



RAPPORT FINAL

2004

Sous-projet SC7

Étude des minéralisations en ÉGP du Complexe ophiolitique de Thetford Mines

Par

Jean H. Bédard*, Philippe Pagé**, Jean-Michel Schroetter**,
Alain Tremblay***, et Valérie Bécu**

*Commission géologique du Canada B Québec, 880 Chemin Sainte-Foy, Québec, PQ, Canada, G1S 2L2,
jbedard@mcan.gc.ca,

**Institut National de la Recherche Scientifique-Eau, Terre et Environnement, 880 Chemin Sainte-Foy,
Québec, PQ, Canada, G1S 2L2,

*** Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, Université du Québec à Montréal,
C.P. 8888, Succ. Centre-Ville, Montréal (Québec), H3C 3P8

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

RÉSUMÉ

La ceinture ophiolitique du sud du Québec (COSQ) est constituée de terranes océaniques partiellement démembrés accrés à la marge laurentienne à l'Ordovicien, et repris par des déformations au Silurien et Dévonien. Notre cartographie et les études structurales sur le Complexe Ophiolitique de Thetford-Mines (COTM) documentent une phase d'extension pré-obduction, donnant lieu à des failles (paléo)normales, et des surfaces érosionnelles intra- et supra-ophiolitiques. Le COTM contient la plupart des minéralisations en Cr-ÉGP connues dans le COSQ. Les gîtes de chromitite podiformes (largement épuisés) sont dans le manteau, une harzburgite réfractaire ayant perdue 20-25% de liquide magmatique. Les patrons d'ÉGP de cette harzburgite peuvent être simulés par la fusion partielle avec assemblages résiduels olivine + orthopyroxène + chromite, suggérant une absence de sulfures résiduels. Le Pt et Pd sont parfois anormalement enrichis, et pourraient avoir été introduits par une phase aqueuse associée à la subduction. La croûte inférieure est dominée par de la dunite avec des interlits (localement) de chromitite stratiforme (moy.1-3cm, localement>10m). Les faciès du manteau et de la croûte inférieure sont rarement minéralisés en ÉGP. La croûte moyenne est constituée de cycles de dunite / harzburgite / lherzolite / orthopyroxénite / webstérite / clinopyroxénite / gabbro-norite / gabbro. Les données géochimiques préliminaires indiquent des enrichissements stratigraphiques systématiques en éléments traces incompatibles, et des appauvrissements en Mg-Cr-Ni et autres éléments compatibles, ce qui suggère la présence de chambres magmatiques (c.1Km). Des filons-couches de dunite et lherzolite compliquent le patron cependant. Des veines de chromitite, et des remplissages de brèche chromititiques enrichis en ÉGP coupent et remplacent des dunités (Hall) et pyroxénites (Starchrome) de la croûte moyenne, atteignant localement des teneurs de 20gr/ton Pt+Pd. Notre cartographie et nos travaux structuraux suggèrent que ces minéralisations sont associées à des failles pré-obduction, et pourraient avoir été générés par des concentrations de volatils enrichis en Cl-ÉGP formés dans des pièges au sommet d'intrusions boninitiques sous-plaquantes, avec canalisation de ces fluides et déposition du minerai dans des failles ouvertes dans le toit. À Starchrome, les enrichissements en Pt-Pd semblent avoir peu de lien avec les patrons d'évolution magmatiques, et supportent l'hypothèse d'une introduction métasomatique par le biais de solutions hydrothermales. Des enrichissements en terres-rares légères associés avec la minéralisation et la présence de potarite (PdHg) sont compatibles avec cette hypothèse. L'existence de la potarite suggère que la géochimie de sol pour le mercure pourrait aider à localiser des nouveaux gîtes sous les dépôts Quaternaires. Tous les cumulats du COTM analysés jusqu'à maintenant sont d'affinité boninitique, et sont probablement cosanguins avec les dykes de l'essai filonien et les laves sus-jacentes. Les boninites sont typiquement magnésiennes et enrichies en Cr, Ni, H₂O. Leur omniprésence dans le COTM implique un lien avec les minéralisations en Cr-ÉGP. La présence dans le COTM de

surfaces érosionnelles atteignant le moho suggère le potentiel pour des minéralisations de type paléo-placer dans les roches sédimentaires immédiatement sus-jacente aux surfaces érosionnelles (base du mélange de St.Daniel). Le massif d'Asbestos est du même âge que le COTM et contient le même type de roches. Nous proposons une corrélation stricte avec le COTM, impliquant que le COA a lui aussi un fort potentiel pour le Cr et les ÉGP. Nos travaux de reconnaissance impliquent que cette corrélation pourrait s'étendre jusqu'à la frontière américaine.

1. INTRODUCTION

Les ophiolites de la Ceinture Ophiolitique du Sud du Québec (COSQ, Fig.1) sont une ressource historique pour le Cr, une substance stratégique exploitée intensivement pendant les deux guerres mondiales, lorsque les approvisionnements d'outre-mer étaient inaccessibles (e.g. Gauthier et al. 1990). Récemment, certains de ces ophiolites ont été explorés pour leur potentiel en ÉGP (Éléments du Groupe du Platine), avec des échantillonnages en chenail donnant des teneurs jusqu'à 20 gr/tonne de Pt+Pd. Cependant, les massifs ophiolitiques constituant la COSQ ont une complexité interne inhérente (Hébert et Bédard 2000), et ont été affectés par plusieurs phases de déformation (Schroetter et al. 2004a), ce qui rend difficile la corrélation intra- et inter-ophiolitique des différents faciès, et l'exploration pour des substances économiques. En 2000, une équipe s'est formée sous forme de collaboration industrie - gouvernement - université (Projet Chromite: J.Bédard, A.Tremblay, P.Pagé, J.M. Schroetter, et V.Bécu) pour fournir un cadre structural, stratigraphique et pétrologique de ces ophiolites, afin de développer des méthodologies et stratégies d'exploration améliorées pour le Cr. Suite à la découverte de teneurs intéressantes en ÉGP dans la croûte, et à un apport financier du Groupe DIVEX, le cadre de l'étude a été approfondi et élargi afin d'inclure les ÉGP.

2. MÉTHODOLOGIE ET OBJECTIFS

Le financement DIVEX a débuté au printemps 2002, et a permis d'effectuer une saison de terrain supplémentaire à P.Pagé, chargé du mandat pétrologique, géochimique, et ÉGP du projet. Les travaux cartographiques et l'échantillonnage se sont effectués au long et en large des différents massifs de la COSQ, mais avec un focus particulier sur le COTM, où les minéralisations connues sont concentrées, et où (suite à nos travaux) nous avons développé un cadre cartographique et structural

(Schroetter et al. 2003). Des échantillonnages d'appoint ont aussi été faits en 2003. Les échantillons recueillis ont été analysés pour les éléments majeurs et traces à l'INRS (financement partiel DIVEX), et pour les ÉGP à l'UQAC (financement DIVEX) au laboratoire de S.J. Barnes. Les analyses minérales ont été faites à l'Université Laval (financement partiel DIVEX). Tous les faciès du COTM ont été examinés, afin de construire une image intégrée des processus pétro- et métallogénétiques. Le manteau représente le résidu, les laves les liquides, et la croûte moyenne les cumulats de ce système magmatique d'affinité boninitique. Les budgets d'éléments traces dans la croûte sont modélisés par une méthode d'inversion (Bédard 1994) qui permet de calculer la composition des liquides magmatiques en équilibre. La fusion dans le manteau est modélisée avec des équations appropriées aux différents processus envisagés (Pagé et al. 2003). Des coefficients de partage tirés de la littérature ont été nouvellement compilés et paramétrisés (e.g. Bédard 2004). La comparaison de ces modèles numériques avec les données analytiques (PhD de P.Pagé) permettra de tirer des conclusions à propos des processus actifs dans ce massif ophiolitique.

