit, South Australia: A metamorphosed Archean gold deposit. *Economic Geology*, v. 97, p. 1249-1271.
- Tomkins, A.G., Mavrogenes, J.A. (2003) Generation of metal-rich felsic magmas during crustal anatexis. *Geology*, v. 31, p. 765-768.
- Trägårdh, J. (1991). Metamorphism of magnesium-altered felsic volcanic rocks from Bergslagen, central Sweden: A transition from Mg-chlorite- to cordierite-rich rocks. *Ore Geology Review*, v. 6, p. 485-497.
- Weaver, B.L., Tarney, J. (1985). Element depletion in Archean granulite-facies rocks. Dans : Migmatites, melting and metamorphism, édité par M.P. Atherton et C.D. Gribble, Shiva Publishers, Nantwich, p. 250-263.
- Williams, P.J. (1990). The gold deposit at Calumet, Quebec (Grenville Province): an example of the problem of metamorphic versus metamorphosed ore. Dans : Regional metamorphism of ore deposits, édité par P. Spry et L.T. Bryndzia, V.S.P. Scientific Publishers, Zeist Utrecht, The Netherlands, p. 1-25.
- Zaleski, E., Froese, E., Gordon, T.M. (1991). Metamorphic petrology of Fe - Zn - Mg - Al alteration at the Linda volcanogenic massive sulfide deposit, Snow Lake, Manitoba. *The Canadian Mineralogist*, v. 29, p. 995-1017.
- Zaleski, E., Peterson, V.L. (1995). Depositional setting and deformation of massive sulfide deposits, iron-formation, and associated alteration in the Manitouwadge Greenstone Belt, Superior Province, Ontario. *Economic Geology*, v. 90, p. 2244-2261.