

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

GÉOLOGIE ET MINÉRALISATIONS AURIFÈRES DE LA ZONE NO. 8 ORION,
SECTEUR MALARTIC HYGRADE, RÉGION DE MALARTIC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR

STÉPHANIE BERTRAND BLANCHETTE

MARS 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Dans le cadre de ce travail de maîtrise, je tiens à remercier en premier lieu mon co-directeur Pierre Pilote de m'avoir offert ce projet, ainsi que pour sa grande disponibilité, accessibilité et pour toutes les connaissances qu'il m'a transmises. Merci d'avoir eu confiance en moi! Je remercie par ailleurs, mon directeur, Michel Gauthier, qui a permis de mettre sur pied ce projet.

Je remercie Pierre Lacoste, excellent pédagogue, spécialiste en minéralogie pour sa disponibilité ainsi que sa générosité tant sur le terrain qu'en laboratoire.

Je tiens à remercier l'implication de toute l'équipe du projet de cartographie de cartographie de la région de Malartic du Ministère des Ressources naturelles lors de l'été 2012, Pierre Pilote, Pierre Lacoste, James Moorhead, Marie-Claude Ouellet, Jade Falardeau (détentriche du statut de meilleure junior du monde!), Simon Bachand et Charles Samson pour leur aide sur le terrain.

Merci au Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, partenaire majeur de ce projet, pour le support financier, ainsi que pour le matériel de terrain et de laboratoire mis à ma disposition, ce qui a permis de réaliser ce projet.

Je remercie la Corporation minière Niogold qui m'a employée lors de l'été 2013. Ce stage m'a permis de travailler tout ce temps sur ce projet en me permettant d'accéder au site de l'ancienne mine Malartic Hygrade. Niogold m'a fourni tous les outils nécessaires à mon travail, ainsi que le jus de bras supplémentaire dont j'avais besoin et m'a permis d'avoir accès à toute leur banque de données en lien avec le secteur de Malartic Hygrade. Merci à toute l'équipe: Yan Ducharme (directeur), Benjamin Gagnon-Lamotte (géologue de projet) pour m'avoir accompagné et aidé sur le terrain, Sabrina Bernard (géologue de projet), Nathalie Schnitzler (ingénieure-géologue), Lorelei Ghesquière (géologue stagiaire), Élodie Lieber (professionnelle de géologie), Cécilia Bataille (géologue stagiaire), Pascal Brassard

(technicien et responsable de la carothèque), Gérard Prince (technicien à la carothèque), Gilles Bacon (technicien en géomatique) et Lise Bissonnette (adjointe administrative), tant pour votre accueil, l'aide que tous et chacun m'avez apportée et votre bonne humeur. J'ai appris beaucoup en votre compagnie, Merci!

Enfin, merci à M. Yvon Trudeau, directeur-adjoint chez Soquem et anciennement géologue à la mine Malartic Hygrade, pour avoir préparé une excursion sur le terrain de cette ancienne mine lors de l'été 2012, ce qui a permis de nous familiariser avec le secteur. Ce fut un bonheur de vous côtoyer.

En terminant, un merci particulier à Sabrina Battista, Marie-Claude Ouellette, Christine Vézina et mes parents et amis pour m'avoir enduré de près ou de loin ainsi que pour votre support inestimable! Finalement, je tiens à remercier Maxime Ménard pour son soutien, ses encouragements et pour avoir cru en moi tout au long de ce projet. Merci de m'avoir soutenu et motivé jusqu'à la fin!

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIÈRES	iv
TABLE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
RÉSUMÉ	xiii
CHAPITRE I	
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Historique de la mine Malartic Hygrade.....	1
1.3 Travaux antérieurs	3
CHAPITRE II	
CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL ET LOCAL.....	6
2.1 Introduction.....	6
2.2 Unités lithologiques	8
2.2.1 Le Groupe de Malartic	8
2.2.2 Le Groupe de Louvicourt.....	9
2.2.3 Le Groupe de Kewagama.....	9
2.3 Géologie structurale.....	9
2.3.1 Évolution tectonique régionale	9
2.3.2 Géologie structurale de la mine Malartic Hygrade	12
CHAPITRE III	
MINÉRALISATIONS AURIFÈRES DU SECTEUR MALARTIC HYGRADE.....	18
3.1 Introduction - La mine Malartic Hygrade	18

3.2 La Zone no. 8 Orion.....	20
3.2.1 Généralités	20
3.2.2 Faciès minéralisés	20
3.2.3 Altérations.....	24
3.2.3.5 Carbonatation.....	33
3.2.4 Éléments structuraux.....	35
3.2.5 Géochronologie.....	40
3.2.6 Conclusions générales de la Zone no. 8 Orion.....	45
CHAPITRE IV	
GÉOCHIMIE DE LA ZONE NO. 8 ORION	48
4.1 Géochimie des laves	48
4.1.1 Volcanites ultramafiques.....	48
4.1.2 Volcanites mafiques.....	49
4.2 Géochimie des intrusions	57
4.2.1 Intrusions mafiques	57
4.2.2 Intrusions felsiques	57
4.3 Conclusions générales.....	70
CHAPITRE V	
COMPARAISON GÉOCHIMIQUE DES INTRUSIONS FELSIQUES PRÉSENTES DANS LES MINES ENVIRONNANTES	71
5.1 Mine Marban.....	71
5.2 Comparaison géochimique des intrusions felsiques des secteurs Malartic Hygrade, Marban, Camflo, Norlartic et Kiena	82
CHAPITRE VI	
MISE EN PLACE DE LA ZONE NO. 8 ORION ET COMPARAISONS AVEC LES MINES ENVIRONNANTES.....	97
6.1 Mise en place du gisement Zone no. 8 Orion.....	97
6.2 Comparaison du gisement Zone no. 8 Orion et des gisements environnants.....	98

CHAPITRE VII	
DISCUSSION.....	108
CONCLUSIONS.....	112
ANNEXE A	
TEST DE COLORATION DES CARBONATES SUR LA ZONE NO. 8 ORION.....	115
ANNEXE B	
COLORATION DES FELDSPATHS POTASSIQUES DES INTRUSIONS FELSIQUES DE LA RÉGION DE LA MINE MALARTIC HYGRADE	125
APPENDICE A.....	136
RÉFÉRENCES	137

TABLE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 : Localisation du secteur étudié (Géologie simplifiée d'après Imreh (1984), Pilote et al. (1999 et 2000), ainsi que Mueller et Daigneault (2008)).	2
2.1: Géologie de la région de la mine Malartic Hygrade (Pilote et al., 2013).	7
2.2: Synthèse de l'évolution tectonique de la région Val-d'Or – Malartic. Vue en plan (Daigneault et al., 2002).	11
2.3: Synthèse de l'évolution tectonique de la région Val-d'Or – Malartic. Vue en coupe (modifié de Daigneault et al., 2002).	11
2.4: Coussin en forme de molaire présentant un angle de près de 90° entre S2 et S0 à la Zone no. 8 Orion, démontrant que cet affleurement est situé près de la charnière de l'ASMH (voir la figure 2.1 pour la localisation de cette photo).	14
2.5: Axe de pli de l'ASMH mesuré sur stéréonet.	15
2.6: (A) Relation de recoupement entre S1 NE-SW et S2 E-W. (B) Observation en lame mince : même relation de recoupement entre S1 NE-SW et S2 E-W qu'en (A). Ces relations sont en accord avec un point d'observation situé sur le flanc court de l'ASMH. (Voir la figure 2.1 pour la localisation)	16
2.7: Cadre structural de la mine Malartic Hygrade. ASMH: anticlinal-synforme de Malartic Hygrade	17
3.1: Cartographie détaillée de la Zone no. 8 Orion et localisation des figures	21
3.2: Coupe schématique de la Zone no. 8 Orion, selon Trudeau et Raymond (1992). Voir figure 3.1 pour la localisation.	22

Figure	Page
3.3: Photomicrographies des trois populations de tonalite à la Zone no. 8. (A) Population « A » (aurifère) dans laquelle des bâtonnets de séricite (Sr) sont alignés dans S2 et présence de biotite (Bo) automorphe et d'amas de chlorite (Cl). (B) Population « A », où la chlorite remplace la biotite, contient des cristaux de sphène automorphe. (C) Population « B » caractérisée principalement par la grande quantité de feuillets de biotite et d'épidote automorphe. (D) Population « C », tonalite à matrice très fine et feuillets de biotite remplacés par la chlorite.	23
3.4: Les trois faciès minéralisés de la Zone no. 8 Orion : (A) Veines de quartz nord-sud et le basalte coussiné pyriteux; (B) le réseau de veines de quartz d'extension; (C) Le filon de veines de quartz massif.	25
3.5: (A) Veines de quartz d'extension nord-sud et le basalte coussiné pyriteux; (B) Veines de quartz nord-sud et l'albitisation associée au basalte coussiné encaissant qui délimite la zone minéralisée.	26
3.6: Pyrite concentrée dans des veinules de chlorite.	27
3.7: Veine de quartz nord-sud (pointillé bleu) avec son halo d'albitisation (pointillé noir) qui délimite clairement la zone minéralisée.	28
3.8: (A) Échantillon provenant du faciès minéralisé du réseau de veines de quartz, où le basalte encaissant présente une teinte beige-caramel associée à l'albitisation; (B) Veine de quartz présentant un halo de couleur beige illustrant une intense albitisation du basalte encaissant.	29
3.9: Cartographie détaillée de la Zone no. 8 Orion présentant les données géochimiques en lien avec l'albitisation et les teneurs aurifères. La couleur des boîtes de données correspond aux lithologies (voir la légende de la figure 3.1).	31
3.10: Altération en actinote, sans orientation préférentielle.	34
3.11: Agrandissement de la partie nord-ouest de l'affleurement du gisement Orion Zone no. 8 montrant l'inflexion de la fabrique S2 à l'approche de la zone minéralisée et la localisation des deux photos de la figure 3.12.	36

Figure	Page
3.12: (A) Étirement est-ouest des basaltes en coussins dû au second épisode de déformation D2; (B) Étirement nord-ouest sud-est des coussins basaltiques causé par D2 à l'approche de la zone minéralisée.....	37
3.13: S2 matérialisé par un alignement préférentiel des minéraux mafiques dans une tonalite de population « A » à la Zone Orion no. 8 (voir la figure de localisation 3.1).....	38
3.14: Veines de quartz nord-sud, qui albitisent et délimitent la minéralisation au nord-ouest de l'affleurement du gisement Orion Zone no. 8, crénelées par S2.....	39
3.15: Faille qui délimite la zone minéralisée au sud-ouest, où des stries de glissement inclinées vers l'est sur le plan de faille additionnée d'un entraînement apparent dextre en plan sur la fabrique S2, illustrent le mouvement normal-dextre associé aux structures de cisaillements-failles orientées nord-ouest (voir la figure de localisation 3.1).....	41
3.16: Contact faillé au sud-ouest de la zone minéralisée entre le corps minéralisé et le basalte de l'éponte inférieur (voir la localisation sur la figure 3.1).....	42
3.17: Cisaillement orienté nord-ouest recoupant et délimitant la zone minéralisée (voir la figure de localisation 3.1).	43
3.18: Les images (A) et (B) montrent des patrons d'entraînements dextres sur des veines de quartz nord-sud.	44
3.19: (A) Tonalite recoupant la minéralisation sur l'affleurement du gisement Zone no. 8.Orion (B) Compilation des données géochronologiques de la région de Val-d'Or-Malartic-Preissac.	45
4.1: Diagrammes géochimiques pour les laves ultramafiques.	50
4.2: Diagrammes géochimiques pour les laves ultramafiques (suite).....	51
4.3: Diagrammes géochimiques pour les laves ultramafiques (suite).....	52
4.4: Diagrammes géochimiques pour les laves mafiques.	53

Figure	Page
4.5: Diagrammes géochimiques pour les laves mafiques (suite).	54
4.6: Diagrammes géochimiques pour les laves mafiques (suite).	56
4.7: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).....	58
4.8: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).....	59
4.9: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).....	60
4.10: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).....	61
4.11: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).....	62
4.12: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques.	64
4.13: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques (suite).	65
4.14: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques (suite).	66
4.15: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques (suite).	68
4.16: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques (suite).	69
5.1: Localisation des gisement environnant le secteur étudié du gisement Zone no. 8 Orion.....	72
5.2: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban....	74
5.3: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).....	75
5.4: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).....	76
5.5: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).....	77

Figure	Page
5.6: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).....	79
5.7: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).....	80
5.8: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).....	81
5.9: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade.	83
5.10: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade (suite).	85
5.11: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade (suite).	86
5.12: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade (suite).	88
5.13: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade (suite).	89
5.14: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade (suite).	91
5.15: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade (suite).	93
5.16: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade (suite).	94
6.1: Blocs diagrammes décrivant la chronologie et la synthèse des évènements géologiques associés à la mise en place de la minéralisation aurifère à la Zone no. 8 Orion.....	100

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1: Synthèse de l'évolution des concepts lithostratigraphiques régionaux pour les régions de Val-d'Or et de Malartic (modifié de Pilote et al. (2000) et de Scott et al. (2002)).	5
3.1: Synthèse des informations sur les sept zones minéralisées présentes à la mine Malartic Hygrade. (Où: Al: albite, Ac: actinote, Cb: carbonates, Cl: chlorite, Ep: épidote, Py: pyrite, Po: pyrrhotite, Cp: chalcopyrite, Sp: sphène, Ga: galène, Mo: molybdène, Pe: pentlandite, ASMH: Anticlinal synforme de Malartic Hygrade) (Trudeau et Raymond, 1992; Sauvé, 1987)	19
3.2: Variation des valeurs du ratio Na/Al en fonction des différentes lithologies et de leur localisation par rapport à la Zone no. 8 Orion.	30
5.1: Synthèse des similitudes géochimiques des différentes intrusions des gisements Marban, Malartic Hygrade, Kiena, Norlartic et Camflo (où GI: granodiorite interminérale; IPF: intrusion porphyrique à feldspath; IA: Intrusion d'albite).	96
6.1 : Chronologie et synthèse des événements géologiques associés à la mise en place de la minéralisation aurifère à la Zone no. 8 Orion.	99
6.2: Tableau comparatif des gisements environnant la Zone no. 8 Orion.....	104

RÉSUMÉ

Ce travail de maîtrise a été réalisé en collaboration et avec le support du Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec (MERN), ainsi que de la Corporation Niogold. Il s'insère dans le projet de cartographie du MERN (Pilote et al., 2012) dans la région de Malartic (SNRC 32D01-NE).

Cette étude porte sur le gisement Orion Zone no. 8, adjacent à la mine Malartic Hygrade qui fut en production de 1962 à 1992. Le gisement Orion a été découvert en 1985. Un total de 131 000 tonnes fut exploité de 1987 à 1990 avec une teneur moyenne de 5,31 g/t Au. Les objectifs de ce travail sont de documenter et de caractériser la Zone no. 8 Orion. Les moyens utilisés impliquent, entre autres, la mise à jour de la géologie locale et l'étude du rôle et de l'importance des grandes zones de failles, telle la faille Norbenite. Un objectif plus général est de situer la Zone Orion dans la problématique des différents épisodes de minéralisations aurifères ayant affectés la région de Val-d'Or – Malartic.

À la Zone no. 8 Orion la minéralisation aurifère, d'orientation 310° et à pendage vers le NE, se présente sous trois faciès: 1- des basaltes coussinés, pyritisés, chloritisés et albitisés avec présence d'actinote; 2- des veines de quartz d'extension nord-sud de 3 à 8 cm de large et un réseau de veines de quartz d'extension désordonnées (stockwerk) qui fragmentent l'encaissant, toutes les deux accompagnées d'une forte albitisation; 3- un complexe de veines de quartz massives à grains fins, avec forte albitisation et or visible par endroits dans les épontes. L'éponte supérieure de la minéralisation est constituée de basalte grenu et de coulées ultramafiques, alors que l'éponte inférieure est composée de coulées aphanitiques coussinées/bréchiques et d'intrusions felsiques.

Les travaux de terrain, incluant une cartographie détaillée, l'observation de lames minces, l'analyse de données géochimiques et structurales, ont permis d'établir une chronologie relative des divers événements géologiques associés à la Zone no. 8 Orion. Dans un premier temps, suite à la mise en place de l'édifice volcanique mafique/ultramafique, prennent place par fracturation hydraulique des veines de quartz d'extension nord-sud et un réseau de veines de quartz bréchiques et désordonnées auxquelles sont associées une forte pyritisation et albitisation proximale, présentant une étroite relation avec la zone aurifère, ainsi qu'une chloritisation périphérique des basaltes encaissants. Des complexes de veines de quartz massives, orientées nord-ouest sud-est, incorporent des enclaves de basaltes pyritisés. La plus grande part de la minéralisation aurifère apparaît associée aux veines de quartz. Des intrusions tonalitiques, recoupant les veines et les basaltes pyritisés, ne présentent aucune relation directe avec la minéralisation. La schistosité principale est-ouest affecte et recoupe les halos d'altération et les dykes. Le métamorphisme régional apparaît responsable de la

création de porphyroblastes d'actinote dépourvus d'orientation, uniquement aux endroits où les lithologies étaient préalablement altérées. Une réactivation subséquente des cisaillements et des failles orientés 310° , régionalement subparallèles aux grands cisaillements Marbenite et Norbenite qui longent et/ou recourent la minéralisation de la Zone no. 8 Orion, produisent un entraînement apparent dextre de la schistosité principale le long de ces failles.

MOTS-CLÉS: Gisement aurifère, mine d'or, Malartic Hygrade, Zone no. 8 Orion, Abitibi, Val-d'Or, Malartic, cartographie géologique, lithogéochimie, coloration des carbonates, coloration des feldspaths potassiques

CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1 INTRODUCTION

La Zone no. 8 Orion, qui se situe à moins d'un kilomètre au sud-est de l'ancienne mine Malartic Hygrade, se situe à 7 km au nord-est de la ville de Malartic en Abitibi (Voir figure 1.1). Le terrain à l'étude possède une superficie d'environ 6 km².

Les objectifs de ce projet de maîtrise sont de caractériser la minéralisation aurifère, la géologie et les éléments structuraux du gisement Zone no. 8 Orion. Ce projet portera aussi sur l'étude du rôle et de l'importance des grandes zones de failles Marbenite et Norbenite. Ensuite ce gisement sera positionné en fonction des différents épisodes aurifères de la région de Val-d'Or – Malartic (Pilote et al., 1993; Couture et al., 1994). Ces objectifs seront atteints en employant des critères de discrimination impliquant la cartographie de détail, la compilation de forages choisis, la géochimie, l'analyse des éléments structuraux et des données géochronologiques. Ces travaux ont été réalisés en collaboration et avec le soutien du Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) du Québec et de la Corporation Niogold.

1.2 HISTORIQUE DE LA MINE MALARTIC HYGRADE

Un prospecteur a découvert en 1936 des indices d'or dans le secteur immédiat de l'ancienne mine Malartic Hygrade. Jusqu'en 1943, ces terrains étaient la propriété d'Ascot Gold Mines. Ils furent ensuite détenus par Citralam Malartic Mines Ltd entre 1943 et 1957, par Lavendin Mining Co Ltd entre 1957 et 1961 (Sauvé, 1987) et par Malartic Hygrade Gold Mines de



Figure 1.1 : Localisation du secteur étudié (Géologie simplifiée d'après Imreh (1984), Pilote et al. (1999 et 2000), ainsi que Mueller et Daigneault (2008)).

1961 à 1992 (Sauvé, 1987; ainsi que Trudeau et Raymond, 1992). Suite à une campagne d'exploration débutée en 1982, cette dernière société a découvert en 1985 la Zone no. 8 Orion, à 750 mètres au sud-est du puits principal. Cette zone fut en production de 1987 à 1990, avec un volume de minerai exploité de 131 000 t @ 5,31 g/t Au (Sauvé, 1987; et Trudeau et Raymond, 1992)

1.3 TRAVAUX ANTÉRIEURS

En 1911, des filons aurifères ont été trouvés pour la première fois dans la région de Val-d'Or (Tardif, 1989). Suite à cette découverte, les premières cartes géologiques ont été produites par James et Mawsley en 1925. Gunning (1937) a cartographié cette région et a été le premier à diviser la région de Cadillac en six bandes lithostratigraphiques, alternant des roches sédimentaires et volcaniques. Plus tard, des travaux effectués dans la région de Val-d'Or – Malartic par Gunning et Ambrose (1940), ont consisté en un prolongement des travaux de Gunning (1937) vers l'est. Ils ont ainsi associé et modifié les unités définies par Gunning (1937) au « synclinal de Malartic », qu'ils affirmèrent être la structure principale. Par la suite, Norman (1941, 1942, 1943, 1944, 1946, 1947) douta de la présence de ce synclinal, puisqu'il ne concordait pas avec les indices de polarité stratigraphique trouvés sur le terrain. Il suggéra donc de retirer l'existence de cet élément structural majeur. Latulippe (1966) présente une synthèse des mines de la région dans laquelle il met en relation les différentes minéralisations avec leur position stratigraphique respective. De plus, il produit une séquence stratigraphique s'approchant de celle décrite par Gunning et Ambrose (1940) et confirme la présence du « synclinal de Malartic », qu'il nomma le « synclinal de Cadillac ».

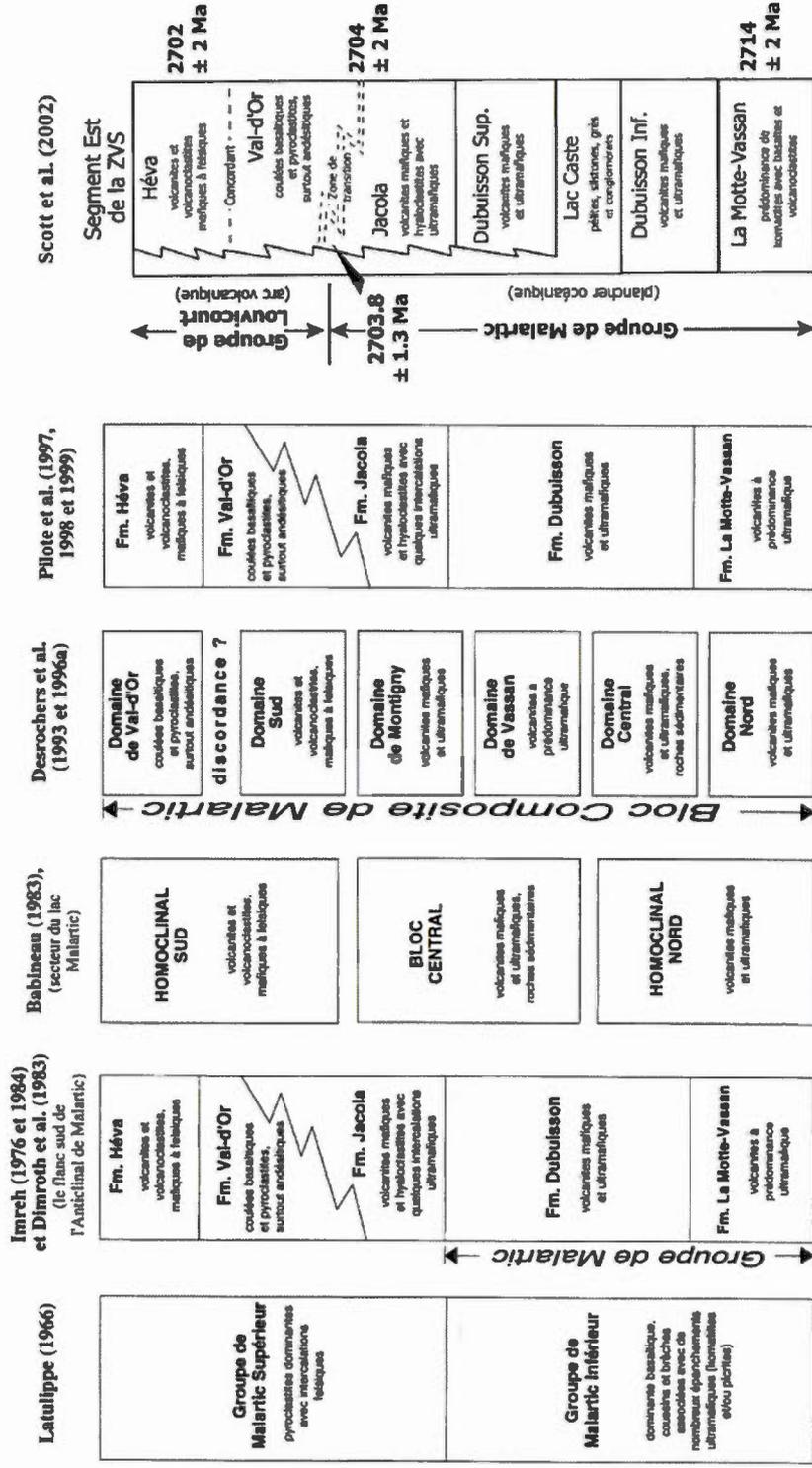
Imreh (1976), suite à des travaux débutés en 1972 et se basant sur des critères de polarité obtenus dans des coulées ultramafiques, proposa l'existence de l'Anticlinal de La Motte – Vassan comme structure majeure de la région. À la même époque, Latulippe (1976) détermina qu'il était impossible de corréliser les unités au nord et au sud du « synclinal de Cadillac », tel que suggérés par Gunning et Ambrose (1940). Imreh (1984) a produit une synthèse dans laquelle il modifie la séquence lithostratigraphique proposée en 1976 afin de l'adapter à celle établie par Latulippe (1976). Dans les mêmes années, Babineau (1983 et

1985) travailla dans la région de La Motte et du lac Malartic et suggéra de diviser le Groupe de Malartic en fonction de trois différentes unités tectono-stratigraphiques distinctes. Desrochers et al. (1996a et 1996b) ont proposé pour la région de Val-d'Or – Malartic une subdivision en 7 domaines tectono-stratigraphiques distincts, qu'ils interprétèrent comme un assemblage d'unités allochtones. Pilote et al. (2000) ont produit une mise à jour géologique de la région de Val-d'Or et ont suggéré un retour à des subdivisions stratigraphiques davantage en accord avec la vision historique d'Imreh (1984). Voir le tableau 1.1 pour une synthèse de l'évolution des concepts lithostratigraphiques régionaux.

Des travaux lithogéochimiques sur les groupes de Malartic et de Blake River (Alsac et Latulippe, 1977 et 1979; Babineau, 1982; Parent 1985) ont permis de concrétiser avec plus de précision la composition de ces unités lithologiques. Des études structurales ont également portées sur les différentes unités (Bouchard, 1979, 1980; Tourigny, 1984).

Dans les années 1990, plusieurs travaux ont porté sur l'étude des minéralisations et gisements aurifères de la région (Imreh et Trudel, 1990; Robert, 1990a, 1990c et 1996; Sansfaçon et Hubert, 1990; Trudel et Sauvé, 1992; Sauvé et al., 1993; Couture et al., 1994; Jenkins et Brown, 1999). Des travaux détaillés (Robert, 1990a; Pilote et al., 1993; Sauvé et al., 1993a; Couture et al., 1994; et Robert, 1994) divisent les minéralisations aurifères de la région en deux grands groupes : 1- les minéralisations anciennes (> 2690 Ma) dans des veines de quartz déformées (Sauvé, 1987; Trudeau et Raymond, 1992; Morasse, 1998); 2- les minéralisations postérieures à 2690 Ma, présentant un réseau de veines peu déformés (Robert et Brown, 1986a et b; Claoué-Long et al., 1990 et 1992; Robert, 1990b; Wong et al., 1991; Corfu et Davis, 1991; Bouillier et Robert, 1992; Hanes et al., 1992 et 1994; Kerrich et King, 1993; Kerrich, 1994 et Kerrich et Kyser, 1994).

Tableau 1.1: Synthèse de l'évolution des concepts lithostratigraphiques régionaux pour les régions de Val-d'Or et de Malartic (modifié de Pilote et al. (2000) et de Scott et al. (2002)).



CHAPITRE II

CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL ET LOCAL

2.1 INTRODUCTION

La mine Malartic Hygrade se trouve dans la Province géologique archéenne du Supérieur. Plus précisément cette mine se situe dans le secteur de Malartic (voir figure 2.1), dans la partie sud-est de la ceinture de roches vertes de la Sous-province de l'Abitibi.

La Sous-province de l'Abitibi s'étend de Louvicourt à Kapuskasing en Ontario. Elle se compose majoritairement d'une alternance de roches volcaniques et sédimentaires et possède une orientation généralement est-ouest (Trudel et Sauvé, 1992 et Thurston et al., 2008). Cette ceinture de roche verte est parcourue par deux zones de failles majeures : au nord par la zone de failles Destor-Porcupine (ZFDP), et au sud par la zone de failles Cadillac-Larder-Lake (ZFCL). Le métamorphisme atteint dans la région est au faciès schiste vert et quelques fois amphibolite supérieur, dû principalement au métamorphisme de contact causé par des intrusions d'envergure, suite à l'Orogénie Kénoréenne (2700-2645 Ma). Deux épisodes de déformation ont été proposés (Stockwell, 1982; Dimroth et al. 1983a, 1983b; Card, 1990; Thurston et Chivers (1990); Corfu, 1993). Dans un premier temps, il y a compression régionale nord-sud, associée au second épisode de déformation majeur, suivit dans un deuxième temps, par une déformation cassante causé par d'important cisaillements (Trudel et Sauvé, 1992). La Sous-province de l'Abitibi est interprétée comme étant un assemblage d'arcs volcaniques insulaires (Dimroth et al., 1982, 1983a, 1983b). Le volcanisme a eu lieu entre 2750 et 2697 Ma (Ayer et al. 2002; Thurston et al., 2008) et a migré vers le sud (Daigneault et al. 2002).

Chown et al., (1992) ont proposé une subdivision de la Sous-province de l'Abitibi en une Zone Volcanique Nord (ZVN) possédant des âges entre 2730 et 2705 Ma et en une Zone

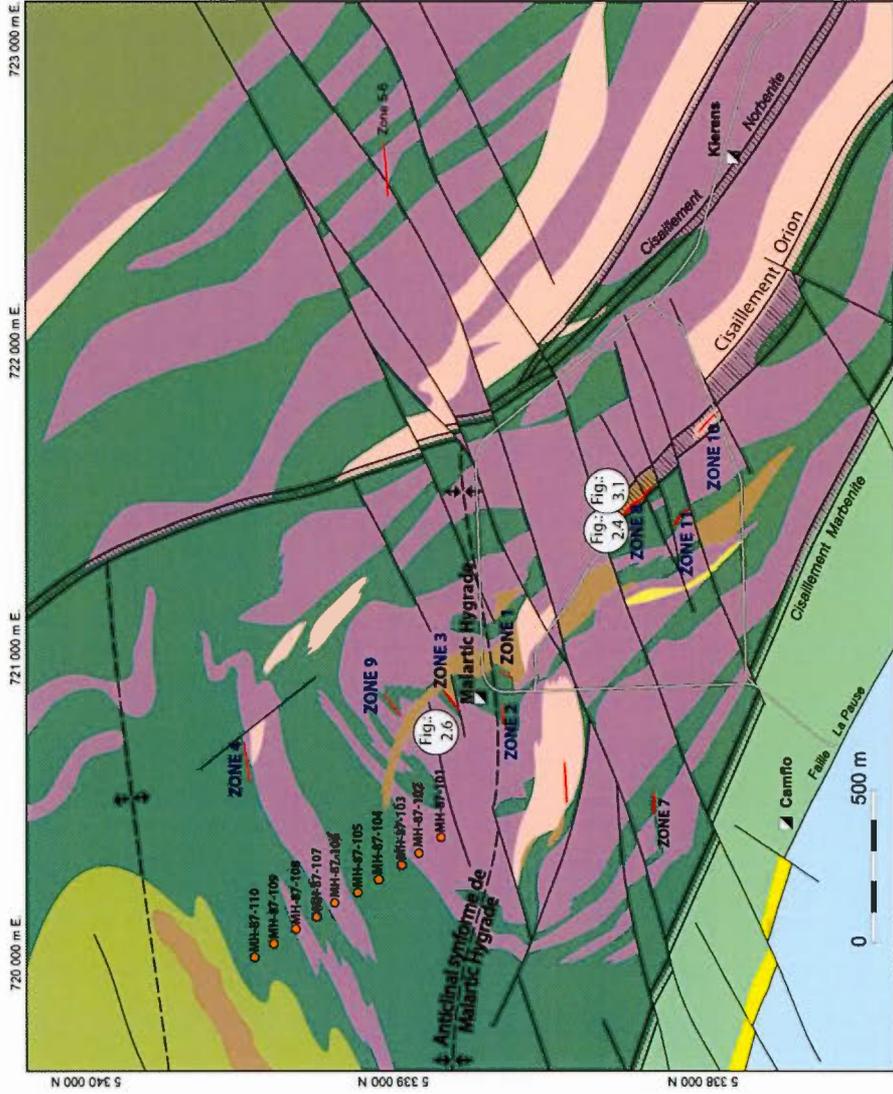
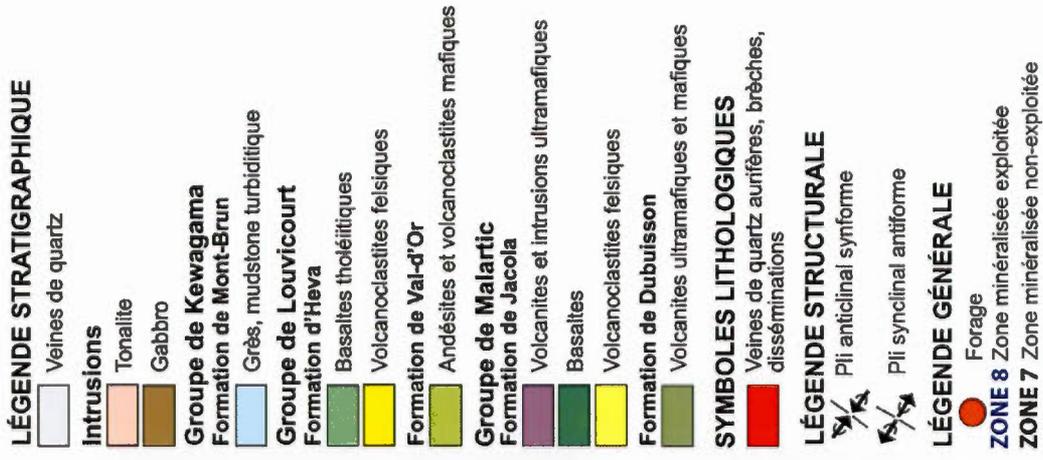


Figure 2.1: Géologie de la région de la mine Malartic Hygrade (Pilote et al., 2013).

Volcanique Sud (ZVS) plus jeune, datée entre 2705 et 2700 Ma (Corfu et al. 1989; Daigneault et al. 2002). La suture entre ces deux zones est la zone de failles Destor-Porcupine-Manneville.

Dans la région de Malartic, la séquence stratigraphique (S_0) se compose d'une alternance de roches volcaniques et sédimentaires orientée vers le sud ou le sud-est. On trouve, du nord vers le sud, le Groupe de Malartic composé des Formations de La Motte-Vassan, de Dubuisson et de Jacola (dans laquelle se situe la mine Malartic Hygrade), suivi du Groupe de Louvicourt comprenant les Formations de Val-d'Or et d'Héva et le Groupe sédimentaire de Kewagama comprenant la Formation de Mont-Brun. Cette séquence est recoupée par des intrusions gabbroïques à tonalitiques d'âge pré- à post-tectonique.

2.2 UNITÉS LITHOLOGIQUES

Les unités lithologiques sont celles présentes sur le terrain à l'étude et décrites de la base vers le sommet de la séquence lithostratigraphique, du nord vers le sud.