3. RÉSULTATS

3.1 Cadre Géologique

Dans le Sud du Québec, la zone de Dunnage est constituée de (Fig.1): (1) les ophiolites du Mont-Orford, Lac Brompton, Asbestos et Thetford-Mines, représentant des reliques de croûte océanique, principalement de type supra-subduction; (2) le mélange de St-Daniel, interprété par Cousineau et St-Julien (1994) comme un complexe accréionnaire océanique, mais que nous ré-interprétons comme ayant été déposé sur les ophiolites; (3) le complexe d'Ascot, un terrane composite constitué de dépôts d'arcs volcaniques; et (4) le Groupe de Magog, une séquence sédimentaire avant-arc déposé sur le St.Daniel (Cousineau and St-Julien 1994; Schroetter et al. 2003 et 2004b). Le développement de l'Orogène Taconien est attribué aux collisions entre la marge laurentienne et des arcs volcaniques (Osberg 1978). Des rétrochevauchements vers le Sud-Est et des failles normales d'âge Siluro-Dévonien (431-411 Ma) sont attribués à l'effondrement tectonique post-Taconien (Tremblay et Castonguay 2002), produisant les bassins successifs de la Fosse Connecticut Valley-Gaspé. Au Dévonien, des plis et failles inverses reprennent beaucoup de ces faciès (Orogène Acadien: Tremblay et

al. 2000); enregistrant la destruction finale de l'Océan Iapetus (Osberg 1978; van Staal et al. 1998).

La ceinture ophiolitique du Sud du Québec (COSQ) est composée de trois complexes principaux (Fig. 1): Thetford-Mines (COTM), Asbestos (COA), et le Mont-Orford (COMO), ainsi que de nombreuses éclisses plus petites. Auparavant, ces massifs ophiolitiques étaient interprétés comme des éclisses tectoniques dans un mélange accréionnaire (St.-Daniel: Cousineau and St-Julien 1992). Nos travaux indiquent que le St-Daniel est plutôt un bassin de type 'piggyback' déposé stratigraphiquement sur les ophiolites pendant leur obduction et exhumation (Schroetter et al. 2004a et b).

3.2 Le COTM et ses Minéralisations

La plupart des minéralisations en Cr-ÉGP connues proviennent du COTM (Gauthier et al. 1990) (Figs 2 et 3). Le COTM au Nord-Ouest a une épaisse section mantellique (c. 5Km) contenant de nombreuses chromitites podiformes (Laurent et Kaçira 1987), localement orbiculaires, et encaissées par des auréoles dunitiques. Aucune des chromitites podiformes examinées n'a montré un enrichissement en ÉGP. Les patrons d'éléments traces indiquent que l'harzburgite dominante est réfractaire, ayant perdue 20-25% de liquide magmatique de composition boninitique. Les patrons d'ÉGP peuvent être simulés par la fusion partielle avec des assemblages résiduels d'olivine + orthopyroxène + chromite (Pagé et al. 2003), suggérant l'absence de sulfures résiduels lors de la fusion du manteau. Cependant, les modèles de fusion génèrent des liquides qui sont trop riches en Os-Ir-Ru par rapport aux laves. Le fractionnement d'une petite quantité de chromite pourrait avoir causé ces appauvrissements. Le Pt et Pd sont parfois anormalement enrichis dans le manteau, et nous avons suggéré que ceci reflète un ajout par le biais d'une phase fugitive aqueuse émanant de la plaque subductée (Pagé et al. 2003).

La section crustale (0.5 à 1.5 km) est constituée de Zones cumulatives Dunitique, Pyroxénitique et Gabbroïque, d'un essaim filonien, et de laves boninitiques (principalement) et tholéitiques (rares) (Schroetter et al. 2003). Les modélisations inverses sur les éléments traces incompatibles indiquent que tous les faciès cumulatifs analysés jusqu'à date sont d'affinité boninitique (e.g. Bédard et al. 2001), tout comme la majorité des laves (e.g. Church 1977; Oshin et Crockett 1986b).

