

ET 2003-03

CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL DES SULFURES MASSIFS VOLCANOGENES AURIFERES DU GISEMENT LARONDE, ABITIBI

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

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 

Contexte géologique et structural des sulfures massifs volcanogènes aurifères du gisement LaRonde, Abitibi

Patrick Mercier-Langevin
Benoît Dubé
Mark D. Hannington
Donald W. Davis
Benoît Lafrance



Chevalement du puits Penna de la mine LaRonde avec, en arrière plan, le chevalement du puits 2. Vue vers l'est.

Contexte géologique et structural des sulfures massifs volcanogènes aurifères du gisement LaRonde, Abitibi

Patrick Mercier-Langevin¹

Benoît Dubé²

Mark D. Hannington²

Donald W. Davis³

Benoit Lafrance⁴

ET 2003-03

RÉSUMÉ

Le gisement LaRonde constitue un des plus importants complexes de sulfures massifs volcanogènes aurifères connus dans le monde. Les réserves et ressources sont évaluées à 63,5 Mtm à 4,1 g/t Au, 52 g/t Ag, 2,31 % Zn et 0,44 % Cu pour un total de 8,51 Moz Au (puits Penna). L'accès récent aux lentilles minéralisées du puits Penna (20 Nord et 20 Sud) représente une occasion unique de documenter les caractéristiques de ce gisement de façon à mieux comprendre les paramètres géologiques qui contrôlent la formation de ce style particulier de minéralisation.

Un raccourcissement N-S intense a affecté la séquence volcanique de la mine LaRonde. La géométrie globale des zones minéralisées est contrôlée par la déformation principale (Dp : foliation pénétrative intense E-W à pendage fort vers le sud, linéation à plongement abrupt vers le S-W et plis P2 subverticaux). Par contre, la géométrie interne des lentilles est contrôlée par les éléments structuraux reliés à la déformation secondaire (Ds : clivage C NNE-SSW, linéation d'intersection L_{sp} à fort plongement vers le S-W, plis intrafoliaux en S et en Z et failles E-W à NE-SW).

Quatre horizons de sulfures semi-massifs à massifs aurifères, formés successivement lors du volcanisme à l'origine du Membre supérieur de la Formation de Bousquet (unités 5.1 à 5.5), caractérisent la minéralisation de la mine LaRonde (puits Penna).

L'unité 5.1b, hôte des Zones 6 et 7, se caractérise par une succession de laves dacitiques à rhyodacitiques massives à bréchiques intercalées avec de minces niveaux d'andésite amygdulaire transitionnelle. L'unité sus-jacente (5.2b) se caractérise par un complexe de dômes et de brèches de coulée, rhyodacitique à rhyolitique, calco-alkalin, daté à 2698,3 ± 0,8 Ma. Cette unité est recouverte localement par une rhyolite porphyrique calco-alkaline (unité 5.3), datée à 2697,8 ± 1 Ma, et localement par une andésite basaltique transitionnelle (unité 5.4). La rhyolite (unité 5.3) se présente sous forme de coulées massives et de brèches de coulée limitées spatialement alors que l'unité 5.4 forme un complexe de dyke et filons-couches. Ces deux unités se sont mises en place à l'intérieur de dépôts volcanoclastiques (unité 5.5), rhyodacitiques à rhyolitiques, calco-alkalins. Cette séquence est surmontée par les sédiments du Groupe de Cadillac.

La distribution et la composition de ces unités contrôlent la nature et la position des sulfures et des zones d'altération; la mise en place des dômes et brèches rhyodacitiques de l'unité 5.2b et des filons-couches de l'unité 5.4, vers 2698 Ma, a joué un rôle clé dans la formation des lentilles minéralisées 20 Nord et 20 Sud. La lentille 20 Nord, formée par remplacement au sommet des volcanoclastites de l'unité 5.2b, est caractérisée à la base par un *stockwerk* aurifère à Py + Cp (Au-Cu) fortement transposé (Zone 20N Au) et au sommet par une lentille massive à Py + Sp + Gn ± Cp (Zone 20N Zn). La lentille 20 Sud, formée en remplacement au sommet de l'unité 5.4 et de l'unité 5.5, est composée de Py + Cp + Sp + Po formant un amas massif ou un *stockwerk* dense fortement transposé.

L'étude du gisement LaRonde montre que les séquences formées d'unités perméables, surmontées ou coupées par des unités imperméables, représentent des cibles d'exploration importantes.

1. INRS Eau, Terre et Environnement

2. Commission géologique du Canada

3. Royal Ontario Museum

4. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs

DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC**Directeur**

Alain Simard

Chef du service géologique du Nord-Ouest

Robert Marquis

Responsable du processus des études géologiques

Pierre Verpaelst

Lecture critique

James Moorhead

Édition et mise en pages

Jean Choinière, Claude Dubé

Dessin assisté par ordinateur

Patrick Mercier-Langevin,
Benoît Dubé, Luce Dubé

Supervision technique

Charlotte Grenier

Document accepté pour publication le 2003-08-22

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
GÉOLOGIE DU GISEMENT LARONDE	7
Introduction	7
Description des unités volcaniques hôtes du gisement LaRonde	7
Unités du Membre inférieur de la Formation de Bousquet à LaRonde	7
Unité 5.1b : Dacite-rhyodacite de LaRonde	9
Unité 5.2b : Rhyodacite-rhyolite de LaRonde	13
Unité 5.3 : Rhyolite à phénocristaux de Fp et de Qz de LaRonde	15
Unité 5.4 : Andésite basaltique de LaRonde	15
Unité 5.5 : Unité felsique supérieure	18
Lentilles minéralisées	19
Zone 7	19
Lentille 20 Nord	19
Lentille 20 Sud	19
PÉTROGENÈSE	19
DISTRIBUTION DES UNITÉS	20
Distribution des unités en surface	20
Distribution des unités en profondeur	21
ANALYSE STRUCTURALE DU GISEMENT LARONDE	24
Éléments structuraux et distribution de la déformation	24
Effets de la déformation sur la géométrie des unités volcaniques et des lentilles minéralisées	30
GÉOCHRONOLOGIE ET CADRE TEMPOREL DE FORMATION DES MINÉRALISATIONS DU GISEMENT LARONDE	34
DISCUSSION	35
Contexte géologique	35
Implications en terme d'exploration	37
REMERCIEMENTS	38
RÉFÉRENCES	38
ANNEXE – PHOTOGRAPHIES	41

INTRODUCTION

Une synthèse de l'information géologique portant sur le camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde, et impliquant le ministère des Ressources naturelles du Québec, la Commission géologique du Canada, les sociétés minières Cambior, Barrick Gold, Agnico-Eagle et Ressources Yorbeau ainsi que l'Institut national de la recherche scientifique et l'Université du Québec à Chicoutimi, a été amorcée à l'été 2000. Ce camp minier contient des réserves et des ressources qui totalisent plus de 25 millions d'oz d'or. Il renferme trois mines présentement en production qui sont d'ouest en est : la mine Mouska (Au), la mine Doyon (Au), et la mine LaRonde (puits Penna; Au-Ag-Zn-Cu). Cette synthèse, échelonnée sur trois années, intègre les travaux détaillés et les données lithogéochimiques des sociétés minières. Elle comprend l'élaboration d'une carte géologique synthèse à l'échelle 1:20 000 et des travaux détaillés de stratigraphie et de volcanologie (Lafrance *et al.*, 2003) ainsi que des études géologiques des différents corps minéralisés (Dubé *et al.*, 2001, 2003, 2004; Galley, 2001). La participation de la Commission géologique du Canada dans ce projet s'inscrit dans le cadre du programme *Initiative géoscientifique ciblée (IGC)*.

Au 31 décembre 2001, la production totale du gisement LaRonde (puits 1, 2 et Penna) était de 10,25 Mtm à 6,29 g/t Au, soit l'équivalent de 58,7 tonnes Au ou 1,89 Moz Au de même que 6,4 Moz Ag, 38,3 tonnes Cu et 85,3 tonnes Zn (Agnico-Eagle communication écrite, 2002). En 2001, le puits Penna a produit à lui seul 234 860 oz Au à partir de 1,63 Mtm de minerai contenant 5,11 g/t Au, 79,1 g/t Ag, 5,19 % Zn et 0,21 % Cu (Agnico-Eagle, News Release, février 2002). Les réserves et ressources globales sont évaluées à 63,5 Mtm à 4,1 g/t Au, 52 g/t Ag, 2,31 % Zn et 0,44 % Cu pour un total de 8,51 Moz Au (Agnico-Eagle News Release, février 2002). La mine LaRonde (puits Penna) est le plus gros gisement aurifère actuellement en exploitation au Canada et constitue donc un des plus importants complexes de sulfures massifs volcanogènes aurifères connus dans le monde. L'accès récent aux lentilles minéralisées du puits Penna (20 Nord et 20 Sud; mine LaRonde) représente une occasion unique de documenter et de décrire les caractéristiques de ce gisement. En effet, cet accès permet de mieux comprendre les paramètres géologiques qui contrôlent la formation de ce style de minéralisation privilégié par l'industrie étant donné son tonnage et son contenu élevé en métaux usuels et en métaux précieux. Le secteur à l'étude (propriété minière LaRonde et mine LaRonde, puits Penna) est localisé à la figure 1. Dans ce rapport, le terme « gisement LaRonde » fait référence à l'ensemble des minéralisations déjà exploitées ou en exploitation par la compagnie Agnico-Eagle sur la propriété minière LaRonde (puits 1, 2 et Penna) alors que le terme « mine LaRonde (puits Penna) » fait plus particulièrement

référence aux minéralisations actuellement en exploitation au puits Penna (Zone 7, lentilles 20 Nord et 20 Sud). Il est à noter que le puits 1 est aussi connu sous le nom de « mine Dumagami », qui a par la suite été renommée « mine Donald J. LaRonde ».

Ce rapport présente un survol des résultats des travaux de cartographie géologique et structurale entrepris à la mine LaRonde (puits Penna) aux étés 2000 et 2001 dans le cadre de la synthèse Doyon-Bousquet-LaRonde. Il est basé : 1) sur la cartographie détaillée des affleurements de surface; 2) sur des vues en plan et en section des lithologies, des zones d'altération et des lentilles 20 Nord et 20 Sud effectuées sous terre à différents niveaux; 3) sur la diagraphie et un échantillonnage minutieux des roches sous terre et dans plus d'une cinquantaine de trous de forage. Les buts visés par ce rapport sont :

1. Définir la stratigraphie, les caractéristiques et l'âge de la séquence volcanique contrôlant la formation et la localisation du gisement LaRonde;
2. Établir la nature et la chronologie relative des différentes phases de déformation;
3. Définir la chronologie relative de l'altération et de la minéralisation par rapport à la déformation et au métamorphisme;
4. Comprendre la formation des gisements de sulfures massifs volcanogènes riches en or (*high sulfidation Au-rich SMV*);
5. Formuler des guides d'exploration pour les gisements de sulfures massifs volcanogènes riches en or applicables à l'échelle du camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde et ailleurs dans la ceinture de roches vertes de l'Abitibi.

Ce rapport, qui se concentre principalement sur la géologie du gisement LaRonde, est complémentaire à celui de Dubé *et al.* (2004) qui traite plus spécifiquement de l'altération et des minéralisations du gisement LaRonde et des implications pour l'exploration des sulfures massifs aurifères dans le camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde et ailleurs dans les ceintures de roches vertes. Ces deux rapports et celui de Lafrance *et al.* (2003) sont complémentaires dans la compréhension du camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde.

La première partie de ce rapport présente une description pétrographique et géochimique des différentes unités volcaniques et traite ensuite de leur distribution en surface et sous terre et des divers faciès volcaniques les caractérisant. Les relations structurales et géochronologiques sont décrites dans la seconde partie de ce rapport. Enfin, une discussion portant sur le contexte géologique, structural et géochronologique du gisement LaRonde est présentée en toute fin. Elle a pour but de faire ressortir les paramètres géologiques clés dans la formation du gisement et dans l'élaboration de stratégies d'exploration à l'échelle locale et régionale. La terminologie utilisée dans ce rapport concernant les noms et numéros d'unités est celle qui a été établie par Lafrance *et al.* (2003) à l'échelle du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde dans le cadre de ce projet de synthèse.

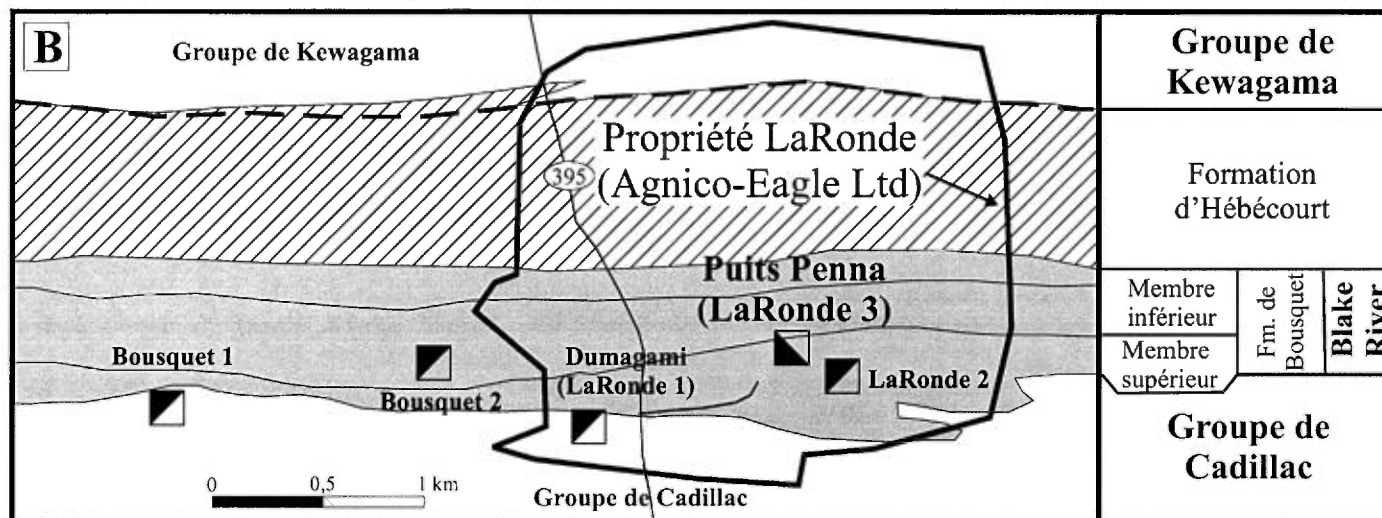
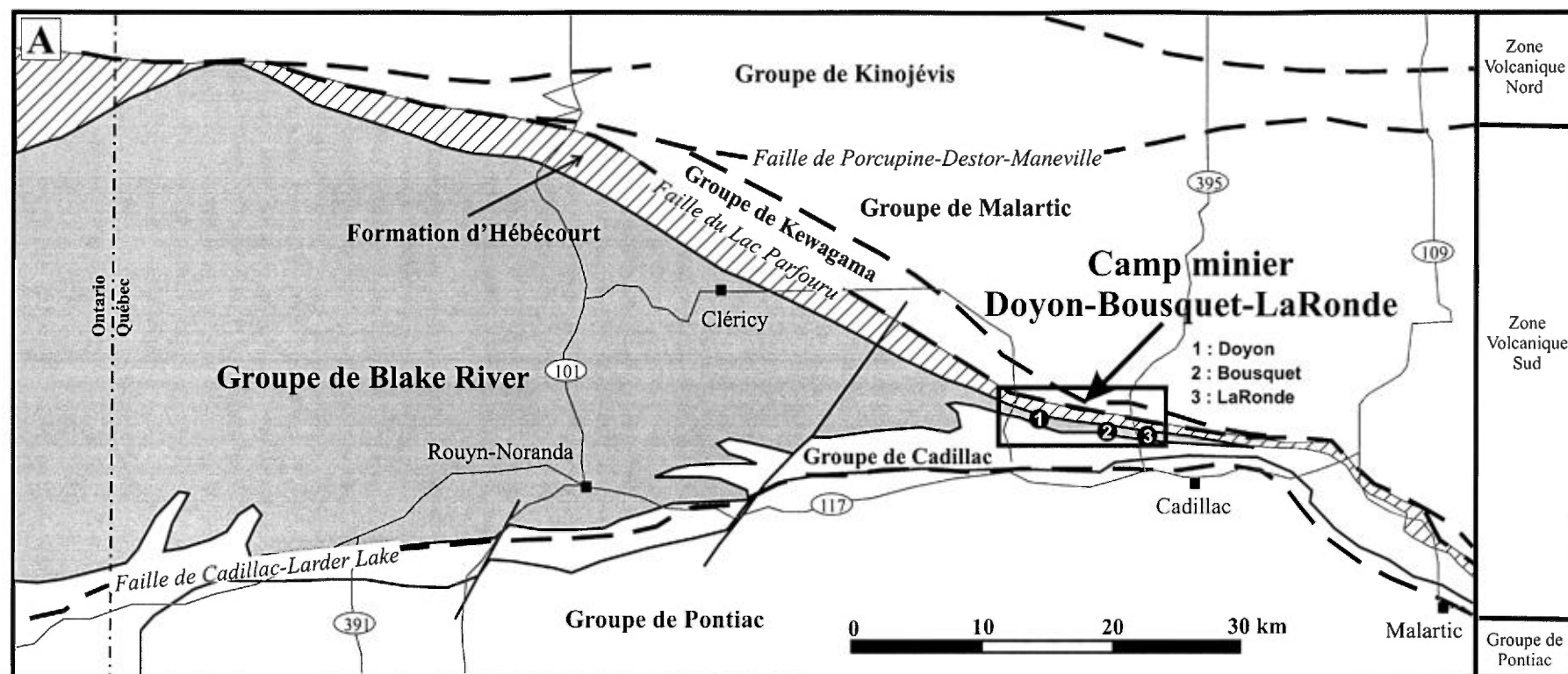


FIGURE 1 - Carte de localisation du secteur à l'étude : **A**) Localisation du camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde dans le Groupe de Blake River; **B**) Localisation de la propriété LaRonde (Agnico-Eagle Mines Ltd) et du puits Penna (LaRonde 3) dans le camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde. La géologie régionale et locale est également représentée de façon simplifiée. Figure 1A modifiée de Lafrance *et al.*, 2003.

GÉOLOGIE DU GISEMENT LARONDE

Introduction

Le gisement LaRonde est composé de plusieurs lentilles de sulfures polymétalliques, semi-massifs à massifs, superposées du nord vers le sud, au sein d'un empilement de laves andésitiques à rhyolitiques microporphyriques à feldspath et, localement, à quartz avec une dominance de roches felsiques (Membre supérieur de la Formation de Bousquet; Lafrance *et al.*, 2003). Ces roches felsiques montrent un épaississement important dans l'environnement immédiat du gisement LaRonde. Les résultats préliminaires des travaux de cartographie de surface, de sous-surface et la description de carottes de forage effectués durant les étés 2000 et 2001 indiquent que la séquence hôte des lentilles minéralisées se caractérise principalement par des dômes et des brèches de coulée auxquels sont associés des horizons de tufs à blocs, à lapillis et à cristaux. Ces faciès varient de façon importante latéralement et en profondeur et exercent un contrôle sur la nature et la distribution des assemblages métalliques ainsi que sur la typologie de l'altération hydrothermale.

Cet empilement de roches volcaniques, hôtes des lentilles de sulfures massifs, est recouvert au sud par les sédiments du Groupe de Cadillac. Le contact est net et caractérisé par un horizon marqueur (exhalatif?), pouvant atteindre jusqu'à 30 cm d'épaisseur, qui est constitué principalement de pyrrhotite fine, disséminée à localement semi-massive à massive, dans des grauweekes (sédiments volcanogènes?).

Description des unités volcaniques hôtes du gisement LaRonde

Bien que la propriété minière LaRonde englobe toute la stratigraphie locale, des sédiments du Groupe de Kewagama au nord jusqu'aux sédiments du Groupe de Cadillac au sud (figure 1), l'accent sera mis ici sur la séquence sommitale du Groupe de Blake River dans ce secteur (Membre supérieur de la Formation de Bousquet; unités 5.1 à 5.5; Lafrance *et al.*, 2003). Cet empilement volcanique, qui contient toutes les lentilles minéralisées en exploitation ou ayant été exploitées par la compagnie Agnico-Eagle (Zone 4, Zone 5, Zone 6, Zone 7, lentille 20 Nord et lentille 20 Sud; figure 2A), s'épaissit dans le secteur de la mine LaRonde (puits Penna) pour atteindre sa puissance maximale (environ 550 mètres) près des lentilles 20 Nord et 20 Sud (figure 2A).

Les roches de ce secteur ont subi un métamorphisme à la limite entre le faciès des schistes verts supérieur et le faciès amphibolites inférieur en se basant sur l'apparition

de différents minéraux métamorphiques (chlorite, séricite, grenat, amphiboles, épidote, aluminosilicates, biotite, etc.) développés principalement aux dépens des minéraux d'altération (voir Dubé *et al.*, 2004). Les effets du métamorphisme sont généralement beaucoup moins évidents dans les roches faiblement altérées préalablement bien que la recrystallisation de la mésostase soit commune dans les laves et que les amphiboles soient souvent bien développées dans les unités mafiques. Le métamorphisme n'est pas traité en détail dans ce rapport mais fait partie intégrante de l'étude en cours sur le gisement LaRonde.

Unités du Membre inférieur de la Formation de Bousquet à LaRonde

À la mine LaRonde, le Membre inférieur de la Formation de Bousquet est représenté par les unités 2.0, 3.0 et 4.4. Les unités 3.0 et 4.4 recouvrent les basaltes tholéitiques de la Formation d'Hébecourt alors que l'unité 2.0 s'injecte à l'intérieur des basaltes d'Hébecourt sous forme d'essaim de filons-couches d'épaisseur métrique (figure 2A).

Dans le secteur du gisement LaRonde, les basaltes de la Formation d'Hébecourt (unité 1.0) forment des coulées coussinées et des coulées massives. Des brèches de coussins sont observées au sommet de l'unité près du contact avec l'unité 3.0. Ces basaltes, qui sont localement variolaires (annexe, photos 1 et 2), sont d'affinité tholéitique et se caractérisent par une altération faible à modérée dominée par la chlorite. Des couloirs de cisaillement affectent par endroits ces basaltes de l'unité 1.0, surtout à proximité des filons-couches felsiques de l'unité 2.0. Les filons-couches de l'unité 2.0 sont composés de rhyolite porphyrique à Fp et quartz bleu. Ces rhyolites sont d'affinité tholéitique avec une teneur en Zr aux environs de 250 ppm. Les filons-couches sont altérés, présentant surtout de la séricite développée aux dépens de la matrice fine feldspathique. De la biotite et de la chlorite sont également observées par endroits.

L'unité 3.0 (tuf scoriacé de Bousquet) dans le secteur du gisement LaRonde a été reconnue sur une série d'affleurements le long des bassins à résidus. Par contre, le contact inférieur de l'unité 3.0 avec les basaltes d'Hébecourt (unité 1.0) est mal exposé et caractérisé par une concentration de la déformation, ce qui rend difficile la détermination de la nature réelle du contact (figure 2A). L'unité 3.0 est fortement déformée, notamment dans la partie basale, et elle est caractérisée par des horizons métriques de tufs à blocs et de tufs à lapillis de composition andésitique à localement dacitique (annexe, photo 3). Les fragments, de couleur blanchâtre, sont caractérisés par l'abondance de vésicules millimétriques ainsi que par une altération à séricite + chlorite ± épidote + carbonates alors que la matrice est généralement fortement chloritisée avec des carbonates dans la partie est du secteur à l'étude. La morphologie de cette unité suggère une nature pyroclastique riche en volatiles, ces derniers ayant pu jouer un rôle important dans le système hydrothermal. Dans la section

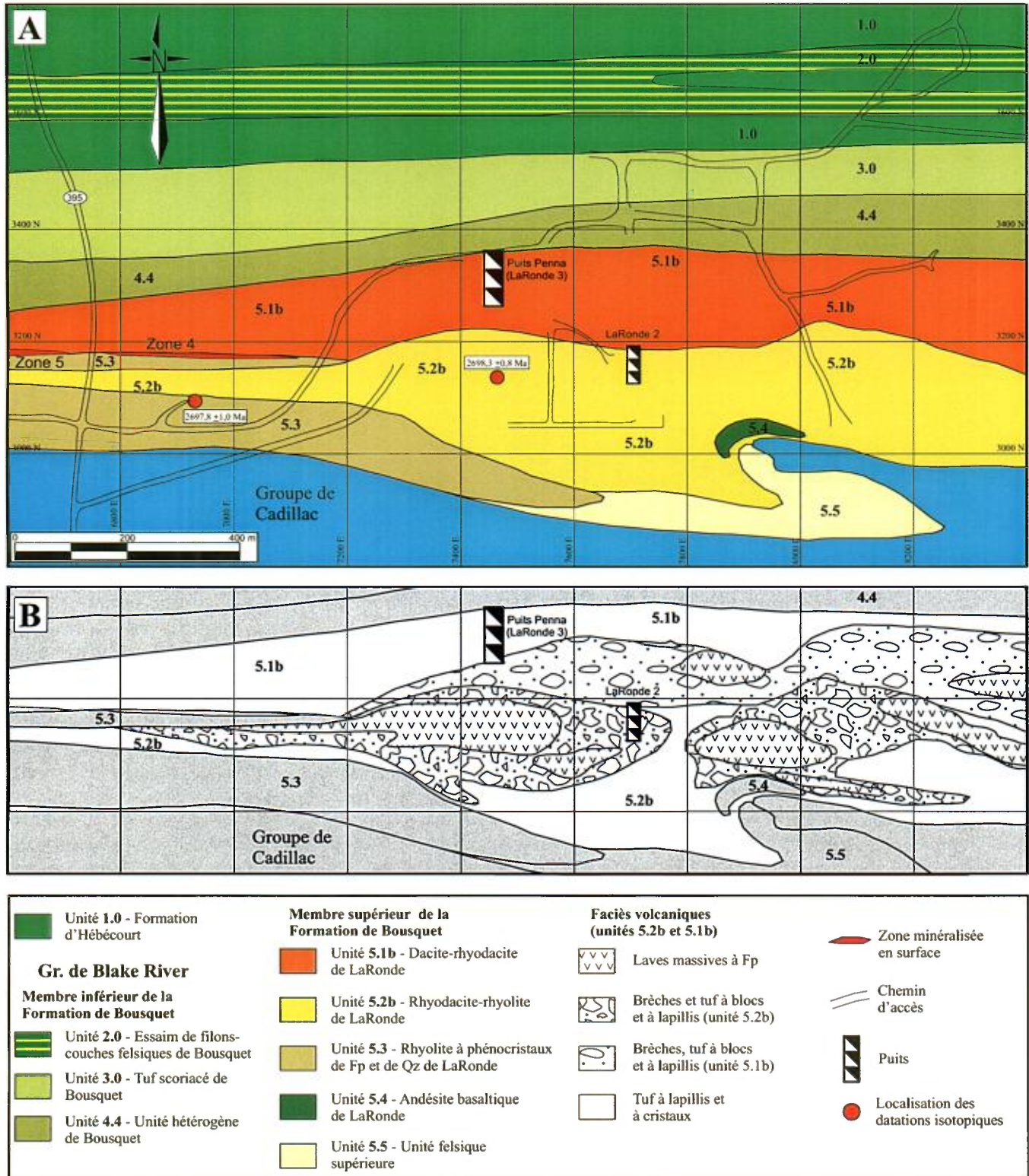


FIGURE 2 - Géologie de surface, secteur de la mine LaRonde (puits Penna) : A) Distribution en surface des principales unités volcaniques hôtes du gisement LaRonde; B) Distribution des principaux faciès volcaniques à l'intérieur des unités 5.1b et 5.2b.

du puits Penna (centre de la propriété), ce tuf est surtout caractérisé par une altération à chlorite et à carbonates. Des dykes d'épaisseur décimétrique, de composition dacitique, intensément plissés et transposés par la foliation principale (Sp) coupent l'unité 3.0.