2.2.1 Le Groupe de Malartic

La Formation de Dubuisson, datée à 2708 ± 2 Ma (Pilote et al., 2000) a une puissance apparente de 1 à 2 kilomètres. Elle se compose majoritairement de coulées mafiques d'affinité tholéïitique d'une épaisseur variant de 1 à 2 mètres, intercalées de fines coulées ultramafiques komatiitiques (Imreh, 1984; Rocheleau et al., 1997).

La Formation de Jacola, datée à 2706 ± 1 Ma (Pilote et al., 2000) se compose principalement de coulées basaltiques massives, coussinées et bréchiques, ainsi que de coulées andésitiques. Des niveaux de volcanites et des intrusions ultramafiques sont observables. Enfin, cette unité se caractérise aussi par des volcanoclastites felsiques à intermédiaires (Rocheleau, 1997 et Pilote, 2013).

2.2.2 Le Groupe de Louvicourt

La Formation de Val-d'Or, datée à 2704 ± 2 Ma (Pilote et al., 2000), d'une puissance de 4 à 6 km, se compose de coulées andésitiques massives, coussinées et bréchiques, intercalées de niveaux de volcanoclastites intermédiaires à felsiques. Ces volcanoclastites présentent des faciès de tufs à blocs et à lapilli, d'une épaisseur de quelques mètres, et parfois de tufs à cristaux de quelques décimètres (Sharpe, 1968; Rocheleau et al., 1997; Scott et al., 2002; Pilote et al., 2013).

La Formation d'Héva, datée à 2702 ± 1 Ma (Pilote et al., 2000), est composée de coulées basaltiques et intermédiaires massives, coussinées et bréchiques, ainsi que de volcanoclastites intermédiaires à felsiques. Cette formation est surtout caractérisée par un niveau repère de coulées felsiques présentant une texture sphérolitique de dimension millimétrique à centimétrique.

2.2.3 Le Groupe de Kewagama

Le Groupe de Kewagama est ici représenté par la Formation de Mont-Brun. Cette dernière se compose de grès et de mudstone turbiditique daté à $< 2685 \pm 3$ Ma (Davis, 2002). Ces roches sédimentaires sont limitées à l'ouest par la faille Destor-Porcupine dans le secteur de Rouyn-Noranda et se poursuivent vers l'est jusqu'au sud de la mine Camflo (voir figure 2.1). Dans la région de Malartic, la Formation de Mont-Brun se caractérise par des bancs de grès généralement granoclassés, d'une épaisseur moyenne de 15 centimètres, de niveaux pélitiques de 5 cm et d'horizons gréseux de conglomérats (Pilote et al., 2000).

2.3 GÉOLOGIE STRUCTURALE

2.3.1 Évolution tectonique régionale

L'histoire tectonique de l'Abitibi étant vaste, une version provenant de Daigneault et al. (2002) et résumée en six grandes étapes (voir figures 2.2 et 2.3) est présentée dans les paragraphes suivants.

- 1- Le premier épisode de déformation - D₁: l'accrétion des zones volcaniques nord et sud (collision arc-arc) à l'aide de failles rétro-chevauchantes entre 2692 et 2680 Ma (Mueller et al., 1996). Cette première phase de déformation se matérialise ponctuellement par une schistosité (S₁) d'orientation nord et nord-ouest. Le style de déformation associé à D₁ est de type « thin-skinned ». Des plis sans schistosité orientés principalement est-ouest, de grands anticlinaux dans des batholites (tel l'Anticlinal de La Motte-Vassan), ainsi que des synformes dans des séquences volcaniques sont des structures majeures associées à la première phase de déformation.
- 2- Le second épisode de déformation - D₂: l'accrétion de la Sous-province de l'Abitibi avec la Sous-province du Pontiac entre 2680 et 2670 Ma (Daigneault et al., 2002). Cette deuxième phase de compression se matérialise par une schistosité (S₂) est-ouest très pénétrative, présentant une linéation plongeant vers l'est. D₂ se caractérise par des plis antérieurs transformés en plis isoclinaux serrés subverticaux ainsi qu'en plis droits asymétriques en « S » et en « Z » ayant S₂ comme plan axial (Dimroth et al., 1983a; Robert, 1989; Card, 1990; Powell et al., 1995a).
- 3- et 4- Formation des deux bassins en « pull-apart » de Duparquet (2690-2680 Ma (Mueller et al., 1996)) le long de la ZFDP et de Granada (2680-2670 Ma (Davis, 1992 et 2002)) le long de la ZFCL. Ces bassins sont créés en réponse aux mouvements de transpression sur chacune de ces zones de failles.
- 5- Importante phase d'exhumation du batholite Preissac-Lacorne, le long des deux zones de failles, causée par une inversion du régime tectonique compressif. Seul un régime extensif permet de corréliser la juxtaposition de terrains au faciès schiste vert au nord et au faciès amphibolite au sud. En réponse à ce jeu de failles le long de la ZFDP, il se produit une seconde mise en place de la série du Batholite de Preissac - La Corne entre 2660-2642 Ma (Daigneault et al., 2002)

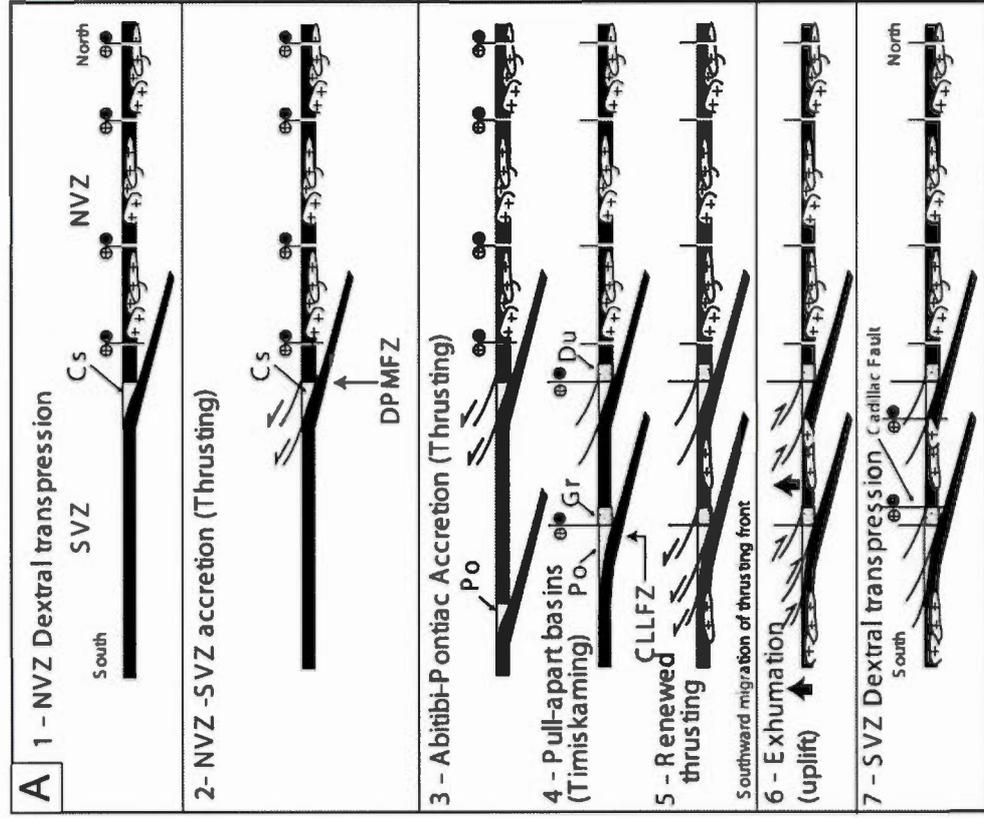


Figure 2.3: Synthèse de l'évolution tectonique de la région Val-d'Or – Malartic. Vue en coupe (Daigneault et al., 2002).

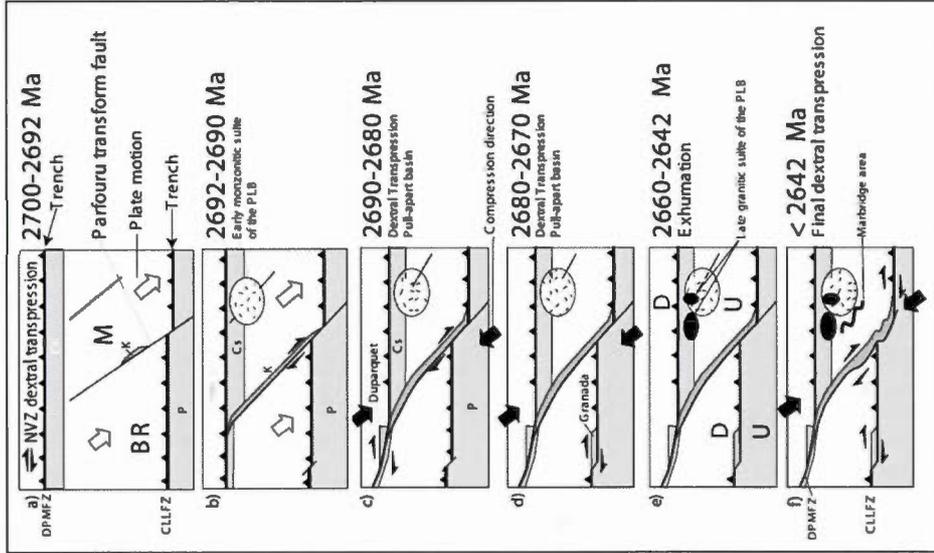


Figure 2.2: Synthèse de l'évolution tectonique de la région Val-d'Or – Malartic. Vue en plan (modifié de Daigneault et al., 2002).

- 6- Mouvement de transpression, décrochant dextre, final daté à < 2642 Ma (Daigneault et al., 2002) causant des plis dont les plans axiaux sont orientés majoritairement est-ouest. Ce mouvement produit des zones de failles et de cisaillements.

2.3.2 Géologie structurale de la mine Malartic Hygrade

la nomenclature des éléments structuraux décrits dans le secteur étudié, est celle utilisée par Daigneault et al., (2002).

La surface stratigraphique (S_0) est régionalement orientée vers le sud ou le sud-est et présente un pendage abrupt vers l'ouest ou le sud-ouest. Structuralement, la mine Malartic Hygrade se situe au cœur ou sur les flancs du grand pli, P_2 , associé à la seconde phase de déformation selon Daigneault et al. (2002), l'anticlinal-synforme en « Z » de Malartic Hygrade (ASMH) dont la surface axiale est orientée est-ouest, subparallèle à la schistosité S_2 qui lui est associée. Ce pli a été catégorisé ainsi, puisque la surface stratigraphique a été démontrée à l'aide d'un coussin en forme de molaire au cœur de la charnière et perpendiculaire à la schistosité seconde (voir figure 2.4), qui présente une orientation vers le nord à polarité inverse ($000^\circ\text{N}/73^\circ$). De ce fait, les unités lithologiques plus récentes se situent au cœur du pli. De plus, l'axe du pli de l'ASMH, a été mesuré sur stéréonet (voir figure 2.5) à l'aide de l'intersection formée par la surface stratigraphique et la schistosité seconde moyenne mesurée ($269^\circ\text{N}/73.4^\circ$), ainsi que par l'intersection créée par la schistosité première (S_1) mesurée sur le flanc court ($055^\circ\text{N}/75$) et la surface S_2 moyenne. L'axe du pli possède une plongée vers l'est-nord-est, ce qui démontre la présence d'un pli de type synforme.

Une fabrique orientée nord-est sud-ouest, qui présente une direction préférentielle antérieure des enclaves dans une coulée mafique bréchique est recoupée et entraînée par S_2 . Cette fabrique antérieure est parallèle à S_0 et a été identifiée comme S_1 . La relation où S_2 recoupe S_1 permet de se positionner dans la structure de l'ASMH (voir figures 2.6 et 2.7). De plus, des relations à angles forts, jusqu'à près de 90° , entre S_2 et S_0 sont suggérées par des coussins en forme de molaire à la Zone no. 8 Orion, ce qui démontre que ce secteur se situe près de la charnière de l'ASMH (voir figures 2.4 et 2.7).

Par ailleurs, de grands couloirs de cisaillements subconcordants à la stratigraphie sont orientés nord-ouest sud-est et sont présents près ou sur la propriété Malartic Hygrade. Le cisaillement Norbenite est situé au nord-est du secteur Malartic Hygrade dans les environs de l'ancienne mine Kierens. Le cisaillement Marbenite est localisé au sud-ouest de la mine Malartic Hygrade, à proximité de l'ancienne mine Camflo. Ce cisaillement est situé près du contact du Groupe de Malartic avec celui de Louvicourt. Sur la propriété Malartic Hygrade, un cisaillement de même attitude englobe la Zone minéralisée no. 8 et no. 10. Ce couloir de cisaillement est nommé « cisaillement Orion » dans le cadre de cette étude. Tous ces cisaillements sont localement recoupés par des failles orientées nord-est sud-ouest de faible envergure (voir figure 2.1).

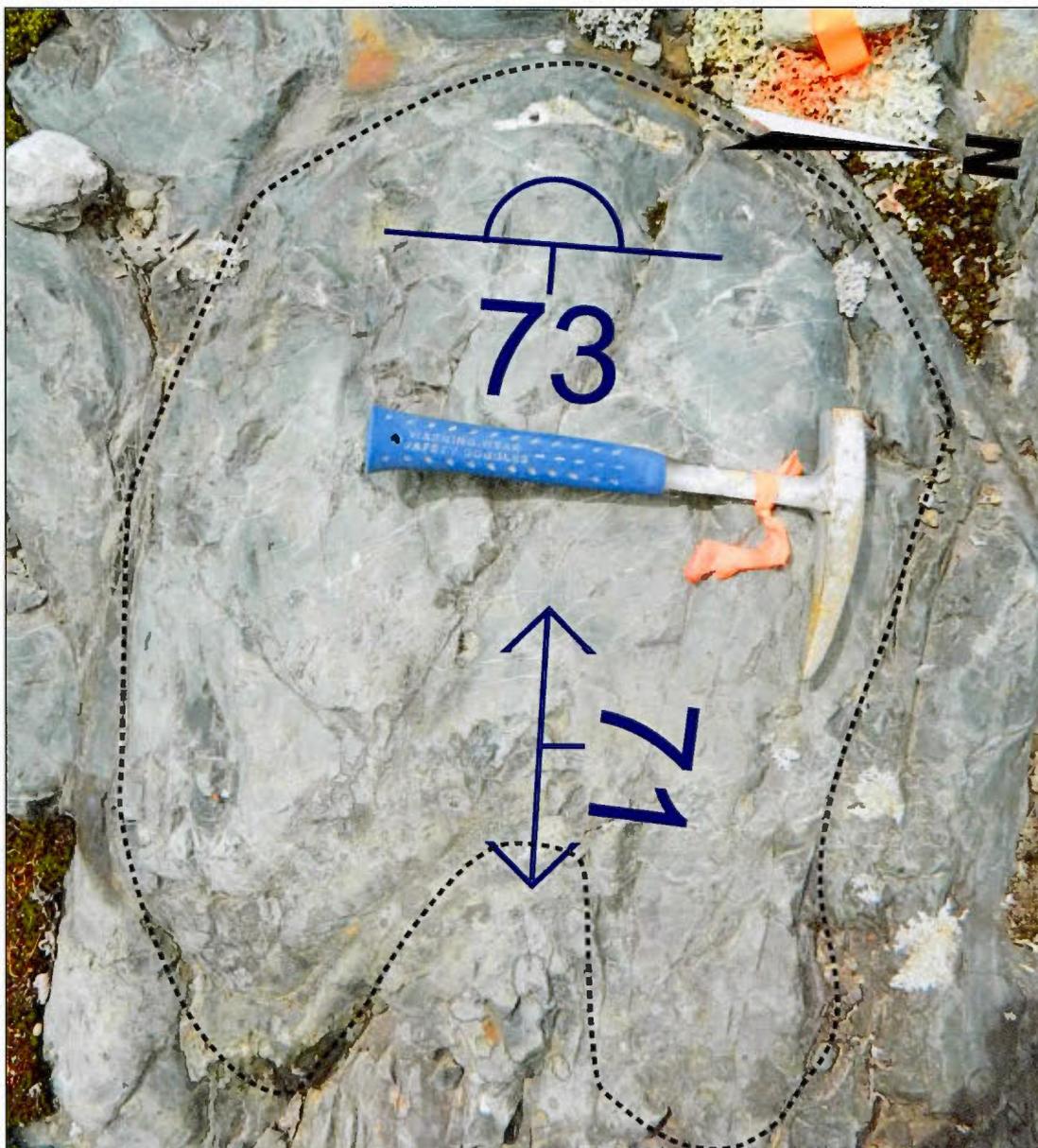


Figure 2.2: Coussin en forme de molaire présentant un angle de près de 90° entre S_2 et S_0 à la Zone no. 8 Orion, démontrant que cet affleurement est situé près de la charnière de l'ASMH (voir la figure 2.1 pour la localisation de cette photo).

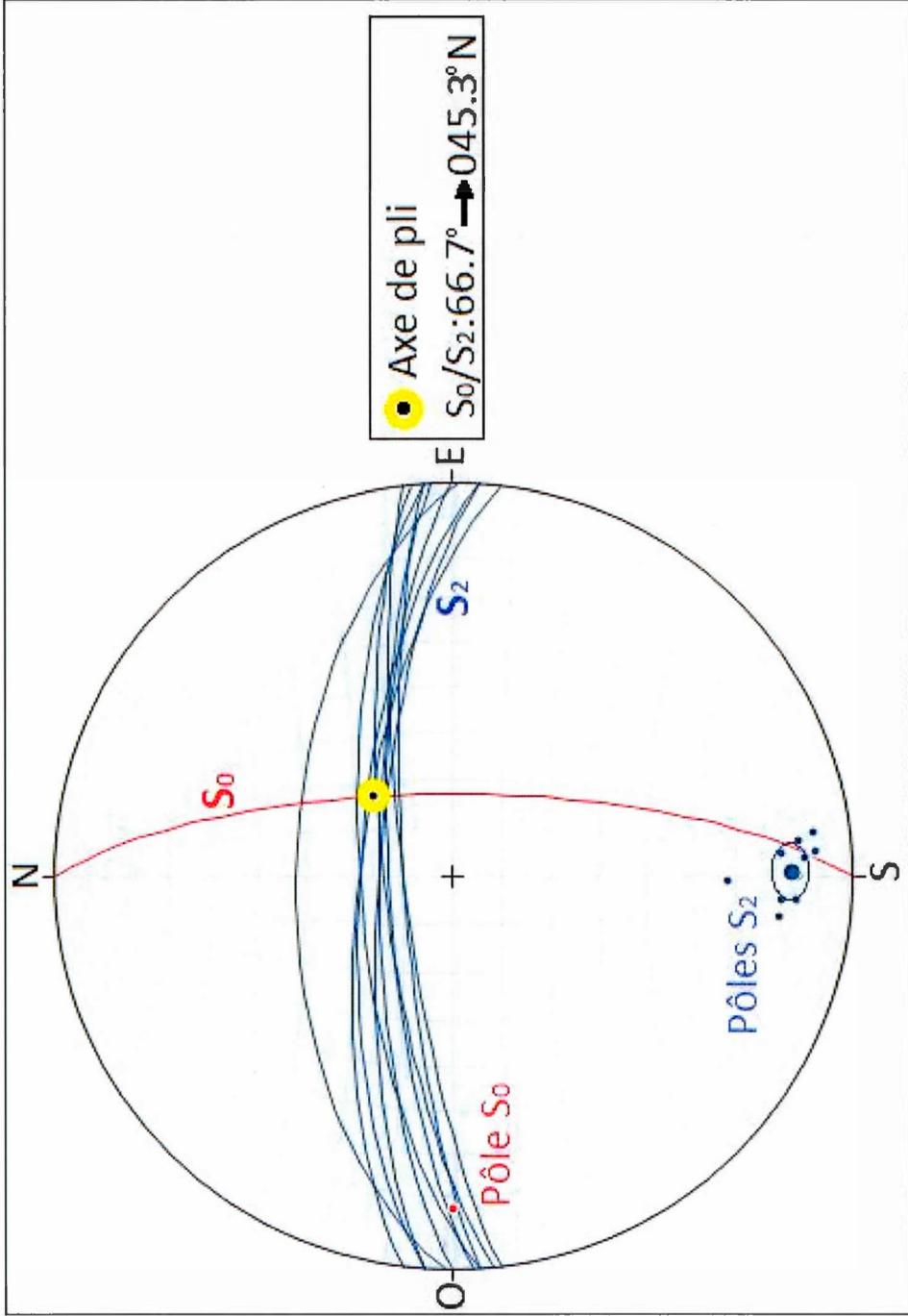


Figure 2.3: Axe de pli de l'ASMH mesuré sur stéréonet.

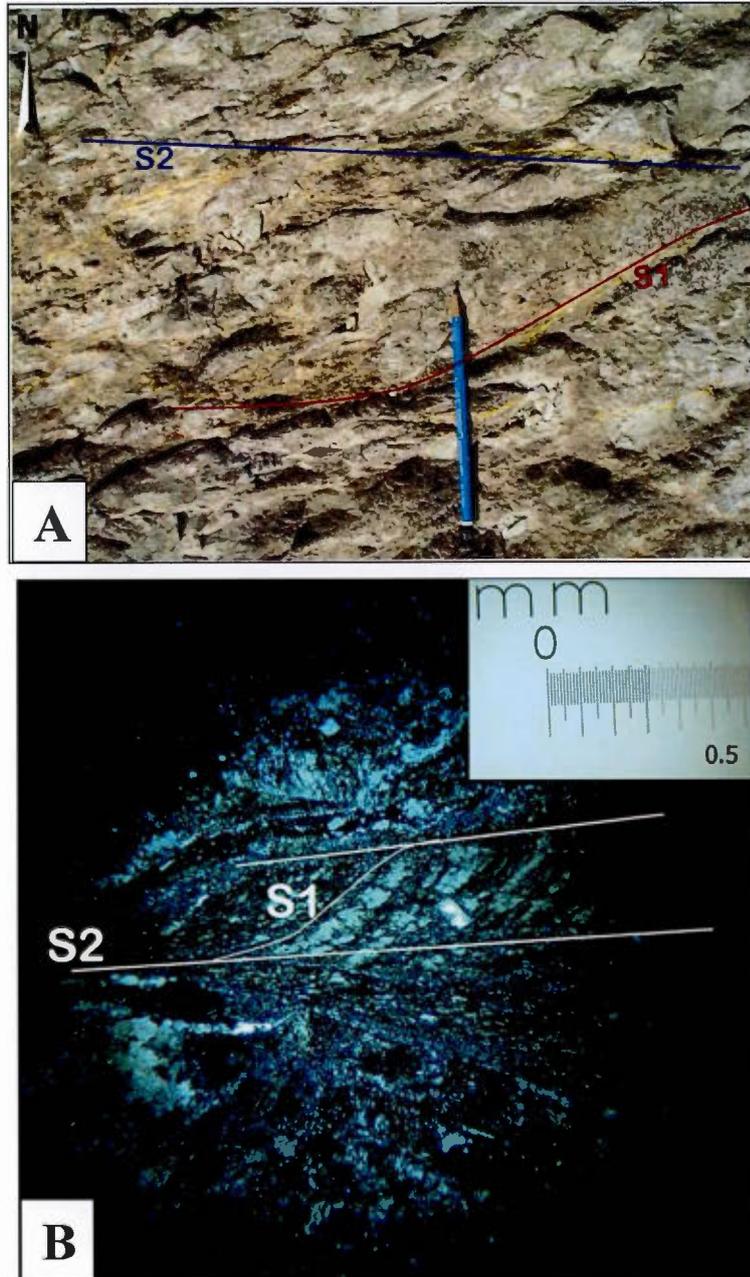


Figure 2.4: (A) Relation de recouvrement entre S_1 NE-SW et S_2 E-W. (B) Observation en lame mince : même relation de recouvrement entre S_1 NE-SW et S_2 E-W qu'en (A). Ces relations sont en accord avec un point d'observation situé sur le flanc court de l'ASM. (Voir la figure 2.1 pour la localisation)

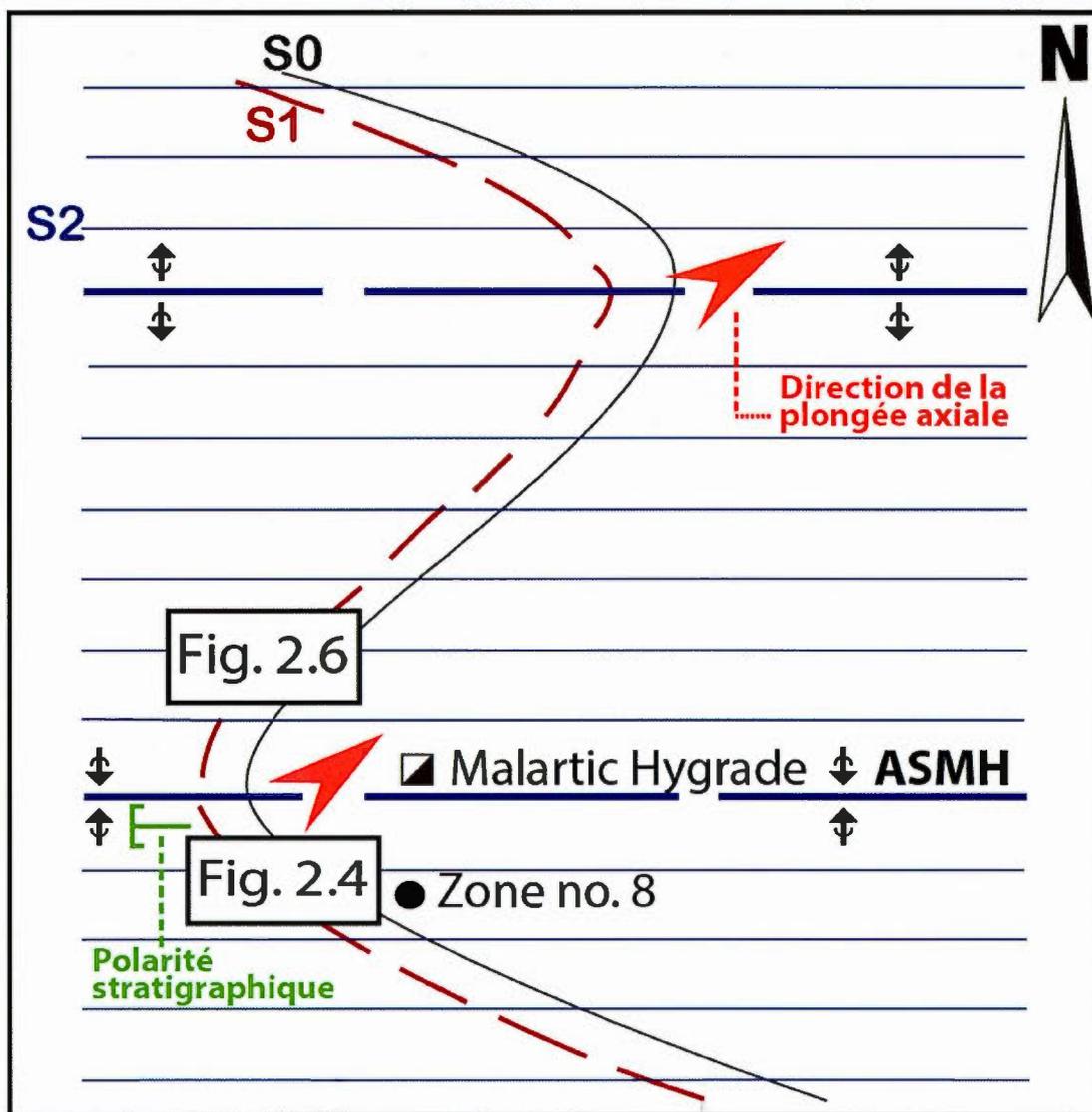


Figure 2.5: Cadre structural de la mine Malartic Hygrade. ASMH: anticlinal-synforme de Malartic Hygrade

CHAPITRE III

MINÉRALISATIONS AURIFÈRES DU SECTEUR MALARTIC HYGRADE

3.1 INTRODUCTION - LA MINE MALARTIC HYGRADE

La mine Malartic Hygrade contenait historiquement sept zones minéralisées, les Zones no. 1 à 4 et no. 8 à 10. (Trudeau et Raymond, 1992). Chacune est représentée par un cortège de veines de quartz aurifère d'orientations diverses (voir figure 2.1). Plus précisément, ces sept zones minéralisées de Malartic Hygrade présentent trois orientations préférentielles (voir le tableau 3.1). Les Zones no. 2 - 3 et 4 sont orientées est-ouest, parallèles au plan axial de l'ASMH et synchrones à la deuxième phase de déformation D_2 . Les Zones no. 8 et 10 sont orientées nord-ouest sud-est et parallèles à la stratigraphie. Les Zones 1 et 9 sont orientées nord-est, subparallèles au flanc court de l'ASMH et paraconcordantes à la stratigraphie.

Ces zones aurifères sont généralement encaissées dans les basaltes de la Formation de Jacola, principalement au contact de basaltes microgrenus ou de micro-gabbros (Trudeau et Raymond, 1992). Le gisement Orion no. 8 représente une de ces zones.

Les veines de quartz aurifères sont spatialement associées aux intrusions tonalitiques porphyriques à feldspath sur la propriété Malartic Hygrade. Elles prennent place principalement dans les unités lithologiques les plus compétentes, qui offrent une réponse cassante aux déformations. Les veines de quartz se trouvent dans les fractures ainsi que dans les zones de cisaillements.

Tableau 3.1: Synthèse des informations sur les sept zones minéralisées présentes à la mine Malartic Hygrade. (Où: Al: albite, Ac: actinote, Cb: carbonates, Cl: chlorite, Ep: épidote, Py: pyrite, Po: pyrrhotite, Cp: chalcopyrite, Sp: sphène, Ga: galène, Mo: molybdène, Pe: pentlandite, ASMH: Anticlinal synforme de Malartic Hygrade) (Trudeau et Raymond, 1992; Sauvé, 1987)

Zone no.	Altération/sulfures	Nature du corps minéralisé	Position relative à l'ASMH	Direction de la zone minéralisée	Remarques sur la zone minéralisée	Synchronisme minéralisation - déformation (Voir discussion)
1	Al-Ac-Cb-Cl-Ep/Py-Po (tr. Cp, Sp, Ga, Mo, Pe)	Veine de quartz dans une fracture reliée au cisaillement EW	Flanc court	025°/85°	Veine crénulée selon S ₂ , les extrémités coïncident avec des cisaillements EW	Pré-D ₂
2	Cb	Lentilles de quartz multiples déchiquetées par le cisaillement E-W	Charnière	260°/65°	Présence de tonalite porphyrique	D ₂
3		Plusieurs lentilles de quartz	Flanc court	240°/75°	Dans une zone cisailée	D ₂
4		Veine de quartz, gabbro bréchifié	Flanc court	270°/N	Présence de tonalite porphyrique	D ₂
8	Cl-Al-Ac-Cb/Py-Po	Veine de quartz, veines de quartz d'extension, brèche de faille basaltique, basaltes coussinés pyriteux	Charnière-Flanc long	320°/45°	- Albitisation - Présence de tonalite porphyrique - Recoupée par un cisaillement orienté NW	Pré-D ₂
9		Veine de quartz et sub-parallèle à l'allongement d'une tonalite porphyrique dans une zone cisailée	Flanc court	060°/90°	Située dans une charnière de pli mineur parasite associé à l'ASMH	Pré-D ₂
10		Même contexte que Zone no. 8	Flanc long - charnière	315°/50°	Même que Zone no. 8	Pré-D ₂

3.2 LA ZONE NO. 8 ORION

3.2.1 Généralités

La Zone minéralisée no. 8 Orion (voir figure 3.1) est encaissée dans le faciès coussiné d'une séquence volcanique mafique de la Formation de Jacola. La minéralisation aurifère est orientée à 315°N et est subparallèle à la stratigraphie selon la coupe schématique de la figure 3.5. La zone minéralisée affleure sur près de 100 m et se poursuit sur 600 m en profondeur. Cette minéralisation, délimitée au nord-est et au sud-ouest par des failles, est encaissée dans le cisaillement Orion. La Zone no. 8 Orion montre un pendage de 45° Est, qui devient plus abrupt (80°) vers 300 m de profondeur selon les forages (voir figure 3.2). À cette profondeur, la minéralisation apparaît subparallèle à la trajectoire interprétée de la zone de faille Norbenite (Trudeau et Raymond, 1992). L'éponte supérieure, au nord-est, est constituée majoritairement de basaltes grenus ainsi que de coulées ultramafiques. L'éponte inférieure se compose de coulées basaltiques, aphanitiques, coussinés à bréchiques, de population « B », telle que distinguée et décrite dans le chapitre 4: Géochimie de la région étudiée et des quatre populations d'intrusions tonalitiques, où les populations « A », « B » et « C » (voir description géochimique au chapitre 4) sont présentes en affleurement (voir figure 3.3).

3.2.2 Faciès minéralisés

Les premières manifestations de la minéralisation aurifère prennent place sous la forme de veines de quartz d'extension subverticales orientées nord-sud (voir figure 3.4A et 3.5A), et du stockwerk de veines de quartz qui fragmente le basalte encaissant (voir figure 3.4B) auxquelles est associée une albitisation et une pyritisation intense des basaltes encaissants. Les veines de quartz nord-sud font 5 à 10 cm d'épaisseur et se suivent sur environ 5 m au nord-ouest de l'affleurement, suivi au sud-est par le stockwerk de veines de quartz. Ce réseau de veines de quartz fait la transition entre les filons massifs de veines de quartz et le basalte de l'éponte nord. Les veines constituant ce stockwerk sont centimétriques à décimétriques, composées de quartz-albite et or. Le basalte qu'elles fragmentent est chloritisé, pyritisé et contient de 3 à 10% de pyrrhotite (Trudel et Sauvé, 1992).

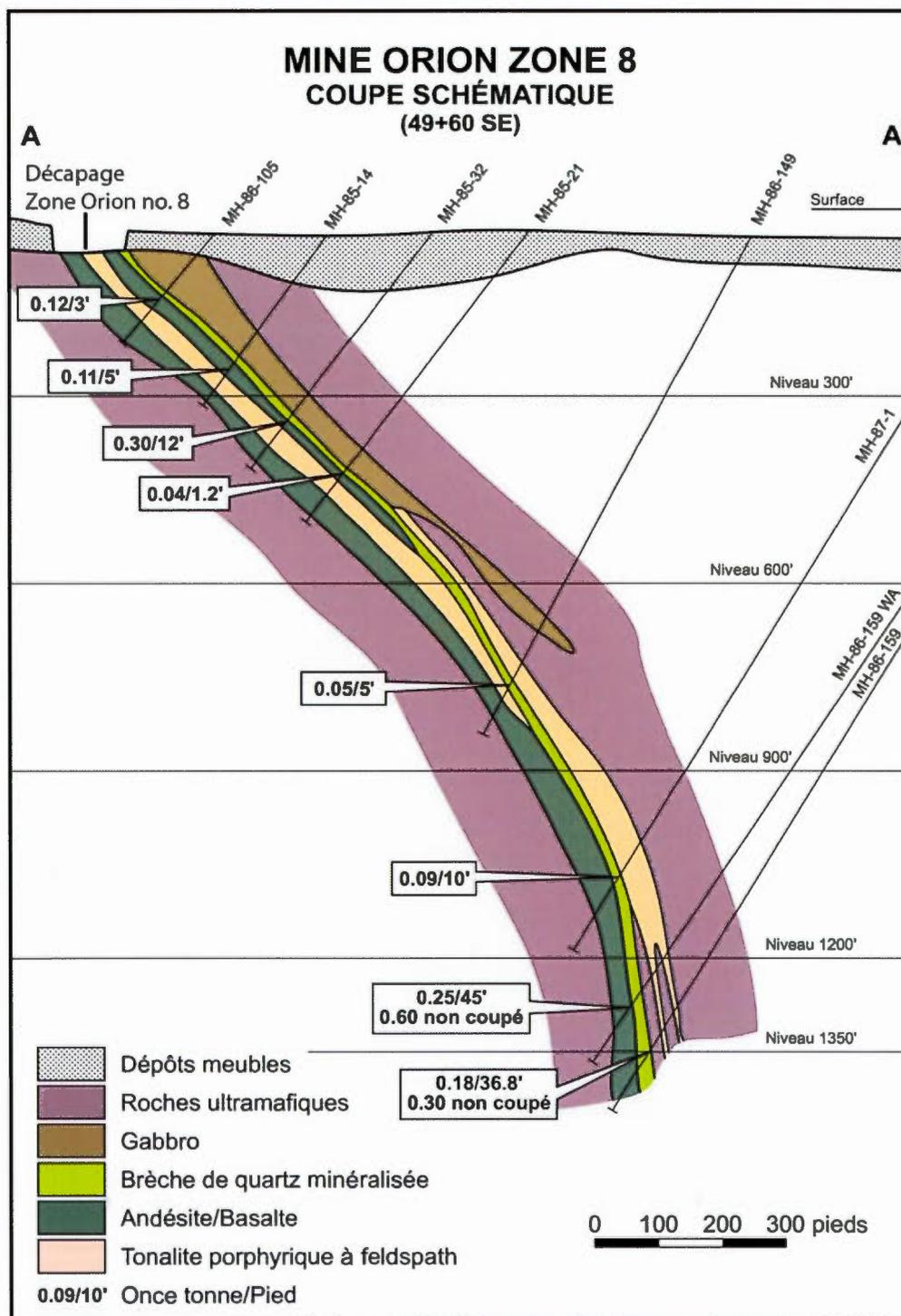


Figure 3.2: Coupe schématique de la Zone no. 8 Orion, selon Trudeau et Raymond (1992). Voir figure 3.1 pour la localisation.