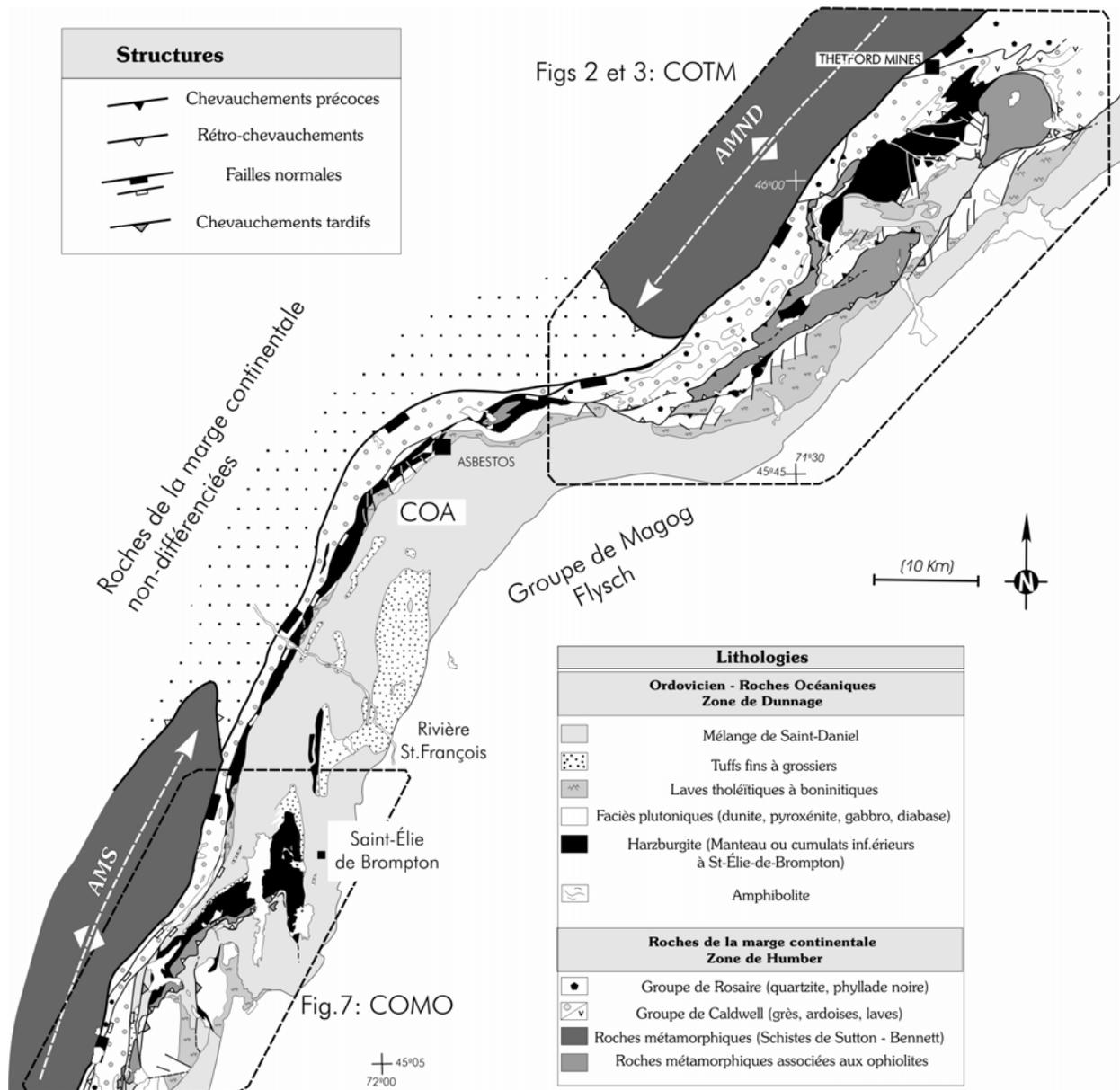


Fig. 1 Carte géologique du sud des Appalaches, modifié de Schroetter et al. (2004a) avec des données compilées de Beulac (1982), Brassard et Tremblay (1999), Brodeur et Marquis (1995), Cooke (1938, 1950), Hébert (1980), Hébert (1983), Huot (1997), Lamarche (1973), Lavoie (1989), Marquis (1989), Pinet (1995), Riordon (1958) Rodrigue (1979), St.-Julien (1961), St-Julien et Slivitsky (1985). AMND = Anticlinorium des Monts Notre Dame, AMS = Anticlinorium des Monts Sutton. Complexes ophiolitiques de Thetford Mines = COTM, d'Asbestos = COA, et du Mt.Orford = COMO.

Les boninites sont typiquement magnésiennes et enrichies en Cr, Ni, H₂O (e.g. Crawford 1989). Leur omniprésence dans le COTM implique un lien avec les

minéralisations en Cr-ÉGP. Par contre, les magmas tholéitiques sont très rares, n'étant préservés que dans la quille d'un graben au Lac de L'Est

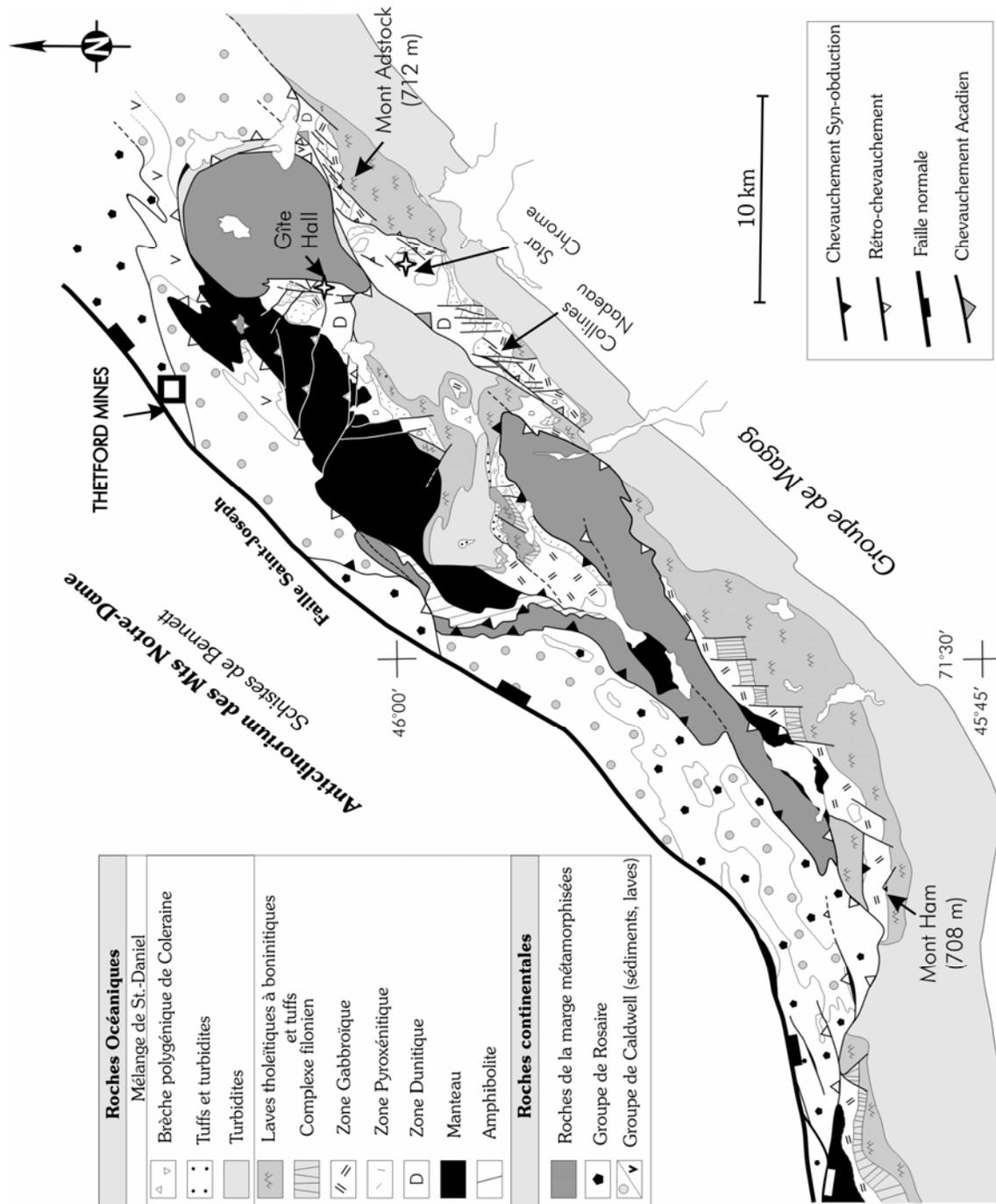


Fig.2 Carte géologique du Complexe Ophiolitique de Thetford Mines, adapté de Schroetter et al. (2004a).

La proportion des magmas tholéitiques augmente vers le Sud, et ce type de lave devient une composante significative du COA et COMO.

Les chromitites stratiformes sont communes dans la Zone Dunitique du COTM. Les lits de chromitite sont

typiquement minces (1-2cm) mais atteignent localement 10m d’épaisseur (Mine Reed-Bélanger: Gauthier et al. 1990). Les valeurs significatives en ÉGP sont rares (Fig. 4) dans ce type de chromitite. Nous les interprétons comme des dépôts cumulatifs ss.