L'unité sus-jacente dans le secteur du gisement LaRonde est l'unité hétérogène de Bousquet (unité 4.4, figure 2A). Le contact entre cette unité et l'unité 3.0 est mal exposé en surface mais se rencontre dans les niveaux inférieurs de la mine. Ce contact est également caractérisé par un taux de déformation élevé rendant difficile l'interprétation de la nature du contact. L'unité 4.4 se compose de laves basaltiques à andésitiques coupées par des dykes dacitiques. Les basaltes, qui dominent en volume, sont caractérisés par des glomérophénocristaux de feldspath millimétriques souvent faiblement épidotisés. À la mine LaRonde (puits Penna), cette unité est principalement observée sous terre. Elle est intensément altérée et déformée, ce qui est à l'origine d'un rubanement centimétrique à décimétrique. Ce rubanement est constitué de bandes glomérporphyriques séricitisées et épidotisées et de bandes chloritisées contenant localement des porphyroblastes millimétriques de grenat et de hornblende ainsi que des bandes à grain fin biotitisées. Il pourrait être en partie d'origine primaire (tuf à blocs ou coussins/brèche de coussins) mais ayant subi un fort raccourcissement lors de la déformation régionale. Ces basaltes de l'unité 4.4 sont caractérisés par une teneur en Zr très faible et une affinité tholéiitique à transitionnelle (tableau 1).

Unité 5.1b : Dacite-rhyodacite de LaRonde

Cette unité régionale est également reconnue à l'ouest dans le secteur de la mine Doyon (unité 5.1a; Lafrance *et al.*, 2003). Elle disparaît localement pour réapparaître et former une mince bande (unité 5.1b) dans le secteur des mines Bousquet 1 et Bousquet 2; cette bande s'épaissit légèrement dans le secteur de la propriété LaRonde (unité 5.1b; figure 2A) et s'étend plus loin vers l'est. Le contact avec l'unité 4.4 sous-jacente est caractérisé par une forte déformation qui se manifeste par un couloir de cisaillement surtout développé dans l'unité 4.4. L'unité 5.1b semble avoir été plus réfractaire au développement d'une forte schistosité, à l'exception des zones fortement altérées associées à l'horizon de la Zone 7. Ce contact semble également être graduel et caractérisé par l'intercalation de bandes felsiques (dacitiques à rhyodacitiques) et de bandes mafiques (basaltiques à andésitiques). La nature graduelle est illustrée par l'intercalation d'horizons de tufs et laves mafiques avec des tufs et laves felsiques. Cette intercalation, limitée à un horizon de quelques mètres d'épaisseur, a été accentuée par la transposition associée aux couloirs de déformation. L'unité 5.1b est dominée par des laves felsiques mais des laves andésitiques sont reconnues dans la séquence (annexe, photo 4). Des dykes felsiques minces, plissés et fortement transposés, sont observés dans

l'unité 3.0 et pourraient représenter des conduits nourriciers des dacites-rhyodacites de l'unité 5.1b.

Les laves felsiques qui composent l'unité 5.1b sont caractérisées par divers faciès volcaniques comme illustré par la présence de petits dômes, de lobes et de tufs à blocs et/ou à lapillis et/ou à cristaux (figure 2B). Malgré les différents faciès, ces laves felsiques sont caractérisées par une texture microporphyrique à plagioclase (phénocristaux et glomérophénocristaux) et, dans certains cas, par des grains de quartz bleu et/ou gris dans une matrice quartzofeldspathique finement recrystallisée et séricitisée. Ces cristaux, de 1 à 3 mm, composent généralement de 8 à 12 % de la roche dans le cas du plagioclase et de 1 à 5 % dans le cas du quartz. Les microphénocristaux de plagioclase montrent parfois un éclat vitreux en cassure fraîche. Les faciès de laves massives prennent la forme de petits dômes, de lobes et de dykes (annexe, photos 5 et 6) contenant parfois quelques fines amygdules à quartz gris arrondies à subarrondies. Localement, il est possible de reconnaître des bandes fines d'écoulement laminaire en bordure des lobes métriques lorsqu'elles sont à angle avec la schistosité principale (Sp). Les faciès massifs de cet horizon, à patine blanche et à cassure fraîche grise foncée subtilement bleutée, sont très faiblement altérés. Ceux qui sont représentés par les tufs à cristaux ou encore la matrice des tufs à lapilli sont de couleur beige verdâtre, résultat de la concentration de l'altération dans ces zones plus perméables (concentration variable de séricite, de biotite/chlorite et de carbonates principalement). De 1 à 5 % de pyrrhotite en grains de 1 à 2 mm caractérise également cet assemblage d'altération. L'apparition de cette altération est due à la présence de la Zone 6 dans cet horizon de lobes et de tufs à blocs, à lapillis et à cristaux (figure 2B). La Zone 6 est d'ailleurs caractérisée par la présence de lentilles massives et de niveaux de tufs à blocs pouvant contenir une grande quantité de blocs de sulfures aurifères (brèche de talus). Une telle zone a déjà été exploitée jusqu'à la surface à partir du puits 2. Dans la partie sommitale de cet empilement, il y a quelques lits minces d'argilite/mudstone chertueux à graphite et nodules de pyrite (partie est de la propriété, figure 2A). Ces minces lits représentent possiblement un hiatus volcanique (local ?) qui pourrait possiblement être relié à la formation des monticules de sulfures de la Zone 6. Vers l'est, de minces horizons à quartz et feldspaths, caractérisés par une matrice fine semblant plus altérée, pourraient constituer des bandes de volcanoclastites. Ces bandes sont d'épaisseur limitée et sont associées aux lits d'argilite/mudstone chertueux à graphite. Il s'agit de dépôts immatures puisque les cristaux sont toujours anguleux. La présence de ces volcanoclastites résulte possiblement de l'érosion d'une partie du complexe de lobes et de brèches relié à la formation de la Zone 6 en association avec la formation de la brèche de talus à fragments de sulfures massifs. Ces roches suggèrent également une courte période d'accalmie dans le volcanisme pouvant correspondre à la période de formation de la lentille de sulfures massifs de la Zone 6.

TABLEAU 1 - Composition moyenne des principales unités volcaniques hôtes du gisement LaRonde.

Oxydes et éléments	unité 4.4	unité 5.1b (dacites)	unité 5.1b (andésites)	unité 5.2b	unité 5.3	unité 5.4	unité 5.5
SiO ₂ %	52,09	71,2	57,2	74,1	76,03	60,1	72,30
TiO ₂ %	1,09	0,6	1,5	0,5	0,20	1,1	0,42
Al ₂ O ₃ %	19,74	14,4	25,5	13,8	12,74	20,3	13,55
Fe ₂ O ₃ T %	6,91	1,6	1,8	1,4	1,29	2,9	1,99
MnO %	0,13	0,0	0,1	0,0	0,03	0,1	0,05
MgO %	2,78	0,6	0,9	0,4	0,64	2,2	0,69
CaO %	9,37	2,3	5,8	1,4	2,15	5,3	2,58
Na ₂ O %	3,91	4,6	3,5	5,1	2,89	4,2	3,19
K ₂ O %	1,38	1,7	1,9	2,4	1,83	1,1	2,44
P ₂ O ₅ %	0,43	0,1	0,1	0,1	0,03	0,1	0,09
Loi %	2,38	1,7	1,9	1,0	1,36	1,6	1,35
Total %	100,28	98,9	100,5	100,3	99,21	99,4	98,83
Y ppm	33,50	28,3	10	24,5	16,52	12,9	21,65
Zr ppm	145,40	203,6	50,7	183,1	120,23	62,1	169,99
Rb ppm	22,60	47,3	-	25,4	59,37	39,83	72,64
Nb ppm	2,79	10,4	-	11,2	12,61	3,96	11,99
La ppm	6,80	44,3	-	43,6	41,85	11,02	45,64
Ce ppm	14,72	90,3	-	88,3	74,85	23,79	83,83
Pr ppm	9,44	8,5	-	10,1	7,78	3,02	9,12
Nd ppm	8,07	37,1	-	34,8	23,37	11,96	30,92
Sm ppm	1,68	6,8	-	6,5	3,86	2,77	5,37
Eu ppm	0,60	1,5	-	1,5	0,77	0,98	1,20
Gd ppm	0,90	4,1	-	4,0	2,51	2,41	3,84
Tb ppm	0,26	0,7	-	0,7	0,44	0,37	0,56
Dy ppm	1,94	4,7	-	4,3	2,63	2,28	3,42
Ho ppm	0,40	1,0	-	0,9	0,58	0,46	0,71
Er ppm	1,20	2,8	-	2,4	1,68	1,21	2,06
Tm ppm	0,18	0,4	-	0,4	0,28	0,18	0,33
Yb ppm	1,17	3,0	-	2,6	2,05	1,16	2,26
Lu ppm	0,18	0,5	-	0,4	0,35	0,18	0,37
Zr/Y	4,34	7,19	5,07	7,47	7,27	4,81	7,85

Méthodes d'analyse : Éléments majeurs : ICP-AES; Y-Zr : ICP-AES; Terres rares et traces : ICP-MS

Géochimiquement, les « roches fraîches » de l'unité 5.1b se distribuent dans le champ des dacites et des rhyodacites et chevauchent la limite entre les champs transitionnel et calco-alcalin (figure 3A). La signature géochimique de l'ensemble des échantillons recueillis pour cette unité est beaucoup moins précise (figure 3A). En effet, l'altération hydrothermale omniprésente et généralement intense est responsable de la mobilisation d'une partie importante des éléments majeurs et même de certains éléments traces, souvent considérés immobiles dans des conditions hydrothermales de formation de sulfures massifs volcanogènes (voir Dubé *et al.*, 2004). La teneur moyenne en Al₂O₃ et en

TiO₂ de l'unité 5.1b est approximativement de 14 % et de 0,6 % respectivement (tableau 1) alors que la teneur moyenne en Zr est légèrement supérieure à 200 ppm, variant généralement entre 170 et 230 ppm.

Comme mentionné précédemment, de minces niveaux d'andésite sont reconnus dans la séquence formant l'unité 5.1b. Ces niveaux s'épaississent de façon significative vers l'est (figure 2A). Ces andésites sont généralement associées à l'horizon de la Zone 7, se trouvant alors directement dans l'horizon minéralisé ou encore dans le toit immédiat de la zone. Des andésites sont également reconnues près de la Zone 6. Ces andésites sont fortement altérées,

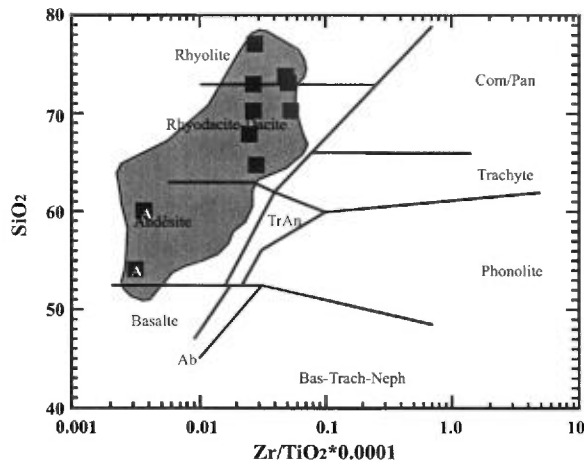


FIGURE 3A - Diagramme de Winchester et Floyd (1977) permettant la classification des laves. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.1b et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais (A = andésites).

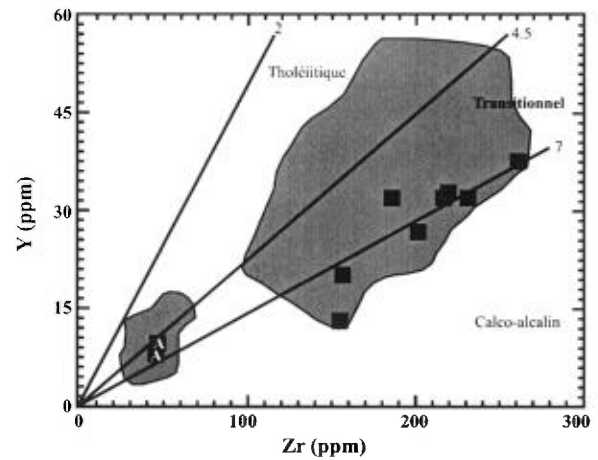


FIGURE 3B - Diagramme de l'yttrium en fonction du zirconium définissant les champs d'affinité magmatique pour les roches du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.1b et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais (A = andésites).

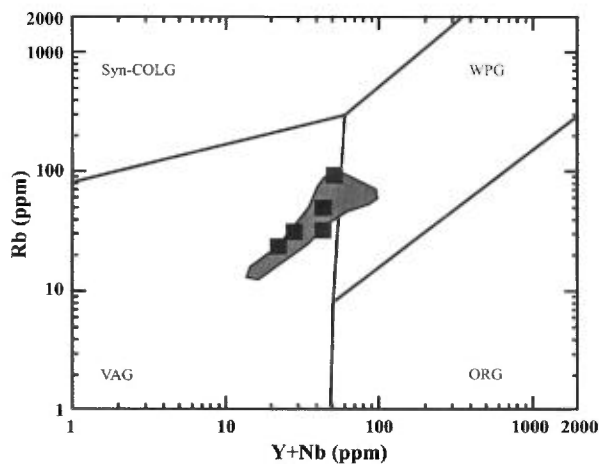


FIGURE 3C - Diagramme de Pearce *et al.* (1984) permettant la classification des laves en fonction du cadre tectonique de mise en place à partir de la teneur en Rb en fonction de l'Y et du Nb. Syn-COLG = environnement collisionnel ou orogénique; WPG = cadre intraplaque; ORG = dorsale océanique; VAG = cadre d'arc volcanique. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.1b et les points représentent les échantillons frais dacitiques.

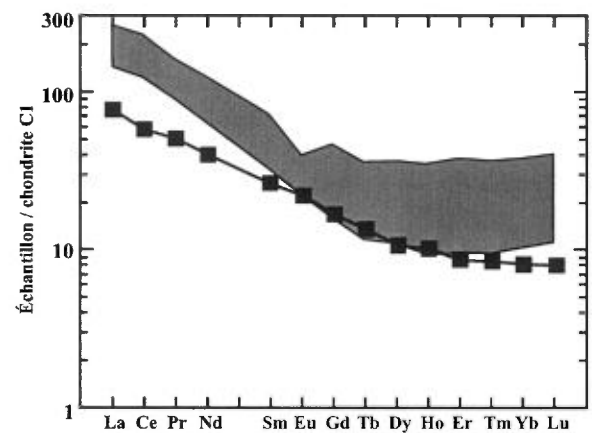


FIGURE 3D - Profils des éléments des terres rares pour les roches de l'unité 5.1b du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Les résultats sont normalisés par rapport aux chondrites C1 (McDonough et Sun, 1995). La région ombragée correspond aux dacites et la ligne correspond aux andésites de l'unité 5.1b. Ce profil montre un fort enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes et une faible anomalie en Eu. Voir discussion dans le texte.

de couleur rosée, et semblent massives, parfois à amygdules de quartz/carbonates/albite/hématite. La signature géochimique particulière de ces laves (figure 3A) permet d'identifier deux types d'andésites. Le premier type, riche en Zr (tholéitique à transitionnelle), forme de minces horizons (coulées ou filons-couches) près de la base de l'unité 5.1b. Le second type a une teneur en Zr très faible (environ 50 ppm) et une teneur en TiO_2 très élevée (approximativement 1 %) (tableau 1). Les andésites du second type sont d'affinité transitionnelle (figure 3B) et se comparent en plusieurs points aux andésites basaltiques de LaRonde formant l'unité 5.4 dont il sera question plus loin. Leur

distribution laisse croire qu'il s'agit de filons-couches mis en place dans les tufs felsiques perméables, ces filons-couches pouvant ainsi représenter les conduits nourriciers de l'unité 5.4 plus haut dans la stratigraphie.

Cette unité régionale 5.1 est donc caractérisée, dans le secteur du gisement LaRonde (unité 5.1b), par divers faciès volcaniques. Les principales caractéristiques de l'unité 5.1b, hôte des Zones 6 et 7 (figure 2A), sont résumées dans le tableau 2. Stratigraphiquement, les laves felsiques de cette unité montrent une évolution de laves dacitiques transitionnelles à calco-alcalines, microporphyriques, massives et amygdulaires à des laves fragmentaires rhyodacitiques

TABLEAU 2 - Résumé des caractéristiques texturales et pétrographiques des unités hôtes du gisement LaRonde.

Unité	Composition	Faciès volcaniques	Textures	Pétrographie	Notes
5.1b	- Dacite-rhyodacite transitionnelle à calco-alcaline	- Massif - Lobe et hyaloclastites	- Amygdulaire - Microporphyrrique - Matrice fine recristallisée	- Dacite avec 15 à 17 % de Fp de 2 mm, traces de Qz de 1 mm.	Unité composée de lobes et de brèches dacitiques à rhyodacitiques amygdulaires à Fp et Qz. Hôte de la Zone 7 et de la Zone 6.
	- Andésite	- Massif et filons-couches		- 5 à 8 % de feldspath de 1 à 2 mm, anguleux, dans matrice fine.	Les andésites forment des horizons minces souvent associés aux minéralisations.
5.2b	- Rhyodacite-rhyolite transitionnelle à calco-alcaline	- Massif - Lobe et brèche - Brèche de coulée - Tuf à blocs - Tuf à lapillis - Tuf à cristaux	- Microporphyrrique - Écoulement laminaire - Matrice fine recristallisée	- 10 à 12 % de plagioclase sodique (albite-oligoclase), localement jusqu'à 15 % de 1 à 3 mm, anguleux. - Microglomérporphyrrique local. - Matrice fraîche quartzo-feldspathique hyalocristalline ou finement recristallisée. Tr. à 2 % de quartz gris de 1 mm.	Unité dominée par une seule lithologie montrant plusieurs variations de faciès volcaniques, passant latéralement de dômes massifs à lobes et brèche de carapace, à brèche de coulée, à tuf à blocs, lapillis et cristaux. Le faciès tufacé domine en volume. Cette unité fragmentaire compose l'éponte stratigraphique inférieure de la lentille 20 Nord.
5.3	- Rhyolite calco-alcaline	- Massif - Brèche de coulée - Tuf à lapillis	- Microporphyrrique - Matrice fine recristallisée	- 15 à 25 % de feldspath anguleux de 1 à 3 mm. 5 à 15% de quartz bleu arrondi.	Unité de lave massive avec brèche de coulée associée. Cette unité distincte se retrouve communément dans l'éponte supérieure de la lentille 20 Nord.
5.4	- Andésite basaltique tholéiitique à transitionnelle	- Massif	- Amygdulaire - Microporphyrrique - Grenue - Matrice fine recristallisée	- 5 à 8 % de feldspath anguleux de 1 à 8 mm. Matrice quartzo-feldspathique recristallisée. - Localement texture aphanitique à amygdules (5 à 15 %) de quartz de 2 à 5 mm.	Unité généralement fortement altérée. Retrouvée dans l'éponte supérieure de la lentille 20 Nord (faciès grenu) et dans l'éponte inférieure de la lentille 20 Sud (faciès à amygdules).
5.5	- Rhyodacite-rhyolite transitionnelle à calco-alcaline	- Massif - Brèche de coulée - Tuf à lapillis/blocs - Tuf à cristaux	- Microporphyrrique - Matrice fine recristallisée	- 10 à 20 % de feldspath anguleux de 1 à 3 mm. - Comparable à unité 5.2b - Fragments à feldspath et quartz bleu similaires à l'unité 5.3.	Unité hétérogène comprenant des fragments semblant provenir des unités sous-jacentes. Composition globale comparable à celle de l'unité 5.2b.

transitionnelles à calco-alcalines qui sont coupées par deux types de filons-couches andésitiques. La distribution de ces lithologies, en surface comme sous terre, sera discutée plus loin.

Unité 5.2b : Rhyodacite-rhyolite de LaRonde

Cette unité régionale est également reconnue à l'ouest dans le secteur de la mine Doyon (unité 5.2a; Lafrance *et al.*, 2003) et disparaît localement vers l'est pour réapparaître dans le secteur du gisement LaRonde (unité 5.2b). Dans ce secteur, elle atteint une épaisseur maximale d'environ 300 mètres dans l'axe du puits Penna (figure 2A), soit dans le mur immédiat de la lentille 20N. Le contact avec l'unité 5.1b sous-jacente est irrégulier, reflétant possiblement la surface irrégulière des lithologies sommitales de l'unité 5.1 (dômes de laves et tufs à blocs et lapillis). Ce contact est parfois très difficile à localiser en raison de la similarité dans les faciès volcaniques associés aux deux unités et des chevauchements dans la signature géochimique entre chaque unité. Par contre, un mince niveau altéré, présent localement dans la séquence de la mine, est utilisé comme horizon marqueur entre les deux unités. Cet horizon marqueur se caractérise par une altération subtile à intense à sérécité associée à l'injection de veines de quartz parallèles à la foliation principale. Au niveau 170, il est également marqué par la présence d'un mince *stringer* semi-massif de pyrite-sphalérite (Zone 18). Dans les niveaux supérieurs, une bande de tuf à blocs contenant des fragments de pyrite massive pourrait représenter l'extension de cet horizon marqueur.

Divers faciès volcaniques caractérisent l'unité 5.2b. Ces faciès varient de façon importante latéralement (est-ouest (figure 2B) et en profondeur). Des laves massives sont observées soit sous forme de dômes plurimétriques, soit sous forme de lobes alors que des brèches de coulée sont associées aux faciès massifs. Des dépôts volcanoclastiques (tufs à blocs, à lapillis et à cristaux) sont communément observés et sont également associés aux coulées massives. À l'échelle de la propriété LaRonde, les dépôts volcanoclastiques (tufs) sont volumétriquement beaucoup plus importants que les laves massives, qui sont reconnues localement et surtout à la base de l'unité. Lors de la cartographie, trois faciès principaux ont été établis : 1) faciès massif (dômes), 2) faciès de brèche de coulée (petits lobes, brèches de carapace et tufs à blocs et à lapillis) et 3) faciès de tufs à lapillis et à cristaux. Le contenu en fragments des brèches (blocs et lapillis) et des tufs varie grandement à l'intérieur même d'une zone d'affleurements. Il peut y avoir plus de 90 % de fragments (blocs et/ou lapillis) ou encore moins de 5 %. Localement, la distinction entre la mésostase des laves massives, la matrice fine hyaloclastique des tufs et les fragments eux-mêmes peut être très subtile si l'altération est très faible. Dans ce cas, les contrastes de couleur et de minéralogie/granulométrie ne sont pas développés. La distinction peut également être difficile

dans les secteurs ayant subi une forte altération hydrothermale, cette altération étant à l'origine de l'homogénéisation des textures. Les dépôts ont pu être remobilisés bien qu'il soit difficile actuellement de démontrer un tel phénomène. Les photos 7, 8, 9, 10, 11, 12 et 13 (en annexe) illustrent bien ces différents faciès volcaniques, typiques de l'unité 5.2b. La présence de lobes à fermetures vers l'est et vers l'ouest suggère un axe d'écoulement des laves à fort plongement, ce qui indique un centre d'émission en profondeur ou érodé en considérant le basculement que les unités ont subi. Les mêmes relations de fermeture sont observées à l'intérieur de certains dômes de lave suite à l'inflexion des fines bandes d'écoulement laminaire. Ces bandes d'écoulement laminaire, millimétriques à centimétriques, semblent avoir permis la concentration de l'altération (séricitisation) suite à une réaction de dévitrification et à la déformation subséquente, ce qui leur donne un aspect brunâtre et schisteux dans lequel les phénocristaux de plagioclase blanchâtres sont très apparents. Deux fragments arrondis à texture granitique ont été observés sur un des affleurements de surface. Ces fragments pourraient provenir du socle et avoir été ramassés par le magma rhyodacitique-rhyolitique lors de son ascension vers la surface.

Plusieurs échantillons de lave relativement fraîche ont pu être recueillis dans l'unité 5.2b de façon à la caractériser pétrographiquement et géochimiquement. Mégascopiquement, la patine blanche de ces roches rend difficile l'évaluation du contenu en microphénocristaux de feldspath, mais ceux-ci sont bien visibles en cassure fraîche. Ces microphénocristaux, qui ont un diamètre variant de 1 à 3 mm (moyenne de 1,5 mm), composent de 10 à 15 % de la roche quel que soit le faciès de coulée (massif ou tuf). Ils sont communément laiteux et parfois vitreux et sont orientés de façon aléatoire dans la matrice quartzofeldspathique cryptocristalline, localement finement recristallisée. La photo 14 (en annexe) illustre bien, en lame mince, la texture typique des laves rhyodacitiques à rhyolitiques de l'unité 5.2b. L'analyse à la microsonde d'un certain nombre de ces phénocristaux révèle le caractère sodique à faiblement calcique du plagioclase dans ces laves (albite et oligoclase). Localement, il est également possible de reconnaître quelques petits cristaux (1 mm) de quartz gris.

Géochimiquement, les roches de l'unité 5.2b ont une signature beaucoup plus homogène que les roches de l'unité 5.1b décrites précédemment (figure 4A). En effet, il n'y a qu'une seule lithologie (rhyodacite-rhyolite), se présentant sous divers faciès, pour former l'unité 5.2b. Selon la classification établie par Winchester et Floyd (1977), les échantillons de cette unité se distribuent dans le champ des rhyodacites et dans le champ des rhyolites (figure 4A). L'alignement vertical défini par les échantillons est le résultat de la lignée de différenciation magmatique des roches calco-alcalines sur laquelle peut se superposer l'effet d'une légère altération entraînant la mobilisation de la silice. Dans le diagramme de l'yttrium en fonction du zirconium (figure 4B), il est possible de

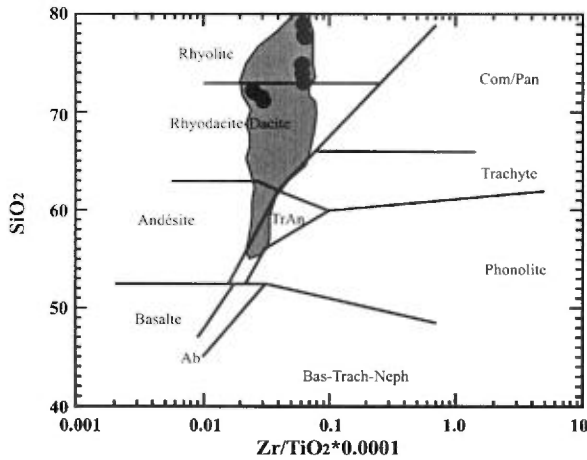


FIGURE 4A - Diagramme de Winchester et Floyd (1977) permettant la classification des laves. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.2b et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais.

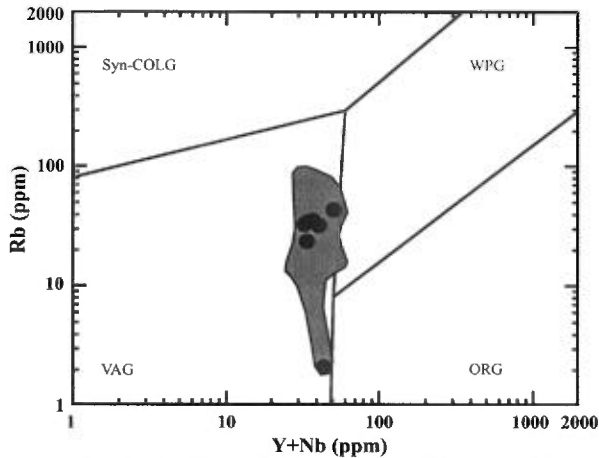


FIGURE 4C - Diagramme de Pearce *et al.* (1984) permettant la classification des laves en fonction du cadre tectonique de mise en place à partir de la teneur en Rb en fonction de l'Y et du Nb. Syn-COLG = environnement collisionnel ou orogénique; WPG = cadre intraplaque; ORG = dorsale océanique; VAG = cadre d'arc volcanique. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.2b et les points représentent les échantillons frais.

constater l'affinité variable des échantillons, qui passe de transitionnelle à calco-alcaline, bien que l'affinité calco-alcaline semble dominer dans le cas des échantillons frais. Les échantillons qui se distribuent dans le champ des roches transitionnelles (qui proviennent de l'éponte inférieure de la lentille 20 Nord) ont des valeurs en Zr comparables aux échantillons calco-alcalins (environ 185 ppm), ce qui permet de suspecter la mobilité de l'yttrium lors de l'altération hydrothermale (voir Dubé *et al.*, 2004). Ces roches sont donc d'affinité « primaire » transitionnelle à calco-alcaline avec un rapport Zr/Y variant grossièrement entre 5 et 9 (tableau 1). Leur teneur en SiO₂ varie de 68 % à 78 %, la moyenne étant de 74 % alors que la teneur en TiO₂ varie entre 0,3 et 0,7 % pour une valeur moyenne de 0,5 %. Les teneurs en Al₂O₃ varient entre 12 et 15 %, ce qui est relati-

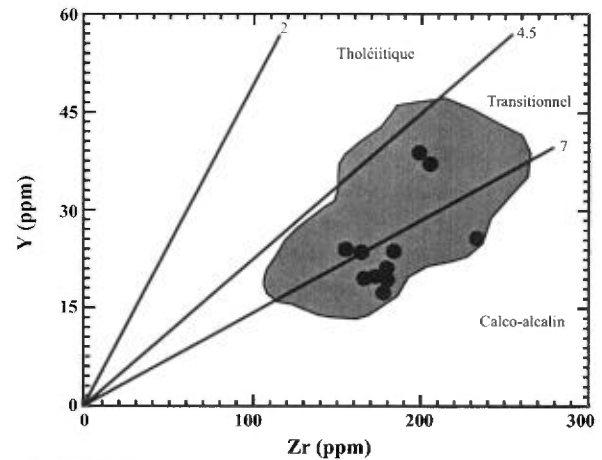


FIGURE 4B - Diagramme de l'yttrium en fonction du zirconium définissant les champs d'affinité magmatique pour les roches du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.2b et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais.