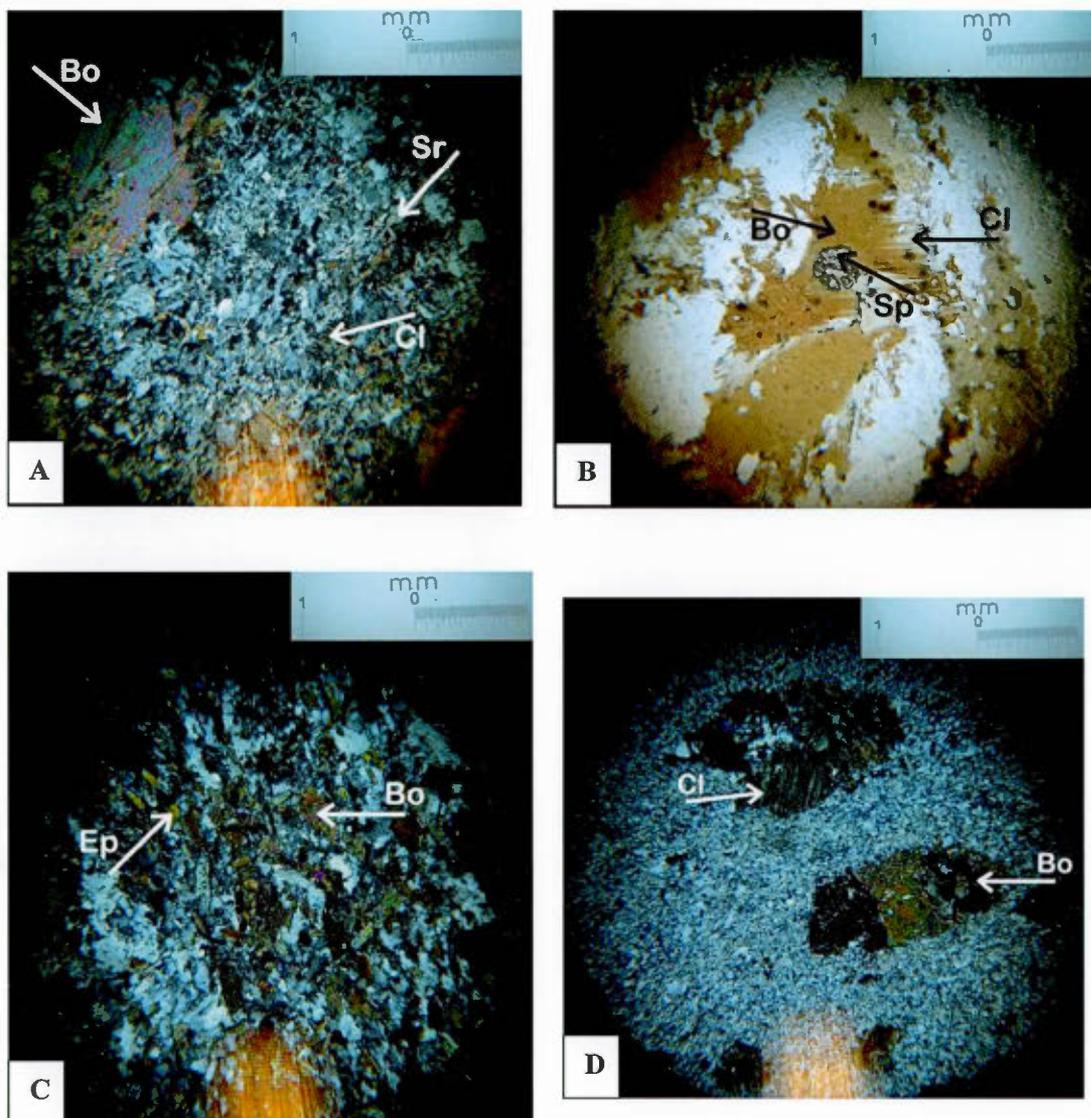


Figure 3.3: Photomicrographies des trois populations de tonalite à la Zone no. 8. **(A)** Population « A » (aurifère) dans laquelle des bâtonnets de séricite (Sr) sont alignés dans S2 et présence de biotite (Bo) automorphe et d'amas de chlorite (Cl). **(B)** Population « A », où la chlorite remplace la biotite, contient des cristaux de sphène automorphe. **(C)** Population « B » caractérisée principalement par la grande quantité de feuillets de biotite et d'épidote automorphe. **(D)** Population « C », tonalite à matrice très fine et feuillets de biotite remplacés par la chlorite.

Il a été observé dans ce faciès que la pyrite se concentre principalement dans les veinules de chlorite (voir figure 3.6).

Les basaltes encaissant pyritisés sont coussinés et constituent un second type de minéralisation (voir figure 3.4A et 3.5A). Ils peuvent contenir de 5 à 10% de pyrite et par endroit à 20% de pyrite cubique disséminée xéno- à sub-automorphe passant de grains très fins à des cristaux millimétriques (Trudeau et Raymond, 1992). La pyrite est majoritairement concentrée dans les bordures de coussins (voir figure 3.5A). Le dernier type de minéralisation est le filon de quartz massif qui contient une part importante d'albite (voir figure 3.4C) (Trudel et Sauvé, 1992). L'or est visible par endroit en quantité impressionnante, mais la teneur de ce faciès minéralisé demeure variable.

3.2.3 Altérations

3.2.3.1 Albitisation

Au cœur du gisement, où se concentre la minéralisation, se trouve un halo d'albitisation associé au réseau de veines de quartz d'extension (stockwerk) et au filon de veines de quartz massif. Ce halo est délimité au nord-ouest de l'affleurement par des veines de quartz d'extension nord-sud d'une épaisseur moyenne de 5 cm (figure 3.5A et B). Cette enveloppe d'altération proximale possède une puissance variant de 2   10 m d'épaisseur en carte et délimite la minéralisation (voir figure 3.1, 3.5B et 3.7). Le basalte de la zone minéralisée présente une teinte beige-caramel en cassure fraiche associée à cette altération (voir figure 3.8). En coupe (voir figure 3.2), la zone minéralisée est parallèle à la surface stratigraphique, ce qui permet d'avancer que l'albitisation a percolé par la porositi  primaire.

Afin de qualifier et de quantifier l'enveloppe d'albitisation, vingt-deux échantillons provenant de l'affleurement de la Zone no. 8 Orion, ont été analysés géochimiquement permettant d'obtenir leur ratios Na/Al respectifs. Le tableau 3.2 présente les données obtenues en fonction des différentes lithologies et de leur localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone aurifère. La figure 3.9 présente la cartographie détaillée de la Zone no. 8 Orion et les

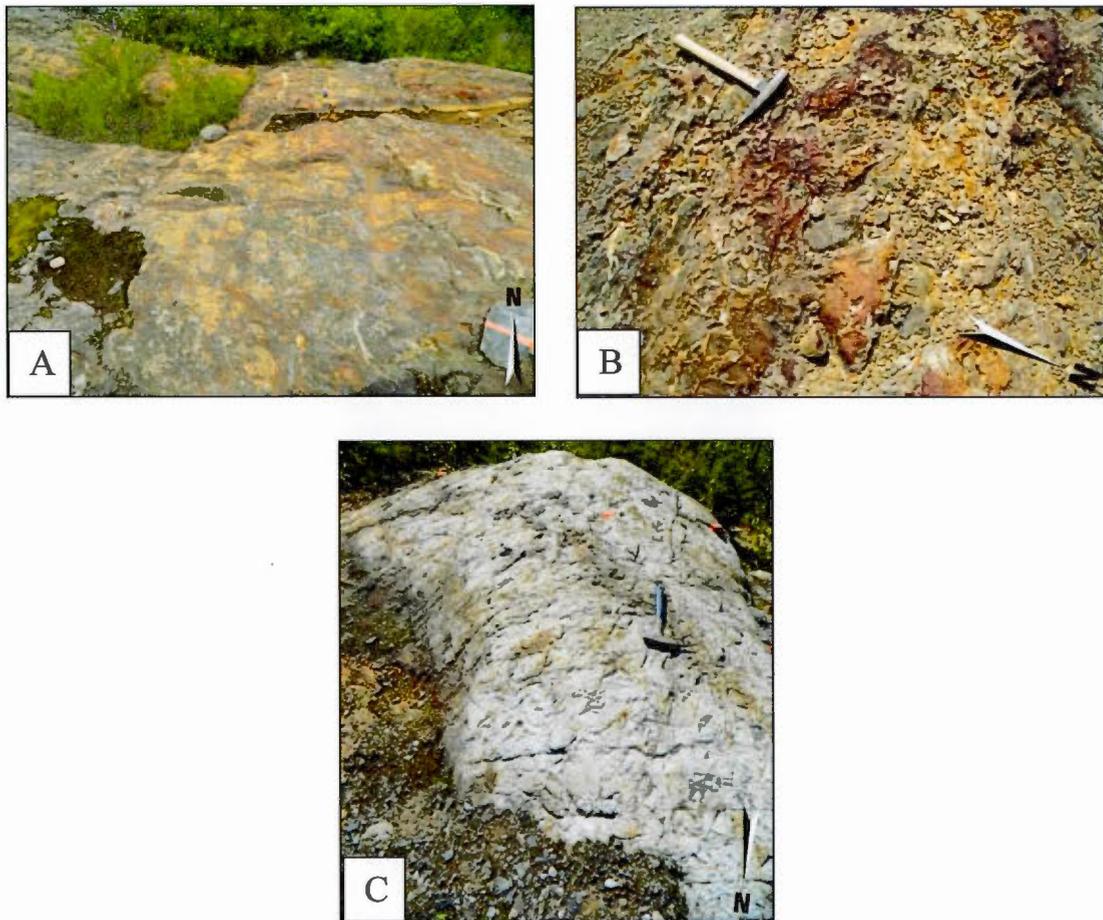


Figure 3.4: Les trois faciès minéralisés de la Zone no. 8 Orion : (A) Veines de quartz nord-sud et le basalte coussiné pyriteux; (B) le réseau de veines de quartz d'extension; (C) Le filon de veines de quartz massif.

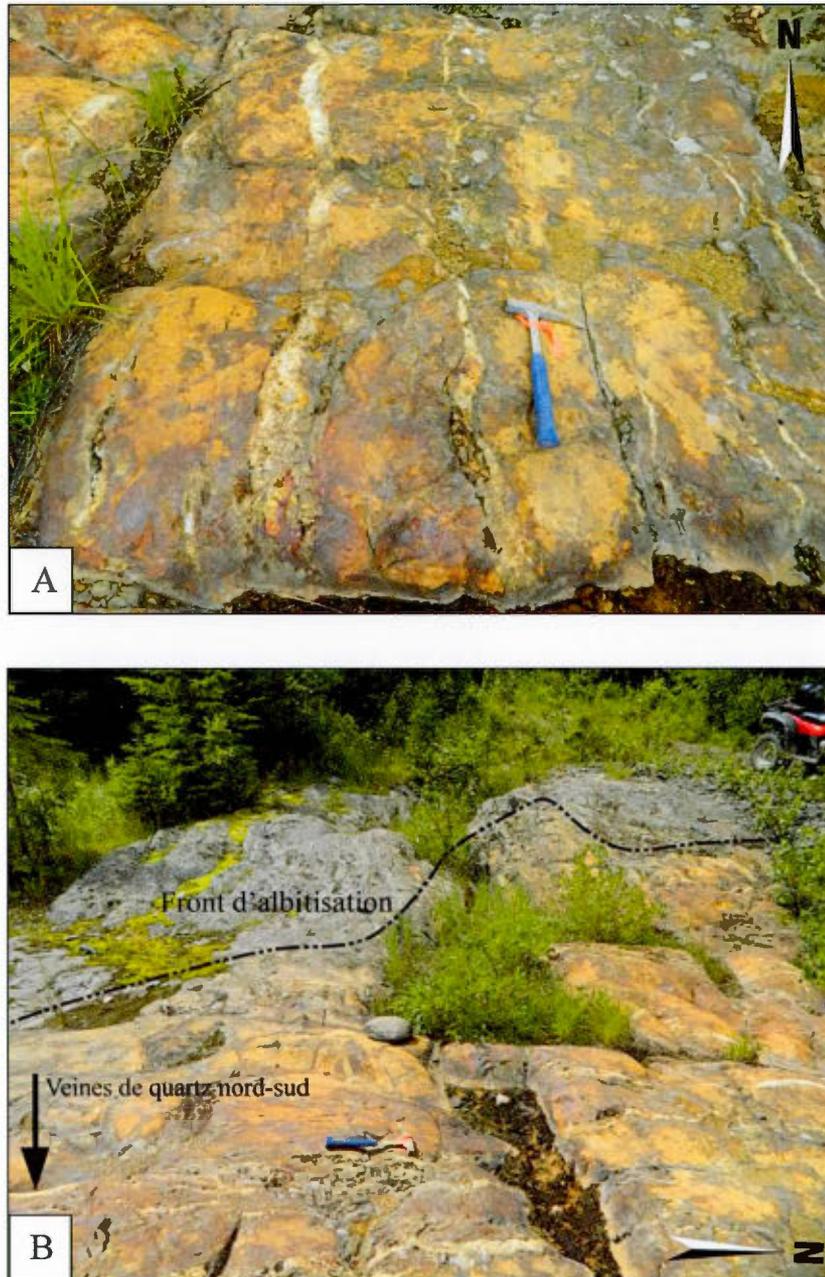


Figure 3.5: (A) Veines de quartz d'extension nord-sud et le basalte coussiné pyriteux; (B) Veines de quartz nord-sud et l'albitisation associée au basalte coussiné encaissant qui délimite la zone minéralisée.



Figure 3.6: Pyrite concentrée dans des veinules de chlorite.

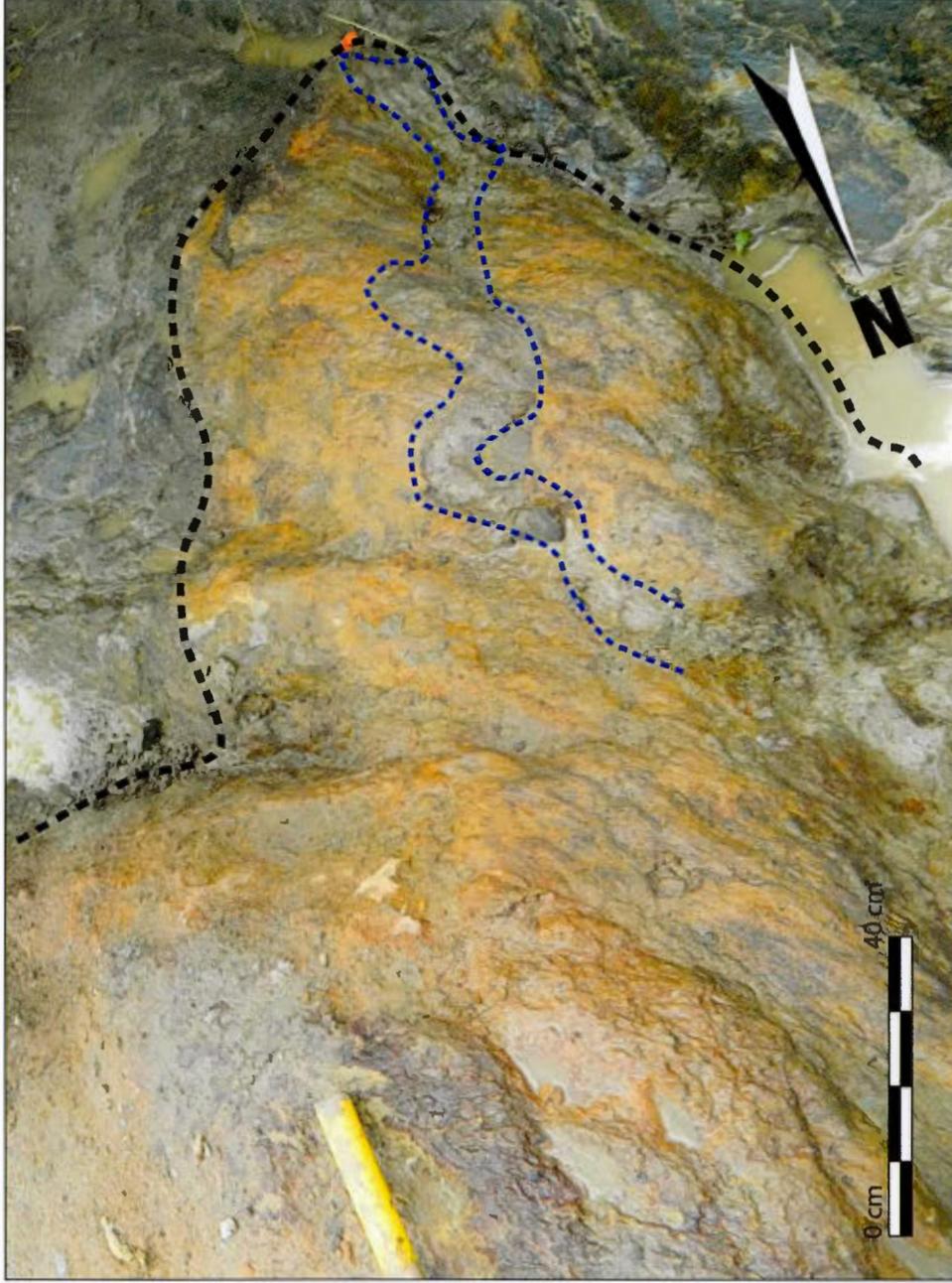


Figure 3.7: Veine de quartz nord-sud (pointillé bleu) avec son halo d'albitisation (pointillé noir) qui délimite clairement la zone minéralisée.

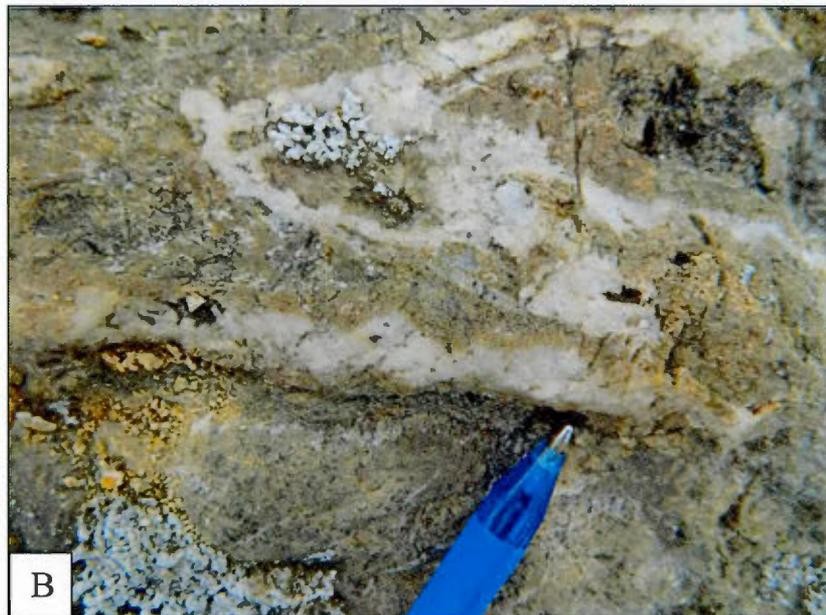


Figure 3.8: (A) Échantillon provenant du faciès minéralisé du réseau de veines de quartz, où le basalte encaissant présente une teinte beige-caramel associée à l'albitisation; (B) Veine de quartz présentant un halo de couleur beige illustrant une intense albitisation du basalte encaissant.

Tableau 3.2: Variation des valeurs du ratio Na/Al en fonction des différentes lithologies et de leur localisation par rapport à la Zone no. 8 Orion.

Lithologie		Tonalite « A »	Tonalite « B »	Tonalite « C »	Basalte « B »
Localisation		Intérieur de la zone minéralisée			
Valeur de Na/Al		0.388	0.499	0.227	0.513
			0.136		0.473
			0.398		
			0.310		
			0.344		
Localisation		Extérieur de la zone minéralisée			
Valeur de Na/Al	Près de la zone minéralisée  Loin de la zone minéralisée	0.561	0.489	0.479	0.250
			0.226	0.485	0.286
					0.351
					0.389
					0.350
					0.143
					0.193

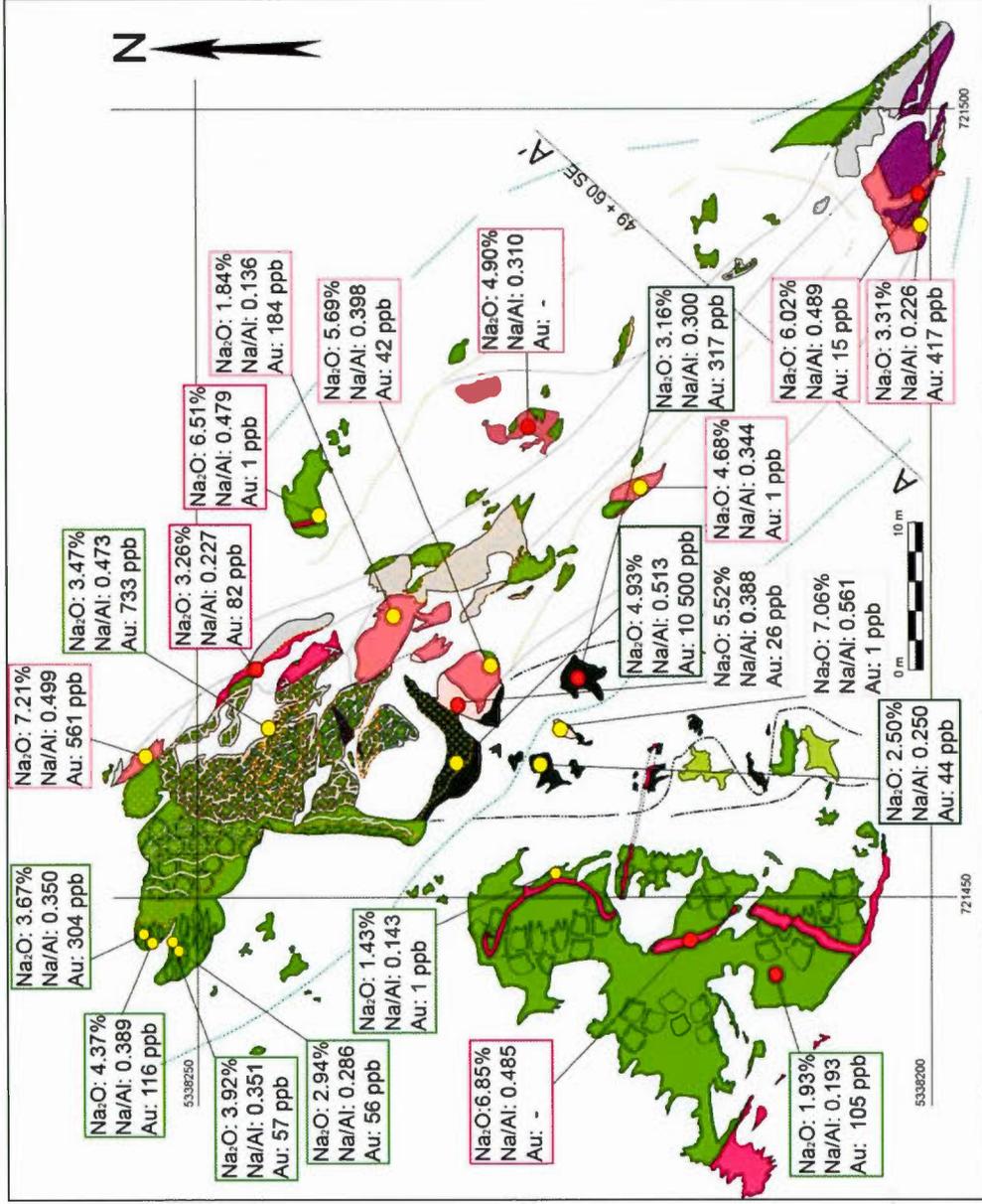


Figure 3.9: Cartographie détaillée de la Zone no. 8 Orion présentant les données géochimiques en lien avec l'abtitisation et les teneurs aurifères. La couleur des boîtes de données correspond aux lithologies (voir la légende de la figure 3.1).

valeurs de Na_2O , Na/Al (telles que décrites et analysées aux sections 4.1.2 et 4.2.2) et Au de chaque échantillon.

Il est à noter que les données des basaltes éloignés des zones minéralisées et provenant de la série de forages, MH-87-101 à MH-87-110, située au nord-ouest du secteur de Malartic Hygrade (voir figure 2.1) ont été utilisées afin d'établir un ratio Na/Al de base, dont la valeur moyenne est de 0.292.

Les ratios Na/Al provenant des basaltes de la Zone no. 8 sont plus élevés dans la zone minéralisée (0.513 et 0.473) qu'à l'extérieur. De plus, les échantillons les plus distants de la zone aurifère présentent des valeurs plus petites (0.193 et 0.143), alors que les échantillons plus près de la zone ont des ratios variant de 0.250 à 0.389.

Suite à ces observations, il est évident que les basaltes dans la zone aurifère de la Zone no. 8 Orion présentent une albitisation. Cependant, les ratios Na/Al provenant des trois populations d'intrusion tonalitiques sont faibles et très irréguliers. Selon Trudel et Sauvé (1992), les teneurs en or obtenues lors des années de production du secteur Malartic Hygrade sont en moyenne largement au-delà de 5 g/t, (5000 ppb). De ce fait, les teneurs obtenues lors de l'analyse des intrusions tonalitiques sont grandement inférieures et sporadiques. Ces dykes ne semblent donc pas avoir contribué à la mise en place de la minéralisation aurifère.

3.2.3.2 Chloritisation

L'enveloppe de chloritisation distale à la minéralisation englobe le halo d'albitisation. Cette altération en chlorite a fragilisé le basalte encaissant, ce qui a favorisé la percolation des fluides qui ont albitisés préalablement la zone minéralisée. L'altération produite par la chlorite présente une teinte bleutée sur les basaltes et une altération en carbonates-talc-chlorite dans l'unité ultramafique qui se trouvent au sud-est de cette zone minéralisée, dans laquelle une forte schistosité pénétrative (S_2) est enregistrée. Cette enveloppe de chloritisation possède une puissance variant de un à une dizaine de mètres dans l'unité ultramafique au sud-est de l'affleurement (voir figure 3.1).

3.2.3.3 Pyritisation

La pyrite est le sulfure dominant de cette zone minéralisée. La présence de ce sulfure est restreinte à l'enveloppe d'albitisation au cœur de la zone minéralisée (voir figure 3.4 et 3.5). Selon Trudel et Sauvé (1992), ce sulfure est présent principalement dans les veinules ou amas de chlorite, d'albite et de carbonates (voir figure 3.6). De plus, de faibles quantités de pyrrhotite, chalcopyrite, galène, sphalérite, molybdénite et de tellures sont présentes (Sauvé, 1987).

3.2.3.4 Porphyroblastes d'actinote

Des porphyroblastes d'actinote se retrouvent uniquement à l'intérieur du faciès d'altération riche en albite du basalte. Afin d'obtenir la formation de ces porphyroblastes, le basalte encaissant doit présenter, suite aux épisodes d'altération, une composition favorable, plus magnésienne. L'actinote est sub-automorphe à automorphe et se présente sous la forme de bâtonnets aciculaires millimétriques sans orientation préférentielle. Cette organisation aléatoire dans la disposition de ces cristaux témoigne du développement tardif de ce halo d'altération, qui n'a subi aucune contrainte depuis sa formation (voir figure 3.10).

3.2.3.5 Carbonatation

Un test de coloration des carbonates à l'alizarine rouge a été effectué sur douze échantillons provenant de la Zone no. 8 Orion et de la Zone no. 9. Voir l'annexe A pour les détails de la méthode utilisée et les photographies des résultats.

Il a été démontré que la calcite est clairement le carbonate prédominant de la zone minéralisée du gisement Orion, avec l'ankérite, qui caractérise une surface d'altération d'environ un centimètre. La zone d'altération distale est composée de carbonates ferrifères, tels que la dolomie ou l'ankérite. Aucune des intrusions felsiques testées n'a indiqué la présence de carbonates.



Figure 3.10: Altération en actinote, sans orientation préférentielle.

3.2.4 Éléments structuraux

À la Zone minéralisée no. 8 Orion, la stratigraphie S_0 , est soulignée par une séquence basaltique présentant des faciès massif, coussiné et bréchique, en plus d'une chambre de quartz dans un coussin en forme de molaire. La surface S_0 est orientée vers le nord-nord-ouest, avec un pendage subvertical à polarité inverse. Par ailleurs, une relation à près de 90° entre S_2 et S_0 est observable dans le faciès coussiné des basaltes non pyriteux (voir figure 2.4), ce qui suggère que cet affleurement se situe très près de la charnière du pli P_2 de l'anticlinal synforme de Malartic Hygrade (voir figure 2.1, 2.5 et 2.7).

La seconde phase de déformation D_2 se matérialise par un clivage espacé et par l'étirement des coussins basaltiques est-ouest à l'extérieur de la zone minéralisée. À l'approche du corps minéralisé plus compétant, la schistosité S_2 et l'allongement associé à l'étirement des coussins basaltiques présentent une inflexion et l'orientation de cette fabrique subit une rotation de est-ouest à nord-ouest sud-est (voir figure 3.11 et 3.12). Au cœur de la zone minéralisée, cet épisode de déformation s'observe par une schistosité est-ouest, ainsi que par un alignement préférentiel des minéraux mafiques dans les intrusions tonalitiques (voir figure 3.13). Cependant, à l'extrémité nord-ouest de la zone aurifère, les basaltes en coussins albitisés par les veines de quartz nord-sud ne présentent que peu ou pas d'évidences de déformation, alors que ceux chloritisés présentent une fabrique S_2 bien développée. Cette distinction permet de suggérer que les unités volcaniques albitisées ont été protégées de la déformation régionale par l'effet de l'albitisation intense. Cet épisode d'albitisation serait ainsi antérieur à la seconde phase de déformation. De plus, de minces veines de quartz minéralisées d'orientation Nord-Sud, avec front d'albitisation, situées en périphérie de la zone minéralisée principale, sont crénelées par une fabrique S_2 (voir figure 3.14).

Le cisaillement Orion, qui englobe la Zone no. 8 Orion et la Zone no. 10 se matérialise en affleurement par plusieurs petits cisaillements orientés nord-ouest à pendage variable entre 43° et 74° vers l'Est. Leur attitude démontre des ressemblances avec les cisaillements Marbenite et Norbenite entre lesquels il se situe. Des stries de glissement plongeant vers l'est sur ces plans de cisaillements-failles tardifs permettent d'interpréter la présence d'un

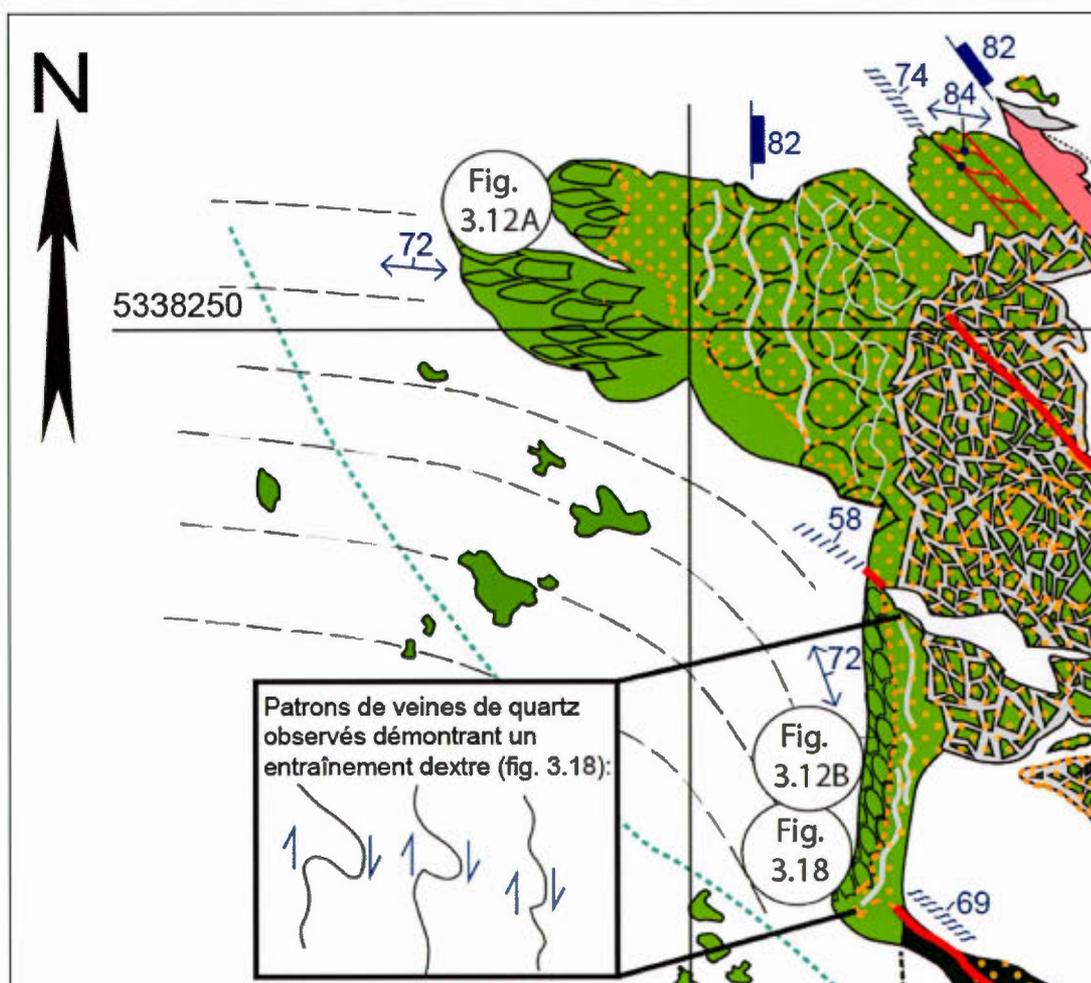


Figure 3.11: Agrandissement de la partie nord-ouest de l'affleurement du gisement Orion Zone no. 8 montrant l'inflexion de la fabrique S_2 à l'approche de la zone minéralisée et la localisation des deux photos de la figure 3.12.