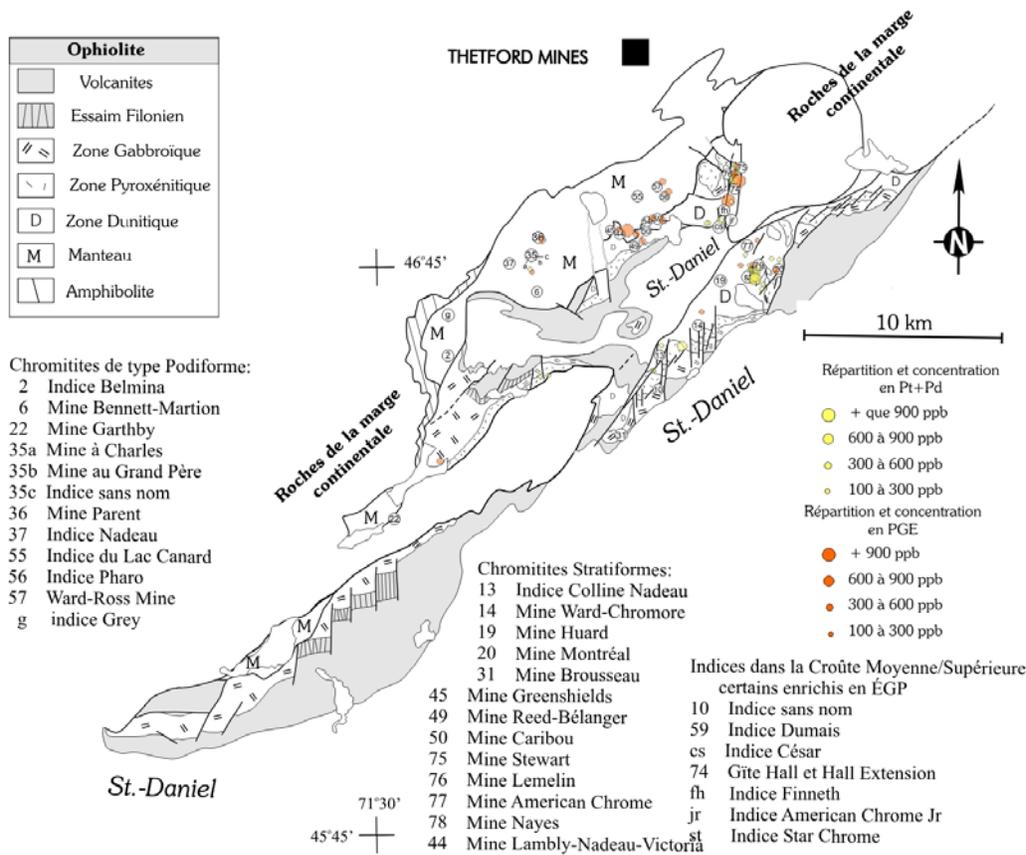


Fig.3 Carte simplifiée du COTM montrant la localisation des indices et mines, adapté de Gauthier et al. (1990) et Schroetter et al (2001). Les cercles de couleur indiquent les valeurs du contenu en ÉGP roche totale, et incorporent les données de Corrivaux (1989), Corrivaux et Laflamme (1990), Tanguay et al. (1990) et Oshin et Crockett (1986a).

La surabondance de chromite serait due soit à des phénomènes de tri dans le liquide (e.g. Wager et Brown 1968), soit à des effets reliés à la dissolution incongrue des encaissants (Bédard et Hébert 1998).

Nos résultats préliminaires indiquent que les roches des Zones Pyroxénitique et Gabbroïque enregistrent la différenciation de corps magmatiques d'envergure, avec une gradation lithologique et géochimique continue et progressive vers le haut (Figs 4 et 5) La stratigraphie cumulative est parfois interrompue par des intrusions péridotitiques (1-20m) cependant ; et le degré auquel ces intrusions ont affectés leurs 'encaissants' est encore incertain. Nous avons échantillonné deux segments de croûte en détail. La section de la colline Nadeau (Fig.4, immédiatement à l'Est de l'indice #13 de la Fig.2) servira d'exemple-type de croûte >stérile'. À Nadeau (Fig.4) les abondances de Pd montrent un patron en

dent de scie vs la hauteur stratigraphique ; et l'abondance en Pd, assez faibles (<80 ppb) d'ailleurs, ne sont pas corrélées avec les autres signatures géochimiques d'origine magmatique. La deuxième section échantillonnée, les collines Diamond (Fig.5 ,près des indices #79 et 'st' de la Fig.2), où se situe l'indice Starchrome, montre un patron évolutif magmatique assez semblable à celui de Nadeau. Cependant, les abondances en Pd à Diamond sont nettement supérieures (Fig.5), avec de grands segments de croûte ayant >200 ppb Pd, et quelques enrichissements moins généralisés jusqu'à 800 ppb. Ici aussi il ne semble pas avoir de lien entre la distribution des ÉGP et les signatures magmatiques. Des travaux effectués à l'Indice Starchrome pour le MSc de V.Bécu indiquent que les roches encaissant les minéralisations sont enrichies en terres rares légères, ce qui pourrait représenter un métallotecte utile. Les travaux

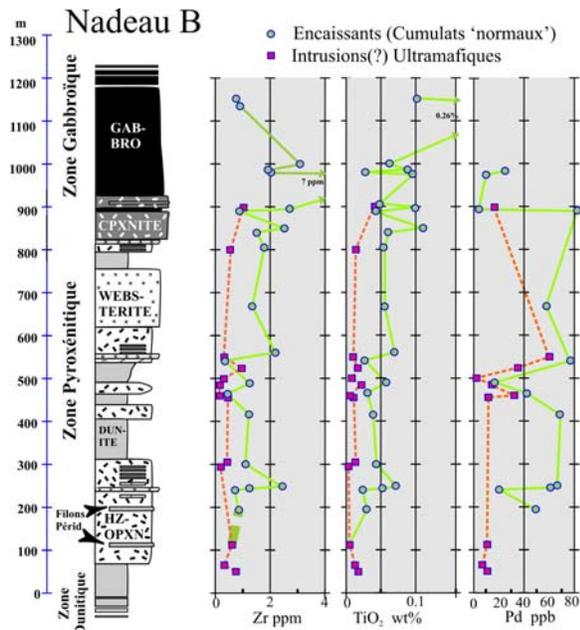


Fig.4 Colonne stratigraphique dans les Zones Dunitiques, Pyroxénitiques et Gabbroïques de la Colline Nadeau, montrant les variations des teneurs (roche totale) du Zr, TiO₂ et Pd pour les 'encaissants', i.e. Les cumulats normaux, et des bancs ultramafiques que nous interprétons comme des filons couches.

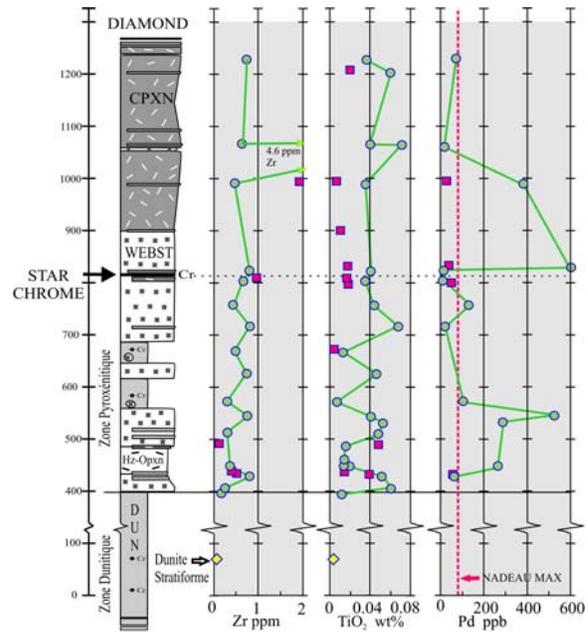


Fig.5 Colonne stratigraphique dans les Zones Dunitiques, Pyroxénitiques et Gabbroïques des Collines Diamond, montrant les variations des teneurs (roche totale) du Zr, TiO₂ et Pd pour les 'encaissants', i.e. Les cumulats normaux, et des bancs ultramafiques que nous interprétons comme des filons couches. L'Indice Starchrome est inclus dans cette colonne.

minéralogiques (Pagé et al. 2001) indiquent la présence de potarite (PdHg), un minéral de basse température localisé dans les interstices et fractures de grains (Fig.6), et associé avec des minéraux de grade schiste vert. Ceci implique qu'une partie de l'enrichissement en Pt-Pd est de nature hydrothermale, en accord avec le patron d'enrichissement en terres rares, et l'absence de corrélation entre les enrichissements en Pt-Pd et les signatures géochimiques magmatiques. Notre cartographie et nos travaux structuraux suggèrent aussi que l'indice Starchrome est situé très près, ou même dans le prolongement de failles pré-obduction.