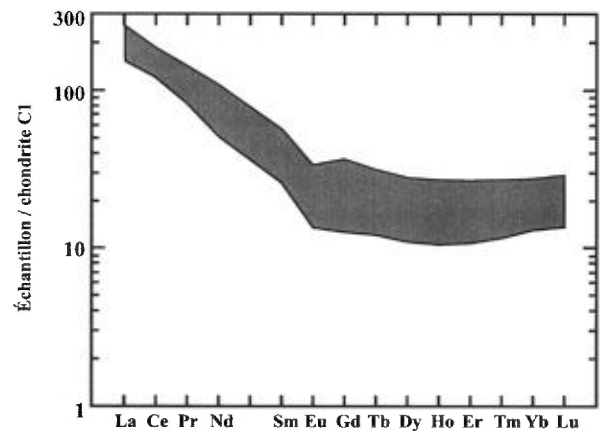


FIGURE 4D - Profil des éléments des terres rares pour les roches de l'unité 5.2b du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Les résultats sont normalisés par rapport aux chondrites C1 (McDonough et Sun, 1995). La région ombragée correspond aux résultats obtenus pour les différents échantillons considérés. Ce profil montre un fort enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes et une faible anomalie négative en Eu. Voir discussion dans le texte.

vement faible pour des laves felsiques. Les éléments alcalins (Ca, Na et K) montrent une plus grande mobilité en fonction de l'altération, ce qui fait qu'il est difficile d'établir la composition initiale des laves en ces éléments. Cependant, à partir de l'analyse des échantillons semblant les plus frais pétrographiquement, le contenu initial en Na₂O peut être établi avec une certaine confiance à environ 5 % (voir également Dubé *et al.*, 2004). Dans le cas du K₂O et du CaO, ces valeurs initiales se situent entre 2 et 3 % et entre 1 et 1,5 % respectivement. L'effet des altérations sur la mobilité des éléments est discuté dans le second rapport sur le gisement LaRonde (Dubé *et al.*, 2004) traitant plus particulièrement de l'altération hydrothermale ayant affecté la séquence encaissante des minéralisations à la mine LaRonde.

Sur le terrain, les différences pétrographiques entre les roches de l'unité 5.2b et les laves felsiques de l'unité 5.1b sous-jacente sont subtiles, leur contenu en microphénocristaux, les faciès volcaniques les caractérisant ainsi que leur couleur (surface altérée et fraîche) étant semblables. La description plus détaillée des faciès volcaniques et les analyses lithogéochimiques permettent de les distinguer. Ainsi, les roches de l'unité 5.2b occupent un volume plus important que celles de l'unité 5.1b et semblent être associées à des dépôts volcanoclastiques (brèches et tufs) beaucoup plus importants. Les roches de l'unité 5.2b ne contiennent pas de microphénocristaux de quartz bleu ni d'amygdules, contrairement à certaines roches de l'unité 5.1b. De plus, la composition des roches felsiques de l'unité 5.1b varie de dacitique à rhyodacitique alors que celle des roches de l'unité 5.2b varie de rhyodacitique à rhyolitique. De la même façon, l'affinité des roches de l'unité 5.1b passe de transitionnelle à calco-alkaline alors que celle des roches de l'unité 5.2b est de tendance plutôt calco-alkaline. Toutefois, il est à noter que le rapport Zr/Y est plus ou moins fiable si les roches analysées ont été altérées hydrothermalement vu la mobilité de l'yttrium. Par contre, le contenu en Zr reste un bon élément de comparaison puisqu'il est nettement moins mobile lors de l'altération hydrothermale (voir Dubé *et al.*, 2004). Dans le cas des laves de l'unité 5.1b, la teneur en Zr est relativement élevée (environ 200 ppm) en comparaison avec la teneur (environ 185 ppm) dans les laves de l'unité 5.2b. La teneur en Al_2O_3 semble également varier entre les deux unités, puisqu'elle est de 1 à 2 % plus élevée dans les laves de l'unité 5.1b. La teneur en TiO_2 est plus élevée de 0,1 % en moyenne dans les laves de l'unité 5.1b. Sous terre, le contact entre ces deux unités est souligné par la présence d'un mince horizon séricitisé associé ou non à des sulfures (*stringer*, dissémination ou fragments de sulfures) et à des injections de veines de quartz parallèles à la schistosité principale.

Unité 5.3 : Rhyolite à phénocristaux de Fp et de Qz de LaRonde

L'unité 5.3, reconnue dans la séquence volcanique hôte du gisement LaRonde, traverse la propriété presque entièrement et se trouve au sommet de l'unité 5.2b. Le contact est concordant et localement faiblement cisailé (figure 2A). Elle atteint une épaisseur maximale d'environ 125 mètres et pourrait être en contact, du côté ouest de la propriété, avec les sédiments du Groupe de Cadillac au sud. Deux faciès sont reconnus dans cette unité : massif et à lapillis. Le faciès massif domine largement, le faciès à lapillis n'est observé que localement. Dans ce dernier, les lapillis ne sont pas très abondants et de taille modeste (diamètre moyen approximatif de 5 cm) et leurs bordures sont parfois mal définies, les fragments semblant se fondre dans la matrice. D'ailleurs, la composition des fragments (phénocristaux) est semblable à celle de la matrice. Elle est caracté-

ristique de l'unité 5.3, avec 15 à 25 % de microphénocristaux de plagioclase, subarrondis à subanguleux, de 2 mm de diamètre moyen et 10 à 15 % de microphénocristaux de quartz bleu arrondis de 1,5 mm de diamètre moyen. Les cristaux de quartz montrent communément des baies de résorption alors que les cristaux de plagioclase sont dans certains cas zonés. Ces roches semblent avoir été particulièrement sensibles à la séricitisation puisque la matrice quartzofeldspathique fine est très mal préservée et est maintenant composée principalement de séricite. L'expression texturale (faciès massif ou à lapillis et microphénocristaux) de cette unité porte à croire qu'il s'agit d'une roche effusive de haute viscosité s'étant épanchée très localement (secteur LaRonde) plutôt qu'un tuf à cristaux. Par contre, sa distribution très irrégulière suggère qu'il s'agit en partie de filons-couches et/ou de dykes. À la base de l'unité, des lapillis rhyodacitiques ont été incorporés dans cette rhyolite. À l'extrémité ouest de la propriété, l'unité 5.3 semble également se retrouver sous l'unité 5.2b et est à cet endroit l'hôte de la Zone 4 (figure 2A). Un forage de surface, positionné dans le dôme de rhyodacite-rhyolite et orienté vers le nord, a également coupé un horizon de rhyolite porphyrique à Fp et quartz bleu, illustrant clairement que la rhyolite de l'unité 5.3 peut se trouver sous la rhyodacite-rhyolite de l'unité 5.2b. La distribution de l'unité 5.3 sera discutée plus loin.

L'unité 5.3, en plus d'être facile à différencier pétrographiquement (tableau 2), se distingue des autres unités volcaniques locales par sa signature géochimique particulière et très homogène. Les échantillons analysés se distribuent dans le champ des rhyolites du diagramme de Winchester et Floyd (1977) et dans le champ des laves d'affinité transitionnelle à calco-alkaline du diagramme Zr en fonction de Y (figures 5A et 5B); le rapport Zr/Y moyen est de 7,4 pour une teneur moyenne en Zr de 120 ppm seulement. La teneur moyenne en SiO_2 est de 76 %, les valeurs obtenues variant entre 73 et 80 %. La teneur moyenne en Al_2O_3 est relativement faible (13 %) alors que les valeurs sont très stables, variant entre 12 et 14 %. Le TiO_2 montre une concentration moyenne peu élevée de 0,2 % (tableau 1). Cette signature géochimique illustre clairement les différences entre l'unité 5.3 et l'unité 2.0 qui ont pu être, par le passé, comparées sur la base de leur composition pétrographique. L'unité 2.0 est d'affinité tholéiitique riche en Zr (voir Lafrance *et al.*, 2003) tandis que l'unité 5.3 est de composition transitionnelle à calco-alkaline pauvre en Zr. Cependant, ceci n'exclut pas le fait qu'elles puissent faire partie de la même suite magmatique, chacune représentant un stade différent dans l'évolution de la chambre magmatique.

Unité 5.4 : Andésite basaltique de LaRonde

L'unité 5.4, reconnue à la mine LaRonde (puits Penna) et près de la mine Bousquet 2, n'affleure qu'à un seul endroit dans le secteur à l'étude (figure 2A). Les descriptions qui suivent proviennent principalement des

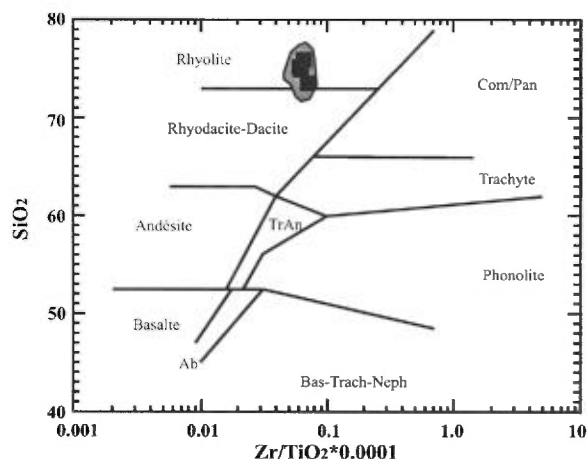


FIGURE 5A - Diagramme de Winchester et Floyd (1977) permettant la classification des laves. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.3 et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais.

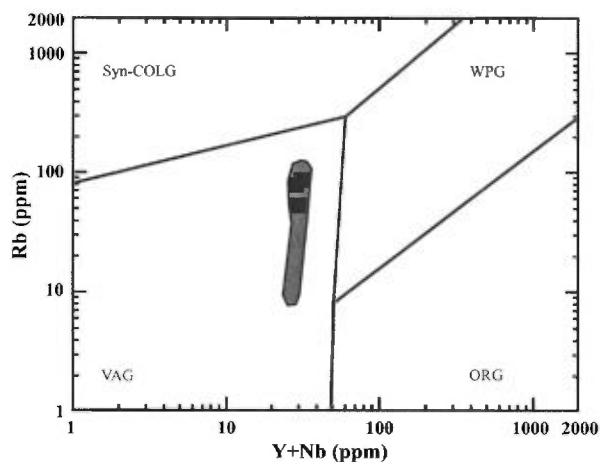


FIGURE 5C - Diagramme de Pearce *et al.* (1984) permettant la classification des laves en fonction du cadre tectonique de mise en place à partir de la teneur en Rb en fonction de l'Y et du Nb. Syn-COLG = environnement collisionnel ou orogénique; WPG = cadre intraplaque; ORG = dorsale océanique; VAG = cadre d'arc volcanique. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.3 et les points représentent les échantillons frais.

observations faites lors de la diagraphie de forages et de la cartographie souterraine. Cette unité est texturalement hétérogène. Sa position stratigraphique particulière dans l'éponte supérieure de la lentille 20 Nord et les épontes de la lentille 20 Sud a favorisé le développement d'une intense altération hydrothermale responsable de la destruction locale des textures primaires. Cependant, il est toujours possible de reconnaître les variations granulométriques primaires à l'échelle de l'unité. Malgré cette altération, deux faciès principaux sont reconnus : 1) un faciès grenu gloméro-porphyrique à feldspath à la base de l'unité et 2) un faciès à grain fin à amygdules de quartz au sommet de l'unité.

Hors des zones de forte altération, la partie grenue de l'unité 5.4 (base), massive, est caractérisée par la présence de phénocristaux de feldspath (5 à 8 %) parfois gloméro-

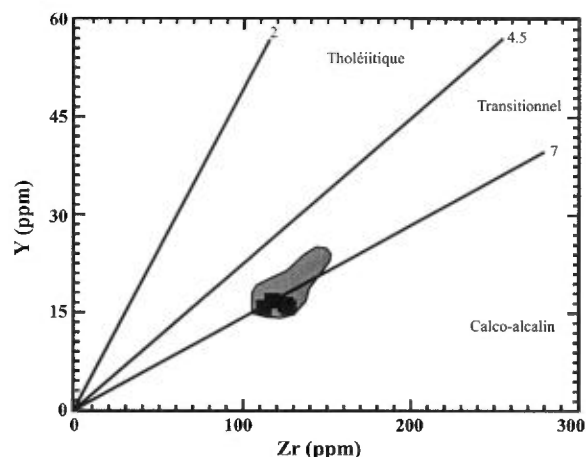


FIGURE 5B - Diagramme de l'yttrium en fonction du zirconium définissant les champs d'affinité magmatique pour les roches du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.3 et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais.

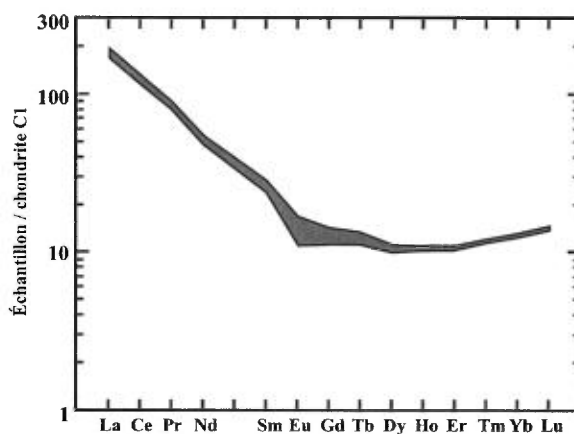


FIGURE 5D - Profil des éléments des terres rares pour les roches de l'unité 5.3 du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Les résultats sont normalisés par rapport aux chondrites C1 (McDonough et Sun, 1995). La région ombragée correspond à la distribution des résultats obtenus pour les différents échantillons considérés ($n = 3$). Ce profil montre un fort enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes et une faible anomalie négative en Eu. Voir discussion dans le texte.

porphyriques pouvant atteindre localement 1 cm de diamètre, bien que leur diamètre moyen soit d'environ 2 mm (annexe, photo 15). Dans les zones altérées, les phénocristaux de feldspath sont plus difficiles à distinguer. Ils baignent dans une matrice quartzofeldspathique recristallisée à cristaux d'amphiboles (2 à 5 mm) ou de biotite très fine, ce dont il est traité plus en détail dans le rapport de Dubé *et al.* (2004) sur les altérations hydrothermales. La partie sommitale de l'unité 5.4 est caractérisée par une bande de quelques mètres d'épaisseur, beige verdâtre à grain fin. Cette bande, localement préservée de l'altération, montre jusqu'à 15 % d'amygdules de quartz arrondies ou légèrement aplaties, de 1 à 2 mm de diamètre, ce qui donne à la roche un aspect plutôt rhyolitique (annexe, photo 16). Cependant, la signature géochimique de cette

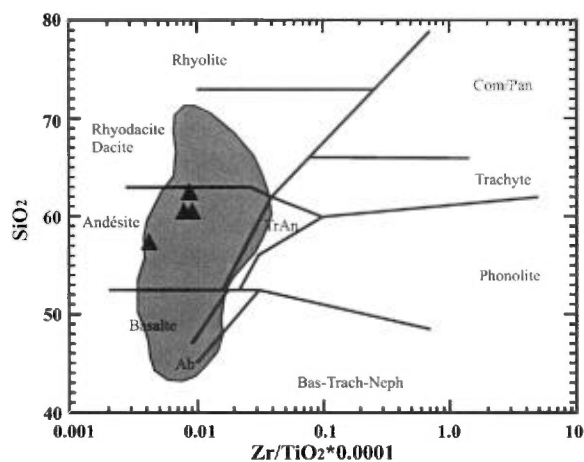


FIGURE 6A - Diagramme de Winchester et Floyd (1977) permettant la classification des laves. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.4 et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais.

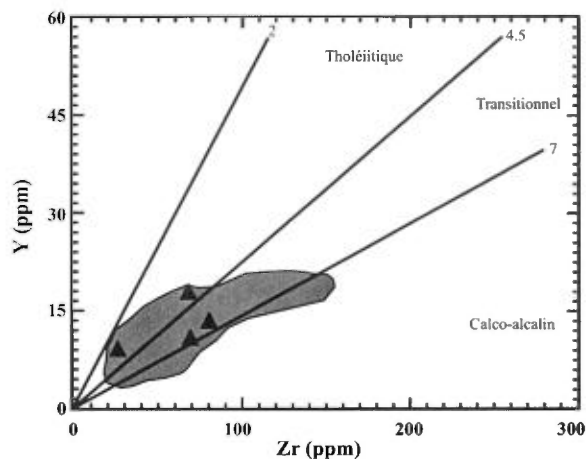


FIGURE 6B - Diagramme de l'yttrium en fonction du zirconium définissant les champs d'affinité magmatique pour les roches du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.4 et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais.

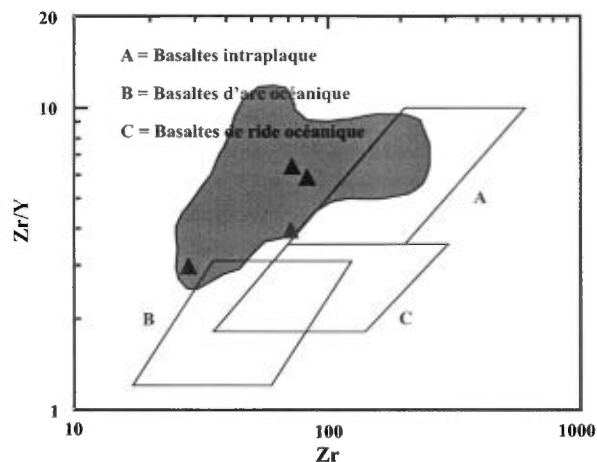


FIGURE 6C - Classification lithotectonique (Gorton et Schandl, 2000) des basaltes appliquée aux andésites de l'unité 5.4 du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.4 et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais.

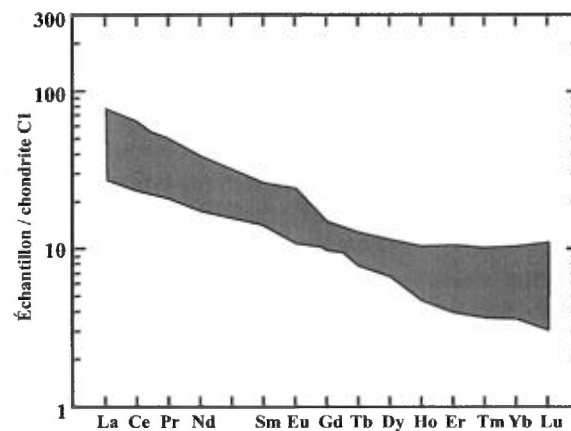


FIGURE 6D - Profil des éléments des terres rares pour les roches de l'unité 5.4 du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Les résultats sont normalisés par rapport aux chondrites C1 (McDonough et Sun, 1995). La région ombragée correspond à la distribution des profils des différents échantillons considérés ($n = 9$). Ce profil montre un enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes et une faible anomalie en Eu. Voir discussion dans le texte.

unité ne laisse aucun doute sur sa composition (tableau 1). Comme il sera discuté plus loin, cette unité est très fortement altérée, rendant très difficile la sélection d'échantillons frais pour l'analyse lithogéochimique du protolithe. Les analyses d'échantillons « frais » provenant de l'unité 5.4, que ce soit pour le faciès à phénocristaux de feldspath ou pour le faciès à amygdules (rhyolitique), se projettent dans le champ des andésites basaltiques et dans celui des andésites du diagramme de Winchester et Floyd (1977) montré à la figure 6A. Cette andésite basaltique est d'affinité transitionnelle (figure 6B) et se caractérise par une teneur moyenne en Zr très faible de 60 ppm et en TiO_2 de 1,1 %. La teneur en SiO_2 varie fortement d'un échantillon à l'autre mais donne une moyenne approximative de 60 %. Ces valeurs moyennes sont tirées de l'analyse d'échantillons

caractérisés par une faible séricitisation, les valeurs en SiO_2 étant alors à considérer plus ou moins fiables. L'unité 5.4 pourrait être d'origine effusive bien que la présence d'amygdules ne soit pas un critère fiable pour supporter cette hypothèse. Il pourrait également s'agir d'un filon-couche de gabbro-diorite, grenu à la base et à grains fins avec amygdules au sommet, mis en place tôt dans l'édification de la séquence volcanique hôte des minéralisations exploitées à la mine LaRonde (puits Penna). Cette hypothèse est suggérée par la présence de filons-couches d'andésite basaltique dans l'unité 5.1b, plus bas dans la stratigraphie. De plus, le lien entre l'unité 5.4 et l'apparition des lentilles 20 Nord et 20 Sud mérite une attention particulière puisque les deux semblent associées spatialement, sinon génétiquement, ce dont il sera question plus loin.

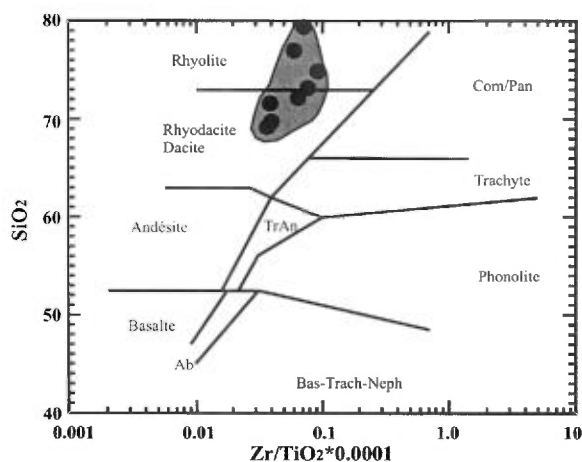


FIGURE 7A - Diagramme de Winchester et Floyd (1977) permettant la classification des laves. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.5 et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais.

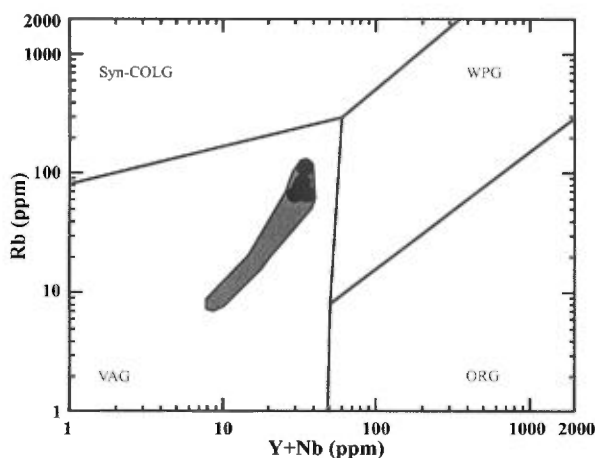


FIGURE 7C - Diagramme de Pearce *et al.* (1984) permettant la classification des laves en fonction du cadre tectonique de mise en place à partir de la teneur en Rb en fonction de l'Y et du Nb. Syn-COLG = environnement collisionnel ou orogénique; WPG = cadre intraplaque; ORG = dorsale océanique; VAG = cadre d'arc volcanique. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.5 et les points représentent les échantillons frais.

Unité 5.5 : Unité felsique supérieure

Dans le secteur de la mine LaRonde (puits Penna), l'unité 5.5 se retrouve au sommet de l'empilement, en contact avec les sédiments du Groupe de Cadillac au sud, notamment du côté est de la propriété (figure 2A). Cette unité, qui a également été reconnue dans le secteur des mines Bousquet 1 et Bousquet 2 (Lafrance *et al.*, 2003), forme un mince niveau discontinu qui semble toutefois plus important en volume dans le secteur de la propriété LaRonde. À la mine LaRonde (puits Penna), les roches qui composent cette unité forment de laves microporphyriques massives qui contiennent communément des fragments (lapillis et blocs) subanguleux à subarrondis (annexe, photo 17) de même composition que la matrice ou de com-

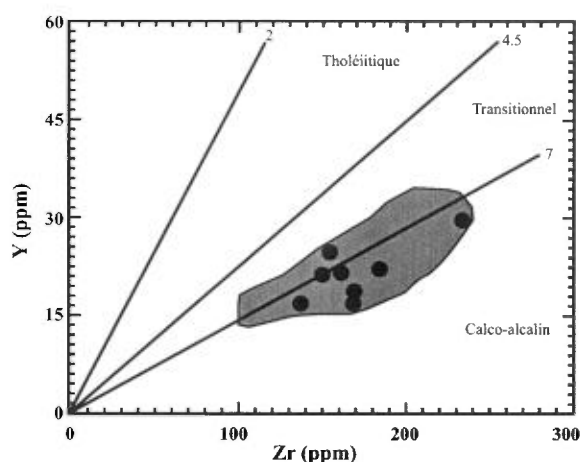


FIGURE 7B - Diagramme de l'yttrium en fonction du zirconium définissant les champs d'affinité magmatique pour les roches du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Le champ ombragé correspond à la distribution de tous les échantillons de l'unité 5.5 et les points correspondent aux résultats obtenus à partir des échantillons frais.

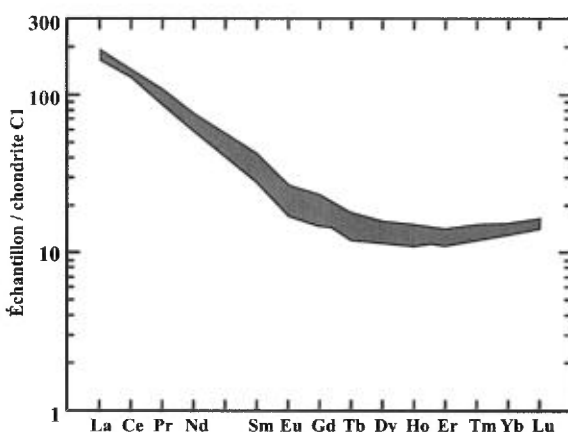


FIGURE 7D - Profil des éléments des terres rares pour les roches de l'unité 5.5 du Membre supérieur de la Formation de Bousquet dans le secteur de la mine LaRonde. Les résultats sont normalisés par rapport aux chondrites C1 (McDonough et Sun, 1995). La région ombragée correspond à la distribution des profils des différents échantillons considérés ($n = 5$). Ce profil montre un fort enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes et une très faible anomalie en Eu. Voir discussion dans le texte.

position rappelant celle des unités sous-jacentes (5.2b et 5.3). Ces fragments peuvent être dominants comme totalement absents. La matrice contient de 15 à 20 % de microphénocristaux de feldspath subanguleux de 1 à 3 mm de diamètre. Localement, les tufs à blocs et à lapillis sont en tous points comparables à ceux de l'unité 5.2b décrite plus haut.