Localisation de la figure 3.18 illustrant des veines de quartz nord-sud avec des patrons d'entraînement dextres.

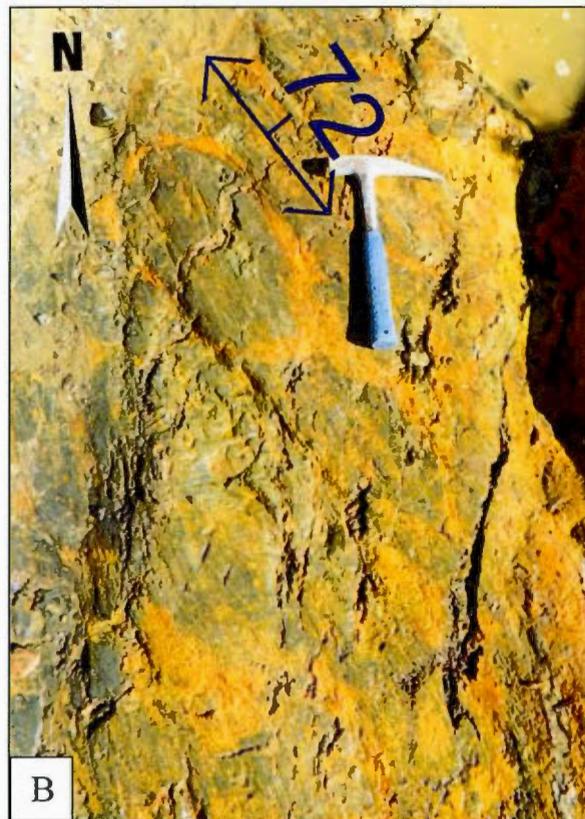
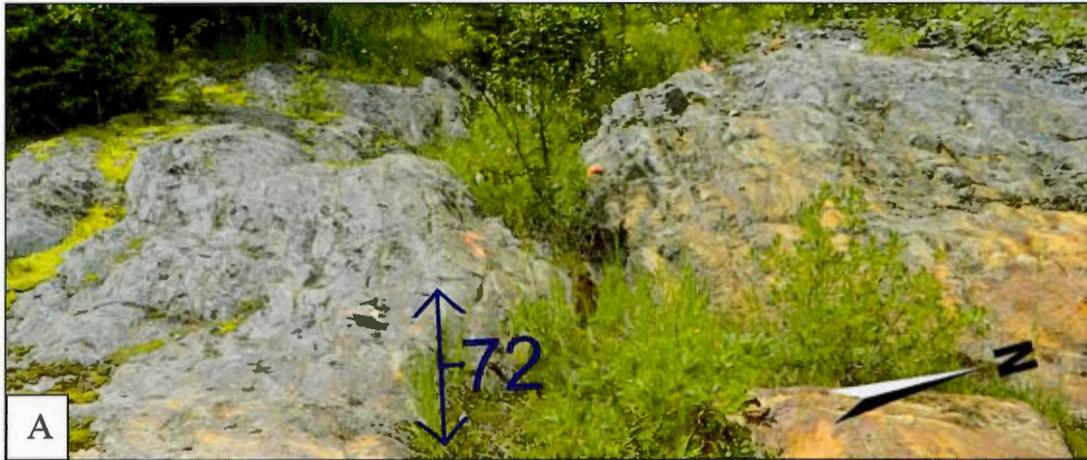


Figure 3.12: (A) Étirement est-ouest des basaltes en coussins dû au second épisode de déformation D_2 ; (B) Étirement nord-ouest sud-est des coussins basaltiques causé par D_2 à l'approche de la zone minéralisée.

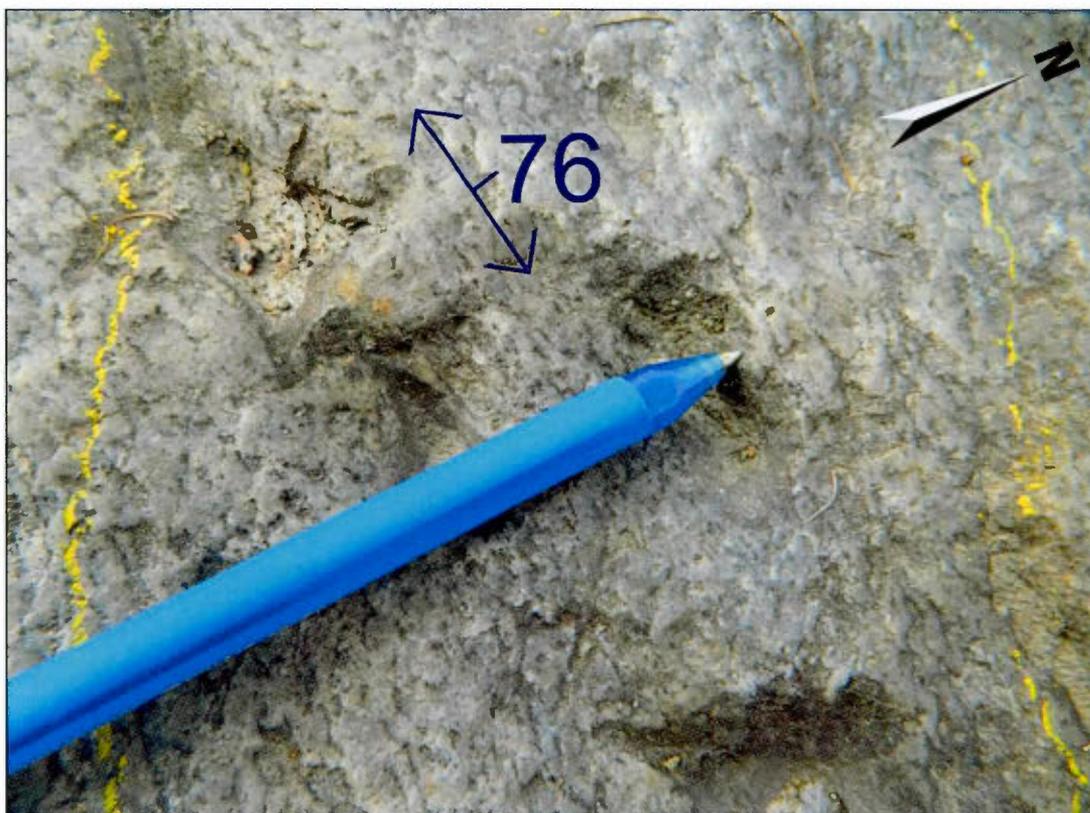


Figure 3.13: S₂ matérialisé par un alignement préférentiel des minéraux mafiques dans une tonalite de population « A » à la Zone Orion no. 8 (voir la figure de localisation 3.1).



Figure 3.14: Veines de quartz nord-sud, qui albitisent et délimitent la minéralisation au nord-ouest de l'affleurement du gisement Orion Zone no. 8, crénulées par S_2 .

mouvement normal-dextre le long de ces structures (Voir figure 3.15). Ces cisaillements recoupent et délimitent la zone minéralisée (Voir figure 3.16 et 3.17), qui était probablement originalement orientée nord-sud, soit la direction des veines de quartz de même direction. Aussi, ces veines présentent des indicateurs cinématiques illustrant un entraînement apparent dextre (voir figure 3.11 et 3.18). De plus, il est communément observé qu'un clivage et des failles orientés Nord-Ouest/Sud-Est recoupent et perturbent la trajectoire de S_2 en créant un mouvement normal dextre. La linéation d'étirement sur le plan S_2 est inclinée vers l'est (voir figure 3.15). Cette relation permet d'interpréter que les failles et cette fabrique Nord-Ouest/Sud-Est sont tardives, ou encore que certaines de ces failles ont été réactivées par rapport à S_2 . Ces failles pourraient ainsi représenter la réactivation de fractures précoces orientées nord-ouest/sud-est, lesquelles auraient favorisé le passage de fluides aurifères et auraient par la suite accommodé l'épisode de déformation D_2 .

3.2.5 Géochronologie

Une datation U/Pb a été effectuée sur une intrusion felsique de la Zone no. 8 Orion dans le but de contraindre dans le temps l'épisode minéralisateur de ce gisement.

3.2.5.1 Sélection de l'échantillon

L'échantillon d'intrusion felsique sélectionné provient du décapage de la Zone no. 8 Orion. Il est peu déformé et appartient à la population géochimique « A » (voir figure 3.1 pour la localisation). La tonalite, de laquelle provient l'échantillon, recoupe clairement la minéralisation aurifère (voir figure 3.19A). La valeur obtenue définirait donc l'âge maximum de la minéralisation.

3.2.5.2 Résultat

Cette datation U/Pb sur zircon a été effectuée par Vicki McNicoll de la Commission géologique du Canada. L'âge obtenue est de 2680 ± 1 Ma (Pilote et al., 2013).

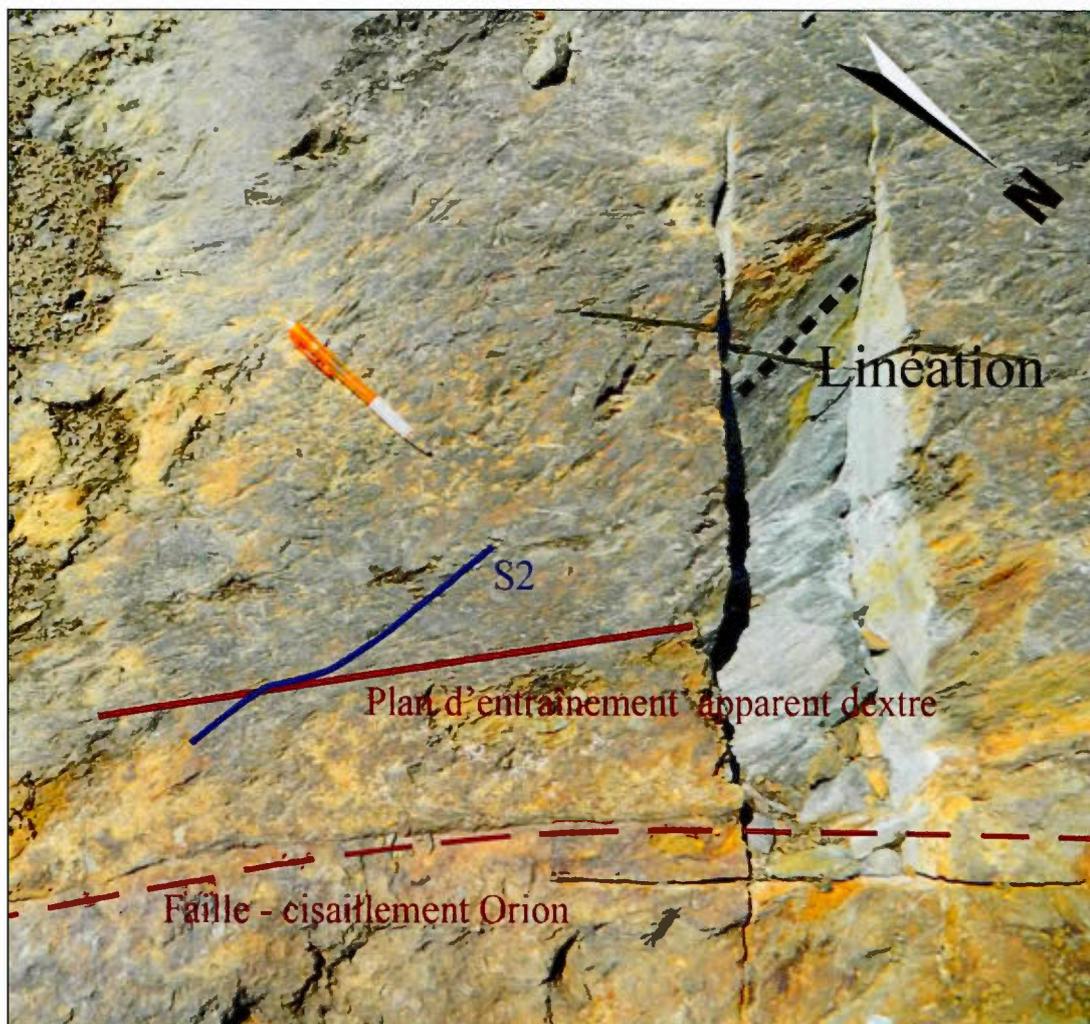


Figure 3.15: Faille qui délimite la zone minéralisée au sud-ouest, où des stries de glissement inclinées vers l'est sur le plan de faille additionnée d'un entraînement apparent dextre en plan sur la fabrique S_2 , illustrent le mouvement normal-dextre associé aux structures de cisaillements-failles orientées nord-ouest (voir la figure de localisation 3.1).



Figure 3.16: Contact faillé au sud-ouest de la zone minéralisée entre le corps minéralisé et le basalte de l'éponte inférieur (voir la localisation sur la figure 3.1).



Figure 3.17: Cisaillement orienté nord-ouest recoupant et délimitant la zone minéralisée (voir la figure de localisation 3.1).

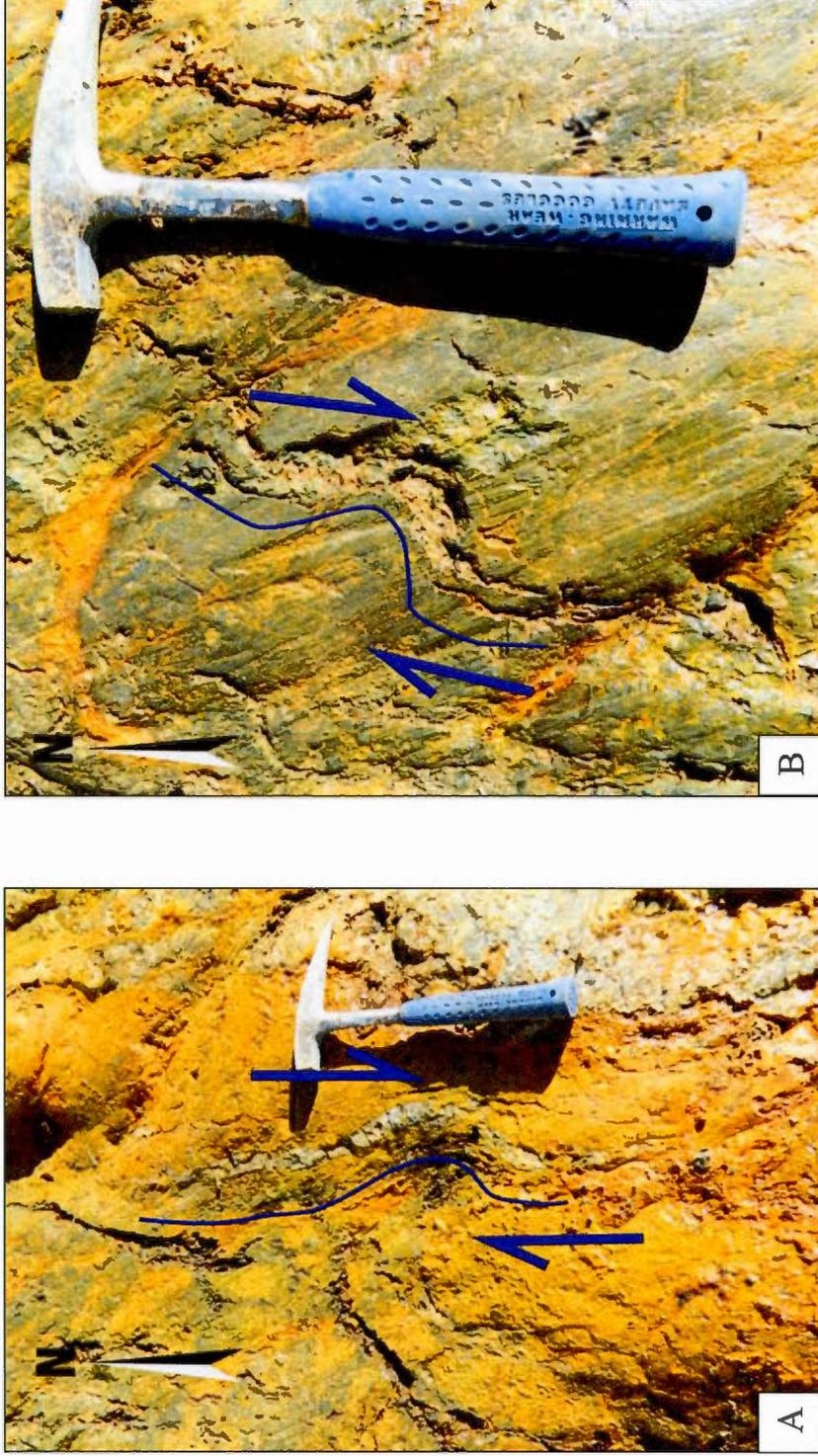


Figure 3.18: Les images (A) et (B) montrent des patrons d'entraînements dextres sur des veines de quartz nord-sud.

3.2.5.3 Discussion et conclusion

L'âge calculé indique que la minéralisation du gisement Orion Zone no. 8 est plus vieille que 2680 ± 1 Ma. La figure 3.19B met en relation les différentes données géochronologiques du secteur de Val-d'Or, incluant la nouvelle donnée de la Zone no. 8 Orion. Par ailleurs, avec cet âge, il est possible de catégoriser ce gisement, dans les minéralisations dites « anciennes » de la région de Val-d'Or.

3.2.6 Conclusions générales de la Zone no. 8 Orion

La zone minéralisée étudiée se caractérise par la présence de trois faciès minéralisés : 1) les veines de quartz et d'extension orientées Nord-Sud associées au stockwerk de veines de quartz qui fragmentent le basalte encaissant, 2) le basalte coussiné pyriteux, et 3) les filons de quartz massif.

L'altération proximale de la zone minéralisée se compose de calcite et d'ankérite. L'albitisation, associée à la mise en place du stockwerk et des veines de quartz d'extension, est intimement reliée à la minéralisation aurifère et la pyritisation du basalte coussiné encaissant. En s'éloignant de la zone minéralisée, les présences de chlorite et de carbonates ferrières tels que la dolomie, sont observées.

La surface stratigraphique est de direction Nord-Sud, subverticale, et montre une polarité inverse. Ce S_0 présente une relation à près de 90° avec la fabrique S_2 , ce qui permet de situer la Zone no. 8 Orion près de la charnière de l'ASMH. La schistosité S_2 , originellement orientée Est-Ouest, se bute à la zone minéralisée albitisée, créant une inflexion dans la trajectoire de cette fabrique vers le Sud-Sud-Est.

La Zone no. 8 Orion est recoupée tardivement par le cisaillement Orion, qui se manifeste par plusieurs petits cisaillements et failles orientés vers le Nord-Ouest. Ces cisaillements tardifs ou réactivés, sont subparallèles aux cisaillements Marbenite et Norbenite, entre lesquels il est

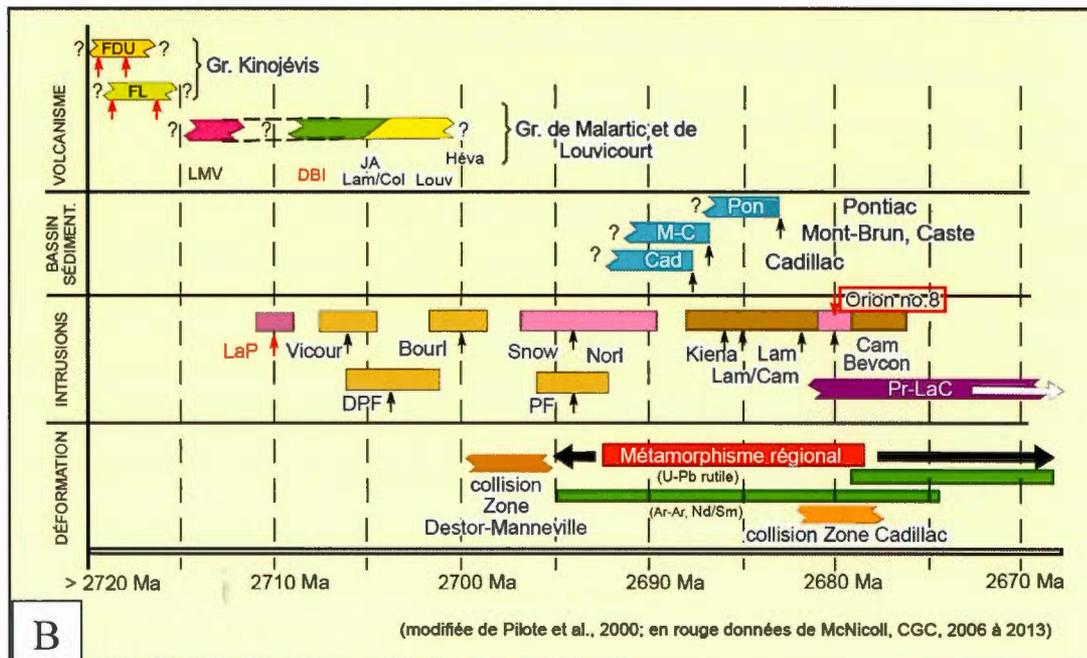
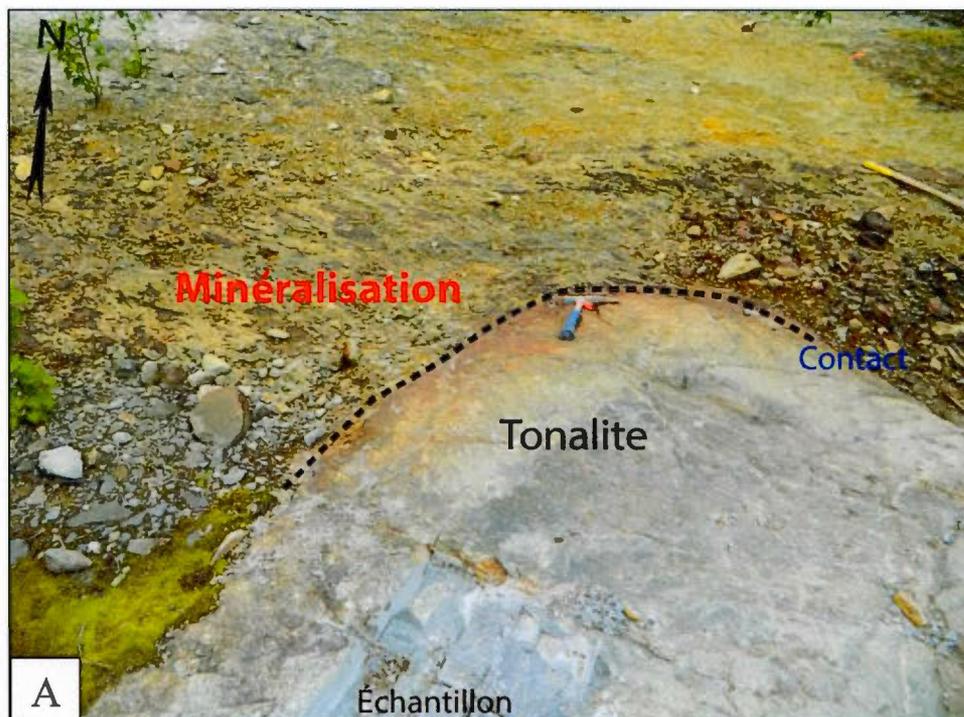


Figure 3.19: (A) Tonalite recoupant la minéralisation sur l'affleurement du gisement Zone no. 8. Orion (B) Compilation des données géochronologiques de la région de Val-d'Or-Malartic-Preissac.

localisé. En affleurement, la fabrique S_2 présente un entrainement apparent dextre causé par ce cisaillement. Sur les plans des cisaillements orientés vers le nord-ouest, des stries de glissement orientées vers l'Est suggèrent un déplacement normal-dextre le long du cisaillement Orion.

Finalement, une analyse géochronologique U/Pb sur zircon a été faite sur un échantillon d'intrusion felsique, qui recoupe clairement la zone minéralisée. L'âge obtenu permet d'affirmer que la minéralisation est plus ancienne que 2680 ± 1 Ma.

CHAPITRE IV

GÉOCHIMIE DE LA ZONE NO. 8 ORION

Afin d'obtenir une meilleure compréhension du gisement, des différentes altérations qui lui sont caractéristiques et de l'environnement géologique, un total de cent vingt-deux analyses lithogéochimiques ont été effectuées. En 2012, le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles a permis d'effectuer soixante-cinq analyses et vingt en 2013 au laboratoire Actlabs (Ancaster, Ontario) pour les éléments majeurs et mineurs (incluant les éléments des terres rares). De plus, en 2013, la Corporation Minière Niogold a réalisé trente-sept analyses géochimiques par le laboratoire ALS Chemex (Val-d'Or, Québec), les analyses économiques ont été effectuées par le laboratoire Actlabs. Il est à noter que la base de données de ces analyses géochimiques est disponible en version numérique (voir appendice A).

Les lithologies étudiées se situent dans le secteur Malartic Hygrade. Elles correspondent à la Formation de Jacola, du Groupe de Malartic. Dans un premier temps, les laves seront décrites, suivies des intrusions.

4.1 GÉOCHIMIE DES LAVES

4.1.1 Volcanites ultramafiques

En ce qui a trait aux coulées ultramafiques selon le diagramme Y en fonction de Zr (voir figure 4.1A), on remarque les faibles valeurs obtenues. Une suite tholéiitique est indiquée puisque la pente, i-e, le ratio Zr/Y (voir figure 4.1B), représentée par les données est inférieure à 5 (MacLean et Barrett, 1993). De plus, deux populations sont distinguées sur le graphique A de la figure 4.1, où les cercles noirs vides représentent la population « A » et les cercles pleins mauves, la population « B ». Un échantillon de population indéterminée est identifié par un losange mauve. Ces deux populations se distinguent sur les autres graphiques.

La population « A » est plus riche en MgO (voir figure 4.1C), et plus pauvre en Y, Zr (figure 4.1A), Al₂O₃ et TiO₂ (voir figure 4.1D). Elle se distingue par une teneur élevée en Ni et en Cr (voir figure 4.2A) où une limite à 1000 ppm a été établie et la population « A » présente un ratio Zr/Y plus élevé. De plus, la composition ultramafique de ces deux populations est montrée par les diagrammes Nb/Y vs Zr/TiO₂ et Zr/TiO₂ vs SiO₂ de Winchester et Floyd (voir figure 4.2B et C).

Quant aux terres rares (voir figure 4.3A et B), la population « A » possède un profil plat, avec de légères anomalies principalement négatives en Eu, alors que la seconde population présente un profil enrichi en terres rares lourdes avec peu d'anomalies en Eu, sauf pour un échantillon qui démontre une forte anomalie positive.

4.1.2 Volcanites mafiques

En fonction des données géochimiques analysées, les roches volcaniques mafiques présentent deux populations distinctes. Le diagramme de la figure 4.4A présente deux séries linéaires de points passant par l'origine démontrant un enrichissement plus marqué en Y et Zr comparativement aux laves ultramafiques. Ces deux droites illustrent des suites tholéitiques. De plus, sur les figures 4.4B et C, les deux populations de volcanites mafiques peuvent être distinguées, la démarcation se situant aux environs d'un ratio Zr/Y est de 2. Leur composition varie de basaltique à andésitique (voir figure 4.5A et B).

La population « A » (triangles verts pâles), en comparaison avec la population « B » (triangles verts foncés), possède un ratio Zr/Y plus élevé, une teneur en Y moindre et montre un enrichissement remarquable en Cr, ce qui se trouve à être le critère le plus discriminant entre les deux populations, la limite se trouvant vers 100 ppm en Cr (voir figure 4.4D).

Afin d'étudier le taux de silicification dans les volcanites mafiques, le contenu en SiO₂ variant de 0 à 100% a été mis graphiquement en relation avec des éléments immobiles (MacLean et Barrett, 1993; Barrett et MacLean, 1994). Les graphiques SiO₂ en fonction de

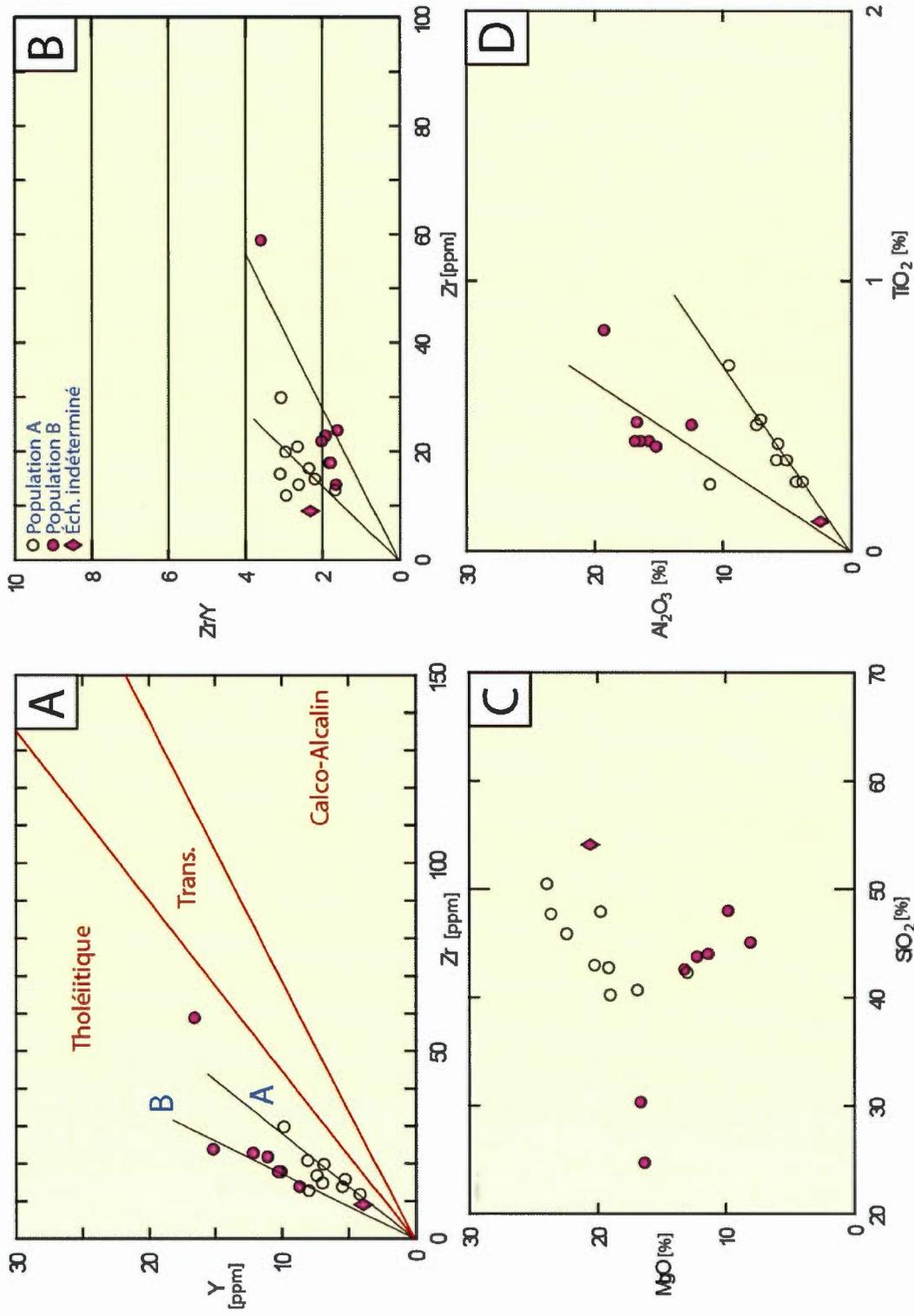


Figure 4.1: Diagrammes géochimiques pour les laves ultramafiques.

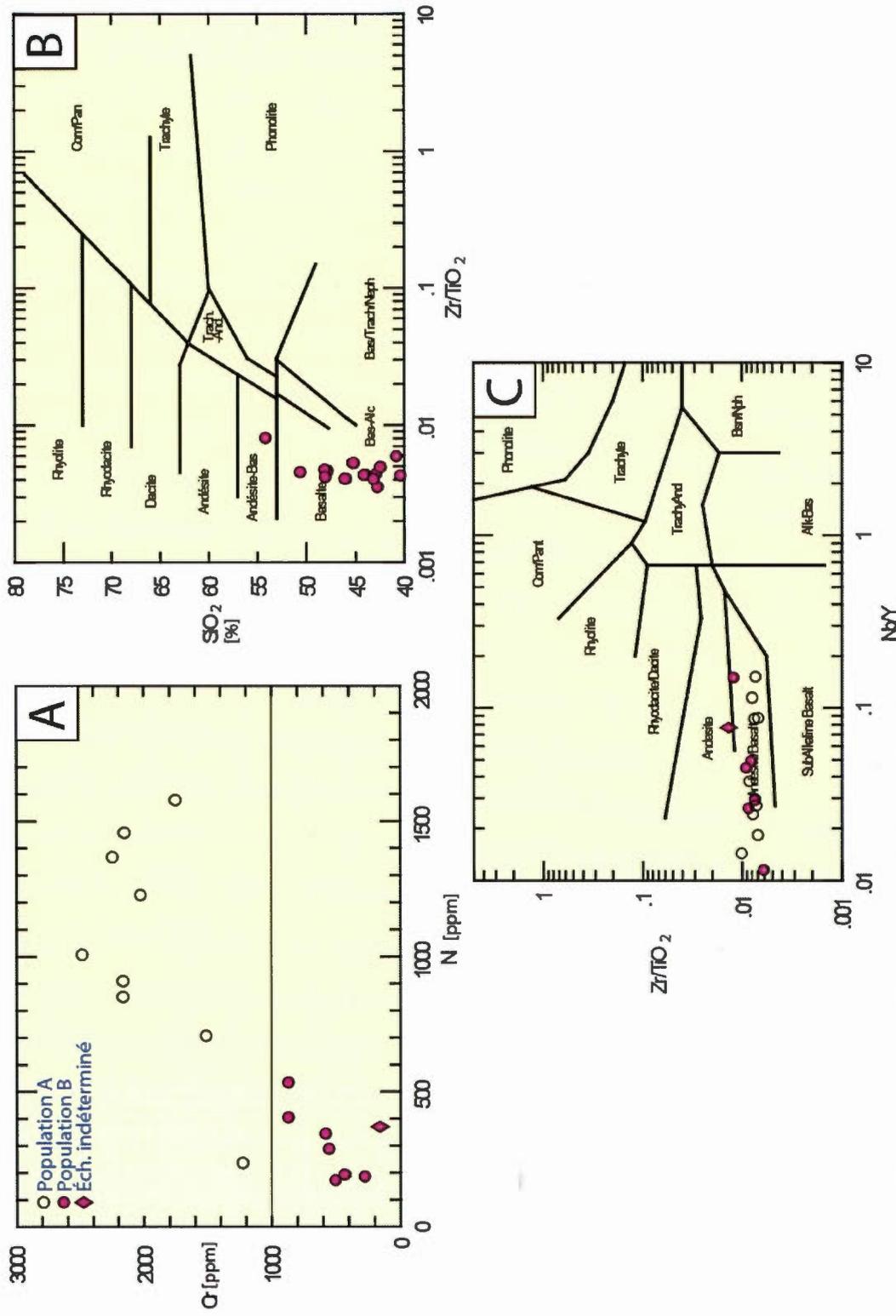


Figure 4.2: Diagrammes géochimiques pour les laves ultramafiques (suite).