Pris dans son ensemble, ces données supportent les hypothèses de travail émises précédemment pour expliquer les minéralisations au gîte Hall (Hébert et Bédard 2000; cf. Corrivaux et Laflamme 1990), suggérant que les minéralisations ont été générées par le passage dans des failles de phases volatiles aqueuses enrichies en CI-ÉGP. Dans ce modèle, ces concentrations de fluides se seraient formées dans des pièges au sommet d'intrusions boninitiques sous-plaquantes, avec canalisation de ces fluides et déposition du minerai dans des failles ouvertes dans le toit.

Les travaux stratigraphiques (Schroetter et al. 2003) indiquent que la croûte ophiolitique du CTOM est disséquée par de nombreuses failles paléo-normales en une série de blocs basculés. Nous avons documenté des rotations allant jusqu'à 40°, et peut-être plus. L'érosion atteint la Zone Pyroxénitique dans le secteur Nadeau, et la Zone Dunitique dans le secteur du Lac Caribou. Vu l'existence de minéralisations en Cr-ÉGP dans les Zones Dunitique et Pyroxénitique, l'observation d'une profonde dissection érosionnelle de ces faciès suggère la possibilité qu'il se soit développé des dépôts de type paléo-placer dans les séquences sédimentaires situées immédiatement au-dessus de l'Ophiolite, c'est à dire à la base du mélange de St.-Daniel ou dans la brèche de Coleraine.

3.3 Corrélations avec d'autres massifs.

Le massif d'Asbestos (Fig.1) est plus mince (2000-2500m) que celui de Thetford, mais est du même âge (Whitehead et al. 2000) et contient le même type de roches: i.e une harzburgite tectonisée, avec des cumulats (dunite, chromitite litée, pyroxénite, gabbro), diabases et laves, tholéitiques à la base, boninitiques au sommet (Hébert 1980), suivi par la déposition de

volcanoclastites fines, et des phyllades du mélange de St-Daniel. Nous proposons une corrélation explicite avec le COTM, ce qui implique qu'Asbestos aurait le même potentiel économique que le COTM.

À l'est et au Sud du COA, les plis Acadiens exposent des roches ophiolitiques et des tuffs dans les antiformes, alors que les synformes sont occupés par les phyllades du St-Daniel (Fig. 1). Des roches plutoniques ophiolitiques (dunites, gabbros, laves et volcanoclastites) sont exposées à la Rivière St-François (Fig.1), et nous les corrélons avec le COA. Cette séquence ophiolitique s'étend donc presque continuellement jusqu'à St-Élie-de-Brompton, où elle se fond avec le mélange ophiolitique du Lac Montjoie (Fig. 7, Lamothe 1978), décrit précédemment comme un diapir de serpentinite. Nos travaux de reconnaissance indiquent plutôt que les roches du Lac Montjoie appartiennent à une séquence ophiolitique (semelle, manteau (?) et péridotites crustales + dykes d'orthopyroxénite), sur lesquels sont déposés laves mafiques et tuffs de type Asbestos et St-Daniel (Fig.7), et que nous appellerons désormais le Complexe Ophiolitique du Lac Brompton (COLB). Quoiqu'il reste beaucoup de travail à faire pour raffermir ces corrélations, la continuité et les ressemblances lithologiques et structurales suggèrent qu'on puisse corréler le COTM et COA jusqu'à Saint-Élie-de-Brompton (>100 Km).

Au sud de Saint-Élie-de-Brompton se situe le Complexe Ophiolitique du Mont Orford (COMO), constitué de deux masses principales, le Mont Chauve et le massif du Mont Orford-Chagnon (Figs 1 et 7; Rodrigue 1979, Laurent et Hébert 1989, Huot et al. 2002). Un mince mélange basale à matrice de serpentinite contient une variété de clastes, incluant des fragments d'harzburgite mantellique (Huot et al. 2002). Au dessus du mélange, il y a des éclisses (100° de m) tectoniques d'harzburgite mantellique et de dunite (Huot et al. 2002) reliées à l'obduction par Turcotte (1999). Au Mt Chagnon, la croûte plutonique est dominée par du gabbro, gabbro à hornblende, diorite et trondhjémite (Huot et al. 2002). Les cumulats mafiques sont plus abondants au Mt Orford (Rodrigue 1979). Les laves au Mt.Chagnon sont principalement des basaltes et andésites, avec des laves felsiques et quelques unités détritiques localement, sur lesquels sont déposés les sédiments du St.-Daniel (Huot 1997; Huot et al. 2002). La chimie des laves a été interprétée comme diagnostique d'un environnement arc/arrière-arc (Harnois et Morency 1989; Laurent et Hébert 1989) ou arc/avant-arc/arrière-arc (Huot et al. 2002). Les données géochronologiques sont

problématiques (age <504 +/- 3 Ma: David et Marquis 1994), puisque les fractions de zircons analysés sont contaminées par des cœurs Protérozoïques. Des arguments structuraux suggèrent une corrélation possible avec les complexes au Nord (COTM-COA-COLB) selon Schroetter et al. (2004a).

3.4 Implications pour l'exploration.

Les faciès du manteau et de la croûte inférieure sont rarement minéralisés en ÉGP, et ne représentent pas une bonne cible pour l'exploration pour les ÉGP. Ils demeurent une cible pour le Cr, cependant, surtout dans les faciès non-cartés du COLB (Fig.7) et dans les extensions du COA.

Tous les cumulats du COTM analysés jusqu'à maintenant sont d'affinité boninitique, et sont probablement cosanguins avec les dykes et les laves. L'omniprésence de boninites implique peut-être un lien génétique avec les minéralisations en Cr-ÉGP. L'identification de laves ou cumulats d'affinité boninitique dans un ophiolite pourrait donc représenter une façon de trier ceux-ci pour leur potentiel économique.

Des veines de chromitite, et des remplissages de brèche chromititiques enrichies en ÉGP coupent et remplacent des dunites (Hall) et pyroxénites (Starchrome) de la croûte moyenne, atteignant localement des teneurs de 20gr/ton Pt+Pd. Notre cartographie et nos travaux structuraux suggèrent que ces minéralisations sont associées à des failles pré-obduction, et pourraient avoir été générés par des concentrations de fluides enrichis en Cr-ÉGP formés dans des pièges au sommet d'intrusions boninitiques sous-plaquantes, avec canalisation de ces fluides et déposition du minerai dans des failles ouvertes dans le toit. Il découle donc que les failles normales représenteraient des sites privilégiés, et que l'exploration le long de l'extension des failles connues pourrait s'avérer fructueux.