Les roches de l'unité 5.5 sont de composition rhyodacitique à rhyolitique (figure 7A) et d'affinité dominante calco-alcaline (figure 7B). La teneur moyenne en Zr est de 170 ppm, soit environ 15 ppm de moins que la valeur obtenue pour les roches de l'unité 5.2b (tableau 1). Les valeurs moyennes en SiO_2 , Al_2O_3 et TiO_2 sont respectivement 72, 13,5 et 0,4 %. Cette signature pourrait très bien être celle des laves de l'unité 5.2b.

L'unité 5.5, surtout caractérisée par des fragments, dont certains sont de composition différente de la matrice, semble être le produit d'un mélange entre des laves felsiques bréchiques et des fragments provenant des unités sous-jacentes et, plus particulièrement, de l'unité 5.3 (annexe, photo 18).

Lentilles minéralisées

Une brève description des principales zones minéralisées ainsi qu'un aperçu de leur distribution sont donnés dans cette section et le lecteur est référé au rapport de Dubé *et al.* (2004) pour une description beaucoup plus exhaustive des minéralisations (minéralogie et géochimie) et des altérations (minéralogie, géochimie et distribution). Une dizaine de lentilles composent le gisement LaRonde. Trois d'entre elles sont actuellement exploitées au puits Penna (Zone 7, lentille 20 Nord et lentille 20 Sud). D'autres ont déjà été exploitées soit aux puits 1 (figure 1) et 2 (figure 2A), tandis que d'autres n'ont pas été jugées économiques.

Zone 7

La Zone 7 est un horizon marqueur, suivi à tous les niveaux de la mine, à l'intérieur de l'unité 5.1b (figures 8 et 9). Cet horizon varie en épaisseur de quelques centimètres à quelques mètres. Il est principalement composé de pyrite disséminée, en *stringers* transposés ou en bandes massives. Des quantités moindres de chalcopryrite, de pyrrhotite et de sphalérite sont localement observées. Cet horizon est économique en profondeur où il est constitué de sulfures semi-massifs à massifs, dominés par la pyrite et la chalcopryrite dans la partie basale et par la pyrite et la sphalérite dans la partie sommitale (annexe, photo 19).

Lentille 20 Nord

La lentille 20 Nord est divisée en deux zones; la Zone 20N Au (Au-Cu) à la base (nord) et la Zone 20N Zn (Zn-Ag-Au \pm Pb) au sommet (sud). Cette lentille, qui représente environ 85 % des réserves et ressources actuelles en minéral, est localisée au sommet de l'unité 5.2b et à la base de l'horizon défini par les unités 5.3 et 5.4. La portion économique de la lentille 20 Nord peut atteindre 600 mètres de largeur (E-W) et 40 mètres d'épaisseur (N-S) et fait au moins 2300 mètres de longueur (extension verticale). La Zone 20N Au varie en épaisseur de moins de cinq mètres à plus de dix mètres. Elle est composée de pyrite et de chalcopryrite sous forme de veinules transposées (annexe, photo 20) variant grossièrement en épaisseur de quelques millimètres à quelques décimètres. Elle s'est mise en place dans les tufs à lapillis au sommet des rhyodacites de l'unité 5.2b (annexe, photo 21). Dans les niveaux profonds, la Zone 20N Au est localement formée de sulfures massifs à pyrite-chalcopryrite recristallisés. La majeure partie de l'or et du cuivre présents dans la lentille 20 Nord vient de la Zone 20N Au. La Zone 20N Zn, qui surmonte la

Zone 20N Au, est composée de sulfures massifs à semi-massifs (10 à 30 mètres d'épaisseur) dominés par la pyrite et la sphalérite. Ces sulfures sont fortement recristallisés et rubanés (schistosité principale; annexe, photo 22) en réponse au métamorphisme et à la déformation. La sphalérite est concentrée au sommet de la zone. Des bandes de galène remobilisée sont parfois présentes près du sommet de la zone. De larges lambeaux d'argilite/mudstone chertueux à graphite et à pyrite nodulaire fortement foliés sont observés dans les niveaux intermédiaires de la mine, surtout près du contact avec les roches de l'éponte supérieure (annexe, photo 23). Ces lambeaux ne semblent pas définir d'horizons continus, ce qui suggère soit 1) un démembrement structural, 2) des bassins dépositionnels locaux ou encore 3) un remplacement incomplet dans certaines parties de l'amas sulfuré. Dans certains secteurs, les zones 20N Au et 20N Zn sont séparées par une zone d'épaisseur variable à pyrite et quartz non minéralisée. Cette zone pourrait correspondre à un front de remplacement graduel des sulfures tel que proposé dans le modèle de Ohmoto (1996). La zonalité métallique avec Au-Cu à la base et Zn-Ag-Pb au sommet suggère un sommet stratigraphique vers le sud.

Lentille 20 Sud

La lentille 20 Sud est composée de sulfures massifs rubanés à pyrite-sphalérite-chalcopryrite-pyrrhotite dans les niveaux supérieurs de la mine. Dans les niveaux intermédiaires, il s'agit plutôt d'un sulfure semi-massif à pyrite-pyrrhotite-chalcopryrite mis en place surtout dans les andésites basaltiques de l'unité 5.4 (annexe, photo 24). Les sulfures sont fortement recristallisés suite au métamorphisme et à la déformation. Cette lentille est localement en contact avec les sédiments du Groupe de Cadillac (D. Duquette, communication personnelle). La distribution générale de cette lentille suppose une nature légèrement discordante par rapport à la partie sommitale de l'andésite basaltique de l'unité 5.4 et aux tufs felsiques de l'unité 5.5 encaissante.

PÉTROGENÈSE

Les roches des unités 5.1b à 5.5 composant le Membre supérieur de la Formation de Bousquet à la mine LaRonde (puits Penna) montrent une évolution pétrographique et géochimique continue des andésites basaltiques, tholéiitiques à transitionnelles, aux rhyolites calco-alcalines. Elles forment ainsi une suite magmatique continue, contrairement aux laves du camp central de Rouyn-Noranda qui forment une séquence clairement bimodale (Lafrance *et al.*, 2003; Gélinas *et al.*, 1984). Le contenu en Al_2O_3 et en Zr donne certaines indications sur la formation des laves et sur leur affinité géochimique. Dans le cas des échantillons

du Membre supérieur de la Formation de Bousquet, les teneurs en ces éléments et oxydes permettent de supposer une genèse des laves à profondeur modérée dans la croûte (Al_2O_3 faible; Laflèche *et al.*, 1992). Les éléments du groupe des terres rares sont les meilleurs témoins des conditions de formation des laves puisqu'ils sont relativement immobiles dans les conditions d'altération hydrothermale typiques des sulfures massifs volcanogènes (Barrett et MacLean, 1994). Dans le cas des échantillons provenant de la mine LaRonde (puits Penna), les profils de terres rares correspondant aux unités 5.1b à 5.5 (figures 3D, 4D, 5D, 6D et 7D) sont semblables. Ceci permet de supposer une paragenèse commune pour ces différents produits volcaniques (une seule suite magmatique), les différences chimiques étant reliées au processus de différenciation dans la chambre magmatique source. De plus, ces profils montrent un enrichissement substantiel en terres rares légères (forte pente, rapport La/Sm élevé) et un fort fractionnement de terres rares lourdes (pente faible à inverse, rapport Gd/Lu près de 1). Ces observations sont aussi illustrées par un rapport La/Lu élevé, relation reconnue surtout pour les unités rhyodacitiques et rhyolitiques transitionnelles à calco-alcalines (unités 5.2b et 5.5; figures 4D et 7D). Cette forte pente dans les profils n'est pas typique des laves du Groupe de Blake River, celles-ci montrant généralement des profils à pente plus faible (Barrie *et al.*, 1993; Ujike et Goodwin, 1987; Lescher *et al.*, 1986). Une telle pente peut s'expliquer entre autres de deux façons, soit par une genèse des laves par fusion partielle à pression élevée avec ségrégation d'amphiboles et/ou de grenats, soit par le recyclage de la croûte basaltique (Laflèche *et al.*, 1992). Dans les deux cas, un cadre tectonique de subduction avec déshydratation est impliqué. L'étude plus poussée de ces laves permettra de faire la lumière sur les processus de formation de la séquence volcanique à la mine LaRonde. Toutefois, il est clair qu'il s'agit d'une séquence évoluée, apparentée aux laves rencontrées dans les cadres tectoniques d'îles en arc (VAG, figure 7C). La classification établie par Pearce *et al.* (1984) appliquée aux échantillons de la séquence hôte du gisement LaRonde (figures 3C, 4C, 5C et 7C) suggère un environnement de formation d'arc océanique pour les laves échantillonnées. Bien que l'yttrium, le niobium et le rubidium soient à la base de cette classification (éléments possiblement mobiles dans les zones fortement altérées), il semble que l'altération hydrothermale subie par les différentes unités volcaniques de la mine LaRonde (puits Penna) n'affecte pas la distribution des échantillons jugés « frais » de façon à modifier l'interprétation. Dans le cas de l'unité 5.4 (andésite basaltique), la distribution des valeurs dans le diagramme de Gorton et Schandl (2000) (figure 6C) ne permet pas de conclure sur le cadre tectonique de formation. Par contre, ce diagramme de classification est basé sur le rapport Zr/Y en fonction du Zr, et en considérant que le Zr est immobile et que l'Y peut être dans certains cas mobile tel que discuté plus haut, il est permis de croire que les échantillons devraient se distribuer principalement dans

le champ des basaltes d'arc océanique. Ceci, mis en relation avec le fait que les laves environnantes (unités 5.1b, 5.2b, 5.3 et 5.5) se sont formées dans un tel environnement, permet de croire en la validité de cette interprétation pour l'unité 5.4.

DISTRIBUTION DES UNITÉS

Distribution des unités en surface

Les unités 5.1b, 5.2b, 5.3, 5.4 et 5.5, du Membre supérieur de la Formation de Bousquet forment des bandes d'épaisseur restreinte mais d'étendue latérale (est-ouest) importante qui dépassent largement les limites de la propriété LaRonde (voir Lafrance *et al.*, 2003). Les figures 2A et 2B illustrent la distribution de ces unités et des différents faciès volcaniques reconnus à l'intérieur de celles-ci pour le secteur du gisement LaRonde.

L'unité 5.1b a une épaisseur qui varie de 75 mètres à plus de 200 mètres dans la partie centrale de la propriété LaRonde (figure 2A). Elle prend principalement la forme de coulées (dômes et lobes métriques avec brèches et tufs) dans la partie est de la propriété et d'horizons de tufs à lapillis et à cristaux et/ou de laves microporphyriques minces du côté ouest de la propriété. La distribution latérale de cette unité est irrégulière en réponse à la nature lobée des coulées qui forment des dômes. Ces variations latérales de faciès sont en partie dues à des arrêts temporaires dans l'émission de laves, du moins localement, comme le suggèrent les minces lits d'argilite/mudstone chertueux à graphite observés localement (figure 2A) ainsi que la présence de lentilles de sulfures massifs et fragmentaires (Zone 6). La Zone 4 se retrouve également à l'interface entre l'unité 5.1b et l'unité 5.2b, dans une mince bande de rhyolite à quartz bleu (unité 5.3). La position de ces lentilles minéralisées et la distribution des laves fragmentaires, par rapport à la position des laves massives, indiquent clairement un sommet stratigraphique vers le sud. Des bandes minces d'andésite tholéiitique à transitionnelle se concentrent à la base de l'unité 5.1b alors que des filons-couches d'andésite basaltique transitionnelle, à faible teneur en Zr et pouvant être apparentés à l'unité 5.4, sont présents dans les dépôts dacitiques. Ces roches mafiques, qui sont mal exposées en surface, forment des niveaux trop minces pour être représentés à la figure 2A.

L'unité 5.2b repose sur l'unité 5.1b à l'échelle de la propriété LaRonde (figure 2A). Elle est particulièrement épaisse dans la section du puits Penna, soit stratigraphiquement sous les lentilles 20 Nord et 20 Sud et au-dessus des Zones 6 et 7 (figures 8 et 9). Cette unité est caractérisée par la présence de dômes de quelques dizaines à quelques centaines de mètres de largeur recouverts de brèches de carapace et entourés de brèches de coulée pouvant être

coupées par des lobes d'échelle métrique. Latéralement les brèches de coulée deviennent des tufs à blocs et à lapillis et des tufs à lapillis et à cristaux. Cette unité se caractérise donc par des faciès de coulée de forte viscosité formés près des conduits nourriciers. Une partie des dômes est fort possiblement endogène alors que les lobes métriques se mettent clairement en place à l'intérieur des laves fragmentaires (brèches de coulée et tufs) formées préalablement par la même coulée. Cette zonalité des faciès (figure 2B) indique encore une fois clairement un sommet stratigraphique vers le sud. De plus, la lentille 20 Nord, qui se retrouve au sommet de cette l'unité 5.2b, est caractérisée, dans sa partie sommitale, par la présence de lits d'argilite/mudstone cherteux à graphite et à nodules de pyrite; ces lits peuvent être associés à un hiatus volcanique ayant permis la formation des sulfures massifs. Ces sulfures massifs suggèrent également un sommet vers le sud ou le sud-est, puisque le zinc et le plomb sont concentrés du côté sud-est de la lentille (zonalité primaire des métaux dans les amas sulfurés, indicateur de sommet, voir Sangster, 1972) alors que le cuivre se concentre du côté nord à nord-ouest, soit à la base de la lentille.

L'unité 5.3 est interprétée comme étant une coulée de lave massive à localement bréchique, en partie endogène. Elle recouvre localement l'unité 5.2b dans les parties centrales et ouest du secteur étudié (figure 2A). Une mince bande se trouve également coincée entre les unités 5.1b et 5.2b, à l'extrême ouest de la propriété; cette bande est l'hôte de la Zone 4. La quantité restreinte d'affleurements dans la partie sud du secteur à l'étude ne permet pas de définir avec certitude la distribution de l'unité 5.3, autant vers le sud que vers l'est. Par contre, du côté ouest, là où elle est particulièrement épaisse, cette unité pourrait être en contact avec les sédiments du Groupe de Cadillac au sud. Cette relation semble se répéter du côté est de la propriété où une très mince bande de rhyolite à quartz bleu de l'unité 5.3 est reconnue sur deux affleurements localisés près du contact des sédiments du Groupe de Cadillac.

L'unité 5.4 forme une lentille d'andésite basaltique (figure 2A) dont les dimensions en surface sont mal définies, puisqu'elle n'est observée qu'à un seul endroit. Dans la partie sud de cet affleurement, l'andésite basaltique, qui présente le faciès glomérophyrique, est clairement en contact avec un tuf à blocs et à lapillis de l'unité 5.2b composant la partie nord de l'affleurement. Ce contact est d'ailleurs caractérisé par un mince horizon discontinu graphiteux à Py-Po pouvant correspondre à l'expression en surface de l'extension de la lentille 20 Nord. Cet affleurement se trouve près du contact avec les sédiments du Groupe de Cadillac bien que le contact ne soit pas exposé. La position de l'unité 5.4 à l'intérieur de l'unité 5.2b suppose une origine intrusive pour cette roche.

Finalement, l'unité 5.5 se retrouve du côté est de la propriété. Elle est en contact au sud avec les sédiments du Groupe de Cadillac et à l'ouest avec les roches volcaniques de l'unité 5.3. Cette unité, composée principalement de

tufs à blocs et à lapillis, se superpose aux roches de l'unité 5.2b et possiblement à celles de l'unité 5.3. En effet, des fragments contenant des phénocristaux de quartz bleu apparentés à l'unité 5.3 sont observés à l'intérieur des tufs de l'unité 5.5. Cette unité est exposée à deux endroits seulement et la relation stratigraphique avec les autres unités en surface est difficile à interpréter.

La distribution et la nature des unités volcaniques reconnues dans le secteur de LaRonde indiquent bien la présence de plusieurs petits centres d'émission de laves en milieu sous-marin. La présence de dômes et brèches, de lobes et d'hyaloclastites, de sulfures massifs et d'argilites/mudstones cherteux à nodules de pyrite en témoigne.

Distribution des unités en profondeur

La distribution en profondeur des unités 5.1b à 5.5 de la propriété LaRonde est illustrée à la figure 9 par une section schématique nord-sud (7440E) qui a été produite à partir de la cartographie aux niveaux 86, 122, 146 et 170 du puits Penna. Il faut donc garder à l'esprit que les variations latérales sont importantes et que la section choisie n'est pas nécessairement représentative de la distribution des unités vers l'est ou vers l'ouest.

Au niveau 86 (860 m de profondeur; figure 9), toutes les unités observées en surface sont reconnues. Toutefois, leur épaisseur et les faciès peuvent être différents. Ainsi, l'unité 5.1b ne varie pas d'épaisseur de façon notable entre la surface et le niveau 86 et se compose principalement d'horizons d'épaisseur métrique de laves massives à amygdules et d'horizons d'épaisseur variable de tuf à lapillis. La trace des Zones 7 et 6 est observée à ce niveau, mais il s'agit de bandes minces, altérées fortement, avec pyrite disséminée ou en *stringers* transposés. En profondeur, l'unité 5.2b diminue en épaisseur (125 m au niveau 86 versus 250 m en surface). Cette réduction importante dans l'épaisseur totale de l'unité 5.2b est due à l'amincissement progressif des faciès massifs représentant le dôme de rhyodacite-rhyolite cartographié en surface (figure 2). Au niveau 86, celui-ci est réduit à quelques mètres de puissance alors que la brèche de carapace et la brèche de coulée, surmontant le dôme, conservent sensiblement la même épaisseur. La quantité et la taille des fragments diminuent vers le sud, indiquant encore une fois un sommet vers le sud. La lentille 20 Nord est présente à ce niveau (1 m de sulfures semi-massifs à massifs à Py + Po ± Sp + Cp) et se retrouve directement au sommet de l'unité 5.2b. L'unité 5.3 représente le toit ou l'éponte supérieure de la lentille 20 Nord. Elle se présente à la base sous forme massive et évolue graduellement vers le sud à un faciès fragmentaire à lapillis (5-10 % de lapillis). Un dyke ou un filon-couche d'andésite basaltique grenue de l'unité 5.4 de 1,5 m de puissance coupe l'unité 5.3 dans sa partie centrale. Un tuf à blocs et à lapillis, correspondant à l'unité 5.5, se superpose à l'unité 5.3 et s'étend jusqu'au contact avec

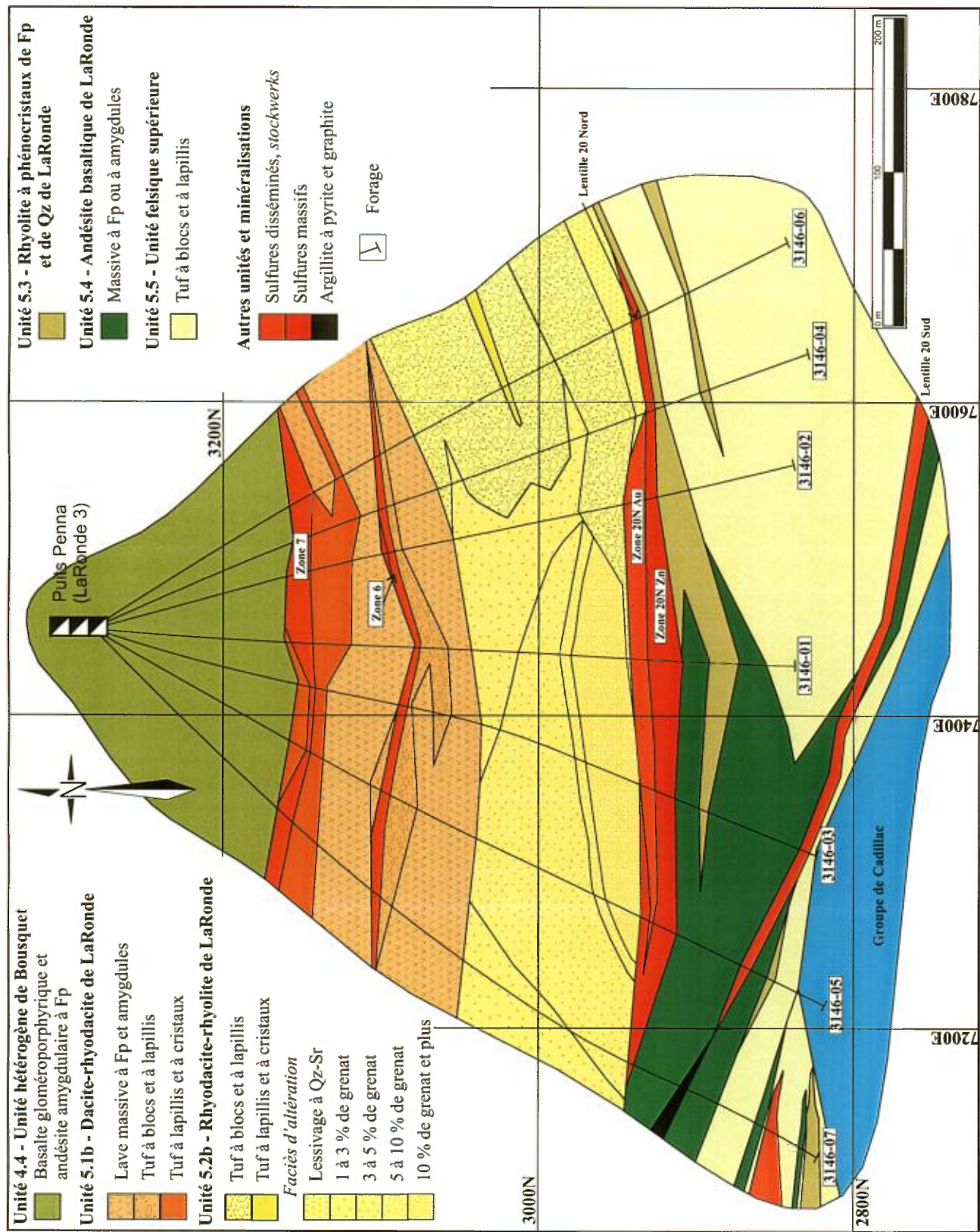


FIGURE 8 - Géologie en plan du niveau 146, établie à partir des forages et de la cartographie des galeries de la mine LaRonde (puits Penna), illustrant la position des zones minéralisées et des zones d'altération principales. Modifiée d'Agnico-Eagle. Voir localisation du niveau 146 à la figure 9.

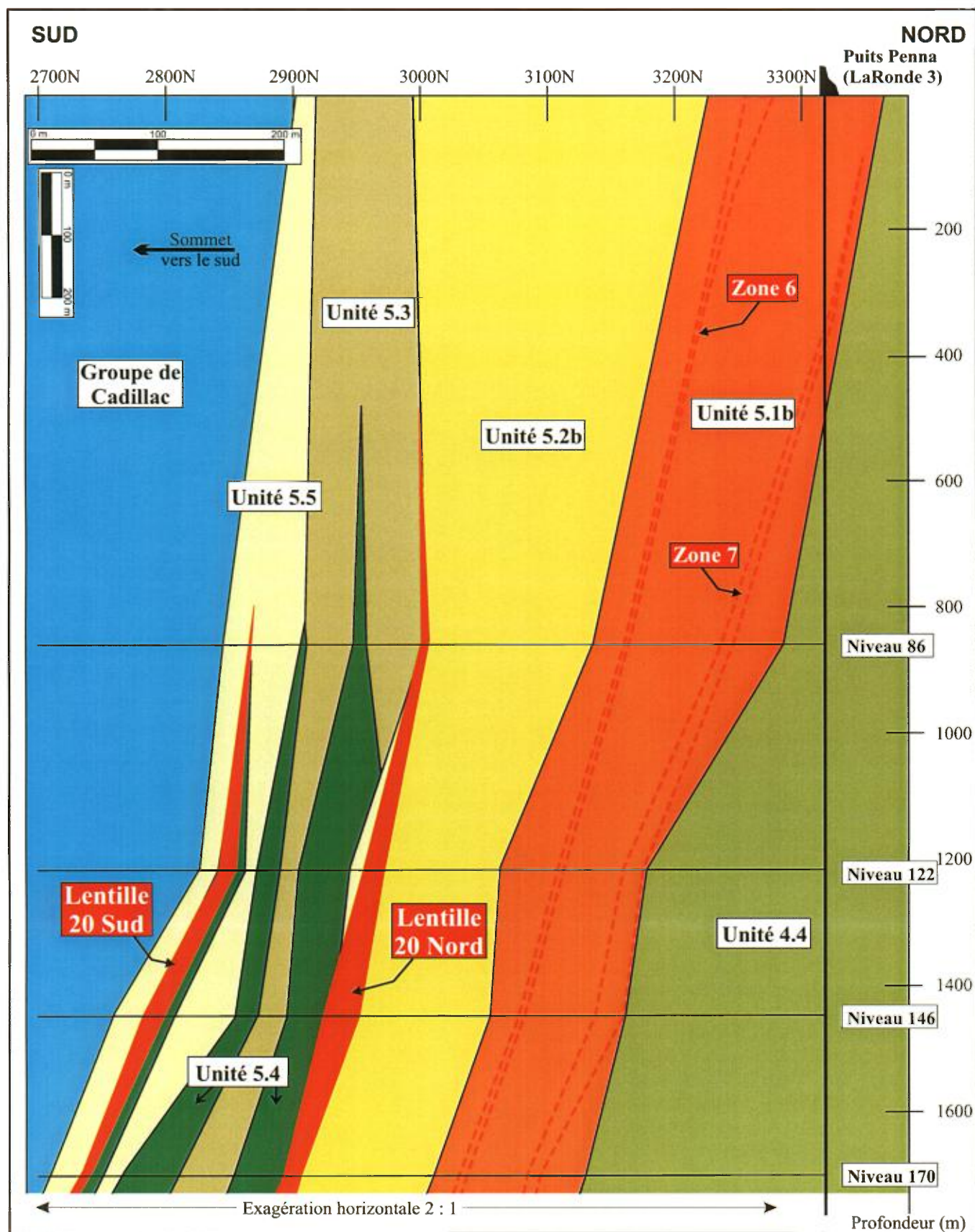


FIGURE 9 - Géologie schématisée de la section 7440E (se référer à la figure 2 pour la localisation de la section) établie à partir du puits Penna de la propriété LaRonde. Dessin modifié d'Agnico-Eagle.

les sédiments du Groupe de Cadillac. La lentille 20 Sud est reconnue à ce niveau et se compose d'un horizon de *stringer* à pyrite faiblement développé qui ne semble pas associé à l'andésite basaltique.

Au niveau 122 (1220 m de profondeur), la même séquence est reconnue mais une inflexion des contacts entre les niveaux 86 et 122 est responsable d'une migration vers le sud de certains contacts. Ce phénomène est surtout observé aux contacts entre les unités 4.4 (Membre inférieur de la Formation de Bousquet) et 5.1b (Membre supérieur de la Formation de Bousquet) et entre les unités 5.1b et 5.2b. Au niveau 122, la lentille 20 Nord est beaucoup plus épaisse et est surmontée d'une mince bande de tuf à lapillis appartenant à l'unité 5.5. La séquence entre la lentille 20 Nord et la lentille 20 Sud est caractérisée par la mise en place d'horizons métriques d'andésite basaltique (unité 5.4) en alternance avec la rhyolite à feldspath et quartz de l'unité 5.3 et les tufs de l'unité 5.5. La lentille 20 Sud est quant à elle beaucoup plus épaisse qu'au niveau 86. De plus, au niveau 122, elle correspond à une bande de sulfures semi-massifs à massifs en remplacement dans un horizon d'andésite basaltique à grain fin avec amygdules.