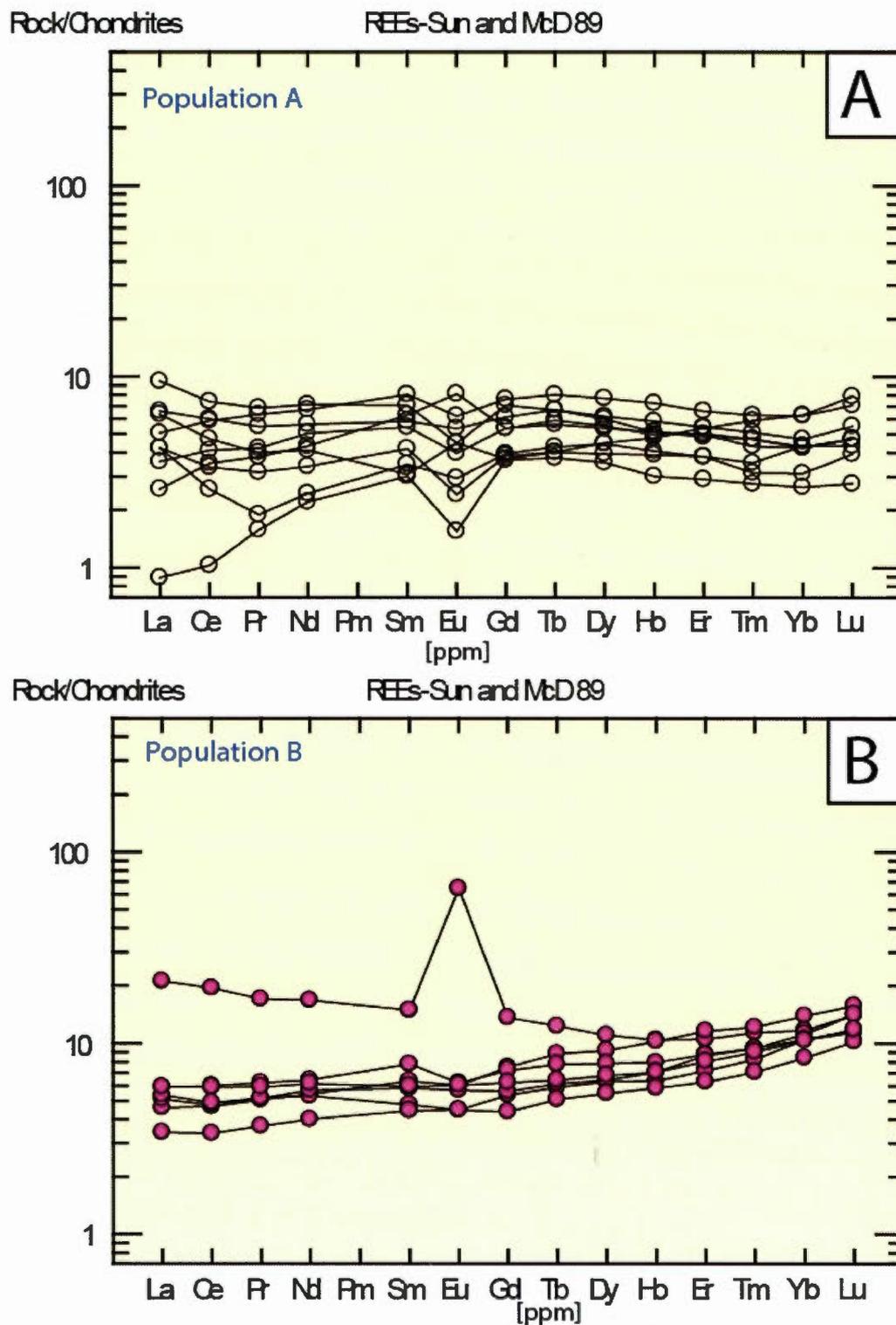


Figure 4.3: Diagrammes géochimiques pour les laves ultramafiques (suite).

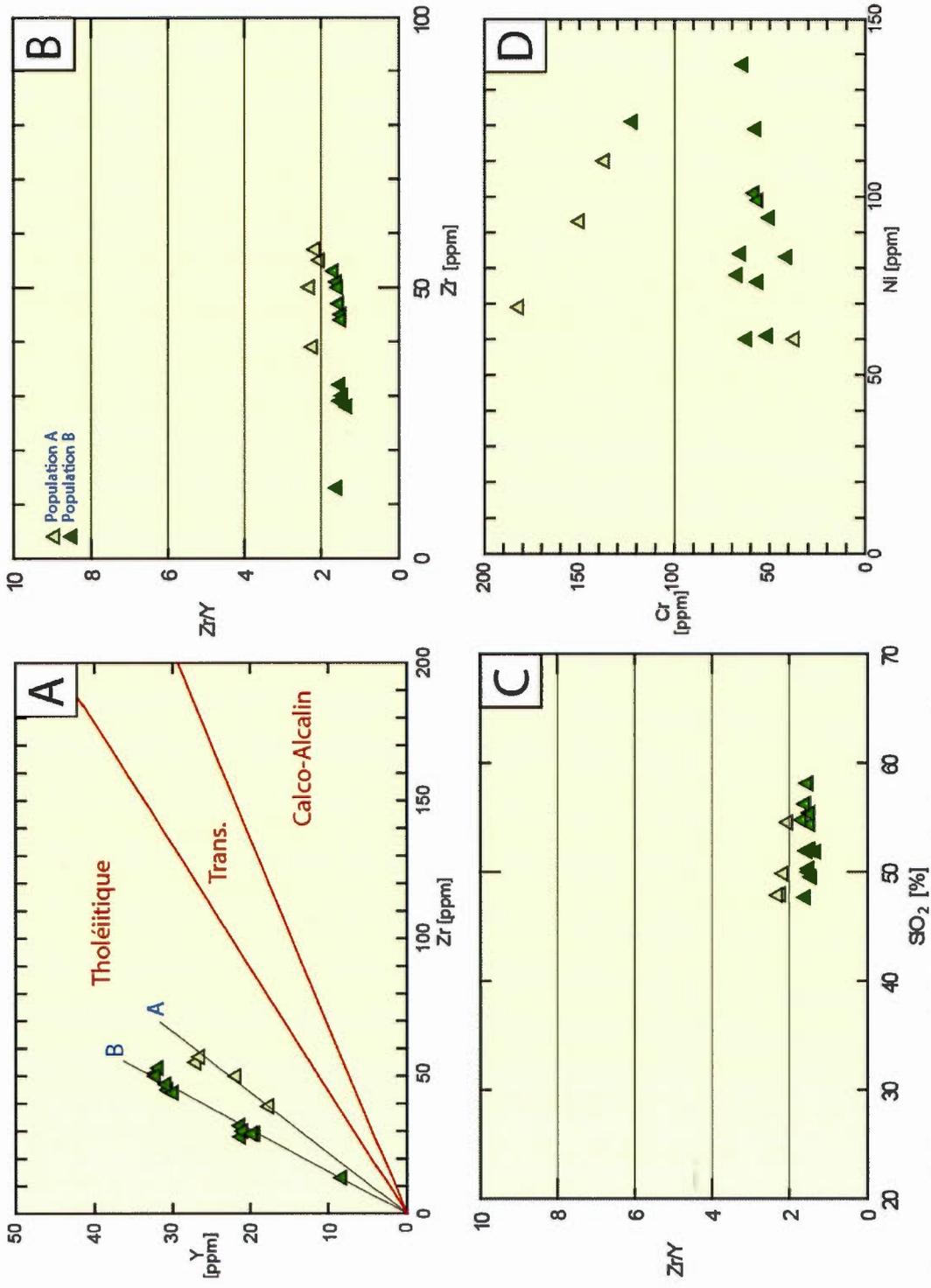


Figure 4.4: Diagrammes géochimiques pour les laves mafiques.

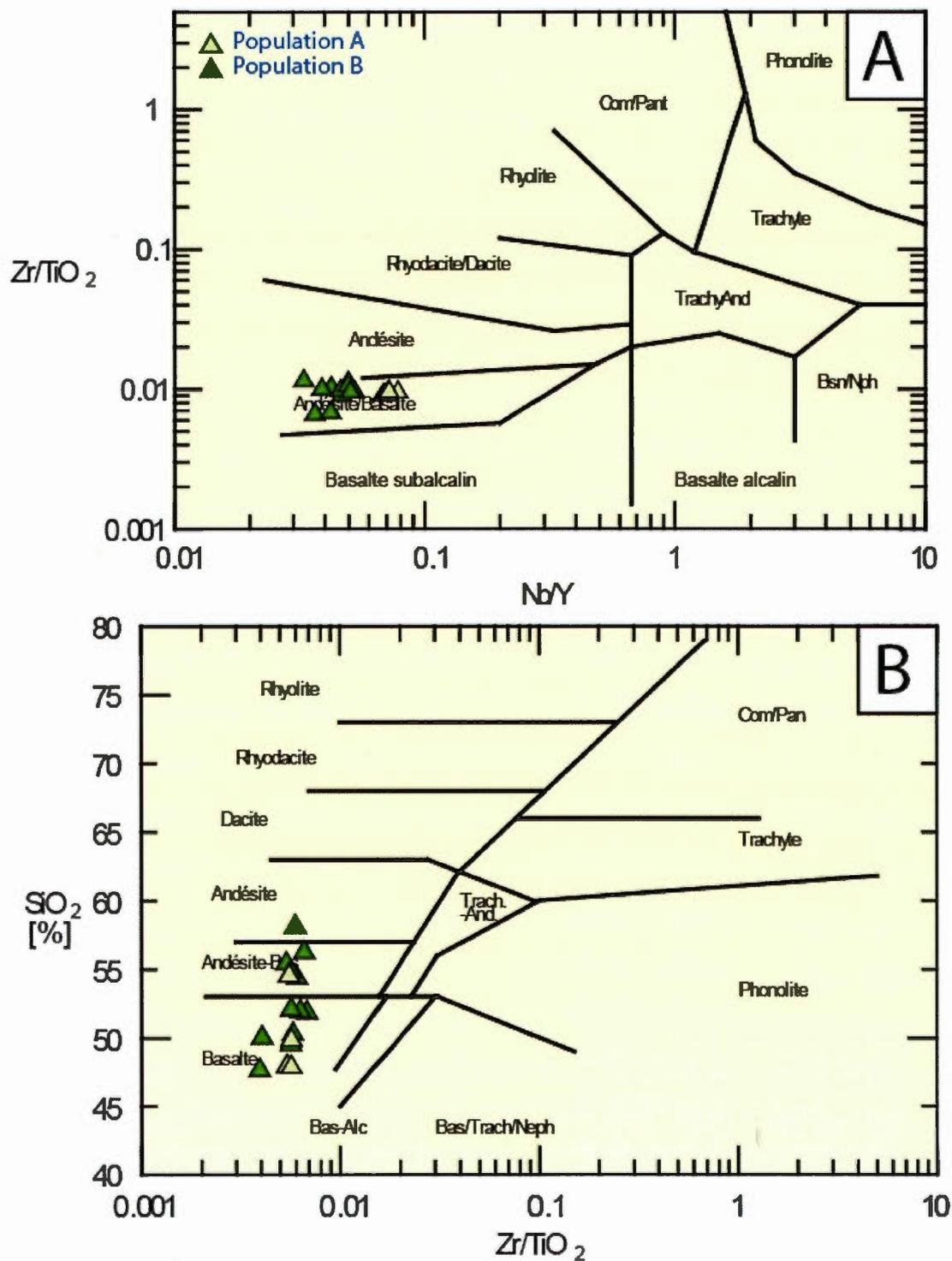


Figure 4.5: Diagrammes géochimiques pour les laves mafiques (suite).

Zr et de TiO_2 (voir figures 4.6A-B) en sont les meilleurs exemples démontrant trois droites d'altération (lignes fines) selon lesquelles l'étendue linéaire des échantillons est peu développée pour la population « A », alors que la population « B » présente une faible silicification. De plus, ce graphique illustre deux courbes distinctes d'évolution magmatique (flèches), correspondant respectivement à des populations distinctes.

En ce qui a trait aux terres rares (voir figure 4.6C) des volcanites mafiques, les profils de chacune des populations est comparable avec un enrichissement en terres rares lourdes, ce qui suggère un lien génétique entre ces populations. Le profil de la population « B » représente un basalte un peu plus évolué.

Une albitisation a été observée en affleurement sur les basaltes de la Zone no. 8 Orion, caractérisée par une couleur beige-caramel, la roche altérée présentant une dureté élevée. Selon Gallagher (1940) et Kerrich, (1983), l'albitisation est souvent reliée aux gisements aurifères et ils proposent dans ce cas d'analyser le ratio molaire Na/Al en fonction des teneurs en or (voir figure 4.6D). Le ratio Na/Al permet d'évaluer l'enrichissement en sodium, en fonction de l'aluminium disponible. De ce fait, dans la formule de l'albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, la proportion de Na par rapport à Al est de 1 : 1. Le ratio de saturation maximal possible de Na/Al est donc de 1 (Kishida et Kerrich, 1987).

Dans un premier temps, sur le graphique de la figure 4.6D il est possible de constater que seule la population « B » présente des teneurs en Au. Sur cette même figure, une tendance linéaire peut être observé entre les teneurs en Au et les ratios Na/Al. De ce fait, les données en Au élevées sont associées au ratio Na/Al élevés des basaltes de la population « B ». Cependant, les hauts ratios Na/Al ne sont pas systématiquement associés à de hautes valeurs en Au.

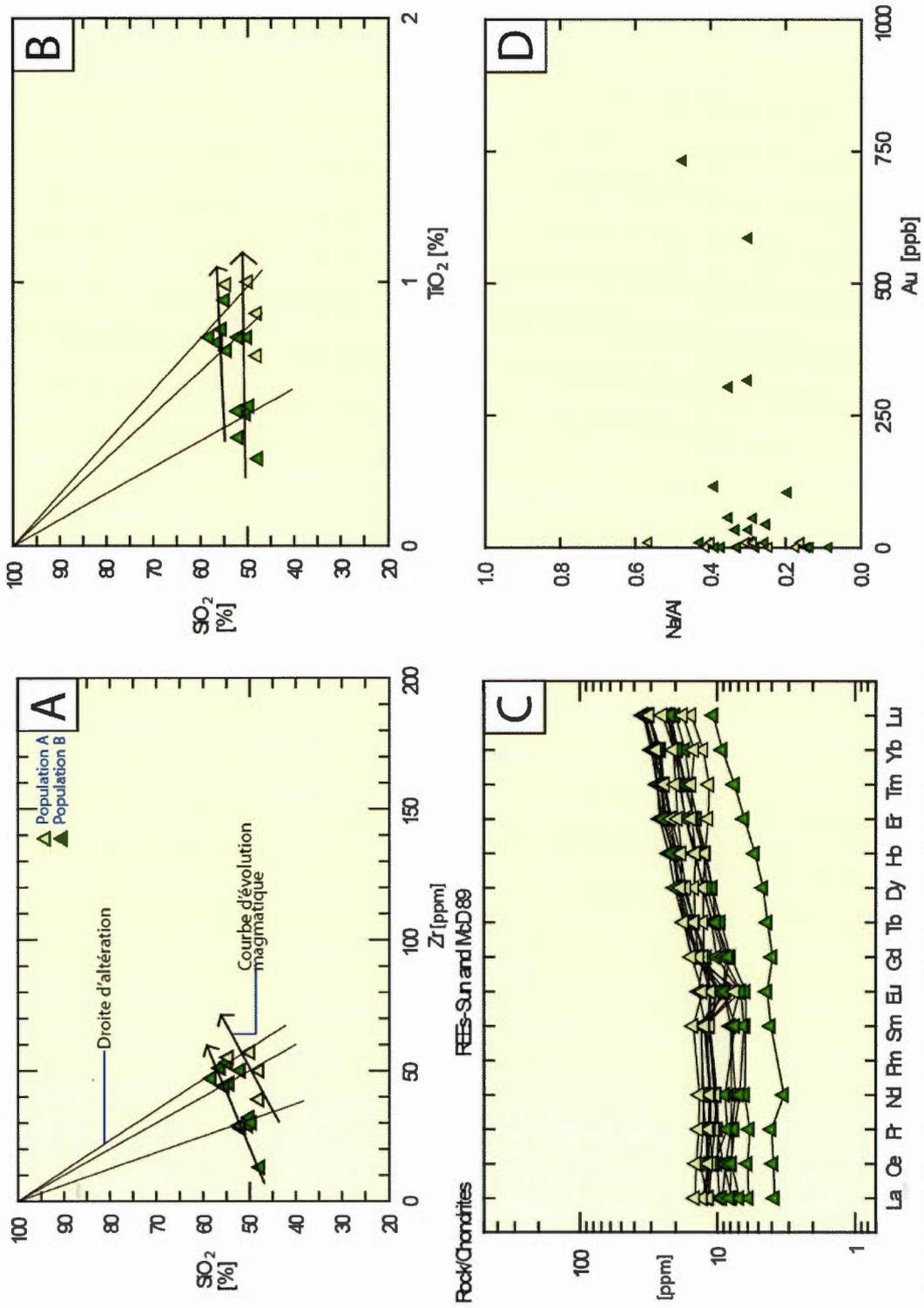


Figure 4.6: Diagrammes géochimiques pour les laves mafiques (suite).

4.2 GÉOCHIMIE DES INTRUSIONS

4.2.1 Intrusions mafiques

En ce qui a trait aux intrusions mafiques, les mêmes relations que pour les laves mafiques sont observées (voir figures 4.7 à 4.11). Deux populations d'intrusions mafiques sont reconnues, « A » et « B » (correspondant respectivement aux carrés verts pâles et verts foncés) selon les graphiques de Y en fonction de Zr et du ratio Zr/Y en fonction de Zr et SiO₂ (voir les graphiques de la figure 4.7) La composition mafique de ces deux populations est confirmée par les diagrammes de Winchester et Floyd 1977 (figures 4.8A et B). Sur les graphiques présentant le niveau de silicification de SiO₂ en fonction de Zr et TiO₂ (figures 4.9A et B), la population « B » a une teneur en SiO₂ un peu plus élevée que la population « A ». Enfin, les patrons de terres-rares (voir figure 4.9A) de ces deux populations se superposent bien, avec un enrichissement en terres-rares lourdes et la population « B » est légèrement évoluée par rapport à la population « A ».

Ces deux populations possèdent les mêmes caractéristiques que les populations « A » et « B » des coulées basaltiques, respectivement les triangles verts pâles et verts foncés, voir les figures 4.10 et 4.11. Ces comportements identiques indiquent que les volcanites mafiques et les intrusions mafiques possèdent les mêmes caractéristiques magmatiques et sont vraisemblablement génétiquement reliées, avec un même magma parent. Ces relations suggèrent que la mise en place de ces intrusions est contemporaine à celle des volcanites mafiques, comme suggéré par Sauvé (1987).

4.2.2 Intrusions felsiques

Selon le graphique A de la figure 4.12, les intrusions felsiques, de nature tonalitique porphyrique à feldspath, sont d'affinité sub-alkaline. Cependant, trois échantillons de la population « A » (croix jaunes) et trois échantillons de la population « D » montrent une affinité apparemment plutôt alcaline, ceci est vraisemblablement le résultat d'une d'altération hydrothermale impliquant une forte albitisation (avec gain en Na₂O). Ces intrusions

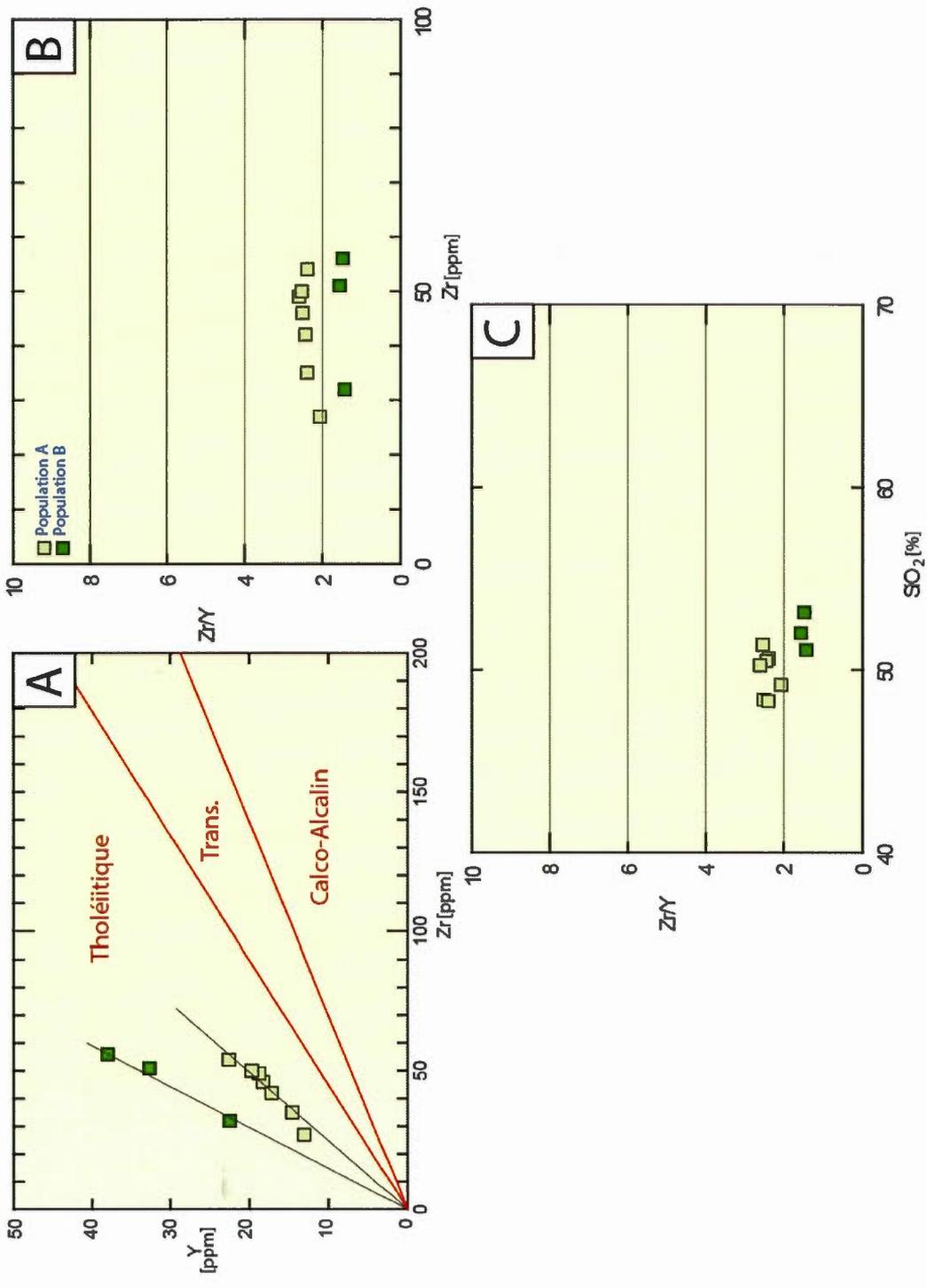


Figure 4.7: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).

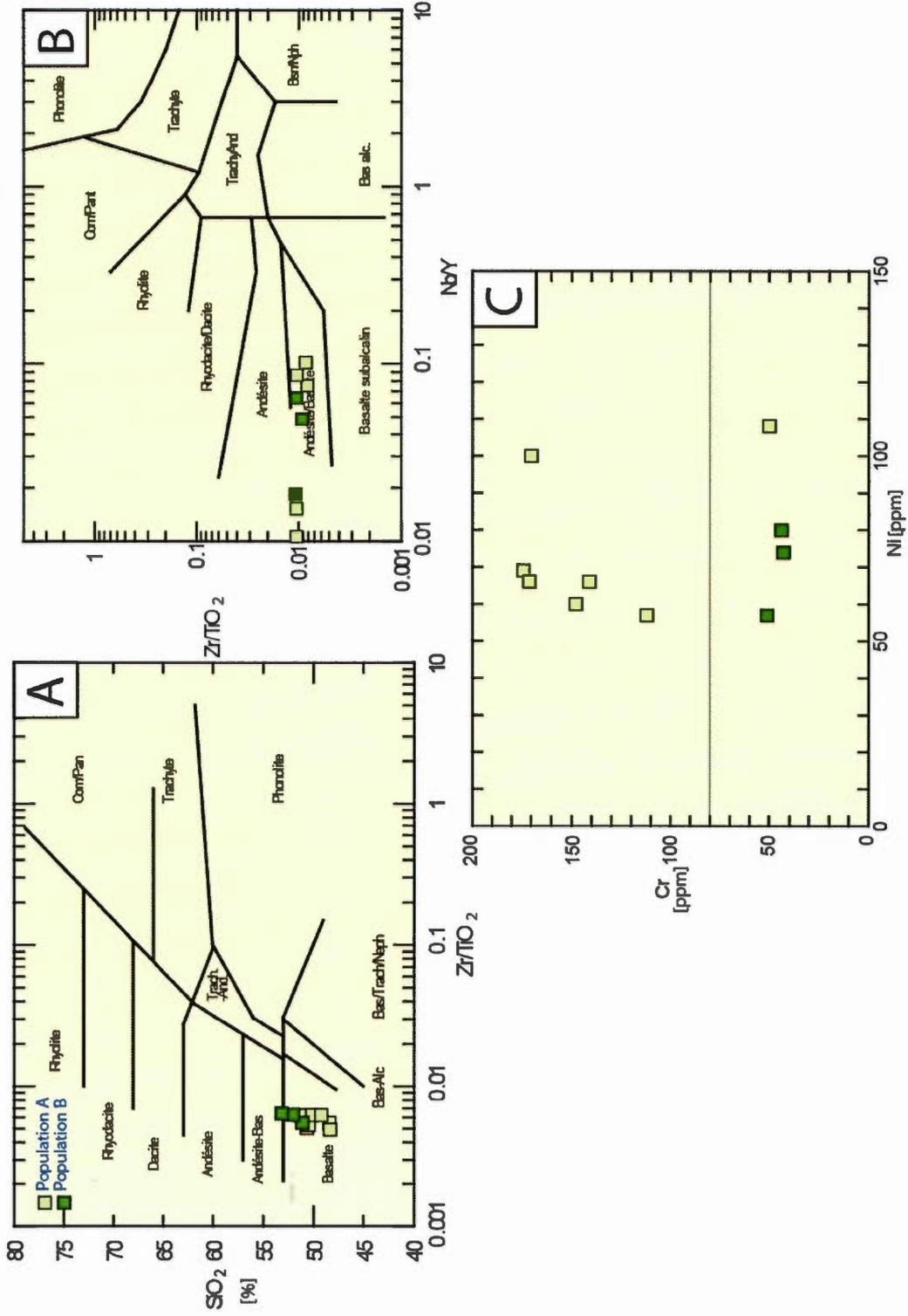


Figure 4.8: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).

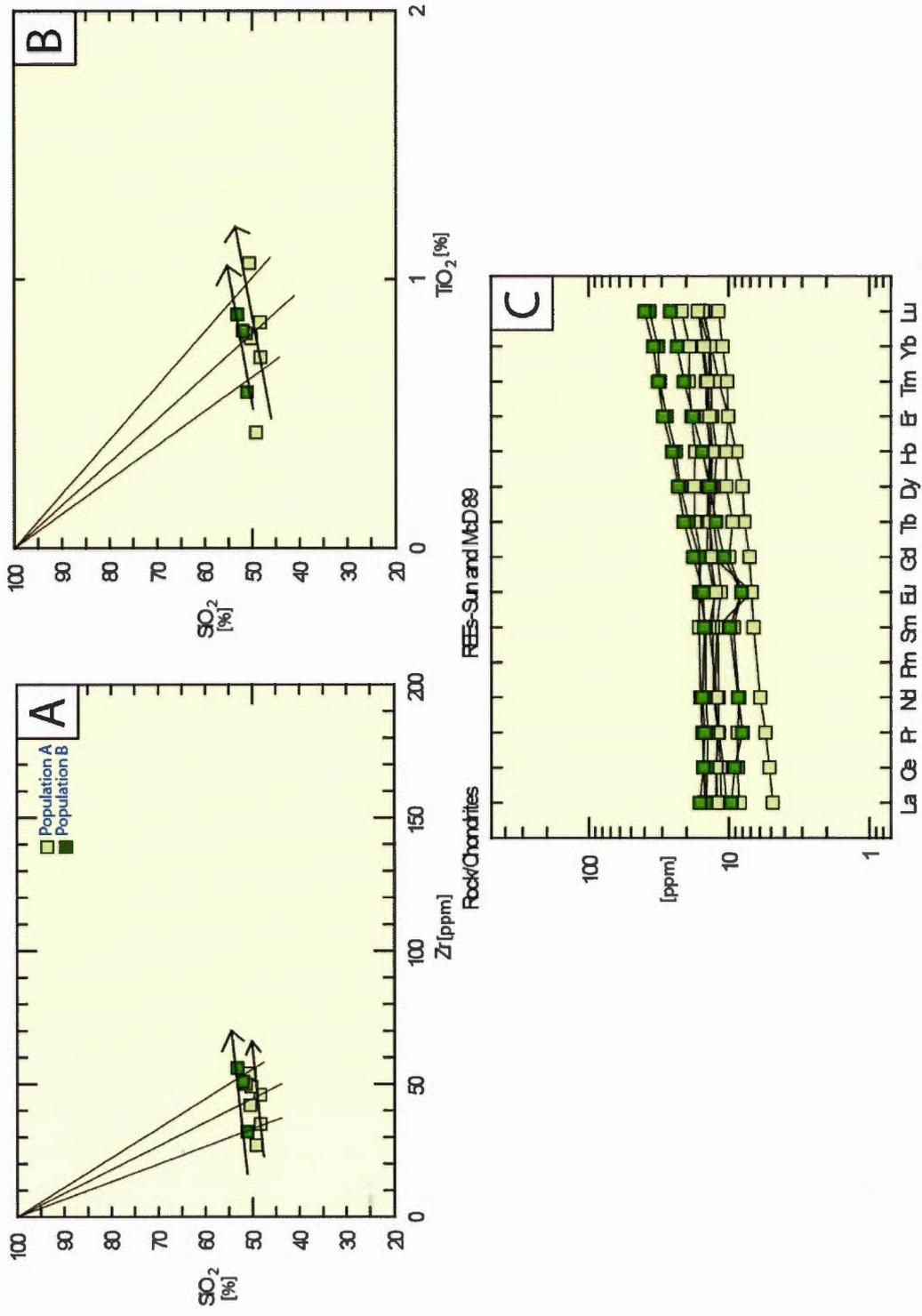


Figure 4.9: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).

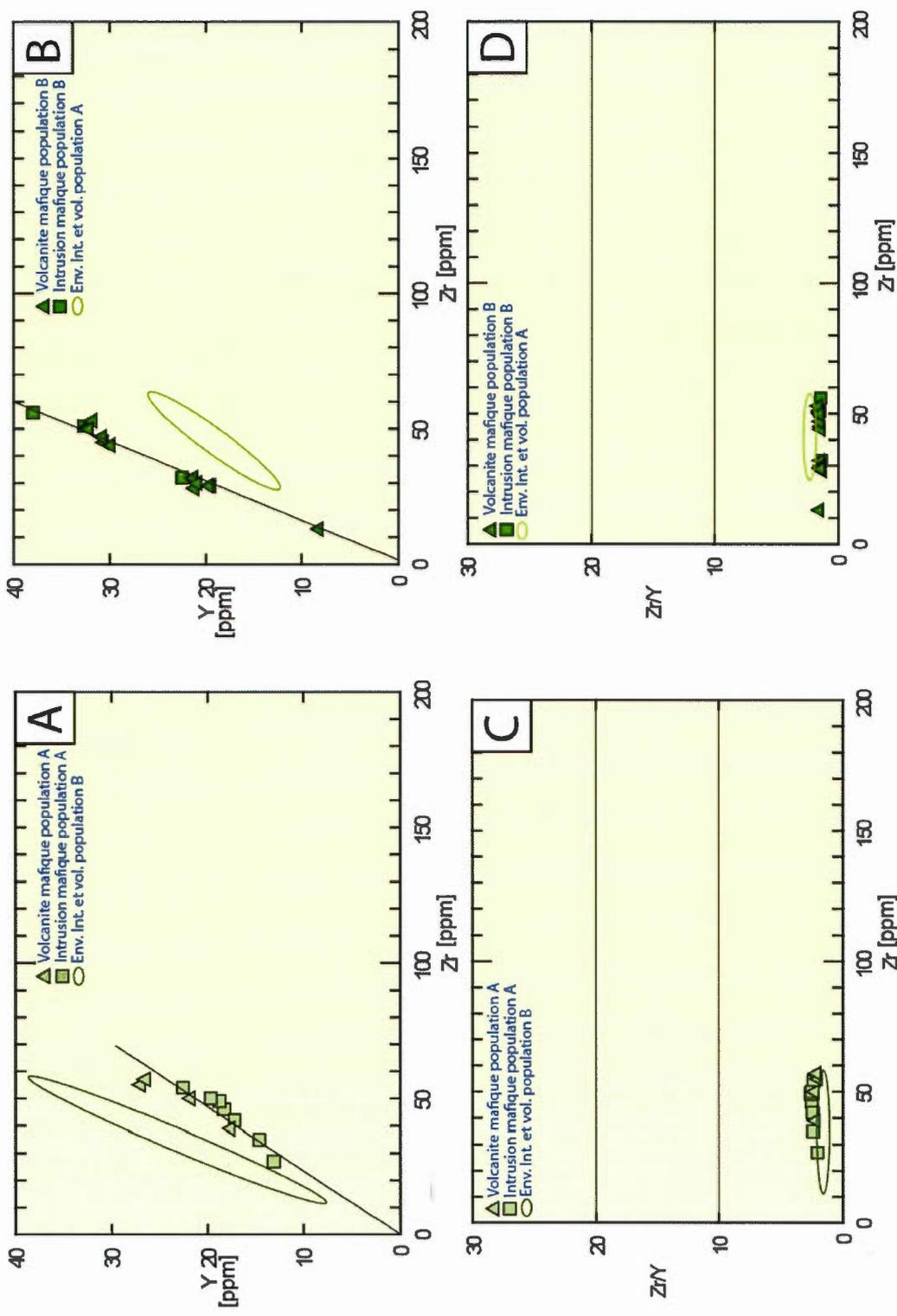


Figure 4.10: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).