À Starchrome, les enrichissements en Pt-Pd semblent avoir peu de lien avec les patrons magmatiques, et supportent l'hypothèse d'une introduction métasomatique par le biais de solutions hydrothermales. Des enrichissements en terres-rares légères sont associés avec la minéralisation, et pourraient être un métalotecte. La présence de potarite (PdHg, Fig.6) dans les zones minéralisées est aussi compatible avec l'hypothèse hydrothermale. De plus, l'existence de

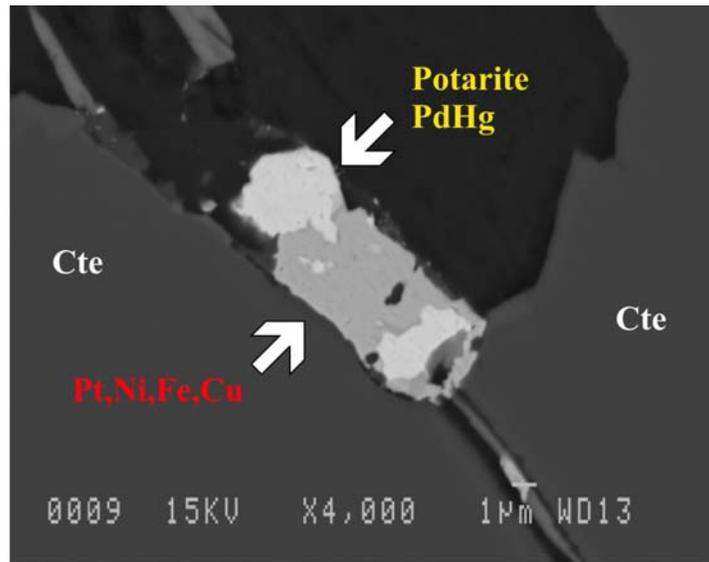


Fig. 6 Image en ‘backscatter’ montrant une grain composite de Potarite (PdHg) et un alliage de PtNiFeCu interstitiel aux chromites à Starchrome.

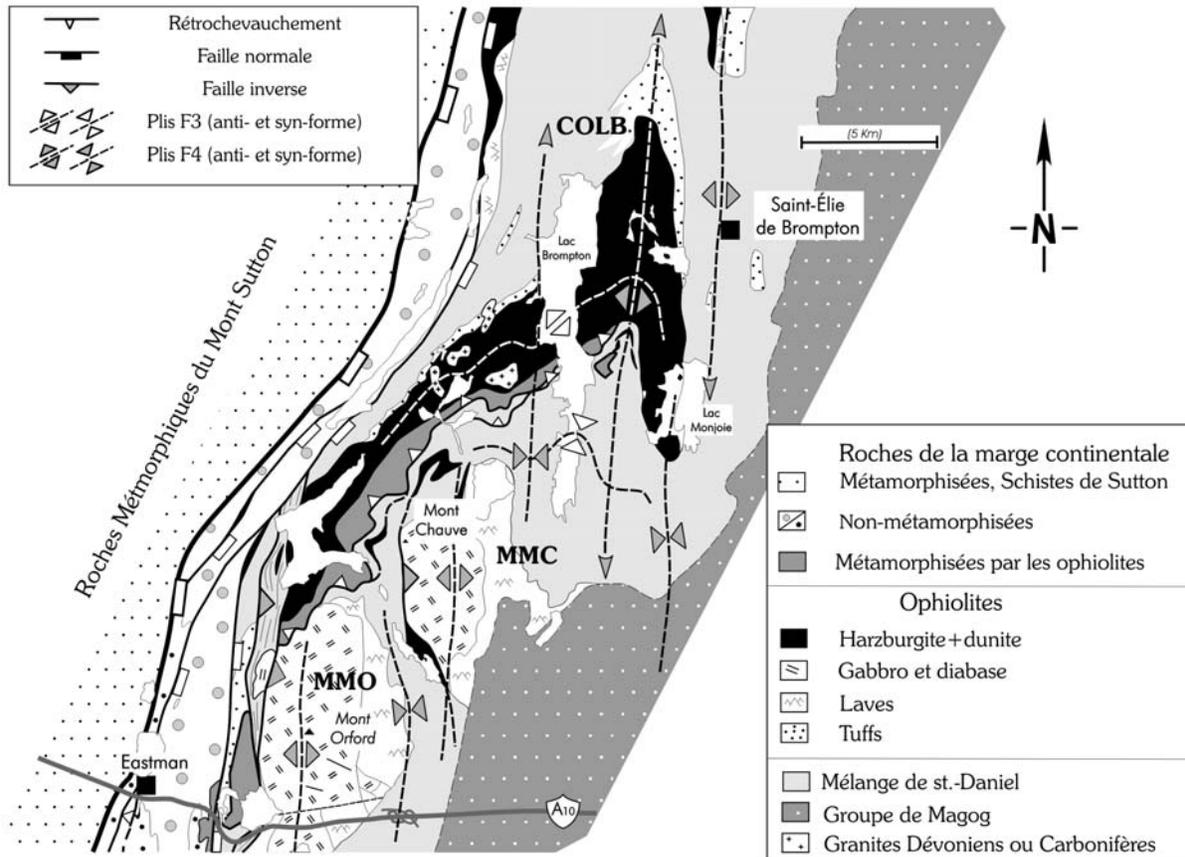


Fig. 7 Carte géologique du Complexe Ophiolitique du Lac Brome (COLB) et du Mt.Orford (COMO). MMO = massif du Mt.Orford, MMC = Massif du M. Chauve.

potarite suggère que la géochimie de sol pour le mercure pourrait être une façon efficace de détecter des gîtes cachés par des dépôts Quaternaires.

La présence dans le COTM de surfaces érosionnelles ayant pénétrées jusqu'à la croûte inférieure suggère le potentiel pour le développement de minéralisations paléo-placers dans les roches sédimentaires immédiatement sus-jacentes aux surfaces érosionnelles. Nous suggérons que des échantillonnages serrés dans certaines de ces séquences (base du St.Daniel) pourraient déceler la présence de ce type de minéralisations. Nos travaux stratigraphiques (Schroetter et al. 2004b) impliquent que : 1) la base du St.Daniel correspondrait aux coulées de débris connues sous le nom de 'brèche de Coleaine' ; et 2) que le St.Daniel n'est pas un mélange accréionnaire, mais plutôt la base de la séquence de flysch avant-arc, et serait potentiellement corrélatif avec la base du Groupe de Magog. Les roches felsiques pyroclastiques abondent dans les séquences ophiolitiques et à la base du mélange de St-Daniel (Figs 1 et 7, Schroetter et al. 2003 et 2004b) et dans le Groupe de Magog (Cousineau et St.-Julien 1994). Cependant, il n'est pas clair si les tufs exposés au Sud-Est du COA (Fig.1) représentent: 1) de nouveaux événements volcaniques post-datant l'obduction des COTM-COA-COLB, ou si 2) ce sont des répétitions structurales, exposant le sommet des séquences ophiolitiques. Si l'hypothèse 2 est correcte, ces séquences auraient elles aussi un potentiel pour des minéralisations paléo-placers.

Les corrélations proposées dans Schroetter et al. (2004a) entre les différents massifs de la Ceinture Ophiolitique du Sud du Québec (COSQ) impliquent que le potentiel en Cr-ÉGP caractérisant le COTM pourrait aussi s'appliquer aux autres ophiolites, délimitant une province métallogénique de grande envergure.