Au niveau 146 (1460 m de profondeur; figures 8 et 9), l'unité 5.1b est caractérisée par des laves massives intercalées avec des niveaux bréchiques dans lesquels les Zones 6 et 7 forment des horizons pyriteux (figure 8). L'unité 5.2b a une épaisseur d'environ 100 m à ce niveau. Le faciès massif de cette unité (dôme) est absent alors que le faciès à lapillis domine. L'altération des rhyodacites de l'unité 5.2b est plus forte à ce niveau puisque la lentille 20 Nord surmonte directement cette unité. Cette altération peut oblitérer partiellement à totalement les textures primaires à certains endroits, mais la signature géochimique est néanmoins reconnue. La lentille 20 Nord est caractérisée à la base (nord) par une bande à filonnets de pyrite-chalcopryrite aurifère et au sommet par un amas métrique de pyrite \pm sphalérite \pm galène pouvant contenir des lambeaux d'argilites/mudstones chertueux à graphite et à nodules de pyrite. L'éponte supérieure de cette lentille est constituée de roches fortement altérées associées à l'unité 5.4 qui semblent soit intercalées avec les roches de l'unité 5.3 ou les couper. Les roches felsiques de l'unité 5.5 apparaissent à la base de la lentille 20 Sud. Un mince niveau d'andésite basaltique à amygdules (unité 5.4) est associé à la lentille 20 Sud. Les roches felsiques (unité 5.5) réapparaissent sur quelques mètres dans l'éponte supérieure de la lentille 20 Sud; elles marquent généralement le contact avec les sédiments du Groupe de Cadillac (figure 9).

La séquence se répète au niveau 170 avec seulement de légères modifications d'épaisseur. Il est cependant à noter qu'à ce niveau, le contact entre les unités 5.1b et 5.2b est marqué par l'apparition d'un mince horizon altéré, hôte d'un *stringer* à Py-Sp fortement transposé.

De façon générale, les unités formant l'éponte inférieure de la lentille 20 Nord sont relativement régulières; seuls les faciès volcaniques associés montrent des variations

latérales. Par contre, les unités formant l'éponte supérieure de la lentille 20 Nord, ainsi que l'éponte inférieure de la lentille 20 Sud, sont caractérisées par une distribution irrégulière. En gros l'unité 5.3 (rhyolite à phénocristaux de Fp et de Qz) forme l'éponte supérieure de la lentille 20 Nord de la surface jusqu'au niveau 102. L'unité 5.4 (andésite basaltique) apparaît dans les épontes des lentilles 20 Nord (supérieure) et 20 Sud (inférieure) à partir des niveaux 102 à 106, notamment du côté ouest des lentilles minéralisées. Cette unité 5.4 devient de plus en plus importante volumétriquement en profondeur, du moins jusqu'au niveau 170. Les forages profonds étudiés montrent la même relation pour ce qui est de la séquence à la base de la lentille 20 Nord. Toutefois, il semble que la lentille 20 Nord ne se présente plus au sommet de l'unité 5.2b mais bien à l'intérieur de cette même unité, qui forme alors les épontes inférieure et supérieure de la lentille. Ceci suggère que la lentille 20 Nord est en partie discordante par rapport aux unités volcaniques, du moins dans la partie profonde du gisement.

ANALYSE STRUCTURALE DU GISEMENT LARONDE

Les unités volcaniques constituant la séquence hôte du gisement LaRonde ont toutes été affectées, à divers degrés, par la déformation caractérisant l'ensemble des roches de la Formation de Bousquet. Différents éléments structuraux sont reconnus en surface et sous terre et varient en intensité d'un endroit à l'autre en fonction des roches affectées. Ce chapitre vise dans un premier temps la description de ces différents éléments structuraux (tableau 3) dans un contexte chronologique relatif (tableau 4) et en second lieu à discuter de leurs effets sur la géométrie des unités volcaniques et des lentilles minéralisées. Les éléments structuraux principaux observés à la mine LaRonde sont associés à la phase de déformation principale Dp souvent appelée D2 en fonction des observations régionales corrélant les différents épisodes structuraux régionaux entre eux. La corrélation entre les nomenclatures structurales présentées dans certaines publications (Hubert *et al.*, 1984; Tourigny *et al.*, 1993; Teasdale *et al.*, 1996) et la nomenclature proposée dans cette étude est donnée au tableau 5.

Éléments structuraux et distribution de la déformation

L'empilement volcanique forme une séquence homoclinale à pendage fort vers le sud (figure 9). Le redressement de la stratigraphie est associé à une première phase de déformation (D1, tableaux 3 et 4) résultant de la collision entre le Groupe de Blake River de la Zone Volcanique Sud (ZVS) avec la Zone Volcanique Nord (ZVN), suite au

volcanisme terminal du Groupe de Blake River (Chown *et al.*, 1992; Hubert *et al.*, 1984). Aucune fabrique S1 associée à cette déformation D1 n'est reconnue dans le secteur de la mine LaRonde. Le litage (S0) est localement observé bien que les contacts stratigraphiques soient communément affectés par les éléments structuraux postérieurs (annexe, photo 25). Le contact entre le Membre inférieur et le Membre supérieur de la Formation de Bousquet est fortement affecté par la déformation principale (Dp). De plus, la nature graduelle de certains contacts (voir chapitre précédent) à l'intérieur du Membre supérieur de la Formation de Bousquet ne permet pas d'observer un litage net dans bien des cas.

La seconde phase de déformation (Dp, tableaux 3 et 4) est responsable du développement des principales fabriques affectant les roches de la séquence volcanique hôte des minéralisations de la mine LaRonde. Cet événement de déformation peut être associé au raccourcissement D2 suivant la collision de la ZVN avec la ZVS, lequel est décrit ailleurs dans la ZVS (Hubert *et al.*, 1984). Une schistosité pénétrative principale (Sp) est associée à cet événement de déformation. Cette schistosité varie en intensité de faible à très intense, notamment dans les zones altérées par l'activité hydrothermale, là où la déformation semble avoir été accommodée préférentiellement. Cette fabrique, appelée schistosité principale, est également reconnue dans les zones minéralisées où les sulfures montrent un rubanement (pyrite-sphalérite) très bien développé, parallèle à la foliation affectant les épontes. Cette fabrique domine également ailleurs dans le camp Doyon-Bousquet-LaRonde (Tourigny *et al.*, 1993; Marquis *et al.*, 1990; Tourigny *et al.*, 1989) comme dans le reste du Groupe de Blake River (Hubert *et al.*, 1984). Dans le secteur LaRonde, la schistosité Sp prend une orientation E-W avec un fort pendage vers le sud pour un plan moyen à 093/83 (figure 10), la trace de cette fabrique pouvant être suivie sur toute la propriété (figure 11). Une linéation est parfois observée sur les plans de schistosité Sp. Cette linéation, qui peut être minérale (annexe, photo 26) ou d'étirement (allongement des amygdules ou des fragments volcaniques; annexe, photo 27), plonge abruptement vers le SW (figure 10). Bien que la fabrique Sp soit reconnue dans toute la séquence volcanique de LaRonde, la linéation Lé est quant à elle beaucoup plus discrète, étant observée principalement en surface dans les extrémités est et ouest de la propriété LaRonde et dans les niveaux inférieurs de la mine. Au cœur de la séquence, la phase de déformation Dp est plutôt caractérisée par un aplatissement (déformation « *oblate* » ou « en crêpe »; annexe, photo 28) que par un étirement (déformation « *prolate* » ou « en crayon ») tel qu'indiqué par la forme des fragments dans les brèches de coulée. Deux linéations d'intersection orthogonales sont localement observées sur le plan de la schistosité Sp. Ces linéations, une subverticale, l'autre subhorizontale, sont développées dans les roches schisteuses et résultent de la recrystallisation de paillettes de séricite dans les zones où la schistosité

principale Sp est très intensément développée et où deux clivages subverticaux à pendage contraire intersectent la schistosité principale Sp.

Des plis P2, fermés à isoclinaux, à axe vertical, d'échelle métrique et dont le plan axial correspond à la schistosité Sp sont observés à la base de l'unité 5.1b près du contact avec l'unité 4.4. Ces plis sont communément atténués ou déformés, notamment dans les flancs. L'intensification ou la perduration de la phase de déformation Dp est également à l'origine du développement de couloirs de forte déformation (F2), d'échelles variables et parallèles à Sp. En effet, ces couloirs se concentrent principalement près des contacts stratigraphiques, en particulier lorsqu'il s'agit d'un contact entre deux unités à fort contraste rhéologique (annexe, photo 29). Une première génération de veines de quartz \pm carbonates \pm tourmaline de type V2 s'est mise en place dans la schistosité Sp. Ces veines sont concentrées près des contacts stratigraphiques, notamment dans les couloirs de déformation F2, d'où leur forme très irrégulière (boudinage et démembrement). Ces veines sont communes dans les épontes de la minéralisation et contiennent parfois des sulfures remobilisés (principalement de la chalcopyrrite) auxquels sont parfois associées de fortes valeurs en or.

L'analyse de ces éléments permet de supposer que la phase de déformation Dp est à l'origine d'une déformation principalement ductile engendrée par un raccourcissement N-S à NNE-SSW.

Une troisième phase de déformation (Ds : déformation secondaire) est responsable de l'apparition d'un clivage C parfois appelé S3. Cette fabrique est rarement pénétrative et prend généralement la forme d'un clivage de crénulation millimétrique, développé dans les zones fortement séricitisées et foliées (annexe, photos 30 et 31), dans les zones minéralisées ainsi que dans les sédiments du Groupe de Cadillac au sommet de la lentille 20 Sud. Elle est également reconnue dans les unités compétentes (laves felsiques) et plus particulièrement dans les fragments siliceux des brèches de coulée où elle se présente sous la forme de « fractures discrètes » en continuité avec le clivage de crénulation affectant les zones moins compétentes (annexe, photo 32). L'orientation de ce clivage C varie de NE-SW à ENE-WSW à pendage subvertical pour une attitude moyenne de 061/87 (figure 10) et il peut être tracé sur toute la propriété en surface (figure 11).

Le développement de la déformation Ds est également à l'origine de la formation de couloirs de cisaillement (F3a; tableaux 3 et 4), d'échelles variables, d'orientation ENE-WSW à E-W qui se concentrent principalement près des contacts stratigraphiques, à l'image des couloirs de déformation F2. Une composante de déplacement senestre est reconnue le long de ces cisaillements F3a. Des failles cassantes (F3b; tableaux 3 et 4) de même orientation que les cisaillements F3a sont également associées à cet événement. Des mouvements senestres à composante normale ou inverse avec des déplacements décimétriques caractérisent ces failles qui sont reconnues dans toute la séquence mais

TABLEAU 3 - Description des différents éléments structuraux affectant le gisement LaRonde.

Phases de déformation	Éléments	Description	Distribution	Attitude et cinématique	Effets sur les lentilles minéralisées
D1	S0/S1	Contacts transposés et parallèles à Sp	S0 observé très localement, S1 non observé	Raccourcissement N-S	Basculement de la stratigraphie, séquence homoclinal à sommet vers le sud
Dp (D2)	Sp (S2)	Schistosité pénétrative principale	Fabrique dominante, observée partout	Raccourcissement N-S à NNE-SSW, aplatissement et étirement	Aplatissement important des lentilles et transposition locale des contacts avec les épontes, rubanement tectono-métamorphique des sulfures
	Lé	Linéation minérale et/ou d'étirement (amygdules, fragments et cristaux)	Développée près des zones minéralisées et dans les zones de déformation intense	Plongement abrupt vers le SW, composante verticale de mouvement sur Sp.	Étirement local, peut-être à l'origine de « ore shoots » cinématiques à l'intérieur des lentilles
	P2	Plis métriques isoclinaux fermés	Près des contacts lithologiques	Flancs parallèles à Sp, axes verticaux subparallèles à Lé	Répétitions stratigraphiques
	F2	Couloirs de déformation discrets ou larges associés à Sp	Couloirs de déformation près des contacts stratigraphiques	Parallèle à Sp (E-W à NNE-SSW), pendage abrupt vers le sud, association avec Lé	Concentration de Sp dans les zones altérées et minéralisées, forte transposition
	V2	Veines minces démembrées (Qz ± Tl)	Concentrées dans les zones de déformation F2	Parallèle à Sp, veines cisillées dans F2	Fragments de veines dans zones minéralisées, remobilisations possibles
Ds	C (S3)	Clivage secondaire, crénulation et fractures discrètes	Dans les zones fortement séricitisées (clivage) ou les zones silicifiées (fractures)	NE-SW à ENE-WSW à pendage abrupt vers le SE	Effet mineur, fabrique concentrée dans les épontes des zones minéralisées et dans les zones fortement altérées
	L _{Sp}	Linéation d'intersection de C sur la schistosité Sp	Dans les zones d'altération et dans les sédiments	Plongement abrupt SSE à SSW	Peut-être à l'origine du développement de « ore shoots »
	P3	Plis d'échelle décimétrique (S et Z)	Dans les zones à sulfures massifs ductiles et les épontes altérées	E-W à NE-SW, plongement variable, intra-foliaux, associés à F3a	Plissement des zones minéralisées, répétition des zones sur quelques mètres
	F3a	Couloirs de déformation discrets ou larges E-W	Couloirs près des contacts stratigraphiques et dans les zones minéralisées	Parallèle à Sp (E-W) ou à C (NE-SW), pendage abrupt vers le sud, composante senestre commune	Concentration dans les zones altérées et minéralisées, forte transposition, accentuation de F2
	F3b	Failles tardives	Dans les zones minéralisées, en bordures d'enclaves dans les sulfures et dans les épontes	E-W à NE-SW, subverticales, mouvement normal à inverse senestre	Décalage senestre des zones minéralisées sur moins de 1 m horizontalement
	V3	Veines de tension (Qz ± Tl ± Cb)	Concentrées près des contacts lithologiques	Famille dominante E-W à pendage faible vers le nord	Rarement observées dans les zones minéralisées, sinon démembrées
D4	Kb	« Kink bands » centimétriques à décimétriques conjugués	Observés localement, dans toutes les unités	N-S (famille conjuguée NNW-SSE et NNE-SSW), raccourcissement N-S	Aucun effet
	F4	Familles de fractures bien développées avec ou sans crénulation	Observées dans toute la séquence	Attitude variable, deux familles dominantes (NW-SE et E-W) à pendage variable	Aucun effet ou remobilisation locale à proximité des zones minéralisées, formation de « ore shoots »
	V4	Veines de tension tardives (Qz ± Cb)	Observées localement dans toute la séquence	Variable	Aucun effet ou remobilisation locale dans ou près des zones minéralisées

TABLEAU 4 - Chronologie relative des phases de déformation affectant la séquence volcanique hôte du gisement LaRonde.

Phases	Éléments	Chronologie relative			
Volcanisme	S0	2702 Ma – 2697 Ma			
D1	S1?	(<2697 Ma, ±2696 Ma)			
Dp (D2)	Sp (S2)	-----			
	Lé	-----			
	P2	-----			
	F2	-----			
	V2	-----			
Ds	C (S3)	-----			
	L ^c _{Sp}	-----			
	P3	-----			
	F3a	-----			
	F3b	-----			
	V3	-----			
D4	Kb	-----			
	F4	-----			
	V4	-----??			
		D1	Dp	Ds	D4

TABLEAU 5 - Corrélation entre les phases de déformation observées dans le camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde selon différents auteurs.

Hubert <i>et al.</i> (1984)	Tourigny <i>et al.</i> (1993)	Teasdale <i>et al.</i> (1996)	Présente étude	
D1				
D2	D1	D1A	Dp	Sp et Lé
		D1B		P2
		D2	Ds	F2 et V2
		D3		C et L ^c _{Sp}
	D2	D4	D4	P3
				F3a et F3b et V3
				Kb, F4 et V4

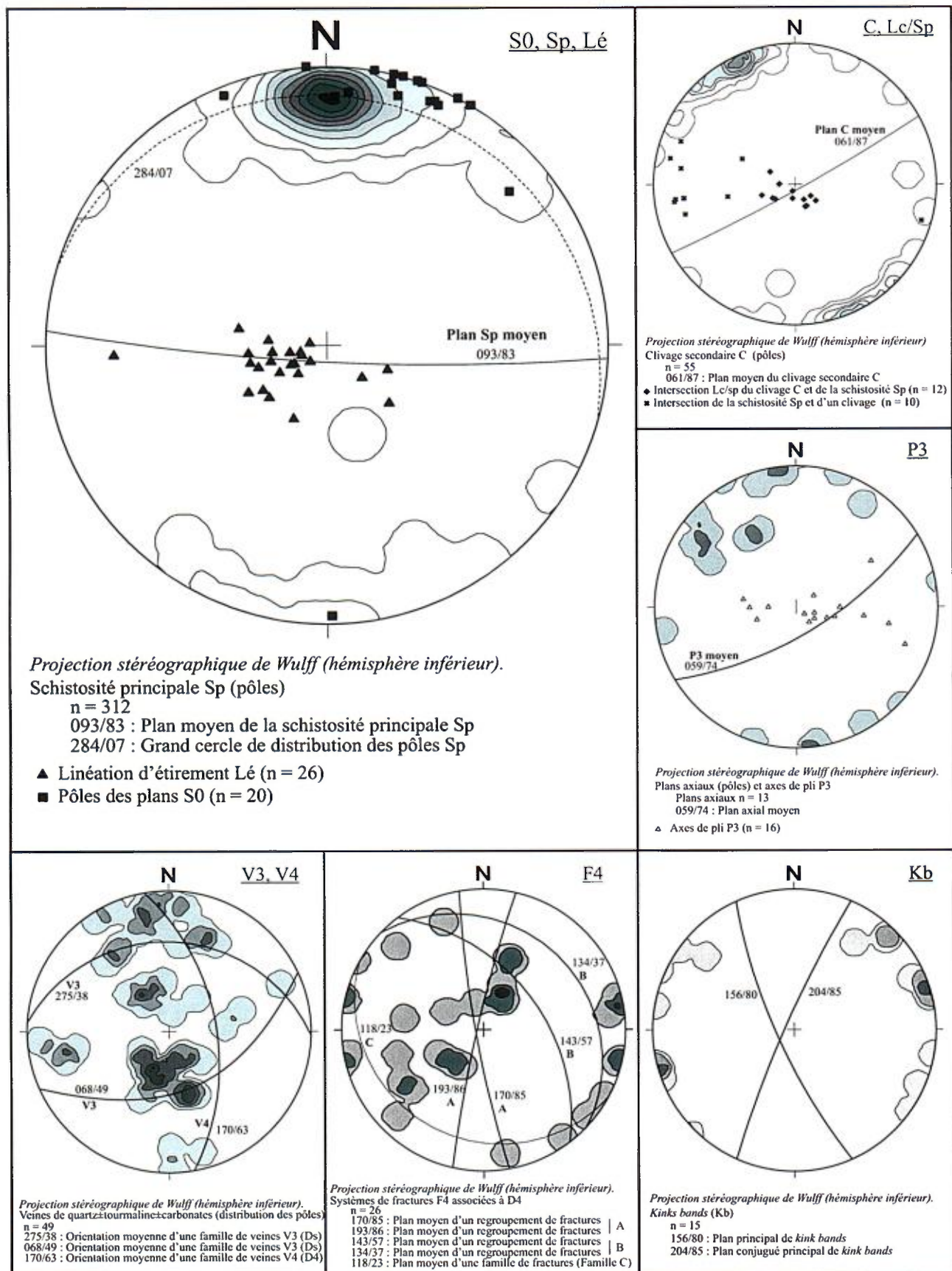


FIGURE 10 - Projection stéréographique des principaux éléments structuraux affectant la séquence volcanique hôte du gisement LaRonde.

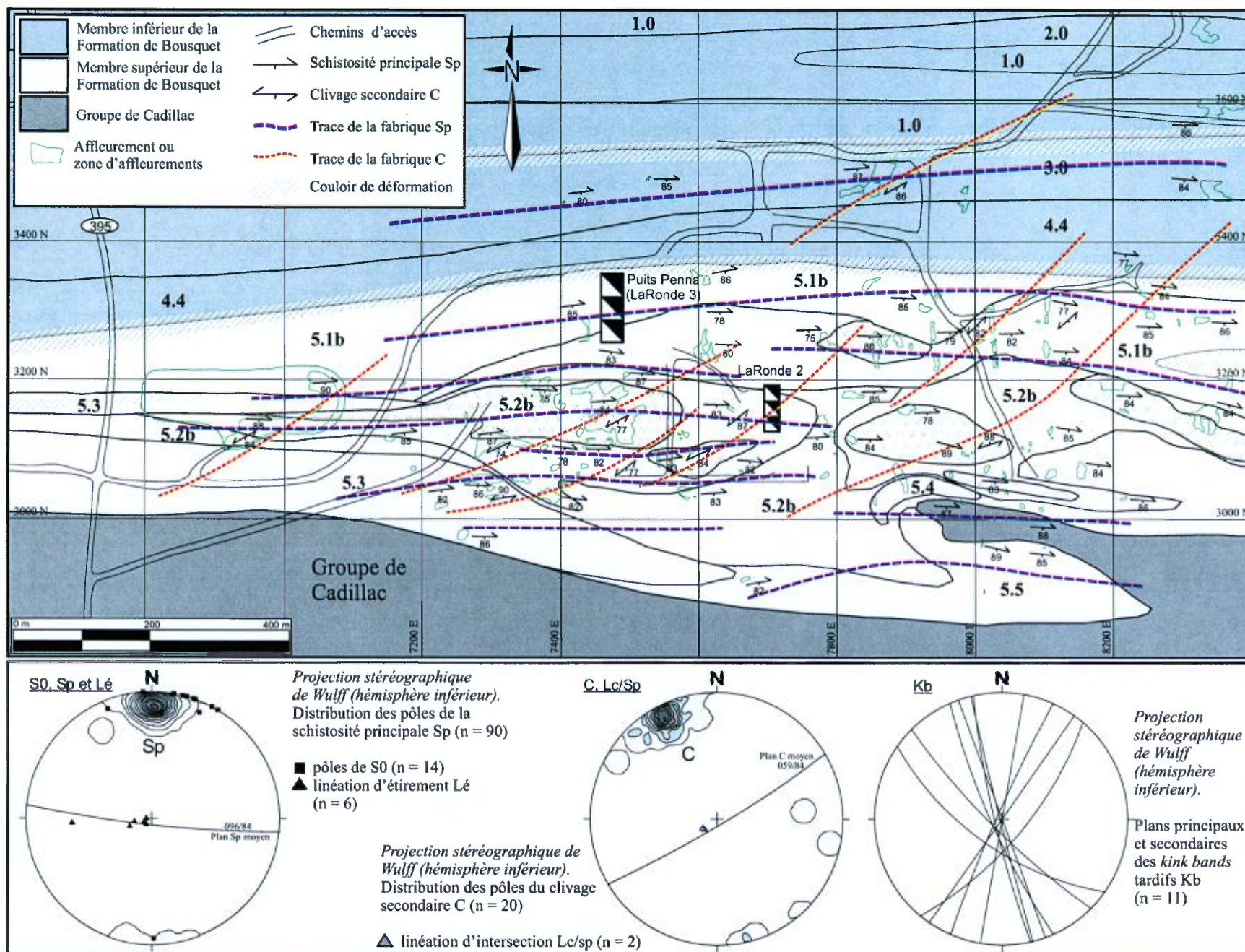


FIGURE 11 - Géologie structurale de surface, propriété LaRonde (Agnico-Eagle). Seuls les principaux éléments structuraux (Sp et C) ont été représentés sur la carte.

qui sont particulièrement évidentes près ou dans les zones minéralisées, notamment au contact entre les sulfures et certains lambeaux d'argilite graphiteuse ou de rhyolite à quartz bleu inclus dans les sulfures massifs. L'intersection entre la schistosité Sp et les fabriques C et $F3b$ est à l'origine d'une linéation d'intersection $L_{C_{Sp}}$ à plongement abrupt vers le SW, le S ou le SE (figure 10). Cette linéation est colinéaire avec la linéation d'étirement $Lé$ qui est associée à Sp (annexe, photo 33) et peut parfois lui être confondue.

Des plis $P3$ sont associés à la phase de déformation secondaire Ds et au clivage C . Ces plis sont serrés, d'échelle décimétrique et déforment clairement la fabrique Sp (schistosité, contacts et rubanement des sulfures). Le plan axial de ces plis est orienté NE-SW à E-W et l'axe de pli montre un plongement généralement abrupt comme illustré à la figure 10. Ces plis $P3$ (en S ou en Z) sont surtout observés dans les lentilles minéralisées, notamment dans les niveaux supérieurs de la mine (annexe, photos 34 et 35) et sont souvent associés à des remobilisations locales (annexe, photo 36). L'effet de ces plis sur la minéralisation sera discuté plus loin. Des veines de quartz \pm carbonates \pm tourmaline de type $V3$ se sont également mises en place lors de la phase de déformation Ds . Il s'agit de veines de tension d'échelles variables, concentrées près de contacts lithologiques. Deux familles principales de veines $V3$ grossièrement orientées E-W sont reconnues : la première (la mieux développée) a un pendage faible vers le nord, la seconde a un pendage faible vers le sud (figure 10). Localement ces veines sont légèrement plissées ou cisailées, attestant de leur mise en place syn- Ds .

L'analyse de ces fabriques permet de supposer que la phase Ds est à l'origine d'une déformation en grande partie ductile et en partie fragile, engendrée par un raccourcissement NNW-SSW à NNE-SSW. La déformation fragile semble succéder à la déformation ductile. Les épisodes Dp et Ds ne sont pas coplanaires mais semblent coaxiaux. En effet, Ds pourrait représenter la continuité de Dp (réactivation des couloirs de déformation $F2$ pour former les couloirs $F3a$; annexe, photo 37) suite à une légère rotation des axes de compression et un changement des conditions de confinement menant à une déformation ductile-fragile (Ds) plutôt que ductile (Dp).

La dernière phase de déformation ($D4$, tableau 3) reconnue dans la séquence de la mine LaRonde (puits Penna) représente possiblement la fin du raccourcissement N-S responsable des fabriques associées à Dp et Ds . Les fabriques associées à la déformation $D4$ sont d'importance moindre que celles associées à Dp et DS sur la géométrie des lentilles. Une famille de *kink bands* centimétriques à décimétriques (Kb), orientée N-S (figure 10), est reconnue sur toute la propriété, le plan NNW-SSE étant le mieux développé. Plusieurs fractures tardives ($F4$) sont associées à cet épisode de déformation. L'attitude de la famille dominante est WNW-ESE à pendage très faible vers le SSW (figure 10). Les fractures $F4$ exercent un contrôle notable sur la stabilité des chantiers et elles semblent responsables

de remobilisations locales des valeurs en or à l'intérieur même des zones minéralisées. Certaines de ces fractures sont légèrement crénulées. Des veines de quartz ($V4$) de tension, subverticales et d'orientation dominante N-S (figure 10), se sont formées dans les stades tardifs de la déformation (annexe, photo 38). L'analyse de ces éléments permet de supposer que la phase $D4$ est à l'origine d'une déformation en grande partie fragile, engendrée par un raccourcissement N-S.

Effets de la déformation sur la géométrie des unités volcaniques et des lentilles minéralisées

Les différents épisodes de déformation présentés ci-dessus ont affecté à divers degrés les unités volcaniques composant la séquence hôte des lentilles minéralisées de la mine LaRonde et en contrôlent maintenant la géométrie.

La première phase de déformation ($D1$) est responsable de la formation d'une séquence homoclinale à pendage abrupt et à sommet stratigraphique vers le sud ou vers le SSE, ce qui fait que les corps minéralisés, de nature concordante à subconcordante, sont maintenant des horizons verticalisés. Ces horizons ont par la suite subi un fort aplatissement lors de la phase de déformation Dp ($D2$: raccourcissement N-S). Il est difficile d'évaluer l'importance de cet aplatissement mais les observations à travers toute la séquence montrent que les fragments sont caractérisés par un rapport de diamètre (allongement) variant entre 2:1 et 10:1, et cela, dans le plan horizontal comme dans le plan vertical. L'étirement associé à Dp ($Lé$) est également difficile à quantifier bien qu'il soit clairement à plongement abrupt vers le SW, ce qui correspond à l'axe long des lentilles exploitées à la mine LaRonde et ailleurs dans le camp minier et pourrait expliquer en partie la géométrie actuelle des lentilles minéralisées. La phase de déformation Dp a causé l'aplatissement et l'étirement des lentilles de sulfures massifs mais également le rabattement et la transposition vers l'ouest des lentilles subconcordantes à discordantes (*stockwerk*). La lentille 20 Nord est le meilleur exemple de cette géométrie (figure 8). La zone massive (Zone 20N Zn), localisée au sommet (sud), est très étendue latéralement (concordante) et d'épaisseur limitée alors que le *stockwerk* sous-jacent (Zone 20N Au) est rabattu vers l'ouest, fortement aplati et parallélisé à la Zone 20N Zn. La cheminée d'altération associée au *stockwerk* (faciès quartz + grenat + biotite + séricite; Dubé *et al.*, 2004) est également fortement aplatie et rabattue vers l'ouest. L'orientation originale des conduits hydrothermaux perpendiculaires à la stratigraphie à sommet vers le SSE, donc NNW-SSE, a probablement contrôlé son rabattement vers l'ouest durant la compression N-S. Cette relation est également observée à divers niveaux dans la mine.