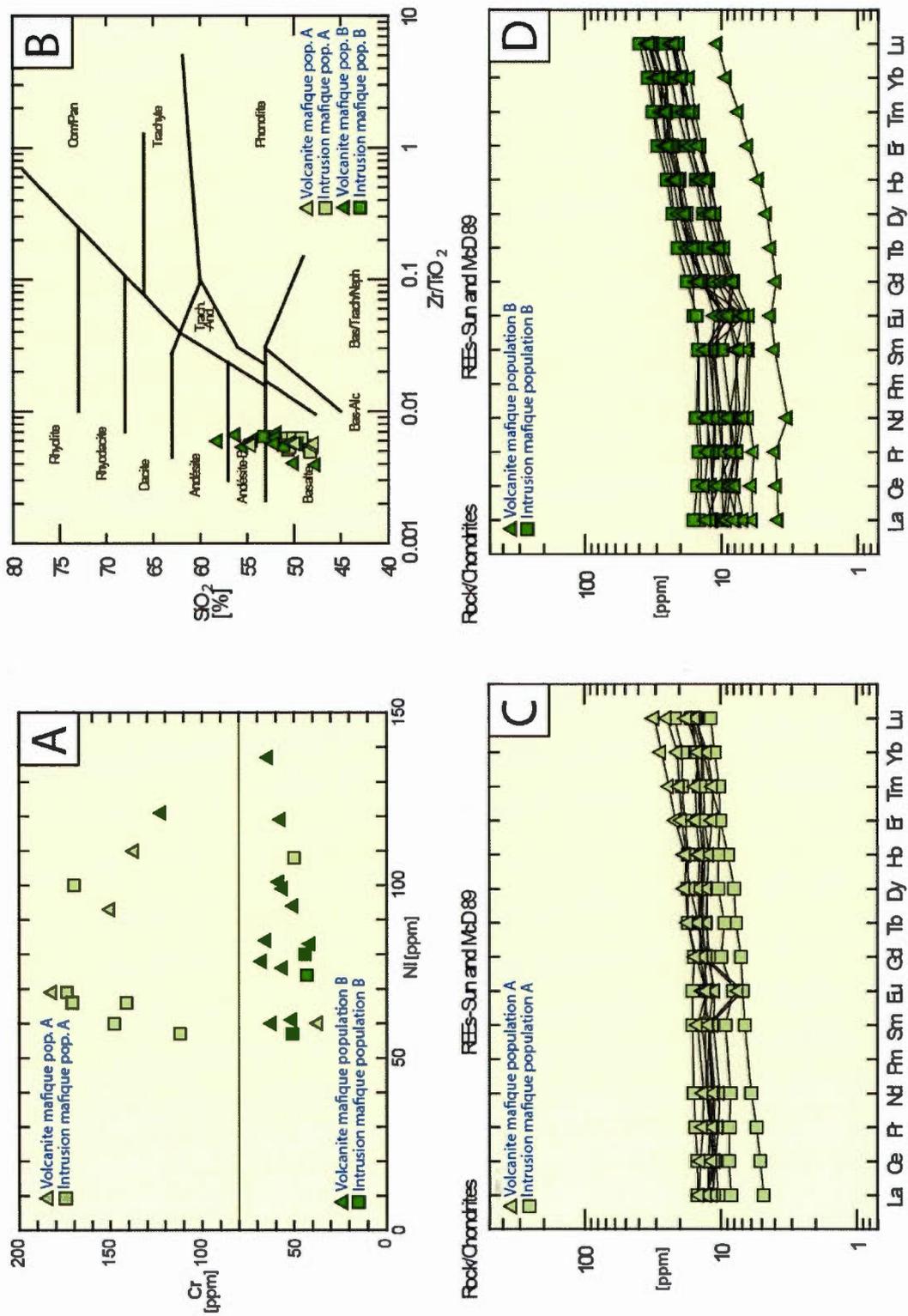


Figure 4.11: Diagrammes géochimiques pour les intrusions mafiques (suite).

présentent une composition variant d'andésitique à rhyodacitique (voir figures 4.12B et C). Sur la majorité des diagrammes géochimiques, quatre populations distinctes sont observées. Selon le graphique Y en fonction de Zr (voir figure 4.13A), quatre groupements de points sont illustrés. Les teneurs en Zr et Y, ainsi que le ratio Zr/Y discriminent bien les quatre populations (Voir figures 4.13A et 4.13B). La population « A » (croix jaune) possède les plus basses teneurs de Y et de Zr. Quant aux populations « B » et « C » (croix rouges et vertes respectivement), elles possèdent une même quantité de Zr, alors que la teneur en Y est plus élevée pour la famille « C ». La population « D » (croix bleus) est un peu plus largement réparti, son ratio Zr/Y est équivalent à celui de la population « A » mais sa teneur en Zr est la plus élevée. En ce qui a trait aux quatre graphiques de discrimination des granites basés sur les variations des éléments Rb-Y-Nb et Rb-Y-Ta représentés par les figures 4.14A à D (Pearce et al., 1984), ils indiquent tous que ces intrusions felsiques présentent une affinité avec des environnements d'arcs volcaniques.

Afin d'évaluer le niveau de silicification, des graphiques présentent le contenu en SiO₂ gradué de 0 à 100% en relation avec des éléments immobiles, tels Zr, Al₂O₃ et TiO₂. Par exemple, le graphique de SiO₂ en fonction de Zr (Voir figure 4.15A) permet de distinguer trois groupements de points, correspondant aux populations « A », « B », « C » et « D ». Ces quatre familles suivent quatre droites d'évolution magmatique approximative. Ces groupements de points sont étirés le long de droites d'altération (lignes fines) suggérant une silicification importante des populations « C » à « B » et « A ». Les mêmes conclusions peuvent être tirées du graphique mettant en relation TiO₂ en fonction de Zr (voir figure 4.15B). Quatre courbes distinctes d'évolution magmatique, sont recoupées par des droites d'altérations.

Les profils de terres rares (Figure 4.16A et B) illustrent les trois populations de tonalite « A », « B » et « C ». Ces profils sont comparables, avec des pentes subparallèles, suggérant qu'elles proviennent toutes d'une même source magmatique. Les profils de terres rares démontrent un fort enrichissement en terres rares légères. La population « C » apparaît la plus évoluée. Les profils illustrés par les échantillons de la population « D » sont comparables à ceux des populations « B » et « C » (voir figures 4.16A e C). Toutefois, les profils de la

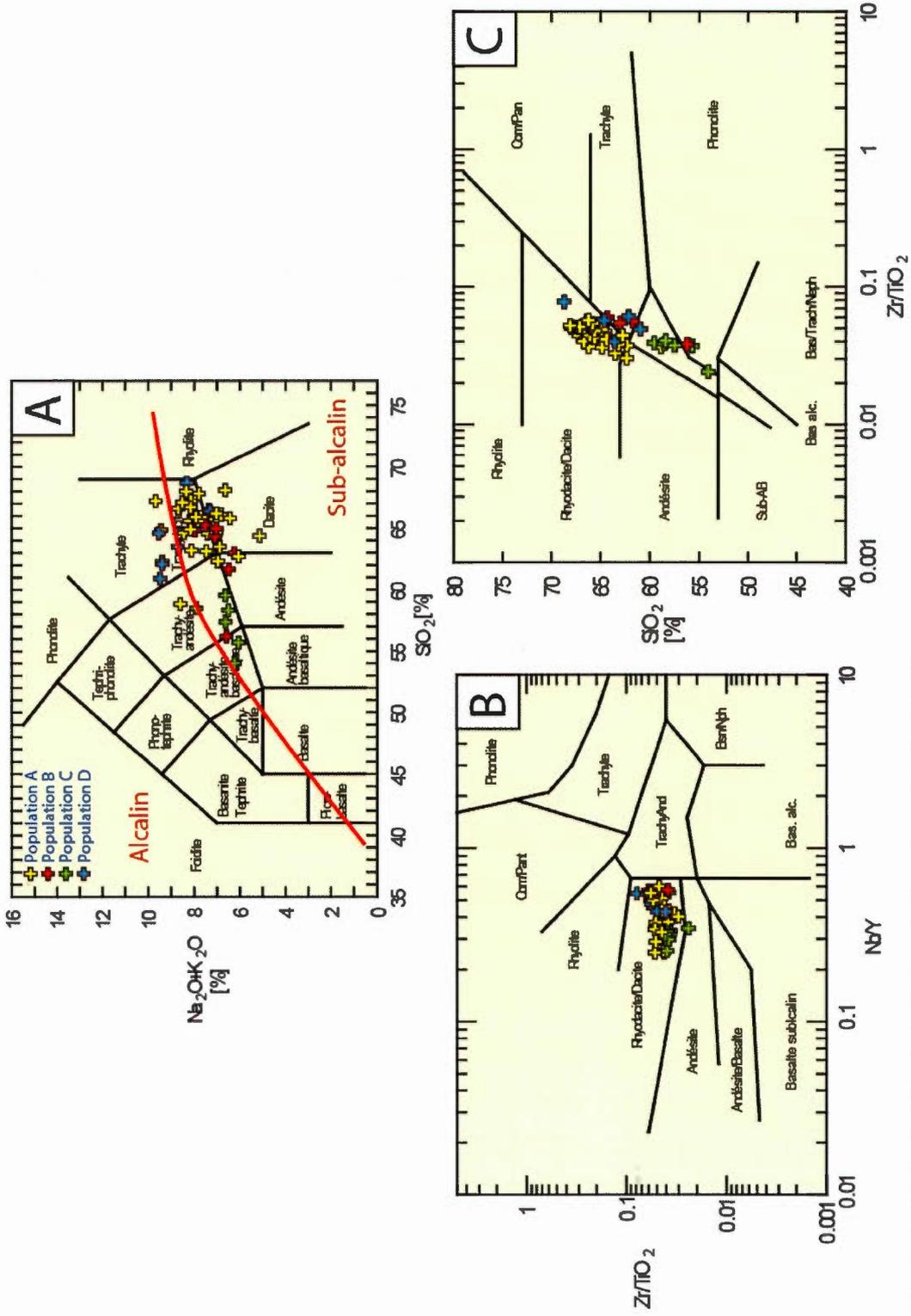


Figure 4.12: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques.

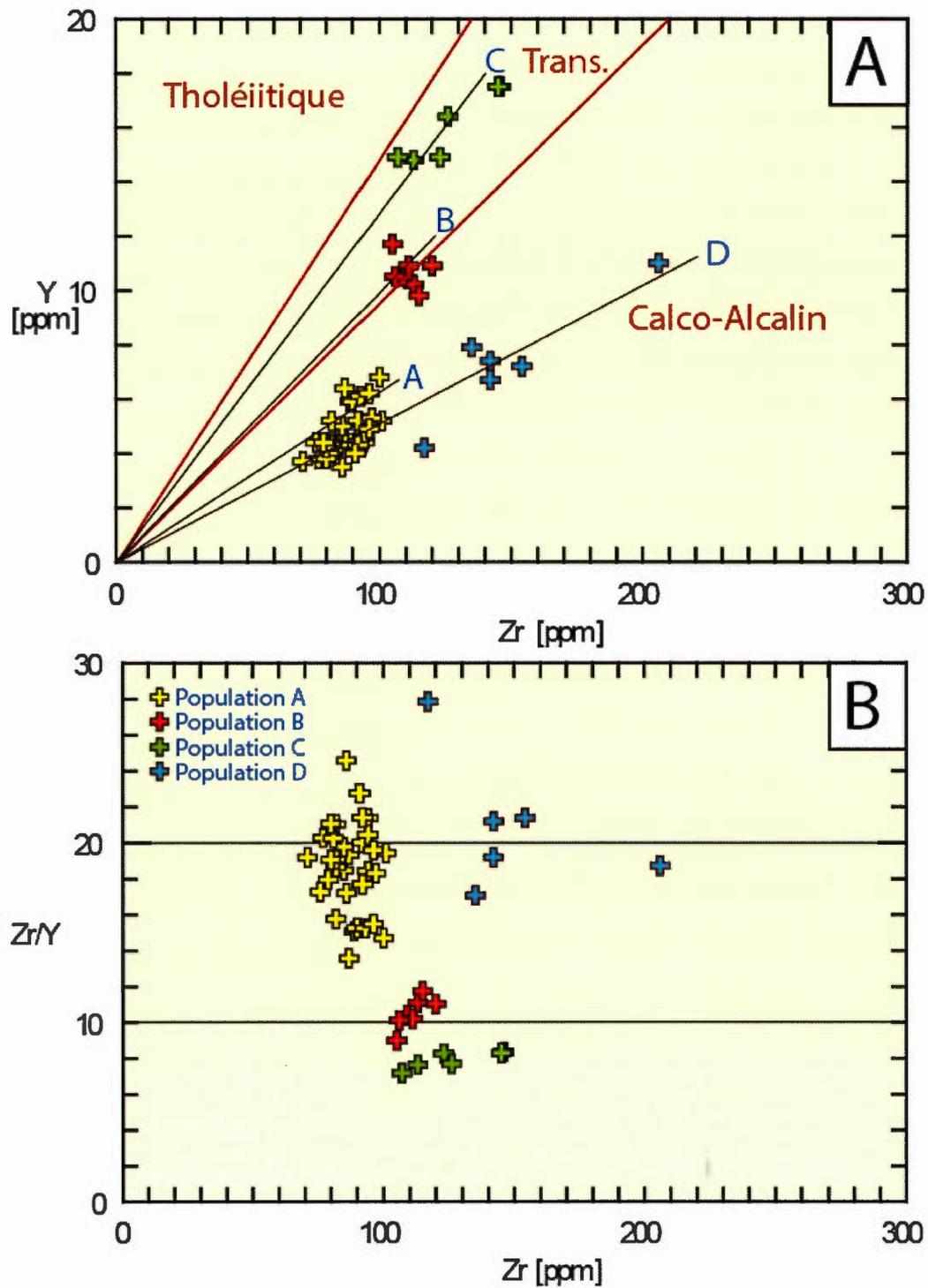


Figure 4.13: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques (suite).

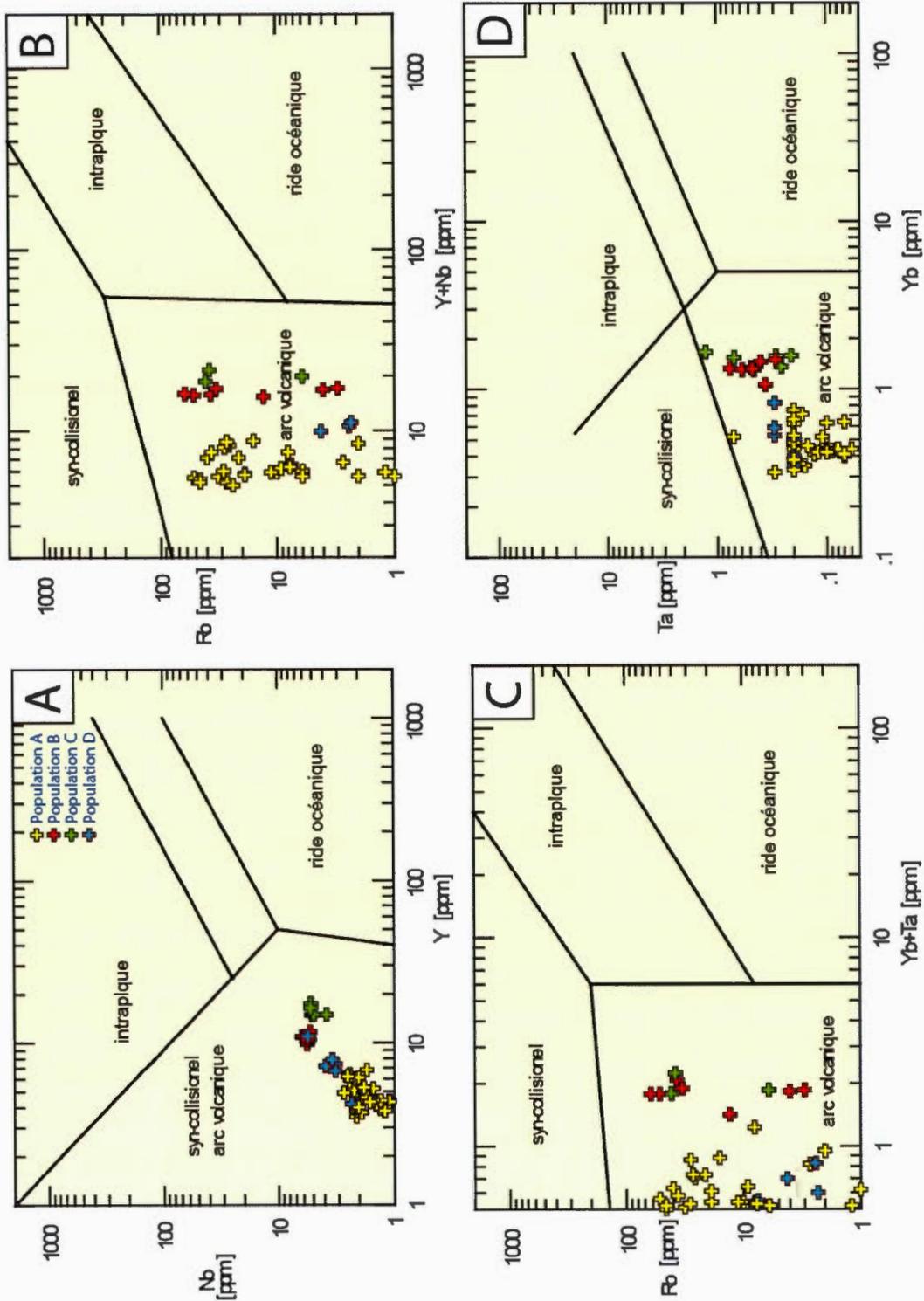


Figure 4.14: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques (suite).

population « D » (voir figure 4.16C) présentent une pente plus prononcée, ainsi qu'un appauvrissement en terre-rares lourdes plus importants que pour les trois autres populations.

Dans le but de connaître plus précisément la relation entre ces intrusions felsiques et l'albitisation des basaltes de la Zone no. 8 Orion, le ratio molaire Na/Al a aussi été déterminé. Les ratios Zr/Y et Na/Al ont été mis en relation avec les teneurs en Au (Voir figures 4.15C et D). Sur les quatre populations déterminées, seulement quatre échantillons présentent une teneur en or plus grande que 100 ppb, soit deux de la populations « B » et deux de la population « C ». Les deux teneurs les plus élevées, soit 417 et 561 ppb, respectivement des populations « B » et « C », proviennent de l'affleurement de la Zone no. 8 Orion. La moitié des échantillons présentent une teneur en or à la limite de détection, qui est de 2 ppb.

De plus, les intrusions tonalitiques des populations « A » et « C » présentent les ratios de Na/Al les plus faibles, respectivement de 0.388 et de 0.227, et se trouvent à l'intérieur de la zone minéralisée, alors que les ratios plus élevés de 0.561 et de 0.485 se situent à l'extérieur. La population prédominante « B » démontre quant à elle une grande variation des données, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la zone. De ce fait, les tonalites présentes au gisement Zone no. 8 Orion ne présentent aucune corrélation avec l'albitisation du basalte encaissant la zone minéralisée.

Il est à noter qu'un test de coloration des feldspaths potassiques au cobaltinitrite de sodium a été effectué sur huit échantillons provenant du secteur de la Mine Malartic Hygrade (voir l'annexe B pour les détails de la méthode utilisée, la localisation des échantillons et les photographies des résultats). Quatre échantillons proviennent des intrusions tonalitiques de population « A », « B » et « C » de la Zone no. 8 Orion. Un échantillon provient d'une intrusion intermédiaire de la Zone no. 1. Un échantillon provient d'une intrusion tonalitique de population « A » de la Zone no. 9. Les deux derniers échantillons de tonalite de population « B » et « C » proviennent de forages d'un secteur non-aurifère. Aucun de ces échantillons n'a révélé la présence de feldspaths potassiques, confirmant la nature tonalitique des intrusions felsiques testées.

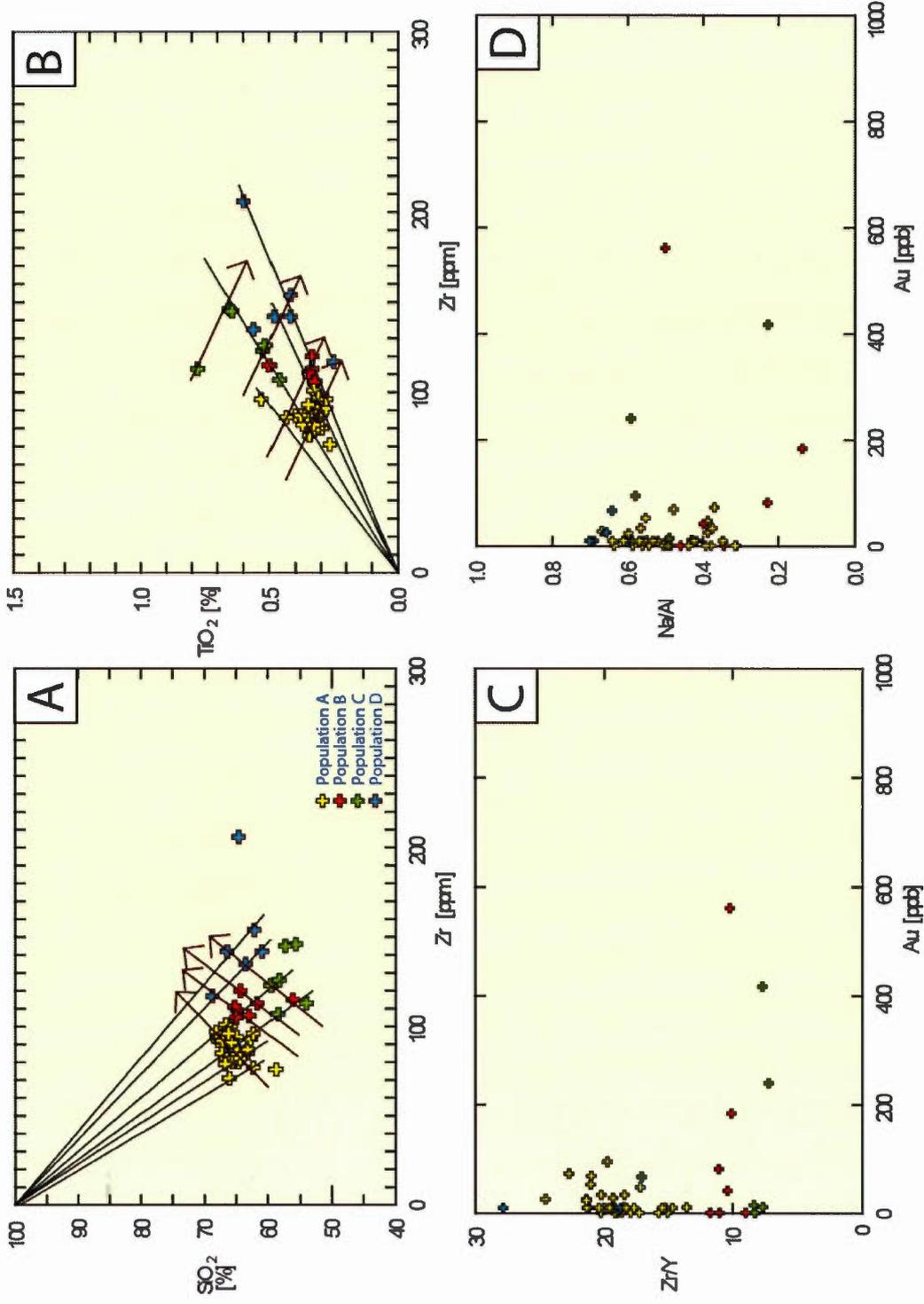


Figure 4.15: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques (suite).

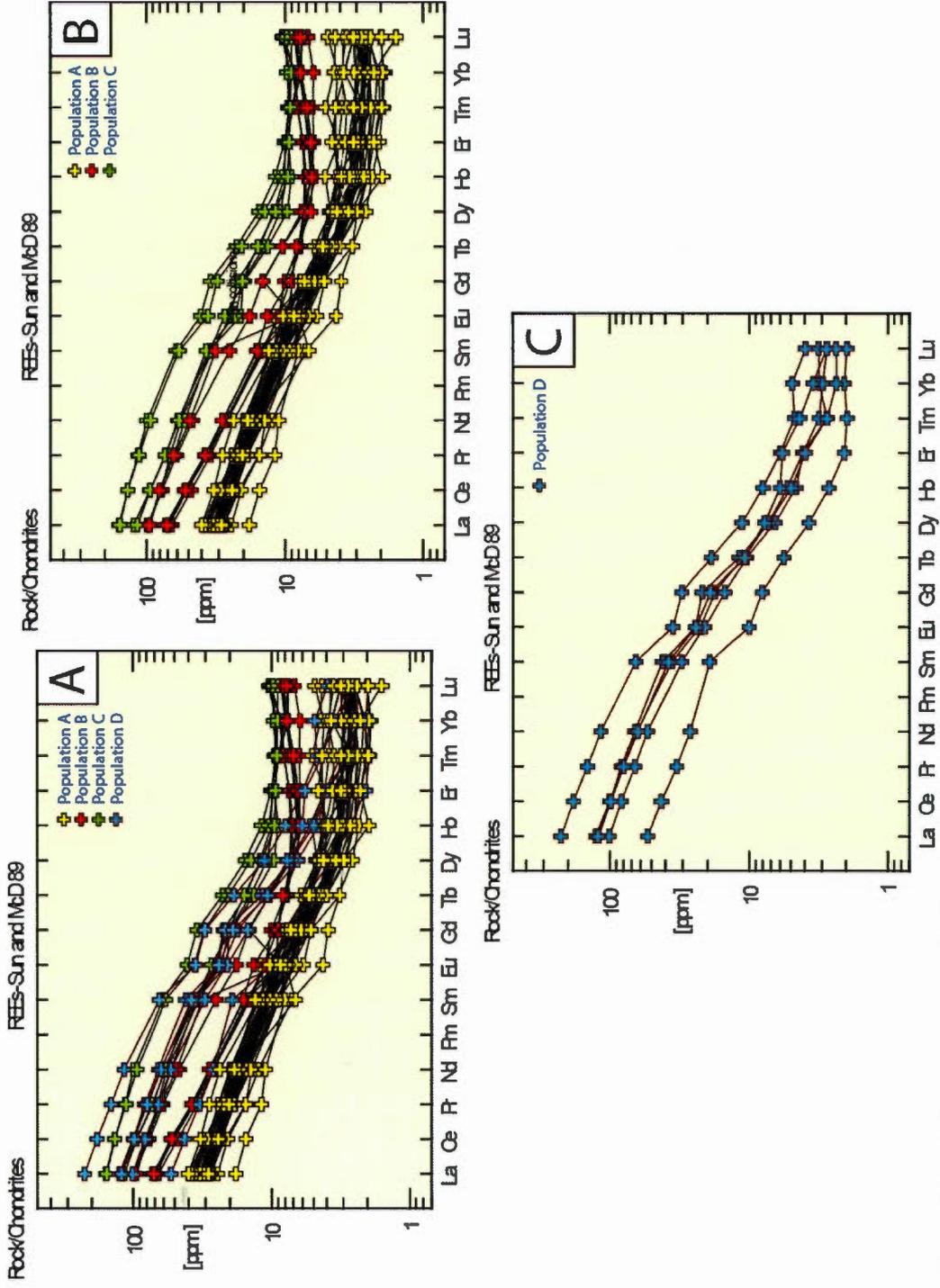


Figure 4.16: Diagrammes géochimiques pour les intrusions felsiques (suite).

4.3 CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Suite à cette analyse lithogéochimique, il est possible d'établir que deux populations de volcanites ultramafiques sont présentes dans le secteur de la Mine Malartic Hygrade. Il y a aussi présence de deux populations d'unités volcaniques mafiques, dont la population « B » qui semble contenir quelques teneurs en or considérables. Deux populations d'intrusions mafiques ont été déterminées, celles-ci présentent un lien génétique avec les populations de volcanites mafiques.

Quatre populations de tonalite ont été identifiées dans ce secteur, les populations « A », « B » et « C » sont présentes à la Zone no. 8 Orion. Ces intrusions felsiques sont co-génétiques, ne présentent aucun lien apparent avec l'albitisation de la zone minéralisée et ne sont pas aurifères. Elles sont postérieures à la minéralisation aurifère du type Orion.

CHAPITRE V

COMPARAISON GÉOCHIMIQUE DES INTRUSIONS FELSIQUES PRÉSENTES DANS LES MINES ENVIRONNANTES

Afin de corréler les intrusions tonalitiques de la Zone no. 8 Orion avec les intrusions felsiques des gisements aurifères environnants (voir figure 5.1), une étude géochimique comparative a été effectuée. Nous avons utilisé les données du gisement de Camflo (101 données provenant de Zweng (1993) et 2 données de Chainey (1983) avec analyses d'éléments-traces), de Norlartic (1 donnée provenant de Pilote et al. (1993)), de Marban (254 données inédites fournies par la Corporation Minière Niogold) et du gisement Kiena (20 données, sans analyses d'éléments-traces, tirées de Morasse (1998)). Il est à noter que la base de données de ces analyses est disponible sous forme numérique (voir l'appendice A).

5.1 MINE MARBAN

Le cadre géologique de la mine Marban a été étudié par Beaucamp (2010) et Ducharme et Lieber (2013). Par contre, personne n'avait auparavant tenté de regrouper géochimiquement l'ensemble des dykes felsiques présents à la mine Marban. Nos efforts ont été employés en ce sens et les diagrammes des figures 5.2 à 5.8 rapportent ces résultats.

Tout d'abord, l'élément le plus frappant est le nombre de familles distinctes de dykes, soit neuf nommées « A » à « I », établies selon le ratio Zr vs Y peuvent y être reconnues (figures 5.2A et B). Chaque famille présente différents ratio Zr/Y pour les mêmes teneurs en Zr. Les populations « A », « B », « C », « D », « E » et « F » présentent une affinité calco-alcaline et possèdent un ratio Zr/Y élevé. La population « G » et « I » se situent dans le champ transitionnel avec, respectivement, un ratio Zr/Y moyen de 10 et 7.5. La population « H » définit une suite tholéiitique avec un ratio Zr/Y près de 5 qui est typique des unités mafiques.

Sur la figure 5.2C, on peut constater que la majorité des intrusions felsiques/mafiques du



Figure 5.1: Localisation des gisements environnant le secteur étudié du gisement Zone no. 8 Orion.

gisement de Marban se situent dans le domaine sub-alkalin, alors que quelques échantillons prennent place dans le domaine alcalin. Sur les graphiques des figures 5.3A et B (Winchester et Floyd, 1977), les intrusions se situent majoritairement dans le champ rhyolitique avec quelques données dans les champs andésitique/basaltique. Les familles « G » (triangles verts pâles) et « H » (losanges rouges) semblent avoir des compositions plus mafiques et des teneurs en SiO_2 plus faibles.

Sur les figures 5.3C et 5.3D, il est possible d'évaluer le niveau d'altération des différentes populations d'intrusions felsiques du secteur Marban. Sur le diagramme 5.3C, la majorité des populations montrent une distribution des données le long de leurs droites d'altération respectives, ceci indiquant le caractère relativement immobile du Zr et du TiO_2 lors des processus d'altération impliqués. Sur le graphique 5.3D le scénario de la silicification est examiné pour toutes ces populations.

En ce qui a trait aux quatre graphiques de discrimination des roches granitoïdes (Pearce (1984)) basés sur les variations des éléments Rb-Y-Nb et Rb-Y-Ta, représentés par les figures 5.4A à D, ils sont tous similaires, suggérant que les neuf populations d'intrusions sont en lien avec des environnements d'arcs volcaniques.

Sachant qu'il y a une albitisation proximale caractéristique à la minéralisation aurifère et que celle-ci est non-associée aux tonalites du gisement Zone no. 8 Orion, le ratio Na/Al a été mis en relation avec les teneurs aurifères des neuf populations de Marban (figure 5.5A). Dans le secteur étudié, le ratio Na/Al de base a été fixé à 0.292. Dans la zone minéralisée, les deux échantillons de basaltes albitisés ont une valeur de 0.473 et 0.513. Dans la région de Marban, la population « A » possède l'intervalle moyen de ratio Na/Al le plus élevé entre 0.45 et 0.75. Les populations « B » et « C » ont des variations semblables entre 0.3 à 0.7. Les populations « D » et « E » possèdent les intervalles de ratio Na/Al semblables et les plus vastes entre 0.2 à 0.7. Les populations « F » et « G » ont des ratios variés respectivement entre 0.35 et 0.65 et 0.25 à 0.6. La population mafique possède un ratio Na/Al très faible et peu étendu entre 0.3 à 0.35. Enfin les deux échantillons de la population « I » ont des ratios très variables de 0.35 et 0.6. Il est intéressant de remarquer que sept des neuf populations de Marban ont des ratios

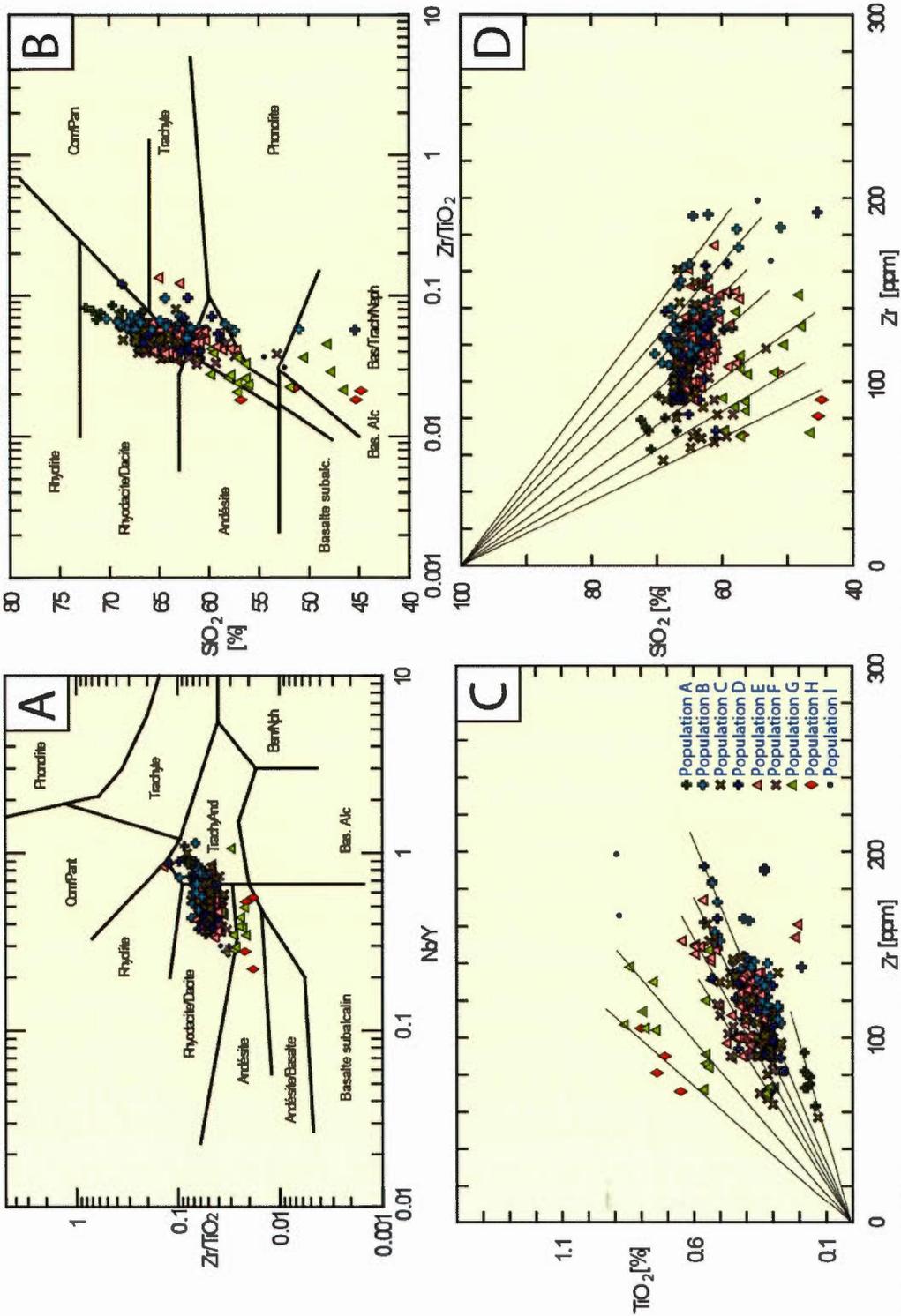


Figure 5.3: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).