4. CONCLUSIONS

La Ceinture Ophiolitique du Sud du Québec (COSQ) est constituée de terranes océaniques ayant un fort potentiel pour le Cr et les ÉGP. Le Complexe de Thetford Mines (COTM) contient la plupart des minéralisations connues. Les chromitites podiformes (largement épuisés) du manteau ne contiennent pas de teneurs significatives en ÉGP. La croûte inférieure est dominée par de la dunite avec des interlits de chromitite stratiforme, mais sont rarement minéralisés en ÉGP. La croûte cumulative est localement recoupée par des

veines et des remplissages de brèche chromititiques enrichies en ÉGP qui coupent et remplacent des dunites et pyroxénites. Notre cartographie et nos travaux structuraux suggèrent que ces minéralisations sont associées à des failles pré-obduction, et pourraient avoir été générées par des concentrations de fluides enrichis en Cr-ÉGP formés dans des pièges au sommet d'intrusions boninitiques sous-plaquantes, avec canalisation de ces fluides et déposition du minerai dans des failles ouvertes dans le toit. À Starchrome, les enrichissements en Pt-Pd semblent avoir peu de lien avec les patrons magmatiques, et supportent l'hypothèse d'une introduction métasomatique par le biais de solutions hydrothermales. Des enrichissements en terres-rares légères associées avec la minéralisation, et la présence de potarite (PdHg), sont compatibles avec cette hypothèse. L'existence de la potarite suggère que la géochimie de sol pour le mercure pourrait être une méthodologie efficace pour l'exploration où il y a des dépôts Quaternaires. Tous les cumulats du COTM analysés jusqu'à maintenant sont d'affinité boninitique, et sont probablement cosanguins avec les dykes et laves. La présence de boninites pourrait être un facteur essentiel au développement de minéralisations en Cr-ÉGP. La présence dans le COTM de surfaces érosionnelles atteignant le moho suggère le potentiel pour des minéralisations paléo-placer dans les roches sédimentaires immédiatement sus-jacentes aux surfaces érosionnelles (St.Daniel). Nous proposons que le COTM se corrèle avec les Complexes Ophiolitiques d'Asbestos et du Lac Brompton, définissant ainsi une province métallogénique d'envergure.

5. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Réjean Hébert, Roger Laurent, et feu Pierre St-Julien pour leurs conseils et leur aide dans les saisons de terrain antécédentes; Bertrand Brassard et François Auclair de Ressources Allican Inc.; Nicolas Pinet, Yves Hébert et François Huot pour de nombreuses discussions; Pierre Cousineau et feu Giff Kessler pour des aperçus volcanologiques et sédimentologiques. Ces travaux ont été supportés par le projet Diversification de l'Exploration Minérale au Québec de Valorisation-Recherche Québec (projet 2201-133), par la Commission géologique du Canada, par la subvention # ESS 233685-99 du CRSNG, et par Ressources Allican Inc.

6. RÉFÉRENCES

- Bédard J.H. (1994). A procedure for calculating the equilibrium distribution of trace elements in the minerals of cumulate rocks, and the concentration of trace elements in the coexisting liquids. *Chemical Geology* 118:143-153
- Bédard J.H. (2004). Partitioning coefficients between olivine and silicate melts. *Lithos*, accepté, en revision
- Bédard J.H.; Hébert R. (1998). Intra-crustal chromitites, North Arm Mountain Massif, Bay of Islands ophiolite: Formation by incongruent dissolution of feldspar and pyroxene into intrusions of peridotite. *Journal of Geophysical Research* 103:5165-5184
- Bédard J.H.; Tremblay A.; Schroetter J.-M.; Bécu V.; Pagé P. (2001). Structural and magmatic evolution of the Thetford Mines Ophiolite: Preliminary results from new mapping and analysis. Geological Association of Canada et Mineral Association of Canada Joint Annual Meeting, St-John's, NF, Canada, Résumé et programme, 26, p.11
- Beulac R.X. (1982). Étude pétrologique du Complexe ophiolitique du lac Nicolet. Mémoire M.Sc., Université Laval, Québec, Canada, 79p.
- Brassard B.; Tremblay A. (1999). Synthèse géologique et métallogénique de la M.R.C. de l'Amiante. Rapport final préparé pour la société d'aide au développement de la collectivité de l'Amiante (SADC), carte 1/50 000, feuillets nord et sud de la MRC de l'Amiante
- Brodeur E.; Marquis R. (1995). Géologie de la région d'Orford. Ministère des Ressources naturelles du Québec-Ressources naturelles Canada, ET 93-06, 73p.
- Church W.R. (1977). The ophiolites of southern Quebec: oceanic crust of Betts Cove type. *Canadian Journal of Earth Sciences* 14:1668-1673
- Corrivaux L. (1989). Étude des gîtes de chrome-platine du Canton de Coleraine, estrie. Mémoire MSc Université du Québec à Montréal, 190p.
- Corrivaux L.; Laflamme J.H.G. (1990). Mineralogy of platinum group elements in chromitite and ophiolite of Thetford Mines, Quebec. *Canadian Mineralogist* 28:579-595
- Cousineau P.A.; St-Julien P. (1992). The Saint-Daniel Mélange : evolution of an accretionary complex in the Dunnage terrane of the Québec Appalachians. *Tectonics* 11:898-909
- Cousineau P.A.; St-Julien P. (1994). Stratigraphie et paléogéographie d'un bassin d'avant-arc ordovicien, Estrie-Beauce, Appalaches du Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences* 31:435-446
- Cooke M.H.-C. (1938). Région de Thetford, de Disraëli et de la moitié orientale de Warwick (Québec). Commission Géologique du Canada, Memoir 211, 176p.
- Cooke M.H.-C. (1950). Geology of the southwestern part of the Eastern Townships of Québec. Geological Survey of Canada, Memoir 257, 142p.
- Crawford A.J. (1989). *Boninites and related rocks*, Unwyn Hyman, London
- David J.; Marquis R. (1994). Géochronologie U-Pb dans les Appalaches du Québec: application aux roches de la zone de Dunnage. *La Revue géologique du Québec* 1:16-20
- Gauthier M.; Corrivaux L.; Trotter L.J.; Cabri J.; Laflamme J.H.G.; Bergeron M. (1990). Chromitites platinifères des complexes ophiolitiques de l'Estrie-Beauce, Appalaches du Sud du Québec. *Mineralium Deposita* 25:169-178
- Harnois L.; Morency M. (1989). Geochemistry of Mount Orford Ophiolite Complex, Northern Appalachians, Canada. *Chemical Geology* 77:133-147
- Hébert R. (1980). Étude pétrologique des roches d'Asbestos et du Mont Ham (Ham Sud), Québec. Mémoire M.Sc. thesis, Université Laval, Québec, Canada, 182p.
- Hébert R.; Bédard J.H. (2000). Les ophiolites d'avant-arc et leur potentiel minéral: exemple des complexes ophiolitiques du sud du Québec. *Chronique de la Recherche Minière* 539:101-117
- Hébert Y. (1983). Étude pétrologique du Complexe Ophiolitique de Thetford Mines, Québec. Thèse de Ph.D., Université Laval, Québec, Canada, 426p.
- Huot F. (1997). Étude pétrologique des roches des processus magmatiques reliés au massif ophiolitique du Mont-Chagnon, Québec, Canada. Mémoire M.Sc., Université Laval, Québec, 105p.
- Huot F.; Hébert R.; Turcotte B. (2002). A multistage magmatic history for the genesis of the Orford ophiolite (Quebec, Canada): a study of the Mt Chagnon massif. *Canadian Journal of Earth Sciences* 39:1201-1217
- Lamarche R.Y. (1973). Complexe ophiolitique d'Asbestos. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DP-144, GM 28558, 9p.
- Lamothe D. (1979). Analyse structurale du Mélange ophiolitique du Lac Montjoie. Mémoire M.Sc., Université Laval, Québec, Canada, 68p.
- Laurent R.; Hébert R. (1989). The volcanic and intrusive rocks of the Québec Appalachian ophiolites (Canada) and their island-arc setting. *Chemical Geology* 77:287-302
- Laurent R.; Kaçira N. (1987). Chromite deposits in the Appalachian ophiolites. Dans C.W.Stowe ed., *Evolution of Chromium Ore Fields*, Van Nostrand Reinhold Co., N.Y., p.169-193
- Lavoie D. (1989). Géologie de la Formation de Saint-Daniel et du Groupe de Magog, région de Richmond, Rapport final, Estrie. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB 89-06, 44p.
- Marquis R. (1989). Géologie de la région de Windsor, Estrie. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB 89-12, 22p.
- Morin Y.; Hébert R.; Bédard J. (1992). Origin of the chromitites of the Hall orebody in the Thetford Mines ophiolite complex, Québec. Geological Association of Canada/Mineralogical Association of Canada, Résumés et Programme, 17, p.79-80
- Osberg P.H. (1978). Synthesis of the geology of north-eastern Appalachians, USA. Dans: E.T. Tozer et P.E. Schenk (eds), *Caledonian-Appalachian Orogen of the North Atlantic region*, Geological Survey of Canada Paper 78-13, p.137-147