L'aplatissement relié à Dp est également responsable de la formation du rubanement compositionnel observé dans les lentilles massives (sphalérite + pyrite + galène) suite à

une recristallisation dynamique et métamorphique. Le développement de la fabrique Sp et la formation de cisaillements F2 influencent de façon importante la géométrie des zones minéralisées. En effet, les couloirs de déformation F2 se concentrent, à cause de l'anisotropie rhéologique, en bordure des zones minéralisées, entre les zones massives et les zones de *stockwerk* ou encore à l'intérieur des sulfures massifs. Ce phénomène s'accroît lorsque des lambeaux d'argilite graphiteuse ou de rhyolite à quartz bleu (unité 5.3) permettent la focalisation de la déformation et ainsi le développement de couloirs de déformation. Les mouvements possibles dans ces couloirs sont difficiles à estimer mais il semble y avoir eu des mouvements verticaux importants à certains endroits dans la lentille 20 Nord. De plus, un pli P2 est également observé à la Zone 6. Ce pli P2 est responsable de la répétition de la minéralisation massive et de la formation d'une zone contenant une forte concentration de fragments de sulfures massifs aurifères transposés par la foliation principale Sp et concentrés dans la charnière du pli. Cette zone a pu être exploitée économiquement à partir du puits 2 de la mine LaRonde. Ces plis P2 n'ont pas été observés dans les lentilles 20 Nord et 20 Sud. Toutefois, le grand pli en S qui marque le contact entre le Membre supérieur de la Formation de Bousquet et les grauweekes du Groupe de Cadillac à LaRonde (figures 2A et 11) pourrait être associé à la phase de déformation Dp, puisque la fabrique Sp coupe ce contact et qu'aucune fabrique antérieure n'est reconnue dans la zone de charnière. Selon cette hypothèse, ce pli en S implique une composante horizontale de mouvement senestre le long du contact lithologique, ce qui peut être expliqué par un mouvement inverse sur Sp en relation avec la linéation d'étirement Lé. Cependant, cette géométrie particulière du contact entre les volcanites de la Formation de Bousquet et les sédiments du Groupe de Cadillac peut également résulter de décrochements amorcés lors de la phase de déformation Dp et accentués lors de la phase de déformation Ds (cisaillements F2 et F3a). Il est aussi possible que cette géométrie ait été induite par la paléotopographie locale.

Les structures reliées à la phase de déformation Ds affectent de façon importante les lentilles minéralisées mais leurs effets sont de moins grande envergure que ce qui est associé à la phase Dp. Dans la phase de déformation Ds, le clivage C n'est pas développé dans les lentilles minéralisées mais l'intersection entre ce clivage C et la schistosité principale Sp (L^C_{Sp}) est colinéaire aux « ore shoots » à fort plongement vers le S-SW et pourrait avoir influencé cette géométrie. Les plis P3 sont quant à eux d'échelle décimétrique à métrique et sont responsables de répétitions de la minéralisation, notamment dans le cas de la lentille 20 Sud (figure 12). Ces plis, en S ou en Z et à plongement variable, peuvent expliquer en partie le changement d'attitude de l'enveloppe des lentilles et la migration vers le nord de la lentille 20 Sud en se dirigeant vers l'ouest (figure 8 et annexe, photo 39).

La lentille 20 Nord est affectée par un pli P3 en forme de Z et à plan axial subvertical. Ce pli déforme la lentille entre les niveaux 152 et 215. Le plissement des sulfures rubanés permet de supposer qu'il s'agit d'un pli P3 puisque le rubanement est produit par la phase Dp.

En plus des plis, les couloirs de déformation F3a et les failles F3b exercent un contrôle important sur la minéralisation. Le mouvement dans les couloirs de déformation F3a est difficile à évaluer comme dans le cas des cisaillements F2, mais une composante senestre leur est généralement associée (figure 12 et annexe, photo 40). Cette composante senestre est très évidente dans le cas des failles F3b avec des mouvements d'échelle décimétrique, notamment dans le cas de la lentille 20 Nord dans les niveaux inférieurs de la mine (figure 13 et annexe, photo 41). Ces structures F3 coupent le minerai et sont à l'origine de discontinuités locales dans la géométrie des lentilles (figure 13).

Les structures reliées à la dernière phase de déformation (D4) n'affectent pas de façon notable la géométrie des lentilles minéralisées ni des autres constituants de la séquence volcanique hôte de ces lentilles. Par contre, tel que mentionné plus haut, les fractures tardives (F4) semblent responsables de remobilisations très locales de l'or dans les zones minéralisées et contrôlent en partie la stabilité des chantiers.

En résumé, les structures associées à Dp sont responsables en grande partie de la géométrie globale des zones minéralisées alors que les structures associées à Ds sont plutôt responsables de la géométrie interne des zones minéralisées; les structures associées à D4 n'ont pas vraiment d'influence sur la géométrie de ces lentilles.

Une attention particulière doit donc être portée à l'attitude de la fabrique principale Sp (E-W, pendage abrupt) et à la linéation Lé puisque l'attitude des zones minéralisées leur est étroitement associée. L'apparition et l'intensification des fabriques associées à Ds (couloirs de déformation F3a, failles F3b et plis P3) doivent être considérées lors de la cartographie puisque des déplacements de la zone minéralisée peuvent leur être associés. Des remobilisations locales sont également associées à ces phases de déformation et les fractures tardives (F4) NW-SE à NE-SW pourraient représenter des plans favorables à ces remobilisations comme cela est le cas dans la lentille de la Zone 5 (mine Dumagami; Marquis *et al.*, 1990) et de la mine Bousquet 2 (Tourigny *et al.*, 1993).

Des travaux visant à mieux définir la distribution de chacun des éléments structuraux importants dans l'environnement de la mine ont été entrepris à l'été 2002 et à l'été 2003. De plus, les couloirs de déformation F2 et F3a seront étudiés dans le cadre du projet en cours afin de caractériser les mouvements (horizontaux comme verticaux) enregistrés le long de ces structures, leur effet sur les zones minéralisées, et leur chronologie relative. La distribution des valeurs à l'intérieur des lentilles sera également étudiée en relation avec les différents éléments structuraux afin de déceler de possibles vecteurs cinématiques.

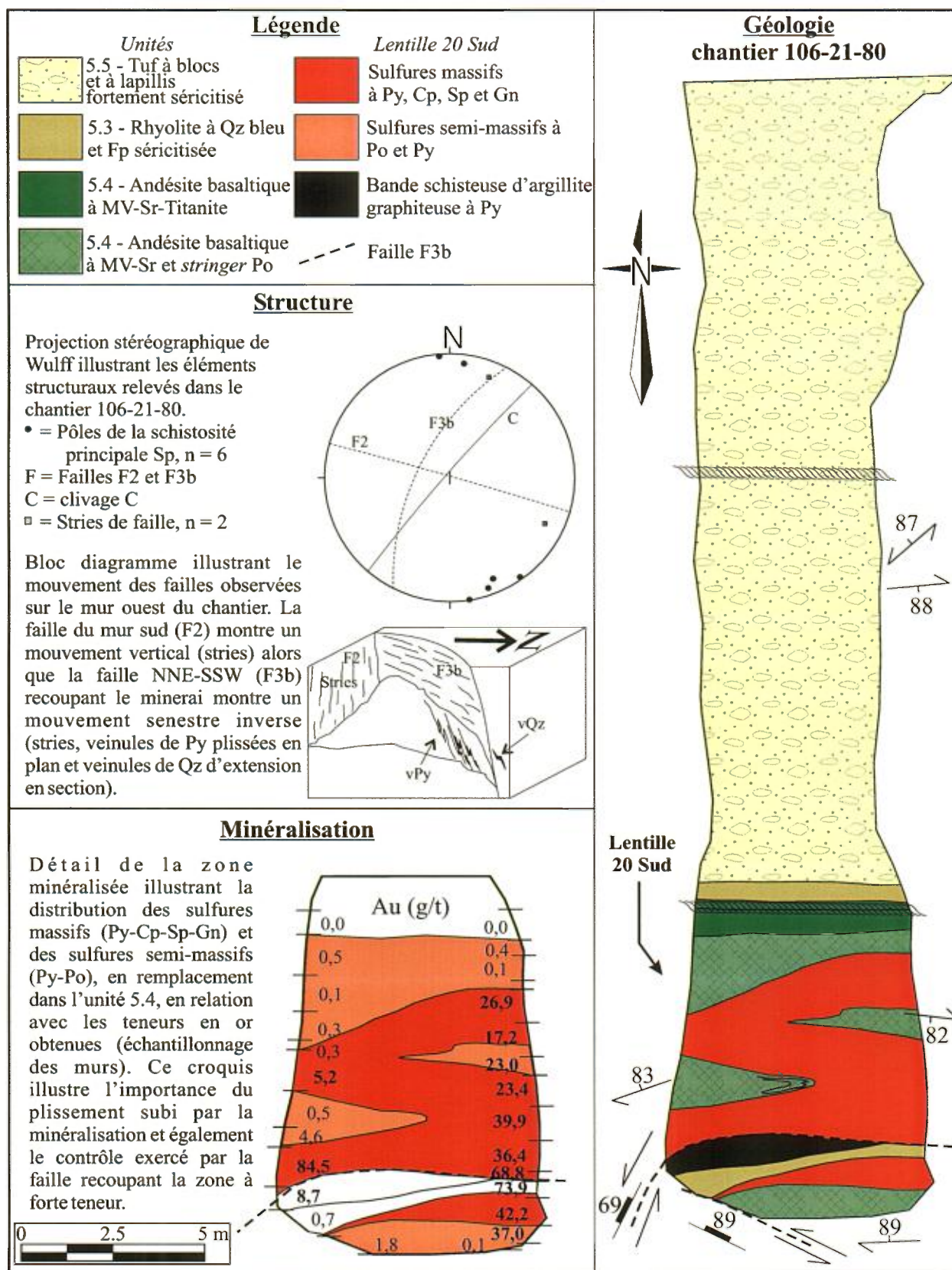


FIGURE 12 - Cartographie de détail de la lentille 20 Sud au niveau 106, chantier 106-21-80 (cartographie reportée du toit du chantier).

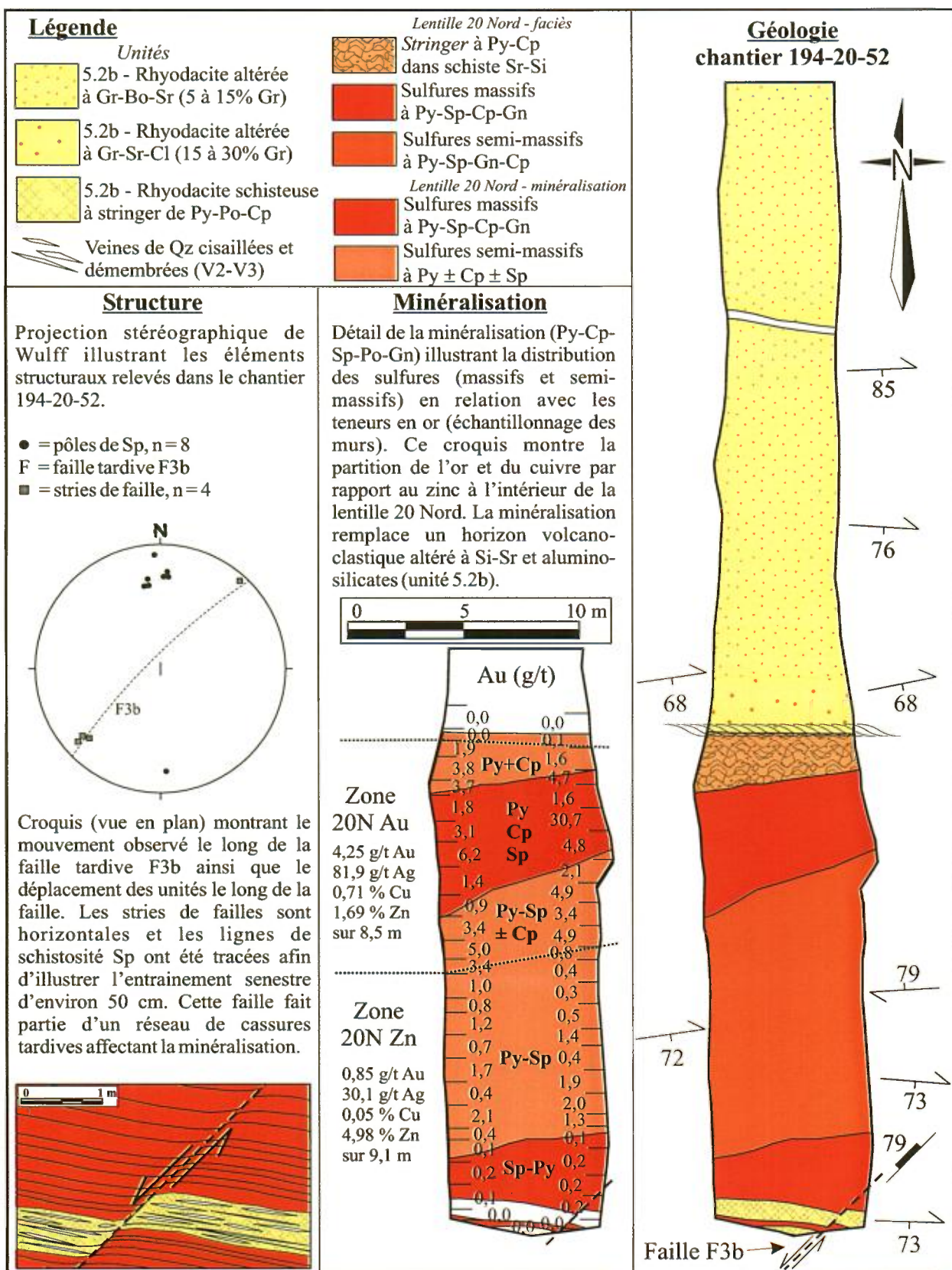


FIGURE 13 - Cartographie de détail de la lentille 20 Nord au niveau 194, chantier 194-20-52 (cartographie reportée du toit du chantier).

GÉOCHRONOLOGIE ET CADRE TEMPOREL DE FORMATION DES MINÉRALISATIONS DU GISEMENT LARONDE

Quatre datations isotopiques U-Pb ont été proposées lors de la première phase des travaux de terrain (été 2000) et, de celles-ci, deux ont rapporté des résultats concluants en ce qui concerne l'âge de cristallisation (Dubé *et al.*, 2001). Ainsi, les échantillons LAPL-146-2000 et LAPL-018-2000, dont la provenance est montrée à la figure 2A, ont pu être datés. Ceci a permis d'obtenir l'âge de cristallisation des unités 5.2b (LAPL-146-2000) et 5.3 (LAPL-018-2000).

L'échantillon LAPL-146-2000 a donné une quantité réduite de cristaux de zircon prismatiques, brunâtres, faiblement craquelés. Cinq cristaux ont été analysés dont quatre ont produit des données concordantes avec des âges $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Ces données définissent un âge de $2698,3 \pm 0,8$ Ma pour l'unité 5.2b (rhyodacite-rhyolite de LaRonde). Le cinquième cristal a produit une donnée concordante mais donne un âge de 2721 ± 3 Ma. Le diagramme concordia est montré à la figure 14A.

L'échantillon LAPL-018-2000 a également donné une quantité modérée de cristaux de zircon, la plupart étant incolores à brunâtres, de forme prismatique. Certains de

ces cristaux présentent des noyaux possiblement anciens et n'ont donc pas été considérés pour la datation de l'unité 5.3. L'analyse de quatre cristaux a produit des données concordantes pour l'âge $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Ces données définissent un âge de $2697,8 \pm 1,0$ Ma pour l'unité 5.3 (rhyolite à phénocristaux de Fp et de Qz de LaRonde). Le diagramme concordia est montré à la figure 14B.

Les âges de cristallisation (U/Pb) obtenus pour les unités 5.2b (rhyodacite-rhyolite de LaRonde; $2698,3 \pm 0,8$ Ma) et 5.3 (rhyolite à phénocristaux de Fp et Qz de LaRonde; $2697,8 \pm 1,0$ Ma) sont en quelque sorte indiscernables entre eux et démontrent que l'intervalle de temps qui les sépare a été de courte durée. En considérant la relation stratigraphique entre ces deux unités et la position de la lentille 20 Nord (remplacement au sommet de l'unité 5.2b et à la base de l'unité 5.3 et en partie déposition sur le fond marin), il apparaît que la période propice à la formation d'amas sulfurés est à peu près synchrone au moment de mise en place de ces laves. Une accalmie ou une modification brusque (arrêt temporaire, nouvelle source, modification de conduits synvolcaniques, etc.) dans l'émission de laves est souvent présentée comme une période favorable à la formation d'amas sulfurés dans le cas de plusieurs gisements de type sulfures massifs volcanogènes. Cette relation semble s'appliquer au gisement LaRonde puisque la lentille 20 Nord se trouve justement à, ou près de, l'interface entre les unités 5.2b et 5.3. Ceci mis en relation avec la nature synvolcanique des éléments géologiques (morphologie et zonalité des métaux, interface entre coulées et

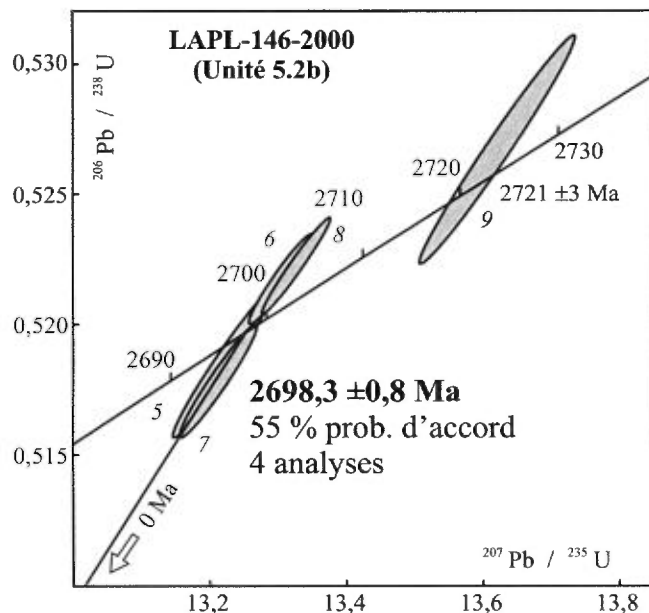


FIGURE 14A - Diagramme concordia obtenu pour l'unité 5.2b (rhyodacite-rhyolite de LaRonde) du Membre supérieur de la Formation de Bousquet. L'âge de cristallisation de cette unité est établi à $2698,3 \pm 0,8$ Ma à partir de quatre cristaux de zircon anguleux, translucides à brunâtres, sans fissures. Un cristal de zircon hérité a rapporté un âge de 2721 ± 3 Ma suggérant la mise en place de l'unité datée sur un socle plus âgé d'environ 20 Ma. La localisation de l'échantillon ayant servi pour cette datation isotopique U-Pb est donnée à la figure 2.

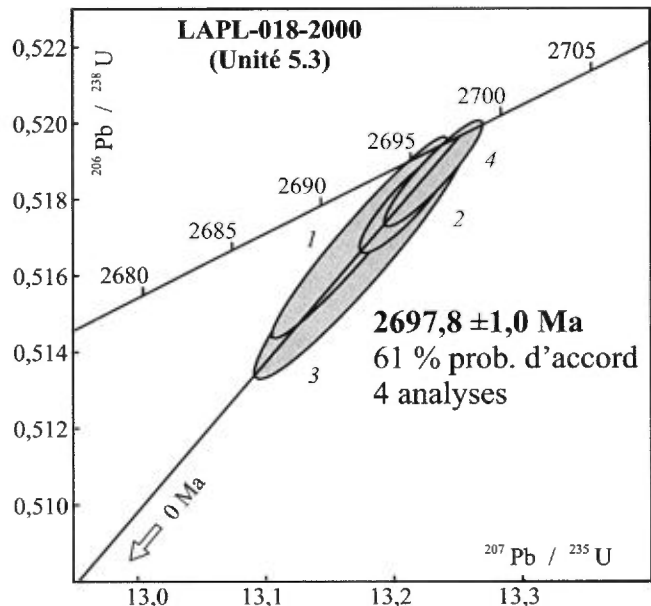


FIGURE 14B - Diagramme concordia obtenu pour l'unité 5.3 (rhyolite à phénocristaux de Fp et Qz de LaRonde) du Membre supérieur de la Formation de Bousquet. L'âge de cristallisation de cette unité est établi à $2697,8 \pm 1,0$ Ma à partir de quatre cristaux de zircon anguleux, translucides à brunâtres, sans fissures. La localisation de l'échantillon ayant servi pour cette datation isotopique U-Pb est donnée à la figure 2.

localement argilites/mudstones chertueux à graphite et à nodules de pyrite) suggère fortement que la lentille 20 Nord représente une minéralisation de type sulfure massif volcanogène formée sur et/ou près du plancher marin par remplacement vers 2698 Ma.

Les âges obtenus pour le Membre supérieur de la Formation de Bousquet se comparent aux âges obtenus pour les séquences sommitales du Groupe de Blake River, à l'ouest du secteur à l'étude (Corfu, 1993) et ailleurs dans le camp Doyon-Bousquet-LaRonde (Lafrance *et al.*, 2003), où plusieurs gîtes de type sulfures massifs sont reconnus (2702 à 2698 Ma). La Formation de Bousquet pourrait ainsi représenter un centre volcanique périphérique au centre volcanique (chaudron) du camp minier de Noranda. Ce centre périphérique représente très clairement un épisode volcanique très fertile dans le temps, soulignant l'importance possible de la période 2698-2697 Ma.

La présence d'un zircon hérité (daté à 2721 ± 3 Ma) dans les laves de l'unité 5.2b suggère une mise en place sur un socle ancien ou plus âgé d'environ 20 Ma. Ceci soulève la possibilité d'un apport « continental », ou du moins d'une croûte plus ancienne, dans la genèse des laves hôtes des minéralisations du gisement LaRonde, ce qui jusqu'ici n'a pas été considéré dans les modèles génétiques ou lithotectoniques régionaux.

DISCUSSION

Contexte géologique

L'architecture des unités volcaniques à la mine LaRonde montre qu'il s'agit d'un environnement volcanique dominé par des laves felsiques microporphyriques ayant formé des dômes de taille modeste (quelques dizaines à quelques centaines de mètres) auxquels sont associés des dépôts volcanoclastiques plus importants en volume. Ces dépôts volcanoclastiques sont en grande partie d'origine autoclastique (brèches de carapace et brèches de coulée; McPhie *et al.*, 1993). La présence de coulées et de dépôts fragmentaires dans la séquence hôte représente certainement un facteur important sur la taille et la localisation des amas sulfurés. En effet, la perméabilité des lithologies d'origine volcanoclastique les rend propices à la circulation de fluides (Cas, 1992) et à la formation de sulfures massifs de grande taille par un mécanisme de remplacement particulièrement efficace des silicates par les phases sulfurées (Barrie et Hannington, 1999). À plus grande échelle, la présence à la base de la séquence de roches mafiques massives et fragmentaires (tufs) montre que le gisement de LaRonde fait partie d'un cadre volcanique comparable au type bimodal mafique et, à la limite, avec le type bimodal felsique, définis par Barrie et Hannington (1999). À la mine LaRonde, les roches felsiques décrites dans ce rap-

port, bien qu'étant directement associées aux minéralisations, ne sont présentes qu'au sommet de la séquence hôte (Membre supérieur de la Formation de Bousquet). Ce type d'environnement est généralement associé aux *rifting* d'arcs primitifs et dans certains cas aux arcs évolués. La compilation statistique des différents SMV connus pour ces deux types de volcanisme montre que leurs teneurs en Cu, Pb, Zn, Au et Ag se comparent de façon générale à celles du gisement LaRonde (Barrie et Hannington, 1999). Cependant, lorsque ces statistiques sont établies pour chaque époque métallogénique, il semble que les gîtes associés au type bimodal mafique d'âge Archéen soient plus représentatifs des teneurs obtenues à la mine LaRonde (Barrie et Hannington, 1999). Toutefois, le contenu en or à la mine LaRonde est beaucoup plus élevé que la moyenne des autres sulfures massifs volcanogènes présentée dans les statistiques, ce qui fait du gisement de LaRonde un SMV aurifère.

Dans un même ordre d'idées, selon Gibson *et al.* (1999), deux types de séquences peuvent être reconnus à partir des observations de terrain, soit les séquences dominées par les coulées et celles dominées par les roches volcanoclastiques, ceci pouvant avoir une influence sur la morphologie et le bagage métallique des amas sulfurés formés. Ainsi, les séquences dominées par les roches volcanoclastiques sont caractérisées par des minéralisations formant des lentilles larges plus ou moins épaisses plutôt enrichies en Zn, Ag, Au et Pb par rapport au Cu surmontant une zone de *stockwerk* d'étendue restreinte, comme c'est le cas à la mine LaRonde (puits Penna). L'environnement volcanique de formation du gisement de la mine LaRonde est particulier puisqu'il ne peut être comparé ni au modèle « Mattabi » où les sulfures massifs reposent dans une séquence volcanique dominée par les dépôts pyroclastiques, ni au modèle « Noranda » où les amas sulfurés se concentrent à l'interface de coulées bimodales à dominance mafique. Ainsi, la formation de lentilles massives superposées, en remplacement, à l'intérieur d'une séquence dominée par les coulées bréchiques de composition felsique et d'affinité transitionnelle à calco-alkaline pourrait représenter une particularité du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde.

Une déformation intense a affecté la séquence volcanique de la mine LaRonde. Cette déformation, divisée en plusieurs phases (D1, Dp, Ds et D4), est responsable de l'architecture actuelle des unités volcaniques. Ces épisodes de déformation se caractérisent par différents éléments structuraux résultant d'un important raccourcissement N-S. La géométrie globale, ou de l'enveloppe, des zones minéralisées est contrôlée par la déformation principale (Dp). Une foliation pénétrative intense orientée E-W à pendage fort vers le sud, une linéation à plongement abrupt vers le S-W et des plis P2 subverticaux sont associés à la phase de déformation Dp. Cette foliation Sp se matérialise par un rubanement des sulfures (Py-Sp) dans les zones massives, par la transposition des veines dans les *stockwerk* (p. ex. : Zone 20N Au) et par la remobilisation de la chalcoppyrite

en veines irrégulières. Par contre, la géométrie interne des lentilles est contrôlée par les éléments structuraux reliés à la déformation secondaire (Ds : un clivage C orienté NNE-SSW et une linéation d'intersection L_{sp}^C à fort plongement vers le S-W). Ce clivage C représente le plan axial de plis P3 intrafoliaux en Z ou en S dans les lentilles minéralisées (plissement du rubanement Sp). Des failles F3a orientées E-W se sont développées lors de la déformation secondaire (Ds) en réponse au raccourcissement accommodé le long du clivage C alors que des failles F3b orientées NE-SW à mouvement senestre illustrent clairement ce déplacement le long du clivage C. Ces failles F3b décalent la zone minéralisée sur près d'un mètre dans certains cas. Des textures de percement, perturbant le rubanement associé à Sp dans les sulfures, donc reliées à Ds, sont communément observées et la présence de quartz avec les sulfures remobilisés indique qu'il y a eu assistance de fluides dans ce processus. Dans les sulfures massifs, des veines de chalcopryrite, d'épaisseur centimétrique, discontinues ou irrégulières, sont localement reconnues, celles-ci étant parallèles au clivage C.

Un réseau de fractures conjuguées, orientées grossièrement NW-SE et NE-SW, associé à l'épisode de déformation D4 est responsable de la remobilisation locale de l'or à l'intérieur des zones minéralisées. De l'or libre, ou associé à un cortège d'éléments traces, est parfois observé dans des veines de quartz (V2 et V3) en bordure des zones minéralisées suite à la remobilisation des phases ductiles.