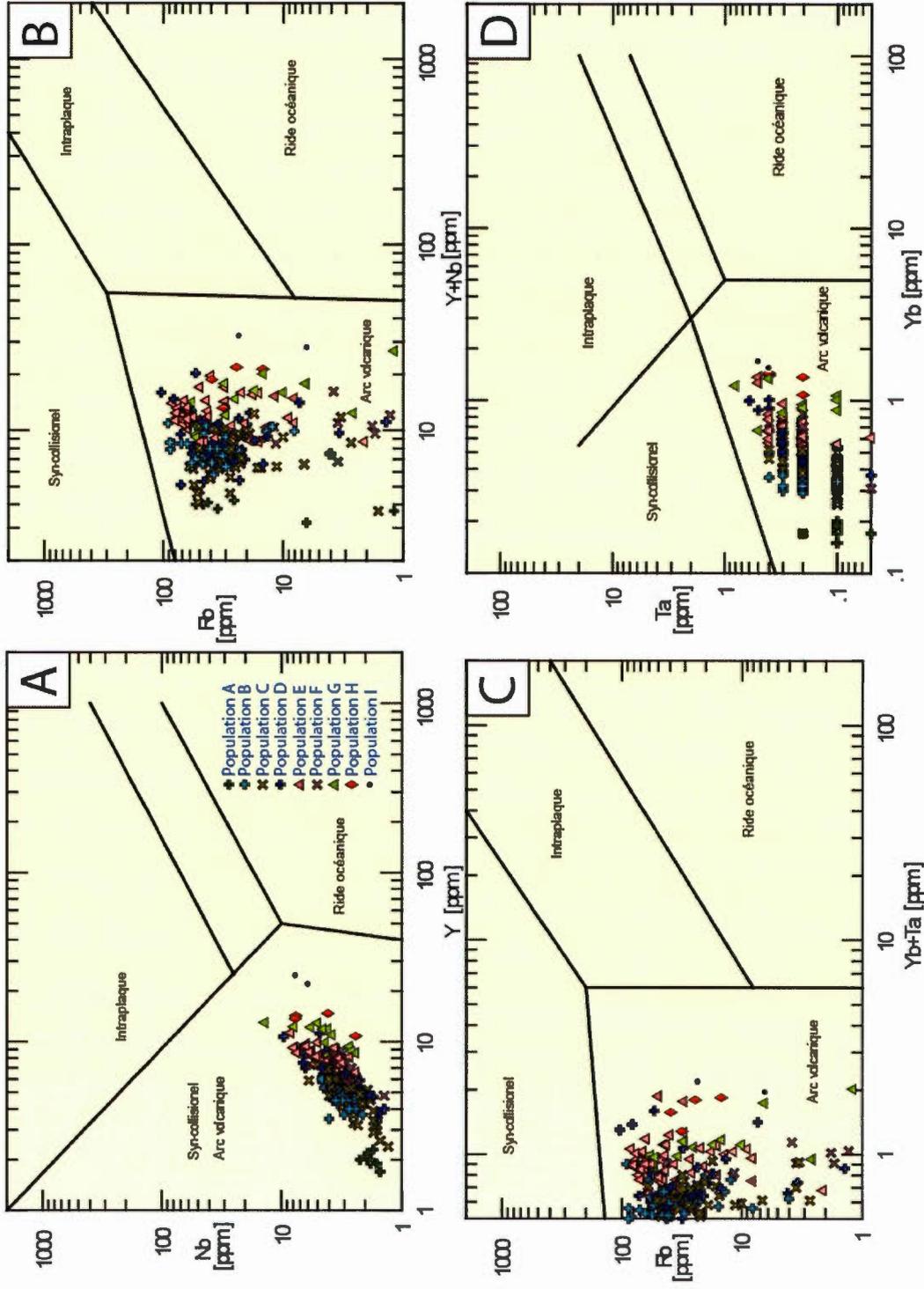


Figure 5.4: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).

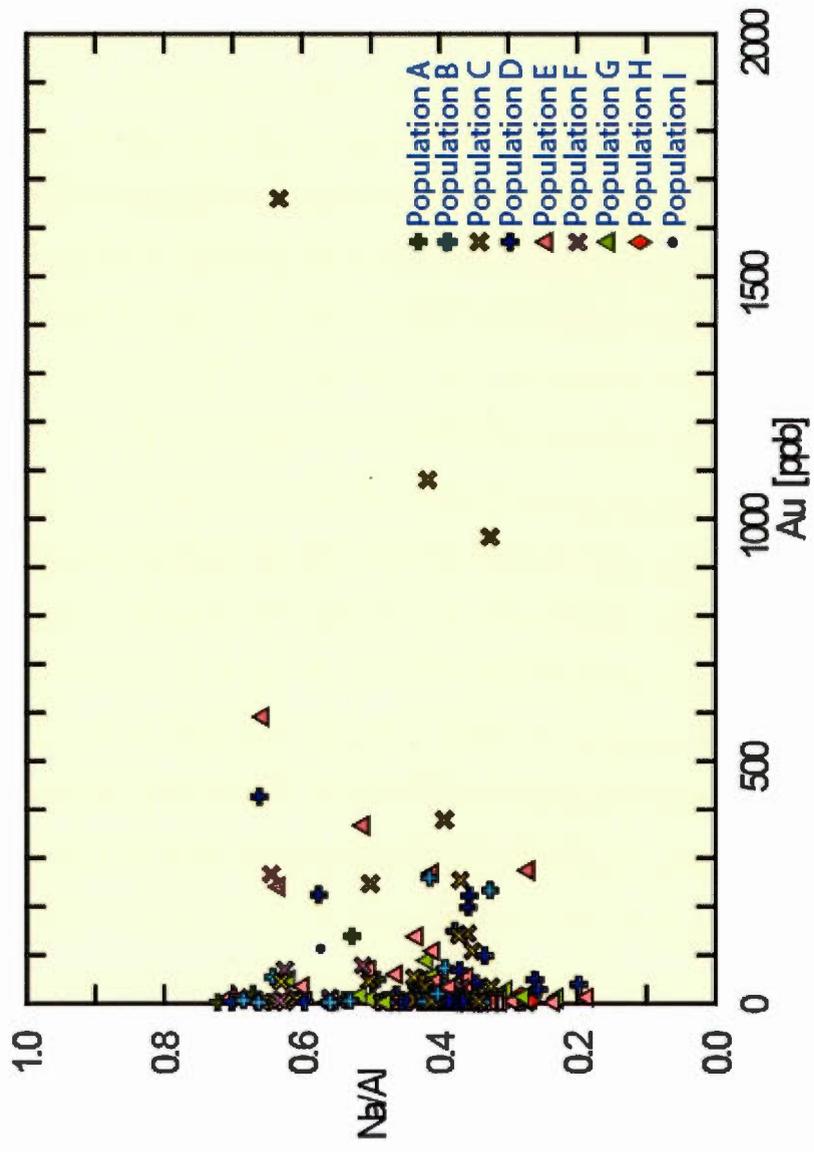


Figure 5.5: Diagrammes géochimiques des intrusions des secteurs de l'ancienne mine Marban (suite).

très étendus de 0.2, soit plus faible que le ratio de base établi pour le secteur étudié et 0.75, ce qui est plus élevé que les ratios des basaltes albitisés provenant du cœur de la minéralisation de la Zone no. 8 Orion, mais qui coïncide avec les ratios de la tonalite de la population « A ». Pour les teneurs aurifères des neuf populations d'intrusions, seule la population « C » représentée par les croix jaunes, possède trois valeurs plus élevées que 600 ppb, soient 962 ppb, 1080 ppb et 1660 ppb. Ensuite la population « E » (triangles roses) possède quatre valeurs entre 200 et 600 ppb, suivi de trois valeurs pour la population « D » pour le même intervalle et de deux valeurs pour la population « B » (figure 5.5).

Les graphiques de terre-rares, associés aux neuf populations (figures 5.6 à 5.8) déterminées plus tôt sur la figure 5.2A, illustrent des patrons constants et relativement comparables pour chacune des populations. Les profils des neuf populations démontrent tous un enrichissement en terre-rares légères. Toutefois, la population « A », qui est la plus riche en silice, démontre un patron de terres rares unique, qui est le moins évolué, avec un enrichissement en terres rares légères moins important. Les patrons de terres rares associés aux quatre populations réellement felsiques « B », « C », « D » et « E » sont semblables et possèdent le plus grand enrichissement en terres rares légères et possèdent ainsi les pentes les plus fortes. Il est possible que ces quatre populations soient génétiquement reliées.

En ce qui a trait aux populations « F », « G » et « H », les profils de ces trois populations se ressemblent entre eux et présentent une même évolution magmatique. Leurs patrons démontrent un enrichissement moins prononcé en terres rares légères que les populations « B » à « E ». De ce fait, la pente négative de leur profil est moins prononcée et semblable. Il y a apparence de comagmatisme pour les populations « F », « G » et « H ». En comparant le profil de terres rares de la population « F », son ratio Zr/Y entre 10 et 15 et son contenu en SiO₂ variant de 60 à 70% et les descriptions des journaux de sondage, il est probable que ce soit une diorite quartzifère. En analysant les données géochimiques de la population « G », il s'agit plutôt d'un gabbro-diorite quartzifère, étant donné son ratio Zr/Y moyen de 10, sa distribution dans le champ transitionnel dans le graphique Y en fonction de Zr, sa disposition dans les champs intermédiaires dans les diagrammes de Winchester et Floyd, et de sa teneur en SiO₂ variant autour de 60%. Pour la population « H », sa composition tholéitique illustrée

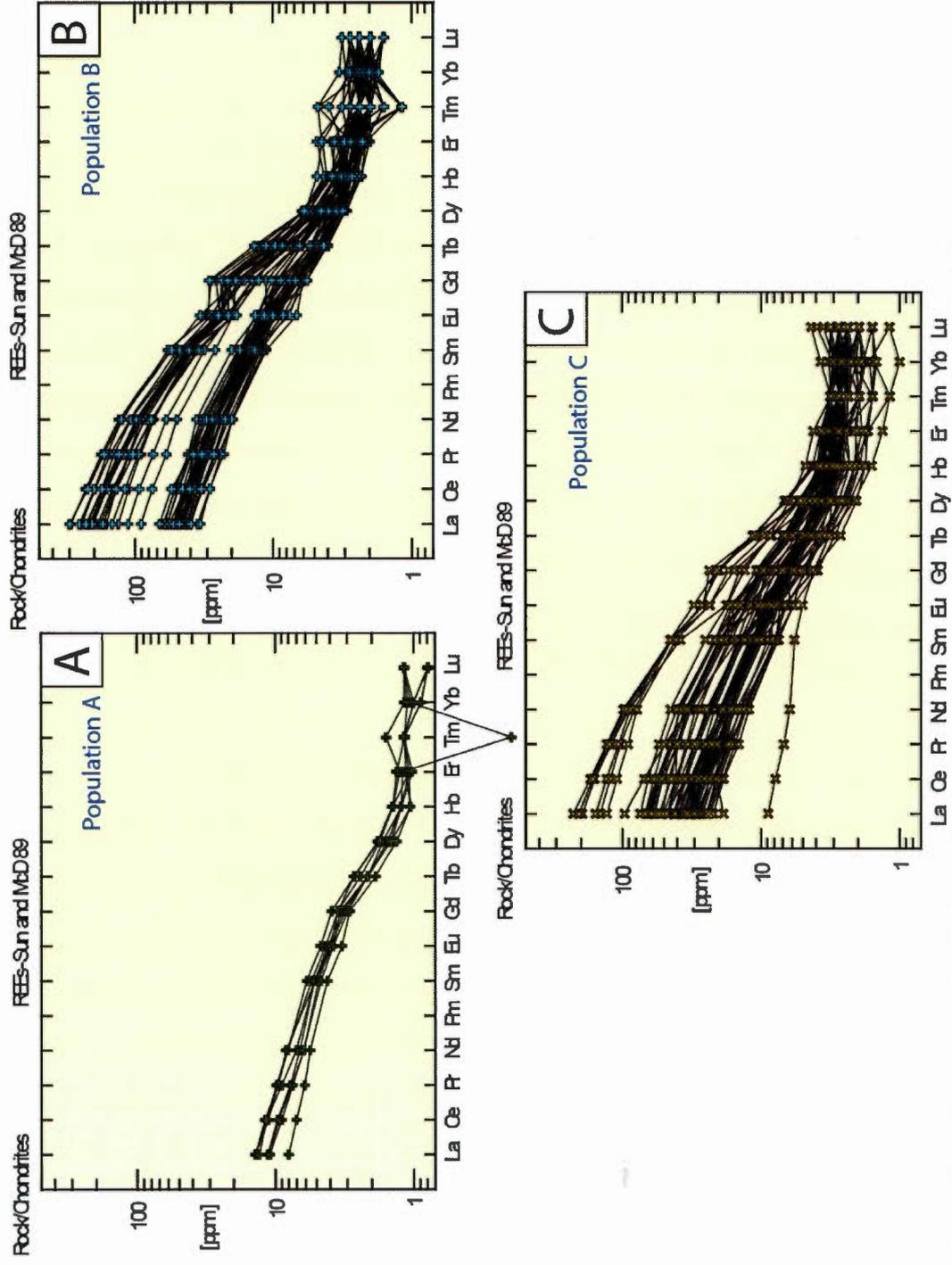


Figure 5.6: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).

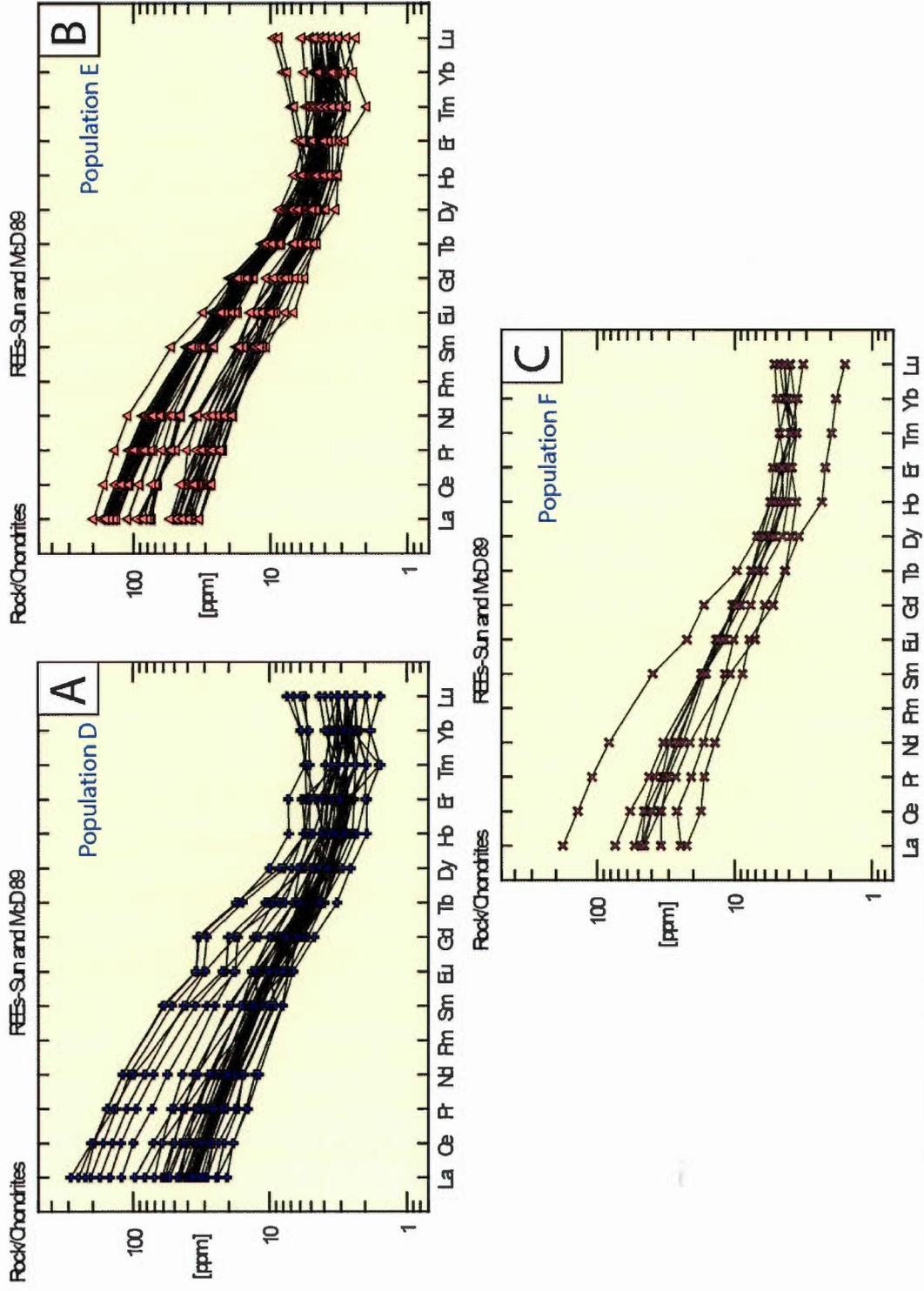


Figure 5.7: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).

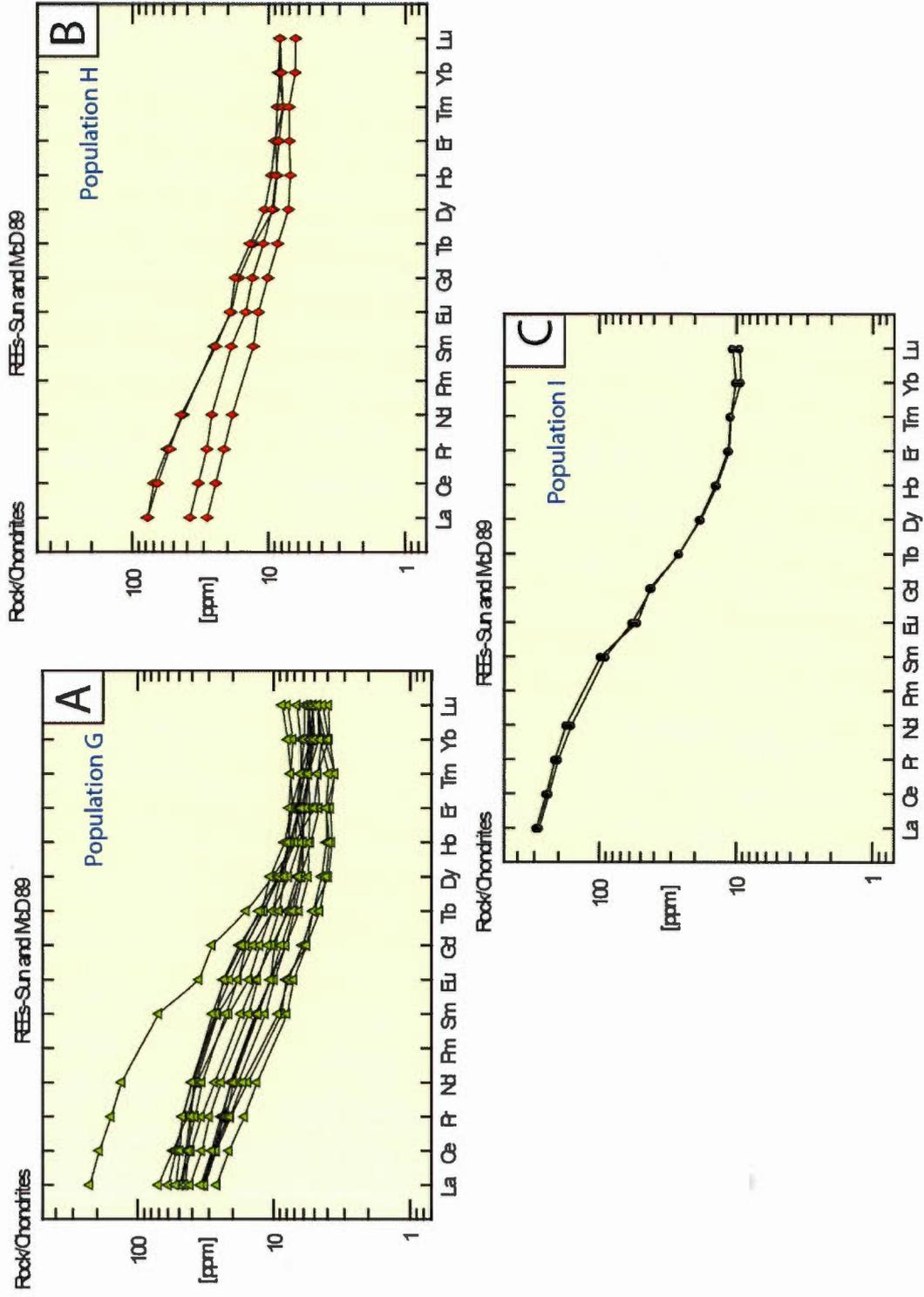


Figure 5.8: Diagrammes géochimiques des intrusions du secteur de l'ancienne mine Marban (suite).

dans le graphique Y en fonction de Zr, son ratio Zr/Y près de 5, les diagrammes de Winchester et Floyd démontrant une affinité mafique et son patron de terres rares illustrant une faible pente négative, laissent supposer que cette population est un gabbro. La population « I » présente un profil de terres rares le plus évolué avec un enrichissement notable en terres rares légères. Cependant, selon le graphique Y en fonction de Zr, ces deux échantillons se situent dans le champ transitionnel et possèdent un faible ratio Zr/Y, leur attribuant une nature intermédiaire à mafique.

5.2 COMPARAISON GÉOCHIMIQUE DES INTRUSIONS FELSIQUES DES SECTEURS MALARTIC HYGRADE, MARBAN, CAMFLO, NORLARTIC ET KIENA

La figure 5.9A illustre les quatre populations tonalitiques de la mine Malartic Hygrade, montrant globalement une affinité sub-alkaline comparable aux populations d'intrusions felsiques de la mine Marban (voir figure 5.9B), ainsi que la granodiorite interminérale et l'intrusion porphyrique à feldspath de la mine Kiena (figure 5.9D). La population « A » de Marban présente la plus grande valeur en silice. Les populations « B », « C » et « D » de la mine Marban se trouvent dans les enveloppes définies par les populations « B » et « D » de Malartic Hygrade. La population « E » de Marban correspond à la population « B » du secteur Malartic Hygrade et la population « G » se concentre principalement à l'enveloppe déterminée par la population « C » de Malartic Hygrade. Les populations « H » et « I » de Marban ont les plus faibles teneurs en SiO₂ et la population « H » les plus faibles valeurs de Na₂O+K₂O. En ce qui a trait aux échantillons des intrusions felsiques, identifiées comme monzonite, de la mine Camflo (voir figure 5.9C), démontrent clairement une affinité alcaline, ce qui concorde avec la nature potassique de ces intrusions.

Sur les figures 5.10 et 5.11, de Winchester et Floyd (1977), les échantillons de la mine Malartic Hygrade de la figure 5.10A se concentrent dans le champ rhyodacite/dacite, alors que ceux de la mine Marban (voir figure 5.10B) s'étendent en continu du champ rhyodacite/dacite vers le champ des trachyandésites, où se trouve le seul échantillon de la

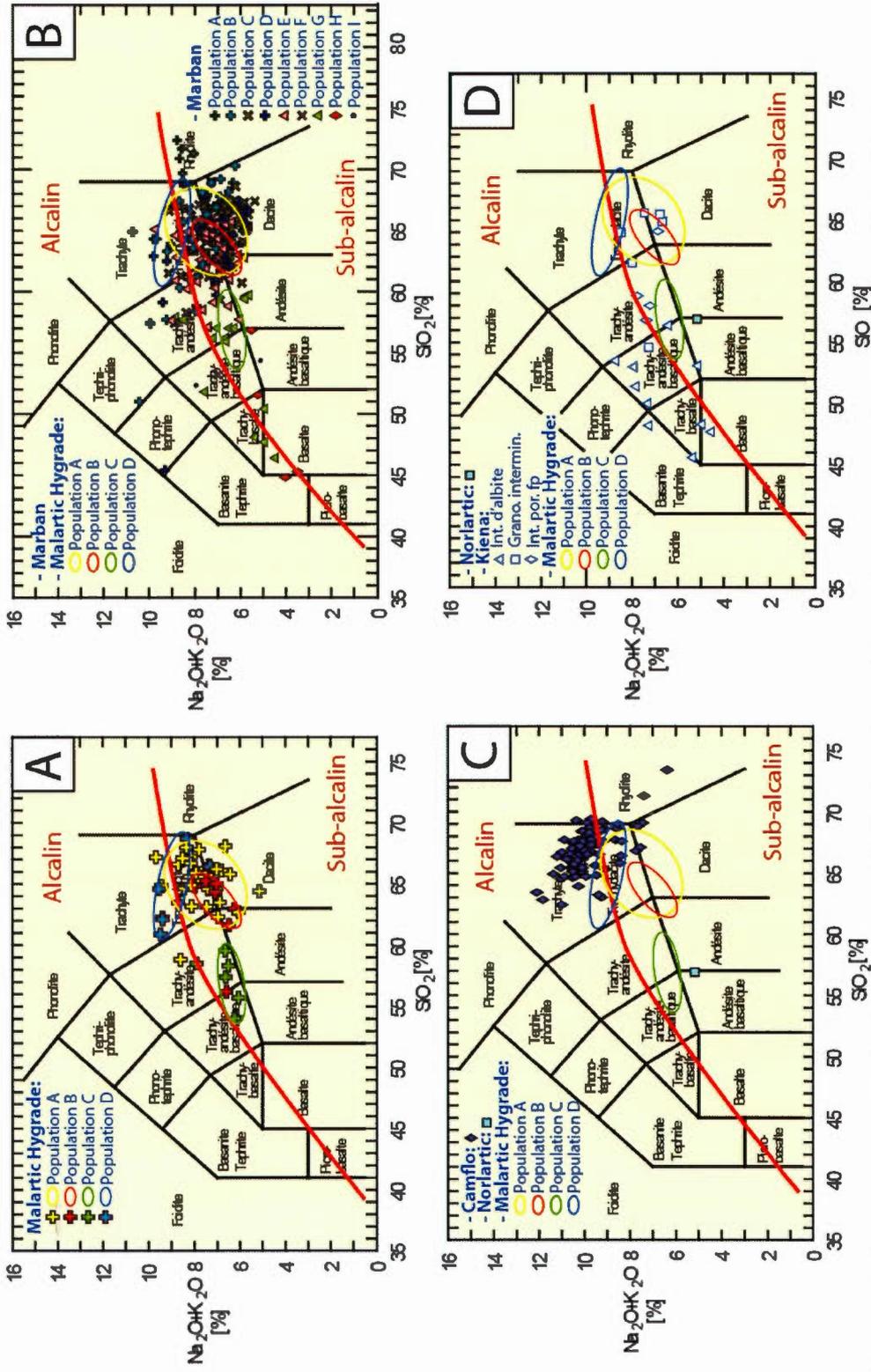


Figure 5.9: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade.

mine Norlartic (figures 5.10C et 5.11C). Les deux échantillons de la mine Camflo (voir figures 5.10C et 5.11C) démontrent un contenu en SiO_2 et un ratio Zr/TiO_2 plus élevé. Sur ces graphiques, l'échantillon de Norlartic, identifié comme diorite quartzifère démontre une teneur plus faible en SiO_2 et se trouve dans le champ des roches intermédiaires dans le graphique de la figure 5.11C. Les échantillons de Malartic Hygrade démontrent une plus grande étendue en fonction de SiO_2 entre les champs andésite-basalte pour la population « C » et rhyodacite pour les autres échantillons (voir figures 5.10A et 11A). Les échantillons de la mine Marban démontrent la même tendance que les données provenant du secteur Malartic Hygrade. En fonction de SiO_2 , les échantillons sont très étendus entre les champs "basalte alcalin" et "rhyolite". La population « A » est la plus felsique avec la plus haute teneur en SiO_2 . Les populations « B » et « D » de Marban semblent correspondre à l'enveloppe de la population « B » de Malartic Hygrade. La population « C » de Marban se concentre principalement dans la région délimitée par la population « A » de Malartic Hygrade. La population « E » du secteur de la Mine Marban présente une corrélation avec la population « C » de Malartic Hygrade. Les populations « F » et « G » de Marban semblent correspondre à la population « D » identifiée à Malartic Hygrade, avec une teneur en SiO_2 moins élevée. Les familles « H » et « I » de Marban ont des teneurs moins élevées en SiO_2 que les quatre populations de tonalite du secteur Malartic Hygrade.

Pour les diagrammes de Zr en fonction de Y et du ratio Zr/Y en fonction de Zr (figures 5.12A et 5.13A) les quatre populations de tonalite identifiées dans le secteur Malartic Hygrade ont été représentées, les populations « A », « B » et « D » définissent une suite calco-alcaline, alors que la population « C » démontre une suite transitionnelle. Sur le graphique 5.13A les populations « A » et « D » présentent un ratio Zr/Y semblable moyen de 20, alors que leur teneur moyenne respective en Zr est de 100 et 150 ppm.

Les figures 5.12B et 5.13B présentent la distribution des neuf populations d'intrusions de la mine Marban, en comparaison avec les quatre enveloppes de distributions associées aux populations de tonalite de Malartic Hygrade. Sur ces graphiques, il est possible d'observer que la population « D » de Marban correspond à la population « A » et « D » de Malartic Hygrade. La population « G » de Marban présente des similitudes avec la population « B » de

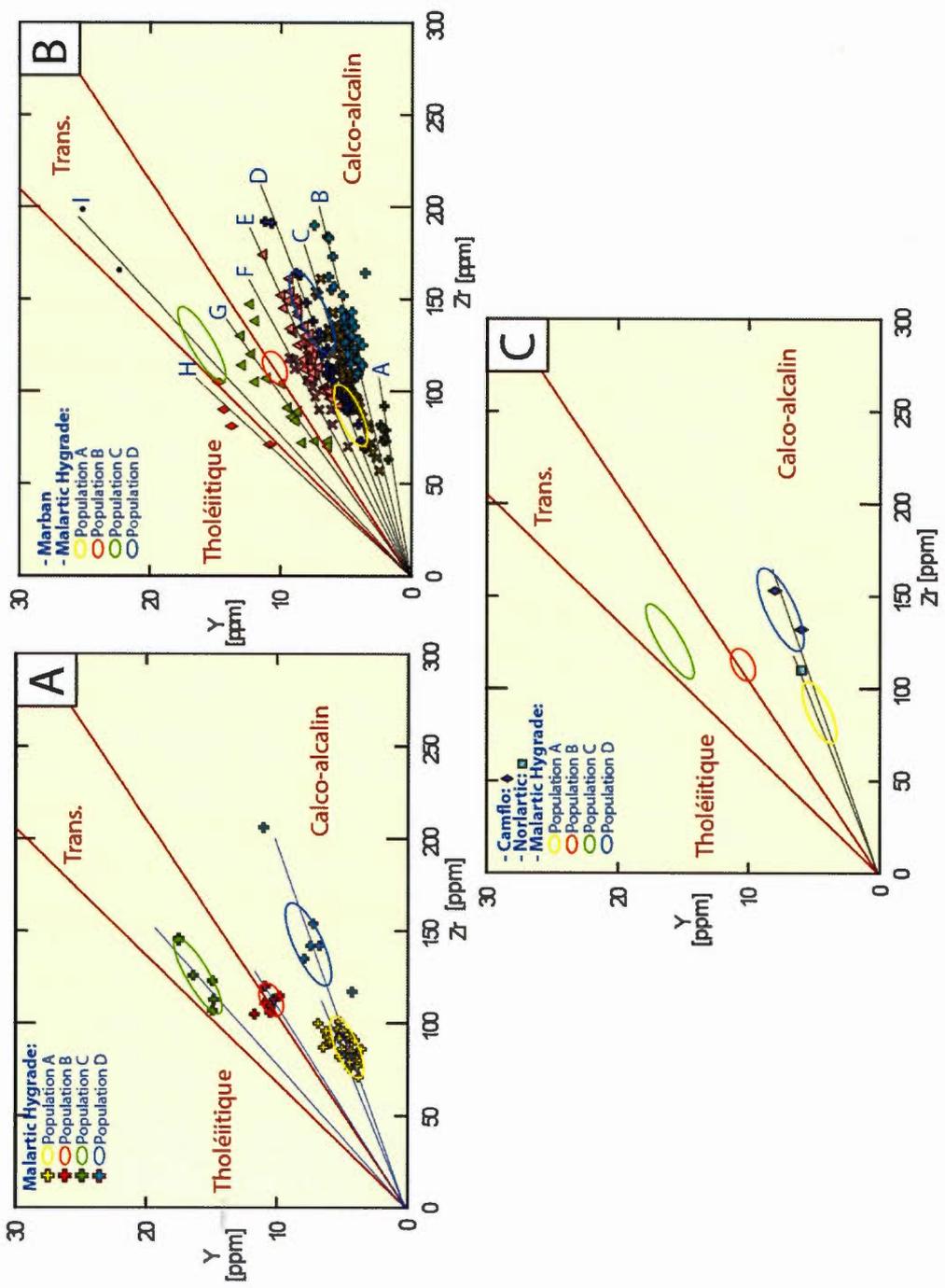


Figure 5.10: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malarctic Hygrade (suite).

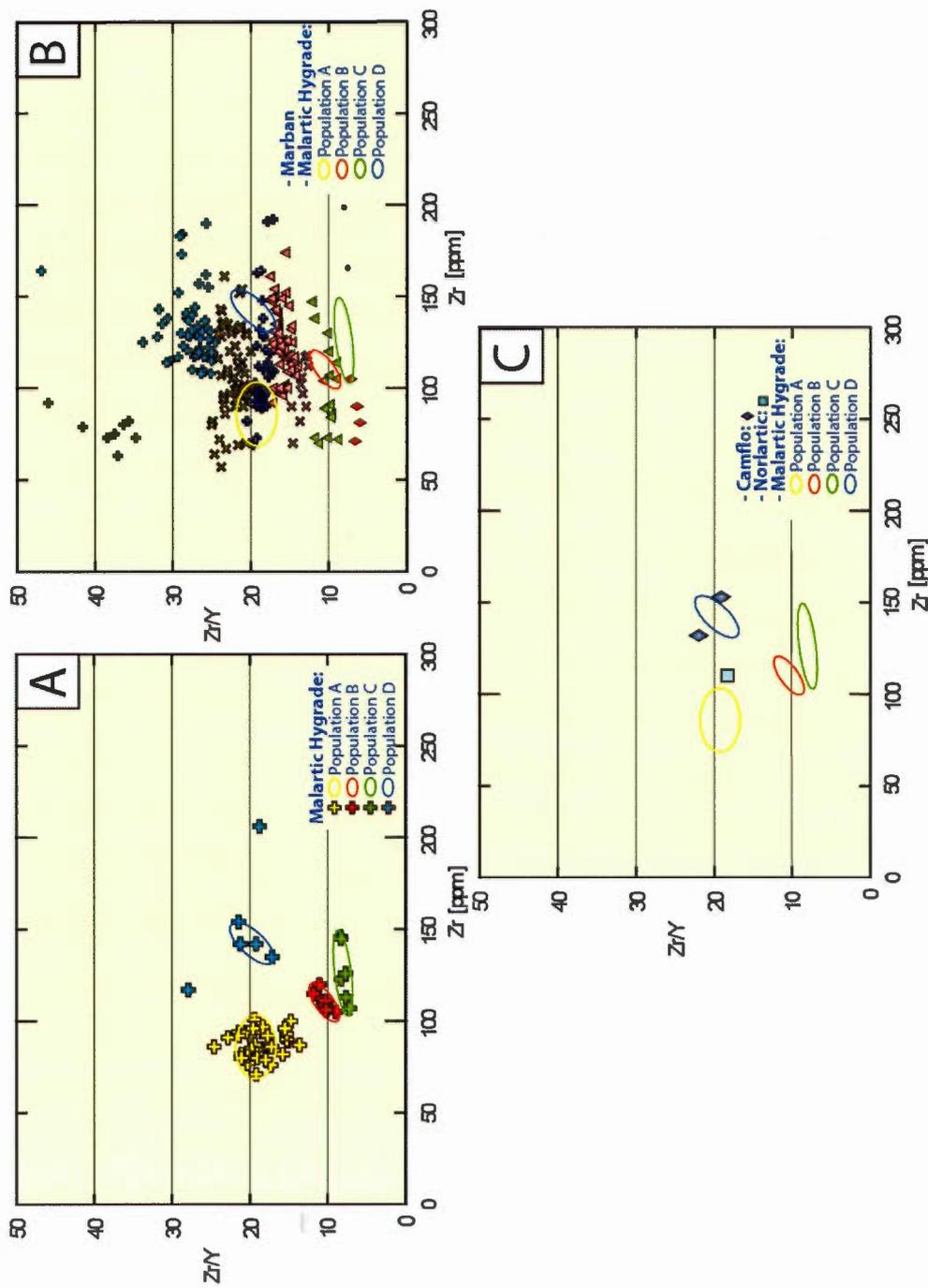


Figure 5.1.1: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malarctic Hygrade (suite).

Malartic Hygrade. Enfin, les populations « H » et « I » de Marban possèdent un ratio moyen entre 5 et 10 semblable à celui de la population « C » de Malartic Hygrade.