- Oshin I.O.; Crockett J.H. (1982). Noble metals in the Thetford Mines ophiolite, Quebec, Canada: Part I., distribution of gold, iridium, platinum and palladium in the ultramafic and gabbroic rocks. *Economic Geology* 77:1556-1570
- Oshin I.O.; Crockett J.H. (1986a). Noble metals in the Thetford Mines ophiolite, Quebec, Canada: Part II., distribution of gold, silver, iridium, platinum and palladium in the Lac de L'Est volcanosedimentary section. *Economic Geology* 81:931-945
- Oshin I.O.; Crockett J.H. (1986b). The geochemistry and petrogenesis of ophiolitic volcanic rocks from Lac de l'Est, Thetford Mines Complex, Quebec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 23:202-213
- Pagé P.; Bécu V.; Tremblay A.; Bédard J.H.; Brassard B. (2001). Occurrences of Platinum-palladium-enriched chromitites in the Thetford Mines ophiolite, southern Québec. *Geological Society of America, Northeastern Section, Abstracts with Programs* 33(1), p.58-59
- Pagé P.; Bédard J.H.; Tremblay A.; Schroetter J.M. (2003). The Thetford Mines Ophiolite Complex: focus on the petrology, mineralogy and geochemistry (REE, PGE) of a supra-subduction mantle section. *EOS Transactions of the American Geophysical Union* 84, p.F1538
- Pinet N. (1995). Cartographie du secteur Lac Bisby- Petit Lac Saint-François, Propriété Coleraine, QERDEM B Dossier d'exploration minière, Ressources Minières Coleraine Inc., GM 53715, 33p.
- Riordon P.H. (1954). Région de Thetford Mines-Black Lake, Province de Québec. Ministère des Mines, Rapport Préliminaire 295, 23p.
- Rodrigue G. (1979). Étude pétrologique des roches ultramafiques du Mont Orford, Québec. Mémoire M.Sc., Université Laval, Québec, Canada, 148p.
- Schroetter J.-M.; Pagé P.; Tremblay A.; Bédard J.H. (2001). Origine et caractérisation structurale des chromitites ophiolitiques du sud du Québec. Rapport d'activités de la saison de terrain été 2001, pour le compte de la société ressources Allican Inc. 38p, carte 1/10,000 (non-publiée)
- Schroetter J.-M.; Pagé P.; Bédard J.H.; Tremblay A.; Bécu V. (2003) (*sous presse*). Forearc extension and seafloor spreading in the Thetford Mines Ophiolite complex. Dans: Y. Dilek et P.T. Robinson (eds), *Ophiolite in Earth History*, Special publication of the geological Society of London
- Schroetter J.-M.; Tremblay A.; Bédard J.H. (2004a) (*soumi*). Structural evolution of the Thetford-Mines Ophiolite Complex, Canada, and its implications for the origin of the southern Québec Ophiolitic Belt. *Tectonics*
- Schroetter J.-M.; Tremblay A.; Bédard J.H. (2004b) (*soumi*). The Saint-Daniel Mélange: A syn-Taconian piggyback basin of the southern Québec Appalachians, Canada. *Bulletin of the Geological Society of America*
- St-Julien P. (1961). Rapport préliminaire sur la région du Lac Montjoie. Ministère des Richesses Naturelles, Québec, Canada, RP-464, 14p.
- St-Julien P.; Slivitsky A. (1985). Compilation géologique de la région de l'Estrie-Beauce. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, carte 2030, 1:250 000
- Tanguay S.; Hébert R.; Bergeron M. (1990). Distribution of PGE in pyroxene-bearing ultramafic cumulates in the Thetford Mines ophiolitic complex, Quebec. *Canadian Mineralogist* 28:597-605
- Tremblay A.; Castonguay S. (2002). The structural evolution of the Laurentian margin revisited (southern Quebec): implications for the Salinian Orogeny and Appalachian successor basins. *Geology* 30:77-82
- Tremblay A.; Malo M.; St-Julien P. (1995). Dunnage zone Québec. Dans: H. Williams (ed.) *Geology of the Appalachian-Caledonian Orogen in Canada and Greenland*, Geological Survey of Canada, *Geology of Canada* 6:179-187
- Tremblay A.; Ruffet G.; Castonguay S. (2000). Acadian metamorphism in the Dunnage zone of the southern Québec, northern Appalachians: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence for collision diachronism. *Geological Society of America Bulletin* 112:136-146
- Turcotte B. (1999). Métamorphisme et hydrothermalisme dans le massif ophiolitique du Mont-Chagnon. Mémoire M.Sc., Université Laval, Québec, Canada, 204p.
- Van Staal C.R.; Dewey J.F.; MacNiocail C.; McKerrow W.S. (1998). The Cambrian-Silurian tectonic evolution of the northern Appalachians and British Caledonides: history of a complex, west and southwest Pacific-type segment of Iapetus. Dans: D.J. Blundell et A.C. Scott (eds.) *Lyell: The past is the key to the present*, Geological Society of London Special Publication 143:199-242
- Wager L.R.; Brown G.M. (1968). *Layered Igneous Rocks*. Oliver and Boyd, Edinburgh, 588p
- Whitehead J.; Dunning G.R.; Spray J.G. (2000). U-Pb geochronology and origin of granitoid rocks in the Thetford Mines ophiolite, Canadian Appalachians. *Geological Society of America Bulletin* 112:915-928