La signature géochimique des laves dacitiques à rhyolitiques (rhyodacites dominantes) hôtes du gisement LaRonde fournit également certains indices sur le cadre lithotectonique de formation. En effet, celles-ci sont d'affinité transitionnelle à calco-alkaline (suite magmatique continue dans la séquence hôte), avec un contenu en Zr peu élevé et des valeurs relativement faibles en Al_2O_3 , ce qui est typique des séquences évoluées et fractionnées reconnues dans les cadres d'arcs volcaniques matures. L'enrichissement en terres rares légères peut également être attribué au fractionnement de hornblende ou de grenat dans la chambre magmatique (Barrett et MacLean, 1999). D'ailleurs, les profils de terres rares obtenus sont comparables à ceux rapportés pour les roches felsiques de la Ceinture volcanique de Flin Flon et plus particulièrement pour celles caractérisant le secteur des gisements de Chisel et Chisel North (signature métallique à Zn-Au-Cu-Ag comparable à celle du gisement LaRonde), où un cadre lithotectonique d'arc évolué (extension et *rifting* d'un arc ancien) est proposé (Galley *et al.*, 1993). Cette signature particulière des laves felsiques du gisement LaRonde se compare en plusieurs points à celle caractérisant les lithologies de la séquence sommitale du Groupe de Blake River, ce qui permet de supposer une origine voisine pour ces roches. De plus, les âges obtenus par datation isotopique à la mine LaRonde coïncident avec celles obtenues ailleurs pour les roches sommitales du Blake River (Corfu, 1993; Lafrance *et al.*, 2003). Les roches cartographiées à la mine LaRonde peu-

vent donc représenter l'équivalent latéral des unités sommitales hors du chaudron du camp minier de Noranda définies par Péloquin *et al.* (1990) dans le secteur central du Groupe de Blake River. Ceci implique que les séquences hors du chaudron de Noranda (Gibson et Watkinson, 1990) âgées de 2698 ± 1 Ma présentent elles aussi un fort potentiel pour les dépôts de sulfures massifs, ceux-ci pouvant de plus être riches en or; ces séquences constituent donc une cible privilégiée pour l'exploration.

Une attention particulière devrait être portée aux laves rhyodacitiques microporphyriques puisqu'elles sont particulièrement épaisses dans l'éponte inférieure de la lentille 20 Nord, ce qui suggère un lien possible entre la présence de ces laves et l'importance des minéralisations et leur contenu en or. D'ailleurs, selon Moss *et al.* (2001), un lien très étroit peut être établi entre la composition des roches volcaniques associées aux gîtes de sulfures et le contenu en or de ceux-ci. Il semble que le lessivage des laves formant l'éponte inférieure des amas sulfurés par le système hydrothermal en évolution soit suffisant pour expliquer le contenu en or des lentilles sulfurées. De plus, à partir de la normalisation des teneurs en métaux obtenues dans les précipités sulfurés par rapport aux teneurs mantelliques, il semble qu'un enrichissement maximal en or corresponde à un magma à 54 % SiO_2 . Toujours selon ces auteurs, cet enrichissement diminue graduellement avec l'augmentation de la teneur en SiO_2 du magma résiduel suite au dégazage du magma andésitique et au fractionnement de magnétite, ce qui suppose une source locale pour l'or mais également un apport magmatique direct au système hydrothermal lors de la différenciation magmatique produisant les dacites, rhyodacites et rhyolites à partir du magma andésitique. Ceci vient donc appuyer l'hypothèse de l'importance de la composition des laves dans le bagage métallique des amas sulfurés associés à ces laves. Ceci vient également appuyer l'idée que l'andésite basaltique retrouvée au sommet de la lentille 20 Nord soit critique dans l'apport et la localisation des sulfures massifs aurifères de la mine LaRonde (puits Penna) étant donné que sa composition (54 % SiO_2) est très favorable à un enrichissement en or.

En terme stratigraphique, la lentille 20 Nord est associée aux faciès distaux du dôme de rhyodacite-rhyolite de l'unité 5.2b présent à la surface. Il s'agit donc de la même unité stratigraphique, mais les blocs et les lapillis présents dans la brèche volcanique à la surface sont beaucoup moins abondants dans la zone minéralisée, soit parce que le sommet de l'unité hôte contenait moins de fragments à l'origine (faciès volcaniques distaux), soit parce que l'altération hydrothermale a détruit de façon importante les textures volcaniques primaires. L'architecture volcanique associée à l'unité 5.2b (dômes et brèches de coulée) et les relations minéralogiques observées dans les zones d'altération suggèrent l'effet combiné des deux phénomènes pour expliquer la rareté des fragments de lave reconnus dans la zone minéralisée. La lentille 20 Nord, dans les niveaux intermé-

diaires et supérieurs de la mine, se situe au contact entre deux unités lithologiques très nettement distinctes en terme compositionnel, soit : une rhyodacite-rhyolite dans le mur et une andésite basaltique dans le toit, laquelle est également présente, du moins en partie, dans le mur et plus localement dans le toit de la lentille 20 Sud. Le lien spatial entre la présence de la lentille de sulfures massifs 20 Nord et l'andésite basaltique suggère que cette dernière pourrait avoir joué un rôle fondamental dans la formation de la lentille 20 Nord, au niveau génétique comme discuté plus haut, mais également au niveau physique en agissant comme une unité imperméable empêchant la montée du fluide hydrothermal minéralisateur vers la surface et sa diffusion dans l'eau de mer. Dans un tel modèle, l'andésite basaltique aurait donc favorisé le développement d'une cellule hydrothermale minéralisée et l'accumulation des sulfures pour former la lentille de sulfures massifs en remplacement dans la rhyodacite-rhyolite 5.2b originalement beaucoup plus perméable. Ce même contexte est proposé pour la formation des Zones 6 et 7 puisque ces deux zones minéralisées se sont mises en place dans les laves felsiques fragmentaires à proximité de filons-couches andésitiques probablement beaucoup moins perméables. L'altération dans l'unité 5.4 (andésite basaltique) est principalement contrôlée par la fracturation. La cyclicité du processus hydrothermal serait responsable de la formation du *stockwerk* discordant à Po-Py dans l'andésite basaltique et celui à Cu-Au dans la rhyodacite 5.2b (Zone 20N Au) sous la lentille de sulfures massifs (Zone 20N Zn) suite à la baisse de température, à la réaction avec l'eau de mer et à la diminution soudaine de la pression subie par le fluide hydrothermal (voir Dubé *et al.*, 2004). La précipitation des sulfures massifs zincifères (sphalérite) s'est produite par remplacement graduel dans l'horizon de rhyodacite-rhyolite tufacé, plus perméable, au contact avec l'andésite basaltique. La localisation du *stockwerk* à Cu-Au sous la lentille riche en Zn serait compatible avec le modèle général proposé par Large (1992) et, avec le modèle de croissance des amas sulfurés volcanogènes de Ohmoto (1996), où les phases de haute température (p. ex. : pyrite-chalcopryrite) repoussent graduellement vers l'extérieur les phases de basse température (p. ex. : sphalérite-galène).

Les variations de pression induites par l'unité imperméable pourraient avoir également favorisé la précipitation de l'or par l'ébullition répétée du fluide. Cette interprétation préliminaire implique que l'amas de sulfures s'est formé, du moins en partie, par remplacement de sous-surface (*sub-seafloor*) de l'horizon perméable de tuf rhyodacitique hôte de la minéralisation. À l'inverse, une partie de l'amas sulfuré pourrait être d'origine exhalative comme le suggère la présence d'interlits d'argilite/mudstone cherteux à graphite contenant de la pyrite nodulaire. Cette zone d'argilite/mudstone cherteux se situe principalement dans la partie sommitale de la lentille 20 Nord (Zone 20N Zn). Toutefois, cette interprétation ne pourrait expliquer le *stockwerk* à Po-Py dans le toit et sa diminution graduelle

vers le sud. Par contre, il est fort possible que le volcanisme ait cessé un certain temps à cet endroit et que le système hydrothermal se soit tranquillement développé et que les argilites/mudstones cherteux se soient formés pendant ce temps. Le volcanisme a ensuite pu reprendre, permettant ainsi la mise en place de l'unité de lave rhyolitique à quartz bleu (unité 5.3) ainsi que de l'unité d'andésite basaltique (unité 5.4) le long du même horizon. Ces lithologies, et plus particulièrement l'andésite basaltique, seraient alors venues fermer le système, permettant ainsi le développement subséquent de la cellule convective et la formation du *stockwerk* à Py-Cp aurifère sous-jacent à l'amas sulfuré par remplacement de sous-surface. La suite des travaux permettra de mieux comprendre le site de déposition de la lentille 20 Nord. La présence de roches felsiques dans le mur et d'andésite dans le toit de lentilles de sulfures massifs est une caractéristique commune aux gisements de sulfures massifs de type Noranda (Franklin, 1996; Barrett et MacLean, 1999), ce qui permet de croire que la présence de l'andésite basaltique à proximité de la lentille principale (lentille 20 Nord) à la mine LaRonde (puits Penna) représente un élément clé dans la mise en place des sulfures.

Implications en terme d'exploration

Le gisement de LaRonde est localisé dans une séquence volcanique d'andésite-rhyolite (dominance de rhyodacites) située dans la partie sommitale du Groupe de Blake River (Membre supérieur de la Formation de Bousquet, unités 5.1b à 5.5; Lafrance *et al.*, 2003) datée à 2697-2698 Ma. Cette portion de l'empilement des laves du Groupe de Blake River pourrait donc représenter une cible privilégiée pour maximiser les chances de découvrir des sulfures massifs aurifères. La présence et l'abondance de laves rhyodacitiques dans l'empilement stratigraphique à la mine LaRonde semble être un élément fondamental dans la formation du gisement tout d'abord en tant que source de chaleur locale pour le système hydrothermal convectif (450 m d'épaisseur à LaRonde vs 150 m à Bousquet 2) et également en tant que source possible pour une partie du fluide et des métaux. La formation de laves felsiques calco-alcalines par différenciation magmatique et par cristallisation fractionnée représente un mécanisme de concentration des métaux important dans la chambre magmatique (Hedenquist et Lowenstern, 1994). La présence de laves intermédiaires calco-alcalines est typiquement associée aux minéralisations épithermales acides subaériennes (Hedenquist *et al.*, 1996), un style de minéralisation considéré comme étant l'équivalent subaérien des sulfures massifs volcanogènes aurifères (Sillitoe *et al.*, 1996). Ainsi, la genèse de laves rhyodacitiques calco-alcalines semble associée à une période de plus forte concentration de métaux, en particulier d'or, lors de la cristallisation fractionnée. De la même façon, le rôle de l'andésite basaltique (unité 5.4) associée spatialement aux lentilles 20 Nord et 20 Sud en tant que source de métaux est également à considérer puisque le magma

résiduel andésitique de la chambre magmatique est fortement enrichi en métaux et en or lors de la différenciation magmatique, d'où le lien génétique possible entre l'andésite basaltique et les teneurs en or (Moss *et al.*, 2001). Également, la faible perméabilité de l'andésite basaltique massive combinée à la plus grande porosité primaire du tuf rhyodacitique de l'unité 5.2b pourraient avoir contrôlé la formation et la localisation de la lentille 20 Nord. Cette andésite basaltique est également présente, du moins en partie, dans le mur et le toit de la lentille 20 Sud et dans le toit de l'amas de sulfures massifs aurifères à la mine Bousquet 2. Les séquences caractérisées par des unités perméables à la base surmontées ou contenant des unités imperméables représentent de toute évidence des cibles d'exploration importantes en considérant la localisation de la lentille 20 Nord et des autres lentilles à la mine LaRonde.

Selon les connaissances actuelles sur la géologie hôte du gisement LaRonde, l'exploration doit porter vers les secteurs caractérisés par des séquences volcanoclastiques (brèches de coulées) larges associées à des dômes et des filons-couches (faciès effusifs proximaux et intrusions de faible profondeur). Les produits volcaniques doivent présenter un caractère transitionnel à calco-alkalin et être composés principalement de rhyodacites et rhyolites avec des filons-couches mafiques formant des suites magmatiques continues. Les séquences constituées de multiples épisodes effusifs entrecoupés de périodes d'accalmie locale sont à considérer avec beaucoup d'intérêt. En effet, comme ceci est illustré à la mine LaRonde (puits Penna), la distribution des différentes lentilles minéralisées suggère un empilement (*stacking*) d'horizons favorables dans une même séquence stratigraphique, ce qui permet de considérer la possibilité de plusieurs cibles pour l'exploration puisque la minéralisation peut se développer à divers niveaux stratigraphiques en fonction de la perméabilité/imperméabilité des roches hôtes.

Finalement, les effets de la déformation sont à considérer puisque chaque phase de déformation vient modifier la distribution des sulfures, à grande échelle (enveloppe), comme à petite échelle (géométrie interne et remobilisations locales).

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier sincèrement la compagnie Agnico-Eagle pour sa contribution financière au projet et l'accès aux données ainsi que le personnel de la mine LaRonde et plus particulièrement Marc Legault, Guy Gosselin, Dyane Duquette, Richard Genest, Alain Gendron, Graham Long, Jocelyn Côté et Claudio Lombardi pour leur collaboration exceptionnelle; leur connaissance du gisement a été une source d'information unique et essentielle à ce projet. Nous désirons également exprimer toute notre gratitude envers Géologie Québec, en particulier envers Alain Simard,

Robert Marquis, James Moorhead et Pierre Pilote, pour leur contribution très importante à l'élaboration du projet de synthèse du camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde et de sa problématique, ainsi que pour les nombreuses discussions constructives sur le terrain et en laboratoire. Le personnel des compagnies Cambior et Barrick Gold est également sincèrement remercié pour avoir partagé son expertise et ses données sur la géologie régionale. Nous désirons souligner la contribution importante de Alan Galley pour ses commentaires constructifs sur le terrain et en laboratoire en ce qui a trait à l'étude des sulfures massifs volcanogènes. Toute notre gratitude également envers Wulf Mueller et Marc Richer-Laflèche pour leurs conseils concernant la volcanologie, la stratigraphie et la géochimie et envers Howard Poulsen pour ses commentaires et suggestions constructifs sur le terrain et pour avoir partagé ses connaissances sur la métallogénie. Finalement, Christine Deblonde, Luce Dubé et Héryk Julien, Pierre Brouillette et Éric Hoffman ont grandement contribué à la structuration des données et à la réalisation de certaines des figures présentées dans ce rapport. Francis Boisclair et Mélanie Ayotte ont apporté une aide très appréciée lors des travaux de terrain. Le premier auteur tient à remercier le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, Ressources naturelles Canada et le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies qui ont également appuyé ce projet par l'octroi de bourses d'étude.

RÉFÉRENCES

- BARRIE, C. T. - HANNINGTON, M. D., 1999 - Classification of SMV deposits based on host rock compositions. *In*: Volcanic-associated massive sulphide deposits: processes and examples in modern and ancient settings (Barrie, C. T. and Hannington, M. D., editors). Reviews in Economic Geology; volume 8, pages 1-12.
- BARRIE, C. T. - LUDDEN, J. N. - GREEN, T. H., 1993 - Geochemistry of volcanic rocks associated with Cu-Zn and Ni-Cu deposits in the Abitibi subprovince; Economic Geology, volume 88, pages 1341-1358.
- BARRETT, T. J. - MACLEAN, W. H., 1994 - Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks. *In*: Alteration and Alteration processes associated with ore forming systems (Lentz, D., editor). Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Short Course Notes; volume 11, pages 433-467.
- BARRETT, T. J. - MACLEAN, W. H., 1999 - Volcanic sequences, lithogeochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. *In*: Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings (Barrie, C. T. and Hannington, M. D., editors). Reviews in Economic Geology; volume 8, pages 101-131.
- CAS, R. A. F., 1992 - Submarine volcanism: eruption styles, products, and relevance to understanding the host-rock successions to volcanic-hosted massive sulfide deposits. Economic Geology; volume 87, pages 511-541.

- CHOWN, E. H. - DAIGNEAULT, R. - MUELLER, W. - MORTENSEN, J. K., 1992 - Tectonic evolution of the Northern Volcanic Zone, Abitibi belt, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 29, pages 2211-2225.
- CORFU, F., 1993 - The evolution of the Abitibi greenstone belt in light of precise U-Pb geochronology. *Economic Geology*; volume 88, pages 1323-1340.
- DUBÉ, B. - MERCIER-LANGEVIN, P. - HANNINGTON, M. - DAVIS, D. - MOORHEAD, J., 2001 - Le gisement LaRonde, Abitibi, Québec : rapport préliminaire sur la géologie, les minéralisations et les implications pour l'exploration. Rapport confidentiel distribué uniquement aux compagnies minières participantes au projet de Synthèse métallogénique du district Doyon-Bousquet-LaRonde. Rapport préliminaire soumis aux compagnies participantes au projet de Synthèse métallogénique du district de Doyon, Bousquet et LaRonde; 89 pages.
- DUBÉ, B. - MERCIER-LANGEVIN, P. - HANNINGTON, M. - DAVIS, D. - LAFRANCE, B., 2003 - Le gisement de sulfures massifs volcanogènes LaRonde, Abitibi, Québec : géologie, structure, altération, minéralisation et implications pour l'exploration. Rapport préliminaire soumis aux compagnies participantes au projet de Synthèse métallogénique du district de Doyon, Bousquet et LaRonde; 163 pages.
- DUBÉ, B. - MERCIER-LANGEVIN, P. - HANNINGTON, M. - DAVIS, D. - LAFRANCE, B., 2004. Le gisement de sulfures massifs volcanogènes aurifères LaRonde, Abitibi, Québec : altération, minéralisations et implications pour l'exploration. Ministère des Ressources Naturelles, Québec, MB 2004-03.
- FRANKLIN, J. M., 1996 - Gîtes de sulfures massifs à métaux communs associés à des roches volcaniques. *Dans* : Géologie des types de gîtes minéraux du Canada (Eckstrand, O.R., Sinclair, W. D., et Thorpe, R. I., éditeurs). Commission géologique du Canada, Géologie du Canada; volume 8, pages 174-201.
- GALLEY, A. G. - BAILES, A. H. - KITZLER, G., 1993 - Geological setting and hydrothermal evolution of the Chisel Lake and North Chisel Zn-Pb-Cu-Ag-Au massive sulfide deposits, Snow Lake, Manitoba. *Exploration and Mining Geology*; volume 2, pages 271-295.
- GALLEY, A. G., 2001 - Preliminary report: Mooshla intrusion study. Geological Survey of Canada. Rapport interne, non publié. 13 pages.
- GÉLINAS, L. - TRUDEL, P. - HUBERT, C., 1984 - Chemostratigraphic division of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Abitibi, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 21, pages 220-231.
- GIBSON, H. L. - MORTON, R. L. - HUDAK, G. J., 1999 - Submarine volcanic processes, deposits and environments favourable for the location of volcanic-associated massive sulfide deposits. *In*: Volcanic-associated massive sulphide deposits: processes and examples in modern and ancient settings (Barrie, C. T. and Hannington, M. D., editors). *Reviews in Economic Geology*; volume 8, pages 13-51.
- GIBSON, H. L. - WATKINSON, D. H., 1990 - Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda cauldron and shield volcano, Quebec. *In*: The northwestern Quebec polymetallic belt: a summary of 60 years of mining exploration (Rive, M., Verpaalst, P., Gagnon, Y., Lulin, J.-M., Riverin, G., Simard, A., editors). *Canadian Institute of Mining and Metallurgy*; special volume 43, pages 119-132.
- GORTON, M. P. - SCHANDL, E. S., 2000 - From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate rocks. *The Canadian Mineralogist*; volume 38, pages 1065-1073.
- HEDENQUIST, J. W. - IZAWA, E. - ARRIBAS, A., Jr. - WHITE, N. C., 1996 - Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration. *Society of Resource Geology*; Special Publication 1 Poster and booklet, 17 pages.
- HEDENQUIST, J. W. - LOWENSTERN, J. B., 1994 - The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*; volume 370, pages 519-527.
- HUBERT, C. - TRUDEL, P. - GÉLINAS, L., 1984 - Archean wrench-fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi belt, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 21, pages 1024-1032.
- LAFLÈCHE, M. R. - DUPUY, C. - BOUGAULT, H., 1992 - Geochemistry and petrogenesis of Archean mafic volcanic rocks of the southern Abitibi belt, Quebec. *Precambrian Research*; volume 57, pages 207-241.
- LAFRANCE, B. - MOORHEAD, J. - DAVIS, D., 2003 - Cadre géologique du camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde. Ministère des Ressources Naturelles, Québec; ET 2002-07, 45 pages et carte ET 2002-07-C001 au 1:20 000.
- LARGE, R. R., 1992 - Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits: features, styles, and genetic models. *Economic Geology*; volume 87, pages 471-510.
- LESCHER, C. M. - GOODWIN, A. M. - CAMPBELL, I. H. - GORTON, M. P., 1986 - Trace-element geochemistry of ore-associated and barren, felsic metavolcanic rocks in the Superior Province. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 23, pages 222-237.
- MARQUIS, P. - HUBERT, C. - BROWN, A. C. - RIGG, D. V., 1990 - Overprinting of early, redistributed Fe and Pb-Zn mineralization by late-stage Au-Ag-Cu deposition at the Dumagami mine, Bousquet district, Abitibi, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 27, pages 1651-1671.
- MCDONOUGH, W. F. - SUN, S.-S., 1995 - The composition of the earth. *Chemical Geology*; volume 120, pages 223-253.
- MCPHIE, J. - DOYLE, M. - ALLEN, R., 1993 - Volcanic textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Center for Ore deposit and exploration studies, University of Tasmania, Hobart, Tasmania, 196 pages.
- MOSS, R. - SCOTT, S. D. - BINNS, R. A., 2001 - Gold content of Eastern Manus basin volcanic rocks: implications for enrichment in associated hydrothermal precipitates. *Economic Geology*; volume 96, pages 91-108.
- OHMOTO, H., 1996 - Formation of volcanogenic massive sulfide deposits: the Kuroko perspective. *Ore Geology Reviews*; volume 10, pages 135-177.
- PEARCE, J. A. - HARRIS, N. B. - TINDLE, A. G., 1984 - Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*; volume 25, pages 956-983.
- PÉLOQUIN, A. S. - POTVIN, R. - LAFLÈCHE, M. R. - VERPAELST, P. - GIBSON, H. L., 1990 - The Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Quebec: a stratigraphic synthesis. *In*: The northwestern Quebec polymetallic belt: a summary of 60 years of mining exploration (Rive, M., Verpaalst, P.,

- Gagnon, Y., Lulin, J.-M., Riverin, G., Simard, A., editors). Canadian Institute of Mining and Metallurgy; special volume 43, pages 107-118.
- SANGSTER, D. F., 1972 - Precambrian volcanogenic massive sulphide deposits in Canada: A review. Geological Survey of Canada; Paper 72-22, 44 pages.
- SILLITOE, R. H. - HANNINGTON, M. D. - THOMPSON, J. F. H., 1996 - High sulfidation deposits in the volcanogenic massive sulfide environment. *Economic Geology*; volume 91, pages 204-212.
- TEASDALE, N. - BROWN, A. C. - TOURIGNY, G., 1996 - Géologie de la mine Bousquet 2. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 96-37, 43 pages.
- TOURIGNY, G. - BROWN, A. C. - HUBERT, C. - CREPEAU, R., 1989 - Syn-volcanic and syntectonic gold mineralization at the Bousquet Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec. *Economic Geology*; volume 84, pages 1875-1890.
- TOURIGNY, G. - DOUCET, D. - BOURGET, A., 1993 - Geology of the Bousquet 2 Mines: an example of a deformed, gold-bearing polymetallic sulfide deposit. *Economic Geology*; volume 88, pages 1578-1597.
- UJKE, O. - GOODWIN, A. M., 1987 - Geochemistry and origin of Archean felsic metavolcanic rocks, central Noranda area, Quebec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 24, pages 2551-2567.
- WINCHESTER, J. A. - FLOYD, P. A., 1977 - Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*; volume 20, pages 325-343.

ANNEXE – Photographies



Photo 1 - Basaltes coussinés variolaires de l'unité 1.0 dans le secteur de la mine LaRonde formant la base de l'empilement volcanique hôte des minéralisations. Affleurement de surface. Crayon de 15 cm de longueur.



Photo 2 - Basaltes coussinés variolaires de l'unité 1.0 dans le secteur de la mine LaRonde. Les coussins ont subi un aplatissement N-S important. Crayon de 15 cm de longueur.



Photo 3 - Exemple de l'unité 3.0 dans le secteur de la mine LaRonde. Unité fortement vésiculaire, de composition andésitique, ayant subi un léger aplatissement. Règlette de 15 cm; affleurement de surface.

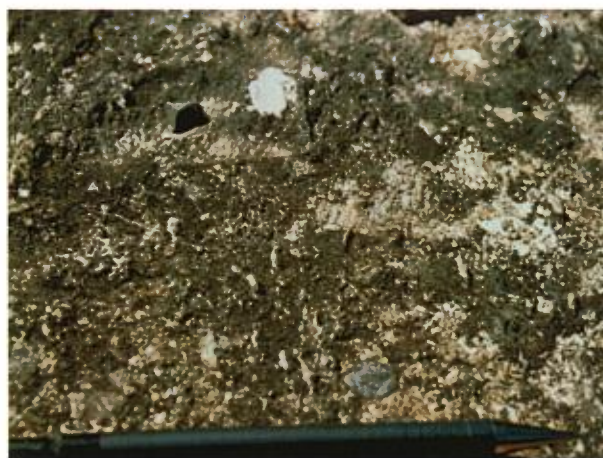


Photo 4 - Lave andésitique transitionnelle à amygdules de quartz laiteux à la base de l'unité 5.1b. Les amygdules sont arrondies à allongées, de taille variant de 1 mm à plus de 1 cm, crayon de 15 cm de longueur.



Photo 5 - Lave dacitique à microphénocristaux de Fp et amygdules de quartz composant l'unité 5.1b. Un lobe d'échelle métrique repose dans un tuf fin hyaloclastique, altéré, de composition similaire. Crayon de 15 cm de longueur.

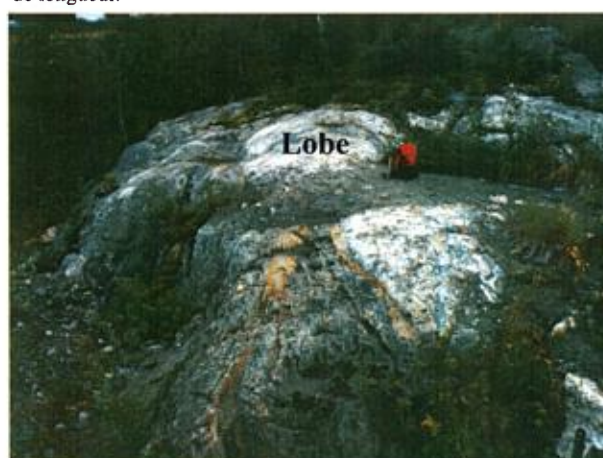


Photo 6 - Lave dacitique à microphénocristaux de Fp composant l'unité 5.1b. Un lobe d'échelle métrique repose dans un tuf fin hyaloclastique altéré de composition similaire. Affleurement de surface.

ANNEXE – Photographies (suite)



Photo 7 - Brèche surmontant un dôme rhyodacitique caractéristique de l'unité 5.2b. Cette coulée rhyodacitique s'étend en profondeur pour former l'éponte inférieure de la lentille 20 Nord. Crayon de 20 cm de longueur.

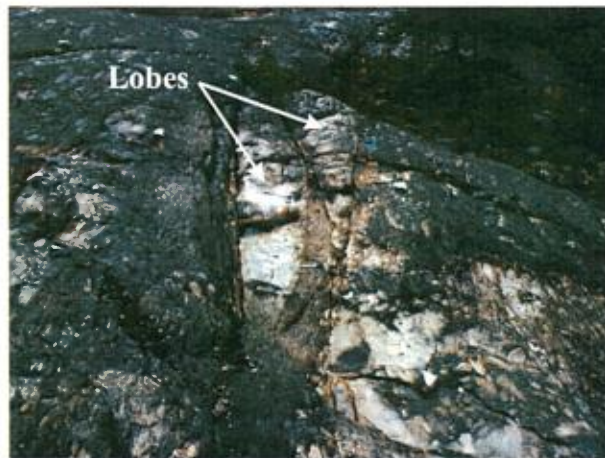


Photo 8 - Lobes dans la brèche rhyodacitique de l'unité 5.2b montrant des fermetures vers l'est comme vers l'ouest, suggérant un écoulement dans le plan vertical. Lobes de 75 cm de largeur, vue vers l'ouest.



Photo 9 - Lobe dans la brèche de l'unité 5.2b montrant des fermetures claires vers l'est comme vers l'ouest, suggérant un écoulement dans le plan vertical. Lobe de 75 cm de largeur, vue vers l'ouest.



Photo 10 - Vue rapprochée de la bordure d'un lobe (unité 5.2b). Des bandes d'écoulement laminaires tronquées suggèrent la bréchification des bordures du lobe lors de sa formation. Crayon de 20 cm de longueur.



Photo 11 - Brèche de coulée à blocs et lapillis dans une matrice fine à microphénocristaux de plagioclase \pm quartz de l'unité 5.2b. Mur ouest de la galerie 20-74 au niveau 86. Champ de 1 m par 75 cm.



Photo 12 - Brèche de coulée à blocs et lapillis dans une matrice fine à microphénocristaux de plagioclase \pm quartz de l'unité 5.2b. Affleurement de surface. Crayon de 20 cm de longueur.

ANNEXE – Photographies (suite)



Photo 13 - Brèche de carapace à blocs et lapillis dans une matrice fine à microphénocristaux de plagioclase \pm quartz de composition rhyodacitique (unité 5.2b). Cette coulée forme l'éponte inférieure de la lentille 20 Nord. Carnet de 20 cm de longueur.

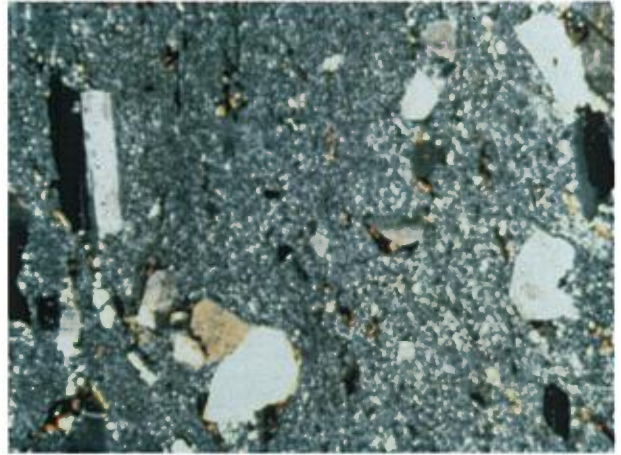


Photo 14 - Photomicrographie montrant la texture microporphyrique à plagioclase dans une matrice quartzo-feldspathique hyalocrystalline caractérisant l'unité rhyodacitique 5.2b. Champ de 1,5 cm par 1,2 cm.

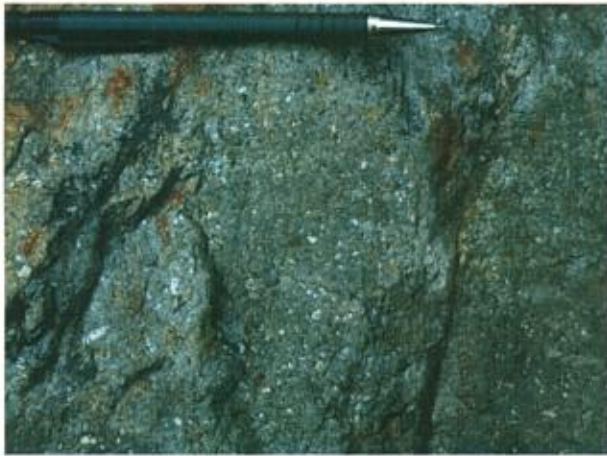


Photo 15 - Andésite grenue à phénocristaux de feldspath de l'unité 5.4. Les grains de Fp ont un diamètre variant de 2 mm à 10 mm. Affleurement de surface. Crayon de 15 cm de longueur.



Photo 16 - Lave andésitique transitionnelle à amygdules de quartz caractérisant le sommet de l'unité 5.4. Les amygdules sont arrondies à allongées de 1 mm à plus de 1 cm. Champ de 15 cm de largeur.



Photo 17 - Unité felsique supérieure (5.5) dans le secteur de la mine, caractérisée par l'abondance de blocs et de lapillis rhyodacitiques à rhyolitiques, séricitisés. Affleurement de surface. Crayon de 20 cm de longueur.

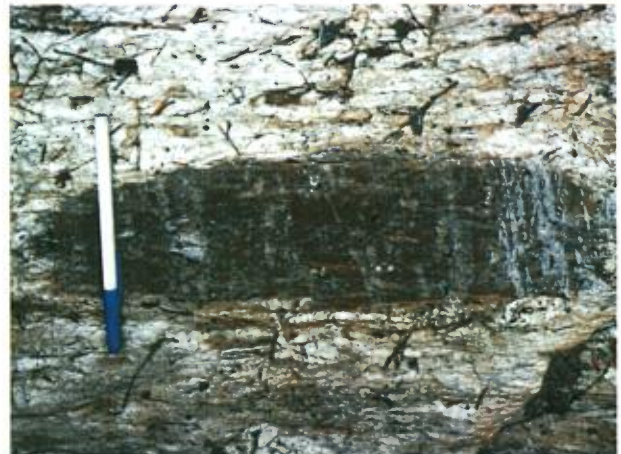


Photo 18 - Exemple d'un fragment (bloc) de l'unité 5.3 (rhyolite à quartz bleu) dans l'unité 5.5 (unité felsique supérieure). Affleurement de surface. Crayon de 20 cm de longueur.

ANNEXE – Photographies (suite)

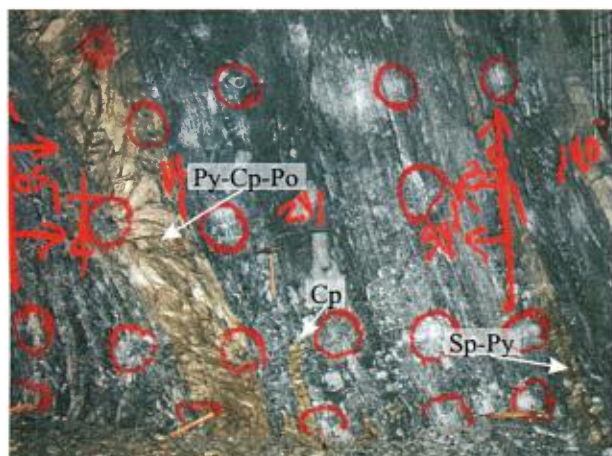


Photo 19 - Terminaison est de la Zone 7 au niveau 215 (chantier 215-07-64) composée de sulfures massifs à Py-Cp-Po (nord) et de stringers à Py-Sp-Cp au sud. Marteau de 30 cm de longueur, vue du mur est.

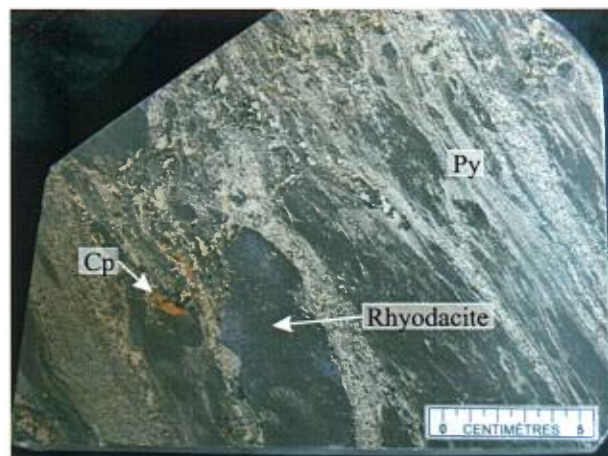


Photo 20 - Échantillon poli provenant de la Zone 20N Au, au niveau 146, caractérisée par un stringer transposé à Py-Cp mis en place en remplacement au sommet des rhyodacites silicifiées de l'unité 5.2b



Photo 21 - Zone 20N Au formée par remplacement des tufs à lapillis et à blocs de l'unité 5.2b. Photo montrant un fragment relique de rhyodacite entre les veines de Py-Cp. Crayon de 20 cm; mur ouest, chantier 149-20-66.

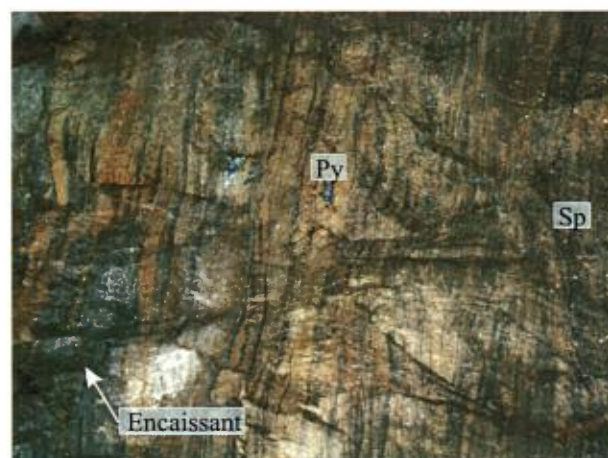


Photo 22 - Zone 20N Zn fortement rubanée (schistosité) à pyrite et sphalérite avec des reliques d'encaissant. Chantier 152-20-66, mur ouest; champ de 2 m par 1,5 m

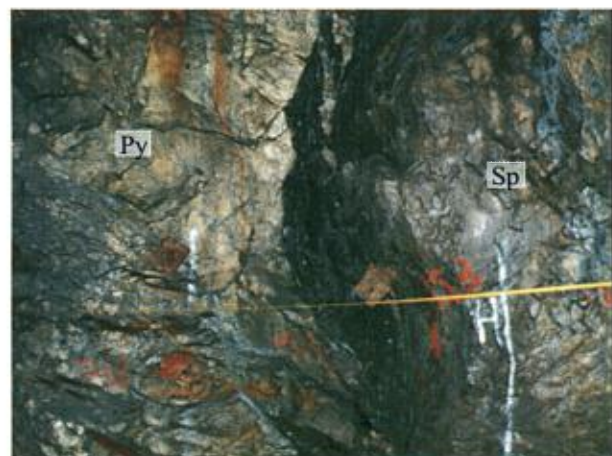


Photo 23 - Zone 20N Zn formée de pyrite-sphalérite massive avec lambeau de chert/argillite graphiteuse à pyrite nodulaire fortement folié. Chantier 152-20-66, mur ouest; plaques de 10 cm x 10 cm.

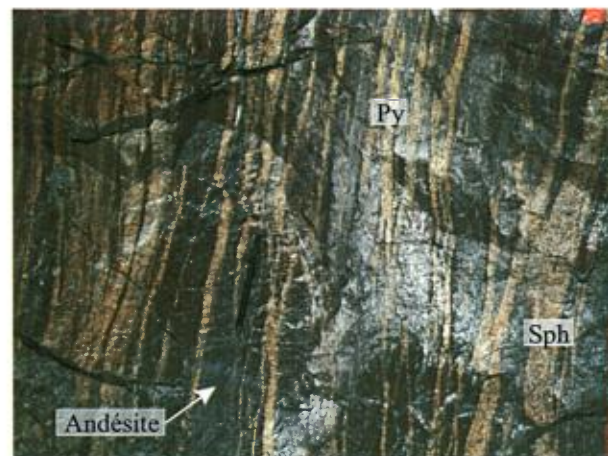


Photo 24 - Lentille 20 Sud formée d'un stockwerk transposé à pyrite, pyrrhotite et sphalérite en remplacement de l'andésite basaltique 5.4 altérée. Chantier 110-21-71, mur ouest; crayon 20 cm de longueur.

ANNEXE – Photographies (suite)

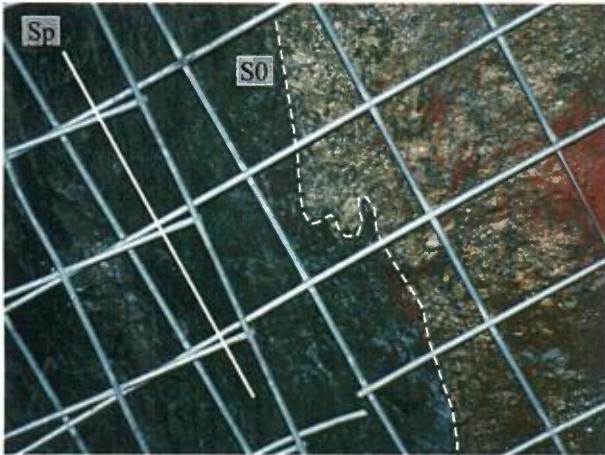


Photo 25 - Contact S0 entre des sulfures et l'encaissant (gauche). Le contact est à angle faible avec la schistosité principale Sp et est localement transposé. Chantier 149-20-75; grillage de 10 cm par 10 cm.

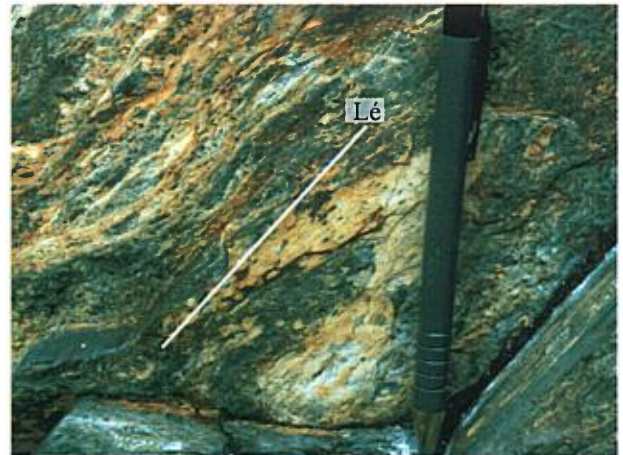


Photo 26 - Linéation d'étirement Lé associée à la schistosité principale Sp dans le secteur est de la propriété LaRonde en surface. La linéation plonge vers le SW sur le plan Sp. Crayon de 15 cm de longueur.



Photo 27 - Déformation des fragments de brèche dans la schistosité principale Sp avec fort étirement apparent dans le plan perpendiculaire à Sp. Galerie 20-74, niveau 86. Bande de métal de 12 cm de largeur.



Photo 28 - Déformation des fragments de brèche de coulée dans le plan de la schistosité principale Sp avec aplatissement plutôt qu'étirement. Galerie 20-31, niveau 86. Plaque de métal de 12 cm de largeur.



Photo 29 - Couloir de déformation intense F2 avec injection de veines de $Qz \pm Tl \pm Cb$ de type V2 partiellement boudinées. Travers-banc TB170-745; grille de 10 cm par 10 cm.



Photo 30 - Clivage C se superposant sur la schistosité principale Sp dans les zones fortement séricitisées (matrice de la brèche de coulée de l'unité 5.2b). Crayon de 15 cm de longueur.

ANNEXE – Photographies (suite)

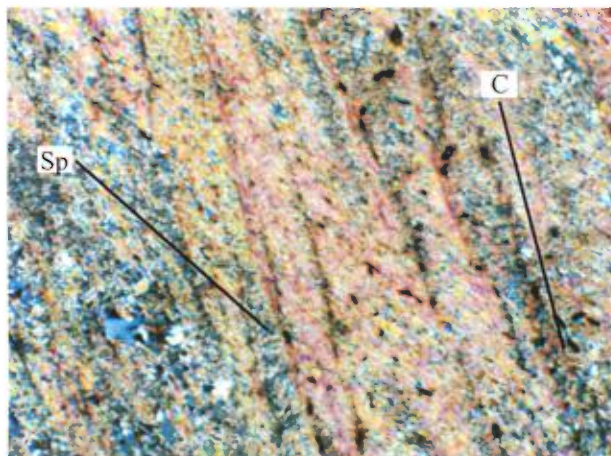


Photo 31 - Photomicrographie montrant le clivage C se superposant à la schistosité pénétrative Sp dans les zones fortement séricitisées. Champ de 1,5 cm par 1,2 cm, lumière transmise polarisée.

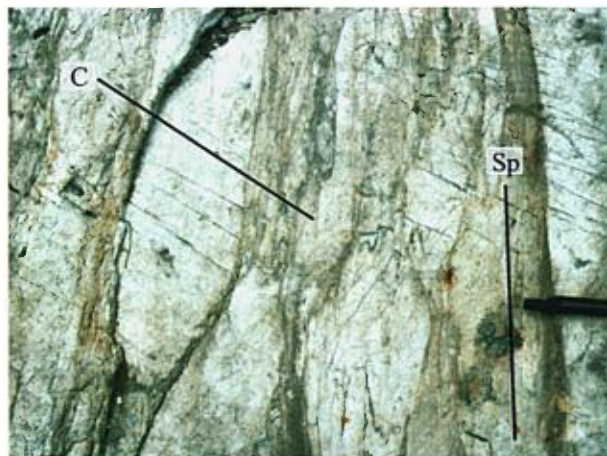


Photo 32 - Clivage C prenant la forme de fractures discrètes dans les fragments compacts de rhyodacite de la brèche de coulée de l'unité 5.2b. Crayon de 15 cm de longueur.



Photo 33 - Intersection de la fabrique C avec la schistosité principale Sp. Vue vers le sud du plan de schistosité Sp. Linéation Lc/Sp. Chantier 110-21-72, crayon de 15 cm de longueur.

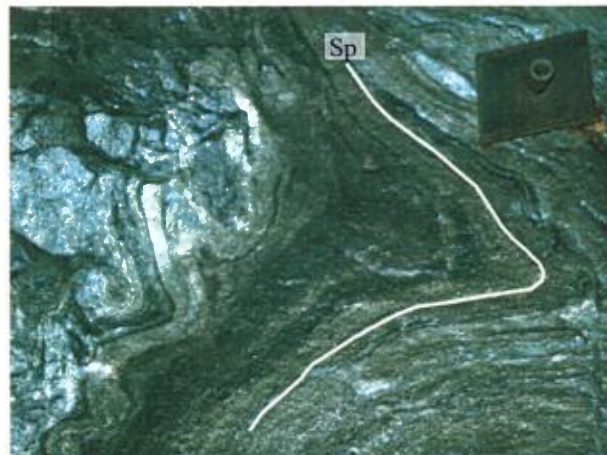


Photo 34 - Plis P3 dans l'horizon de sulfures massifs de la lentille 20 Sud (chantier 106-21-78). Ces plis P3 sont tardifs par rapport à Sp car le rubanement des sulfures est associé à Sp. Plaque métallique de 12 cm de côté.



Photo 35 - Pli P3 dans l'éponte inférieure de la lentille 20 Sud. Le plan axial est subvertical d'orientation NW-SE et reprend la schistosité Sp. Chantier 110-21-84, crayon de 15 cm de longueur.

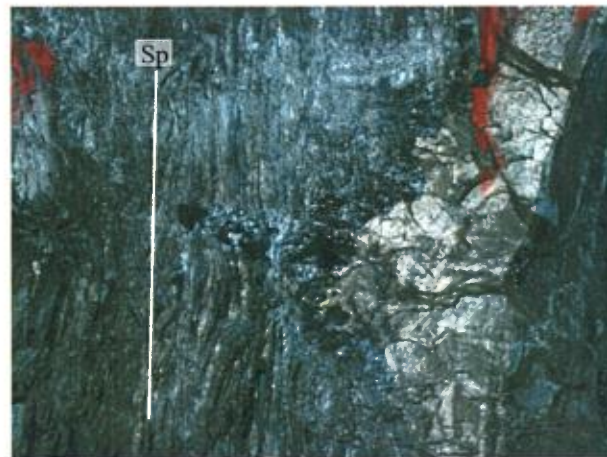


Photo 36 - Remobilisation des sulfures et de la silice pendant la phase Ds, la fabrique Sp étant recoupée par le mobilisat et le rubanement des sulfures associé à Sp étant perturbé. Chantier 122-20-72; champ de 1 m de largeur.

ANNEXE – Photographies (suite et fin)



Photo 37 - Couloir de déformation F3a résultant de la réactivation de couloirs de déformation F2. Recoupement de veines de type V2 et/ou V3. Travers-banc 194-745; champ de 1 m de largeur.



Photo 38 - Veines de quartz de tension tardives (V4) dans les laves altérées. Chantier 140-20-72; crayon de 15 cm de longueur.

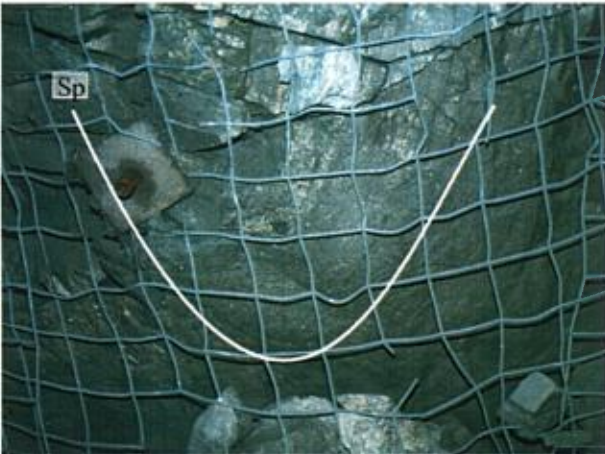


Photo 39 - Charnière de pli P3 (fermeture vers l'est) dans la lentille de sulfures massifs 20 Sud (vue du toit du chantier). Chantier 106-21-80; grillage de 10 cm par 10 cm.

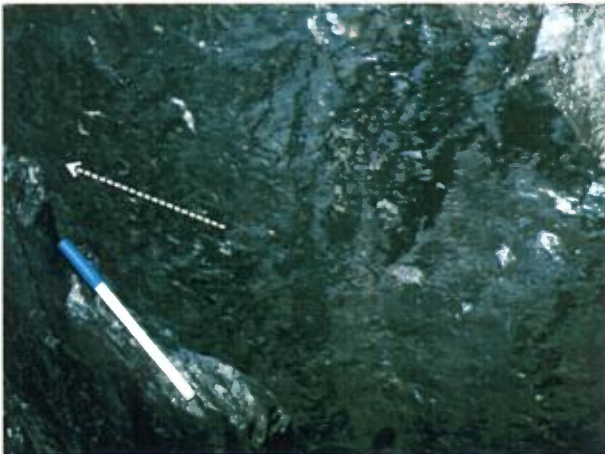


Photo 40 - Plan de faille F3b au contact entre argilites et sulfures massifs de la lentille 20 Sud (vue vers l'ouest). Mouvement senestre déduit des stries sur le plan de faille. Chantier 106-21-80; crayon de 15 cm de longueur.

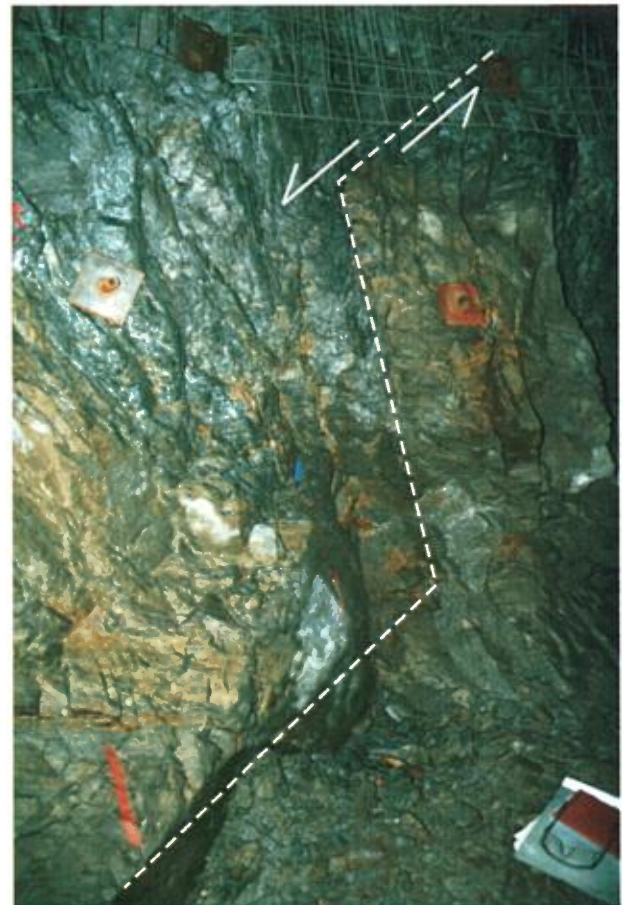


Photo 41 - Faille cassante F3b NE-SW recoupant et déplaçant de plus de 50 cm et de façon senestre les sulfures massifs de la lentille 20 Nord qui ont été rubanés par Sp. Vue vers le sud, chantier 194-20-52; crayon de 15 cm de longueur.

Résumé

Le gisement LaRonde constitue un des plus importants complexes de sulfures massifs volcanogènes aurifères connus dans le monde. Les réserves et ressources sont évaluées à 63,5 Mtm à 4,1 g/t Au, 52 g/t Ag, 2,31 % Zn et 0,44 % Cu pour un total de 8,51 Moz Au (puits Penna). L'accès récent aux lentilles minéralisées du puits Penna (20 Nord et 20 Sud) représente une occasion unique de documenter les caractéristiques de ce gisement de façon à mieux comprendre les paramètres géologiques qui contrôlent la formation de ce style particulier de minéralisation.

Un raccourcissement N-S intense a affecté la séquence volcanique de la mine LaRonde. La géométrie globale des zones minéralisées est contrôlée par la déformation principale (Dp : foliation pénétrative intense E-W à pendage fort vers le sud, linéation à plongement abrupt vers le S-W et plis P2 subverticaux). Par contre, la géométrie interne des lentilles est contrôlée par les éléments structuraux reliés à la déformation secondaire (Ds : clivage C NNE-SSW, linéation d'intersection LCSp à fort plongement vers le S-W, plis intrafoliaux en S et en Z et failles E-W à NE-SW).

Quatre horizons de sulfures semi-massifs à massifs aurifères, formés successivement lors du volcanisme à l'origine du Membre supérieur de la Formation de Bousquet (unités 5.1 à 5.5), caractérisent la minéralisation de la mine LaRonde (puits Penna).

L'unité 5.1b, hôte des Zones 6 et 7, se caractérise par une succession de laves dacitiques à rhyodacitiques massives à bréchiques intercalées avec de minces niveaux d'andésite amygdulaire transitionnelle. L'unité sus-jacente (5.2b) se caractérise par un complexe de dômes et de brèches de coulée, rhyodacitique à rhyolitique, calco-alcalin, daté à $2698,3 \pm 0,8$ Ma. Cette unité est recouverte localement par une rhyolite porphyrique calco-alcaline (unité 5.3), datée à $2697,8 \pm 1$ Ma, et localement par une andésite basaltique transitionnelle (unité 5.4). La rhyolite (unité 5.3) se présente sous forme de coulées massives et de brèches de coulée limitées spatialement alors que l'unité 5.4 forme un complexe de dyke et filons-couches. Ces deux unités se sont mises en place à l'intérieur de dépôts volcanoclastiques (unité 5.5), rhyodacitiques à rhyolitiques, calco-alcalins. Cette séquence est surmontée par les sédiments du Groupe de Cadillac.

La distribution et la composition de ces unités contrôlent la nature et la position des sulfures et des zones d'altération; la mise en place des dômes et brèches rhyodacitiques de l'unité 5.2b et des filons-couches de l'unité 5.4, vers 2698 Ma, a joué un rôle clé dans la formation des lentilles minéralisées 20 Nord et 20 Sud. La lentille 20 Nord, formée par remplacement au sommet des volcanoclastites de l'unité 5.2b, est caractérisée à la base par un stockwerk aurifère à Py + Cp (Au-Cu) fortement transposé (Zone 20N Au) et au sommet par une lentille massive à Py + Sp + Gn \pm Cp (Zone 20N Zn). La lentille 20 Sud, formée en remplacement au sommet de l'unité 5.4 et de l'unité 5.5, est composée de Py + Cp + Sp + Po formant un amas massif ou un stockwerk dense fortement transposé.

L'étude du gisement LaRonde montre que les séquences formées d'unités perméables, surmontées ou coupées par des unités imperméables, représentent des cibles d'exploration importantes.