Les graphiques Zr en fonction de Y et du ratio Zr/Y en fonction de Zr des figures 5.12C et 5.13C démontrent que les deux échantillons de monzonite provenant de la mine Camflo se trouvent dans la région de la population « D » de Malartic Hygrade, alors que l'échantillon de la diorite quartzifère de Norlartic présente des similitudes avec la population de tonalite « A » de Malartic Hygrade.

Les quatre graphiques (A à D) de la figure 5.14 illustrent la relation Al_2O_3 en fonction de TiO_2 . Sur le graphique A se trouve les quatre populations de tonalite présentes à Malartic Hygrade. Il est possible d'observer que la teneur en Al_2O_3 est semblable, entre 15 et 20% pour toutes les populations. Cependant, les teneurs en TiO_2 varient. Les populations « A » et « B » possèdent les plus faibles valeurs, principalement entre 0.2 et 0.4%, la population « D » entre 0.4 et 0.6% et la population « C » entre 0.5% et 0.8% TiO_2 .

Pour les échantillons du secteur de la mine Marban (voir figure 5.14B), la distribution de la population « A » se distingue par un étirement le long d'une droite et par sa plus faible teneur en TiO_2 . L'enveloppe de la population « A » de tonalite de Malartic Hygrade se trouve au cœur de la distribution des populations « B », « C » et « D » de la région de Marban. L'enveloppe de la population « B » de Malartic Hygrade est très restreinte, se trouvant au cœur de la distribution de la population « C » de Marban. L'enveloppe de la population « C » de Malartic Hygrade recoupe l'étendue des populations « E » et « F » de la région de Marban, alors que l'enveloppe de la population « D » de Malartic Hygrade démontre un recoupement avec les populations « E », « F » et « G » du secteur Marban. Enfin, la majeure partie de la population « G » et les populations « H » et « I » de Marban possèdent les plus grandes valeurs en TiO_2 , variant principalement entre 0.6 à 0.9%.

Sur le diagramme de la figure 5.14C, illustrant Al_2O_3 en fonction de TiO_2 , celui-ci montre la distribution des échantillons de la monzonite de Camflo et celui de la diorite quartzifère de Norlartic, il est possible d'observer que les échantillons de la mine Camflo, se rapprochent de

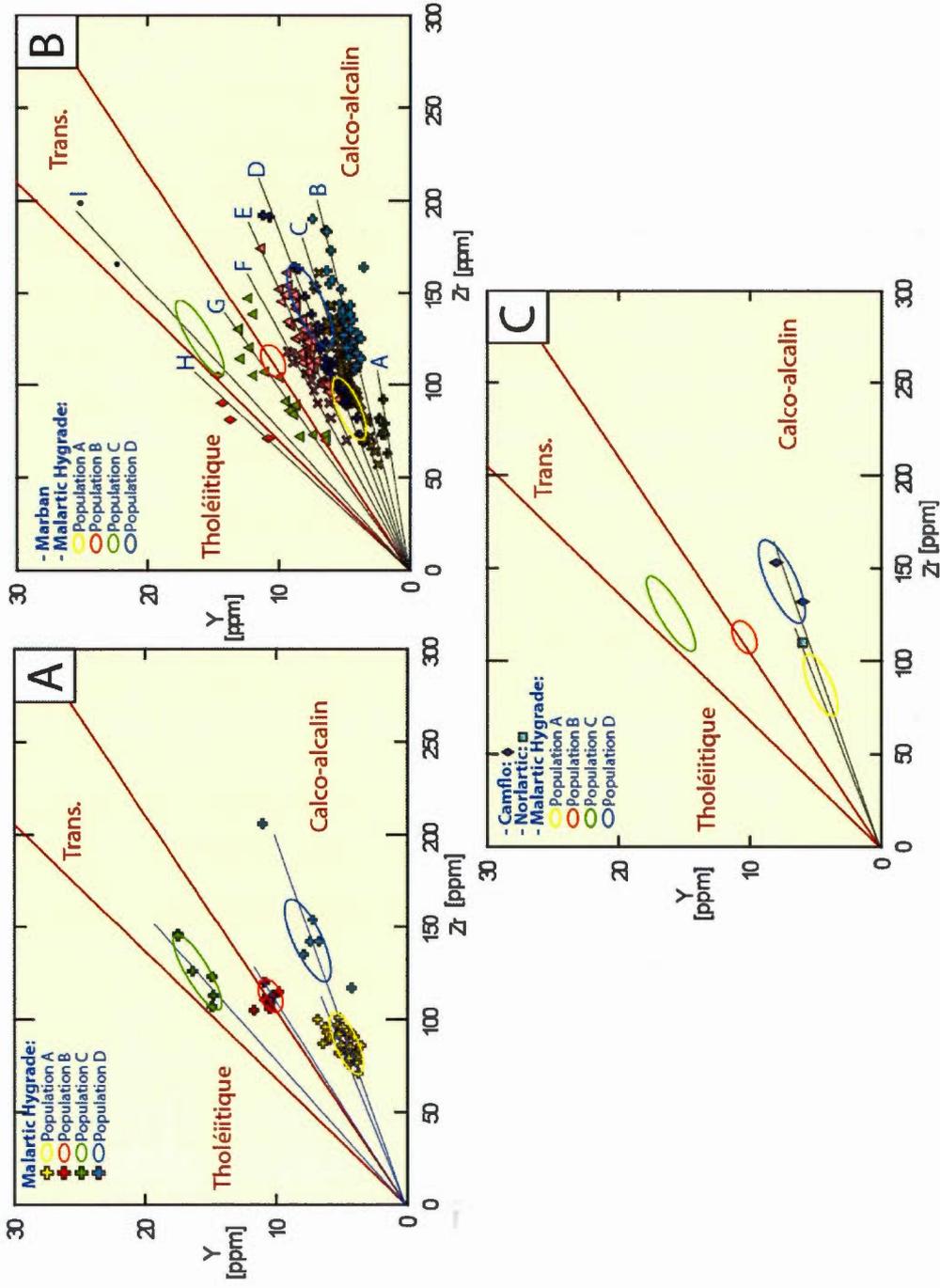


Figure 5.12: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malarctic Hygrade (suite).

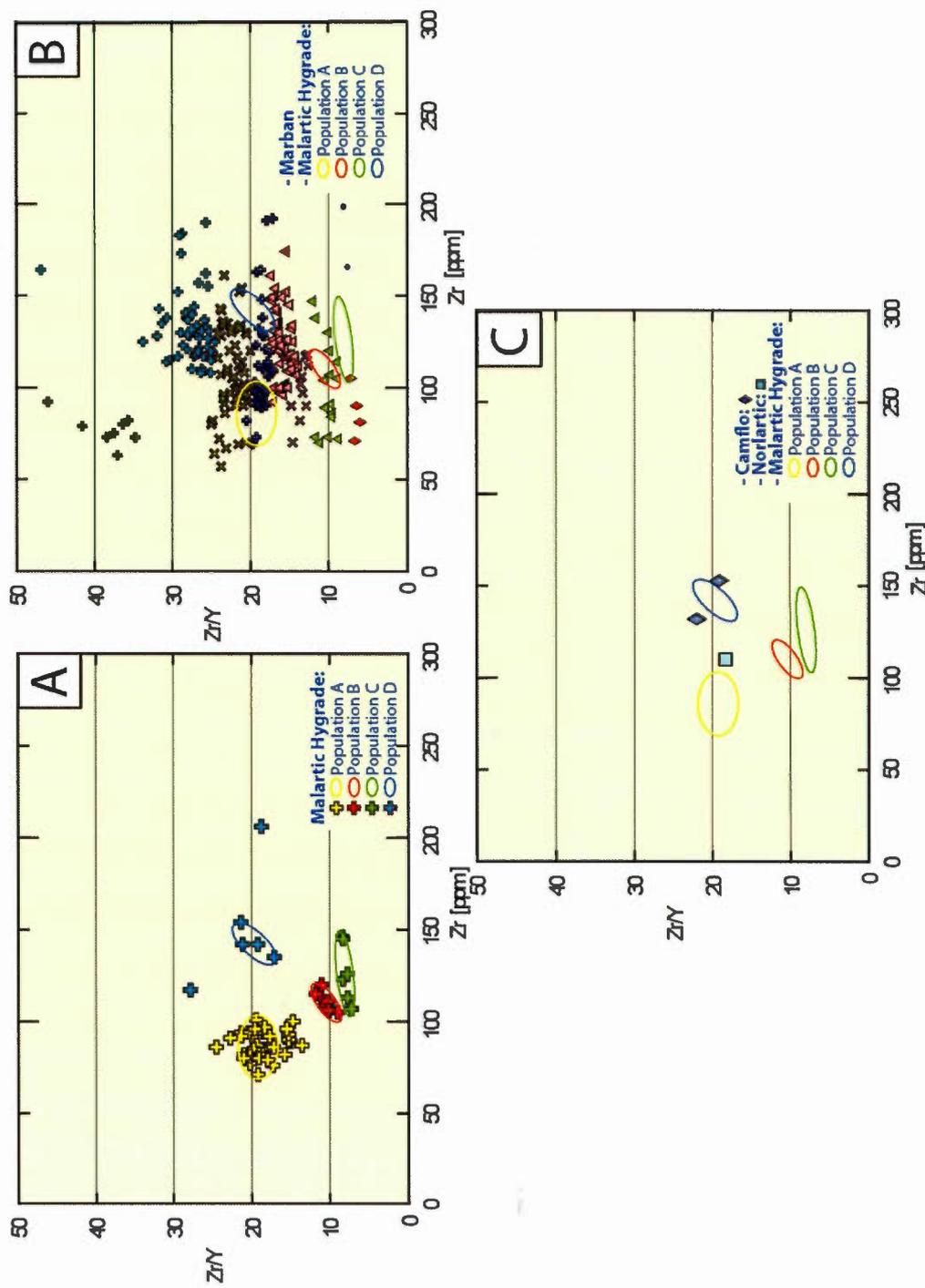


Figure 5.13: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malartic Hygrade (suite).

la population « A » de Marban. De plus, l'échantillon de Norlartic se trouve près de l'enveloppe de la population « A » de Malartic Hygrade. En ce qui a trait aux échantillons provenant de la mine Kiena, illustrés sur la figure 5.14D, la granodiorite interminérale et l'intrusion porphyrique à feldspath semblent correspondre aux populations « A » et « B » de Malartic Hygrade et l'échantillon de Norlartic montre une même tendance que l'intrusion porphyrique à feldspath de Kiena.

Le graphique de SiO₂ en fonction de TiO₂ de la figure 5.15A présente la distribution des quatre populations de tonalite du secteur de la Mine Malartic Hygrade. Ces quatre populations ne démontrent pas d'étirement le long des droites d'altérations (silicification), cependant, les populations « A » et « B » se suivent le long d'une même droite. Les populations « A », « C » et « D » montrent un étirement horizontal associé à une variation des teneurs en TiO₂. Les échantillons de la population « B » sont très concentrés dans ce secteur.

Pour les neuf populations de la mine Marban, sur le graphique de SiO₂ en fonction de TiO₂ de la figure 5.15B, seule la population « A » présente un étirement le long d'une droite de silicification et démontre la même distribution que les échantillons provenant de la monzonite de la mine Camflo (voir figure 5.15B et C). Les populations « B », « C » et « D » de la mine Marban se concentrent dans la région délimitée par l'enveloppe de la population « A » de la tonalite de Malartic Hygrade. L'enveloppe de la population « B » du secteur Malartic Hygrade se trouve à la limite des populations « B », « D » et « E » de la mine Marban. La population de tonalite « C » de Malartic Hygrade présente une tendance semblable à la population « G » de Marban. Les populations « E » et « F » du secteur Marban se trouvent principalement dans la région de l'enveloppe de la population « D » de tonalite de Malartic Hygrade. Les populations « H » et « I » de Marban ne présentent aucun équivalent à Malartic Hygrade étant donné leur faible teneur en SiO₂ et que ces deux populations possèdent les plus fortes valeurs en TiO₂, entre 0.7 et 0.9%.

Le graphique SiO₂ en fonction de TiO₂ de la figure 5.15C présente la distribution des échantillons de la mine Camflo et celui de Norlartic. Il est possible d'observer

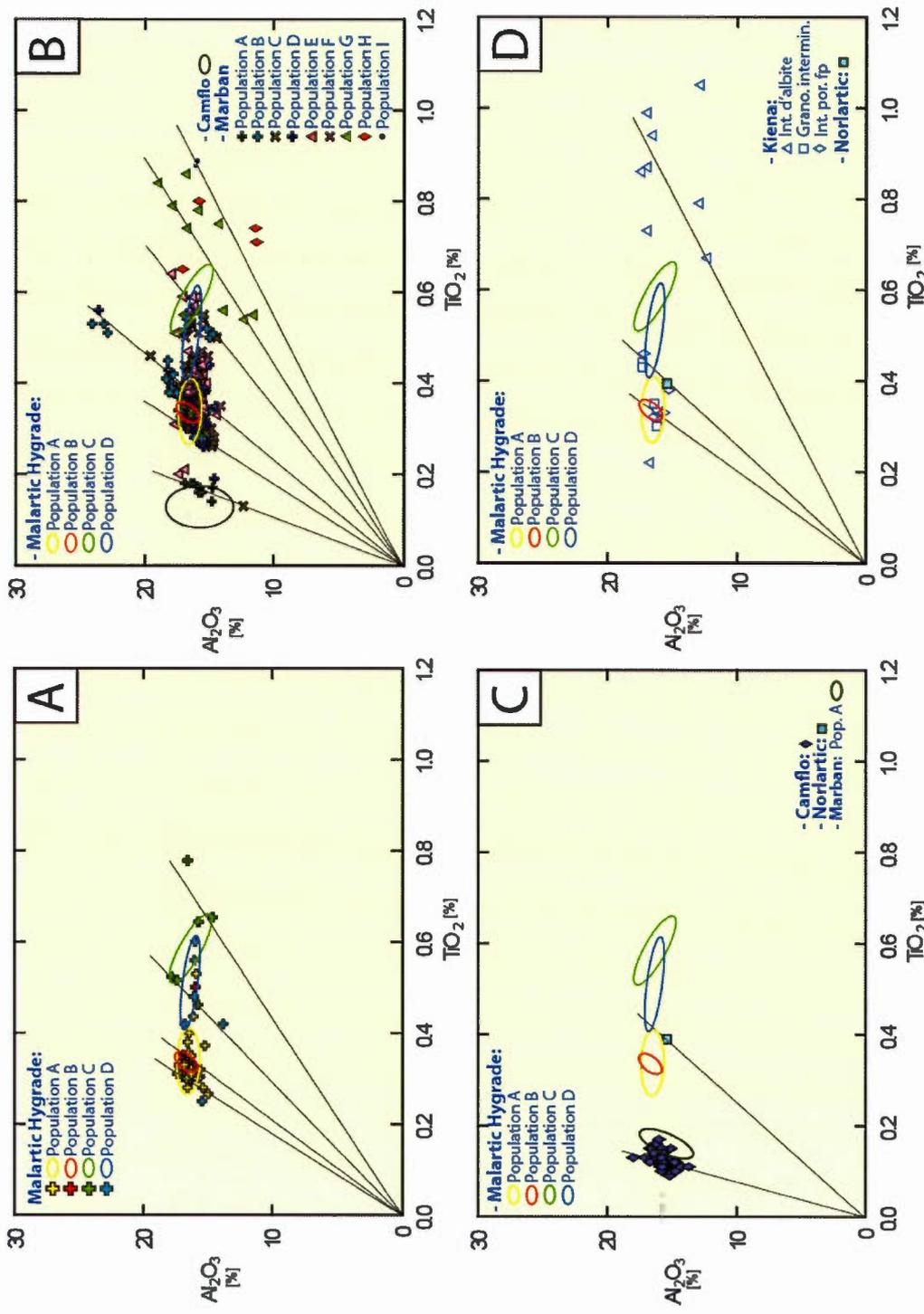


Figure 5.14: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malarctic Hygrade (suite).

l'échantillon de Norlartic se trouve sur la même droite de silicification que les populations « A » et « B » de Malartic Hygrade.

La figure 5.15D illustrant les échantillons de la mine Kiena sur le graphique SiO_2 en fonction de TiO_2 , la granodiorite interminérale se trouve dans le même champ que la population « A » de Malartic Hygrade. Les échantillons provenant de l'intrusion d'albite de la mine Kiena se trouve dans la même région de ce graphique que les populations « G », « H » et « I » du secteur de Marban. De plus, l'échantillon de diorite quartzifère de la mine Norlartic se situe encore une fois très près d'un échantillon de l'intrusion porphyrique à feldspath de la mine Kiena.

La figure 5.16 met en relation le ratio Na/Al en fonction de Au des différents gisements. Le graphique 5.16A démontrent que les quatre populations de tonalite de Malartic Hygrade ne sont que très peu ou pas minéralisés. Seulement trois échantillons sur 51 se démarquent avec des teneurs variant entre 200 et 600 ppb. Le diagramme de la figure 5.16B montre que peu d'échantillons provenant de la mine Marban ont des teneurs en Au importantes. Seulement trois échantillons sur soixante-trois de la population « C » ont plus de 1000 ppb et plusieurs populations possèdent de faibles teneurs entre 100 et 500 ppb. Sur le diagramme 5.16C, l'échantillon provenant de Norlartic démontre une très faible teneur en Au et ce même diagramme démontre clairement que les échantillons provenant de l'intrusion felsique de la mine Camflo sont minéralisés. Le graphique 5.16D, représentant les échantillons de la mine Kiena, démontre que deux échantillons provenant de dyke d'albite possèdent des teneurs considérables en or, jusqu'à 10 000 ppb, contrairement aux échantillons provenant de la granodiorite interminérale et de l'intrusion porphyrique à feldspath, qui ne présentent peu ou pas de valeur en or.

Le tableau 5.1 présente les conclusions tirées suite à cette analyse lithogéochimique comparative. Il met en relation les neuf populations d'intrusions déterminées à la mine Marban (deux première lignes du tableau) en fonction des différents diagrammes utilisés des figures 5.9 à 5.16. Ceux-ci sont subdivisés en nombre de gisements comparés, soit Malartic

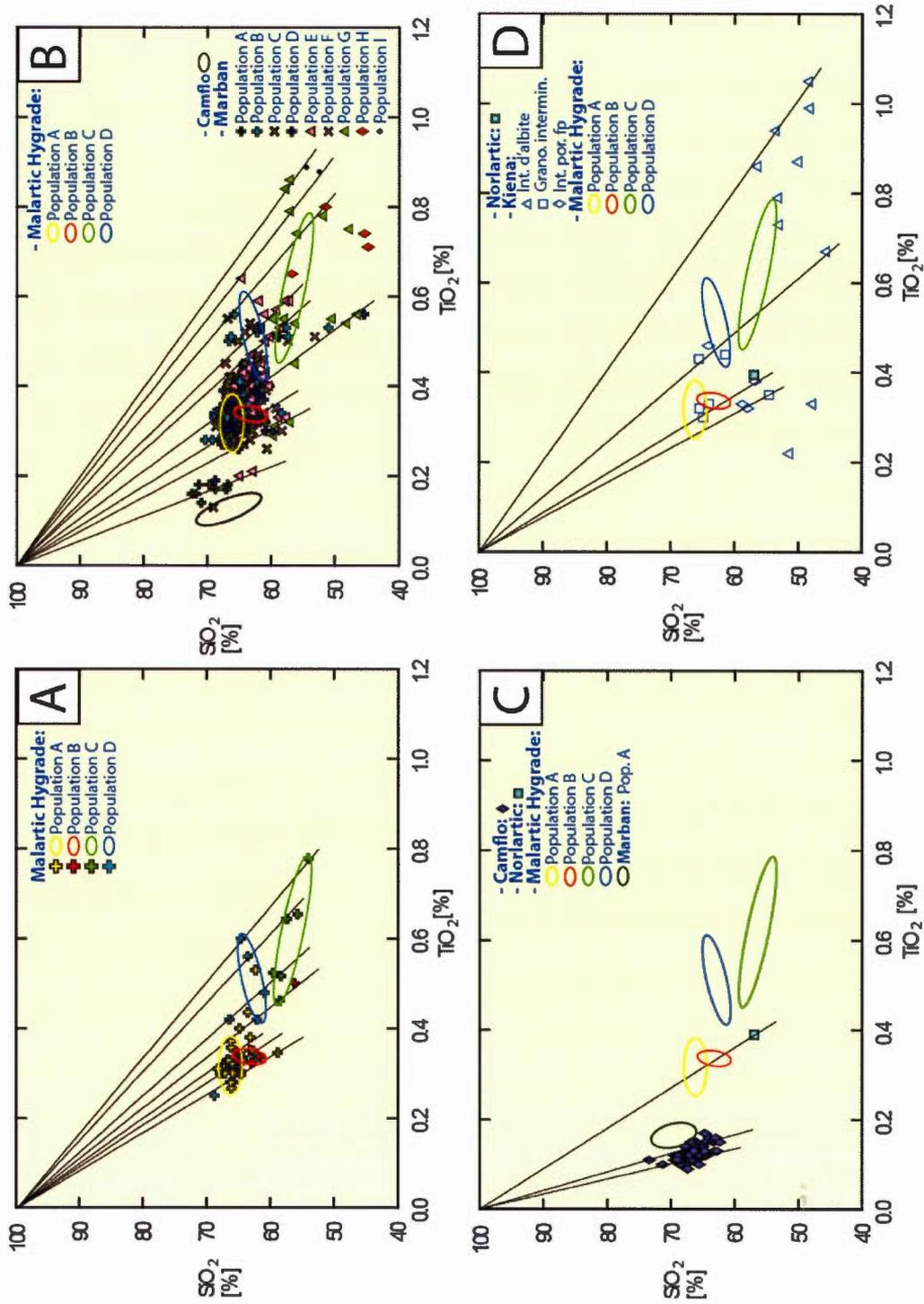


Figure 5.15: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malarctic Hygrade (suite).

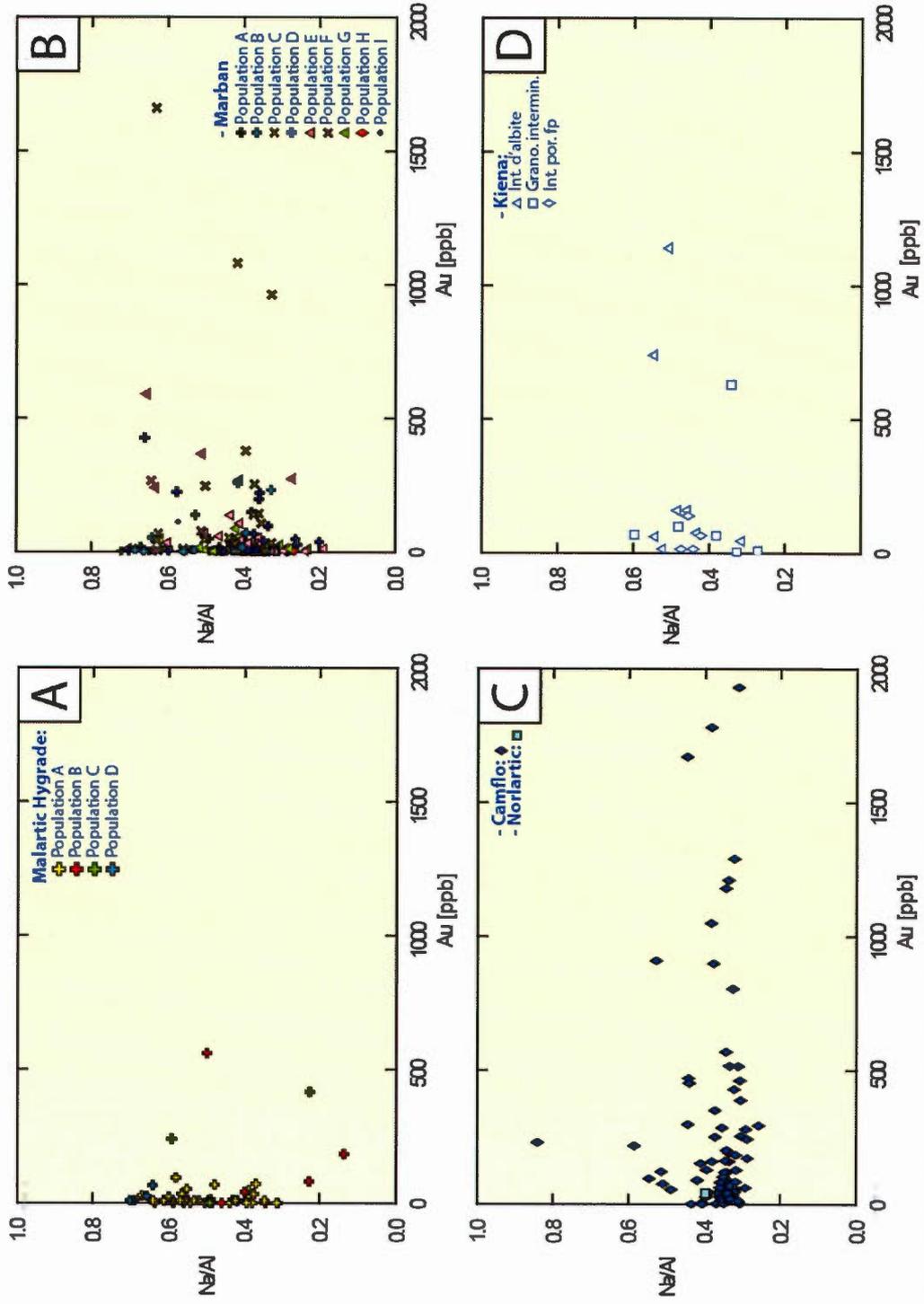


Figure 5.16: Diagrammes géochimiques comparatifs des intrusions felsiques des secteurs de l'ancienne mine Marban, Camflo, Norlartic et Malarctic Hygrade (suite).

Hygrade, Kiena, Camflo et Norlartic (deux premières colonnes), lesquels sont identifiés dans le cœur du tableau par leurs populations d'intrusions respectives.

Premièrement, les cinq types de diagrammes comparatifs montrent une similitude entre la population « C » des intrusion felsiques du secteur de l'ancienne mine Marban, la population « A » du gisement Malartic Hygrade et la granodiorite interminérale du secteur de la Mine Kiena (cette conclusion est illustrée dans le tableau 5.1 par les cases surlignées en jaune).

En effet, sur les diagrammes de la figure 5.9, l'enveloppe de la population « A » de Malartic Hygrade, dans le champ sub-alkalin, englobe une partie des échantillons de la population « C » de Marban, ainsi que quatre des cinq échantillons provenant de la granodiorite interminérale de Kiena. Les diagrammes de Winchester et Floyd 1977 des figures 5.10 et 5.11 montrent encore une fois que les échantillons de la population « A » de Malartic Hygrade et de la population « C » de Marban se superposent principalement dans la zone identifiée rhyodacite/dacite. Les figures 5.12 et 5.13 présentent les diagrammes mettant en relation Y en fonction de Zr, ainsi que le ratio Zr/Y en fonction de Zr. Ces derniers illustrent aussi le comportement similaire de la population « A » de Malartic Hygrade et la population « C » de Marban dans le champ calco-alkalin. Sur les diagrammes Al_2O_3 en fonction de SiO_2 de la figure 5.14, les diagrammes de SiO_2 en fonction de TiO_2 de la figure 5.15, la population « A » de Malartic Hygrade se superpose à la population « C » de Marban et à la majorité des échantillons provenant de la granodiorite interminérale de Kiena.

Sur les deux graphiques B et C des figures 5.14 et 5.15 mettant respectivement en relation Al_2O_3 et SiO_2 en fonction de TiO_2 , le comportement de la population « A » de la mine Marban se rapproche à celui des échantillons provenant de la monzonite de la mine Camflo (cases surlignées en vert dans le tableau 5.1). Enfin, seuls les échantillons de cette monzonite présentent une forte minéralisation, ainsi qu'une faible albitisation (figure 5.16).

CHAPITRE VI

MISE EN PLACE DE LA ZONE NO. 8 ORION ET COMPARAISONS AVEC LES MINES ENVIRONNANTES

Les gisements aurifères de la région Val-d'Or – Malartic peuvent être subdivisés en deux groupes (Robert (1990a), Pilote et al. (1993) et Couture et al. (1994)), soient les minéralisations précoces et celles tardives. Les minéralisations précoces, antérieures à 2690 Ma, sont caractérisées par une forte déformation enregistrée lors de la déformation régionale et sont communément associées à des intrusions felsiques, tels que les gisements des mines Norlartic et Kiena. Le second groupe englobe les minéralisations tardives, plus jeunes que 2690 Ma, celles-ci n'ont pas subies de déformation intense. Ces derniers se composent de réseaux de veines de quartz, carbonate, tourmaline et scheelite (ex : les mines Goldex, Sigma-Lamaque, Siscoe).

6.1 MISE EN PLACE DU GISEMENT ZONE NO. 8 ORION

Les données recueillies et compilées lors de cette étude ont permis d'établir une chronologie relative des événements géologiques associés à la Zone no. 8 Orion (voir tableau 6.1 et la figure 6.1). Dans un premier temps, il y a la mise en place de l'édifice volcanique mafique-ultramafique, suivi par la première phase de déformation D₁. Il y a ensuite mise en place des veines de quartz aurifères d'extension nord-sud et du réseau de veines en stockwerk bordées par un vaste halo de chloritisation périphérique et une forte albitisation proximale à laquelle est associée la pyritisation de la zone minéralisée. Par après, suit la mise en place des filons massifs de veines de quartz avec enclaves de basalte pyriteux. Quatrièmement, il y a la mise en place des intrusions tonalitiques datées à 2680 ± 1 Ma, qui recoupent la zone minéralisée. Ces intrusions contiennent des enclaves de veines de quartz massives. Prend place ensuite l'épisode de déformation régionale D₂, estimé se manifester entre 2680 et 2670 Ma (selon

Daigneault et al., 2002), auquel est associé le pli anticlinal synforme de Malartic Hygrade et l'aplatissement des coussins basaltiques dans la zone chloritisée. À l'intérieur du halo d'albitisation, les veines de quartz nord-sud sont peu crénulées et les basaltes en coussins sont beaucoup moins aplatis. En réponse au métamorphisme régional, il y a développement des porphyroblastes d'actinote. Enfin, s'ensuit l'activation-réactivation des cisaillements et des failles orientés 310° , qui recoupent la minéralisation de la Zone no. 8 Orion, ainsi que la fabrique S_2 , en créant un entrainement normal-dextre sur cette structure.

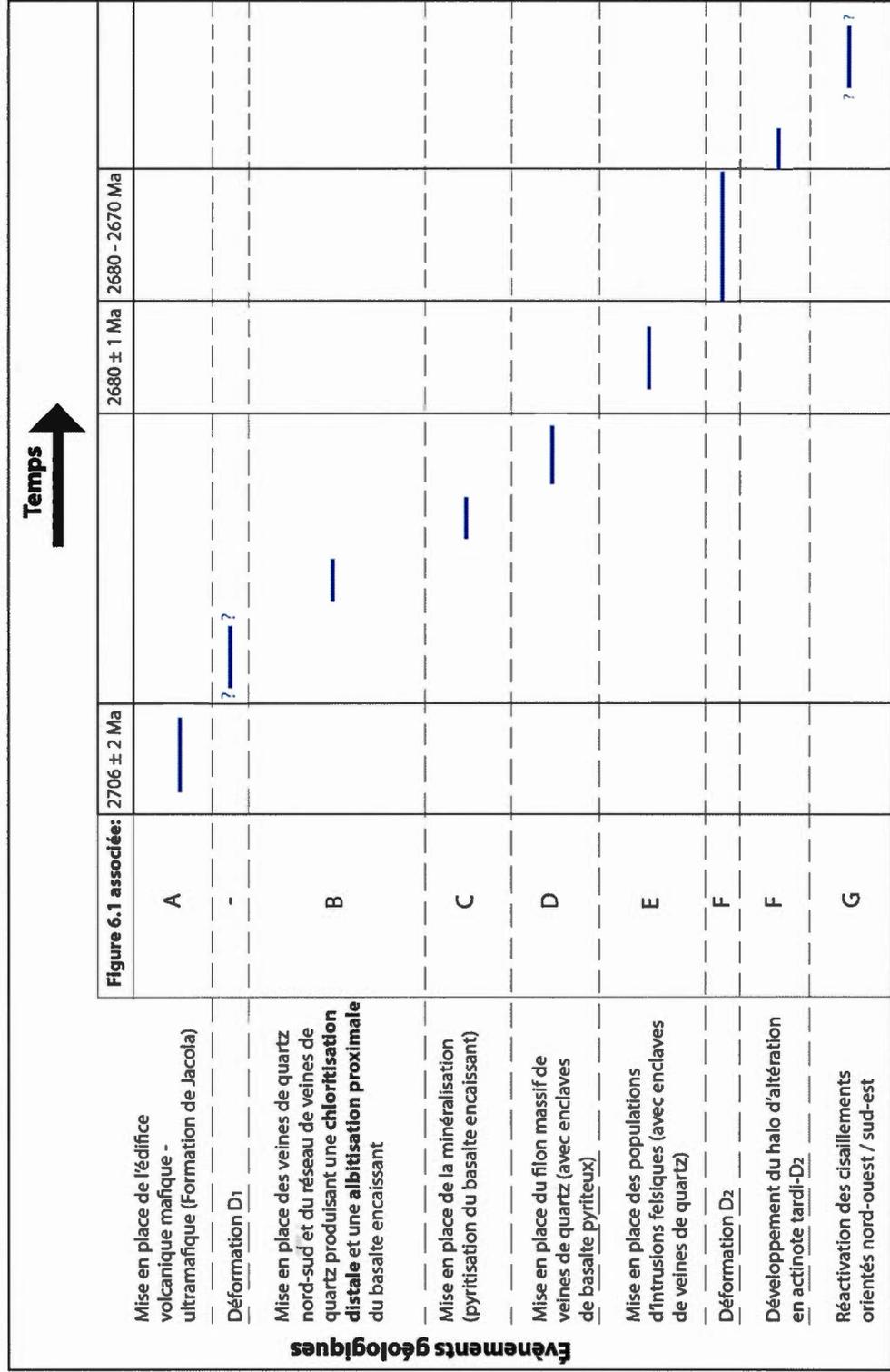
Puisque le gisement Zone no. 8 Orion a subi la déformation régionale et est spatialement associé à des intrusions tonalitiques et est antérieur à 2690 Ma, il est proposé de le classer dans la catégorie des gisements anciens de la région de Val-d'Or-Malartic.

6.2 COMPARAISON DU GISEMENT ZONE NO. 8 ORION ET DES GISEMENTS ENVIRONNANTS

Le tableau 6.2 présente brièvement la minéralisation des mines et gisements environnant le secteur étudié, ceci afin de positionner la Zone no. 8 Orion relativement à ces différents gisements et de la catégoriser selon les différents épisodes aurifères de la région de Val-d'Or - Malartic. Dans ce tableau se trouve les gisements des mines Camflo, Norlartic, Marban, Kiena, Siscoe et la Zone no. 8 Orion (voir la figure de localisation 5.1).

Le gisement présentant le moins de similitude avec celui étudié est celui de la mine Camflo. Dans un premier temps, les intrusions felsiques retrouvées à Camflo sont des monzonites, donc de composition plus alcaline que celles de la Zone no. 8 Orion. Ensuite, la datation obtenue sur cette intrusion est de 2680 ± 4 Ma (Zweng et al., 1993) et la minéralisation recoupe cette intrusion, contrairement de la Zone no. 8 Orion, où une tonalite recoupant la minéralisation a été datée à 2680 ± 1 Ma (Pilote et al., 2013). Donc la minéralisation de la mine Camflo doit être plus jeune que 2680 ± 4 Ma. Ce gisement se retrouve ainsi dans le groupe des gisements aurifères tardifs du secteur Val-d'Or - Malartic.

Tableau 6.1 : Chronologie et synthèse des événements géologiques associés à la mise en place de la minéralisation aurifère à la Zone no. 8 Orion.



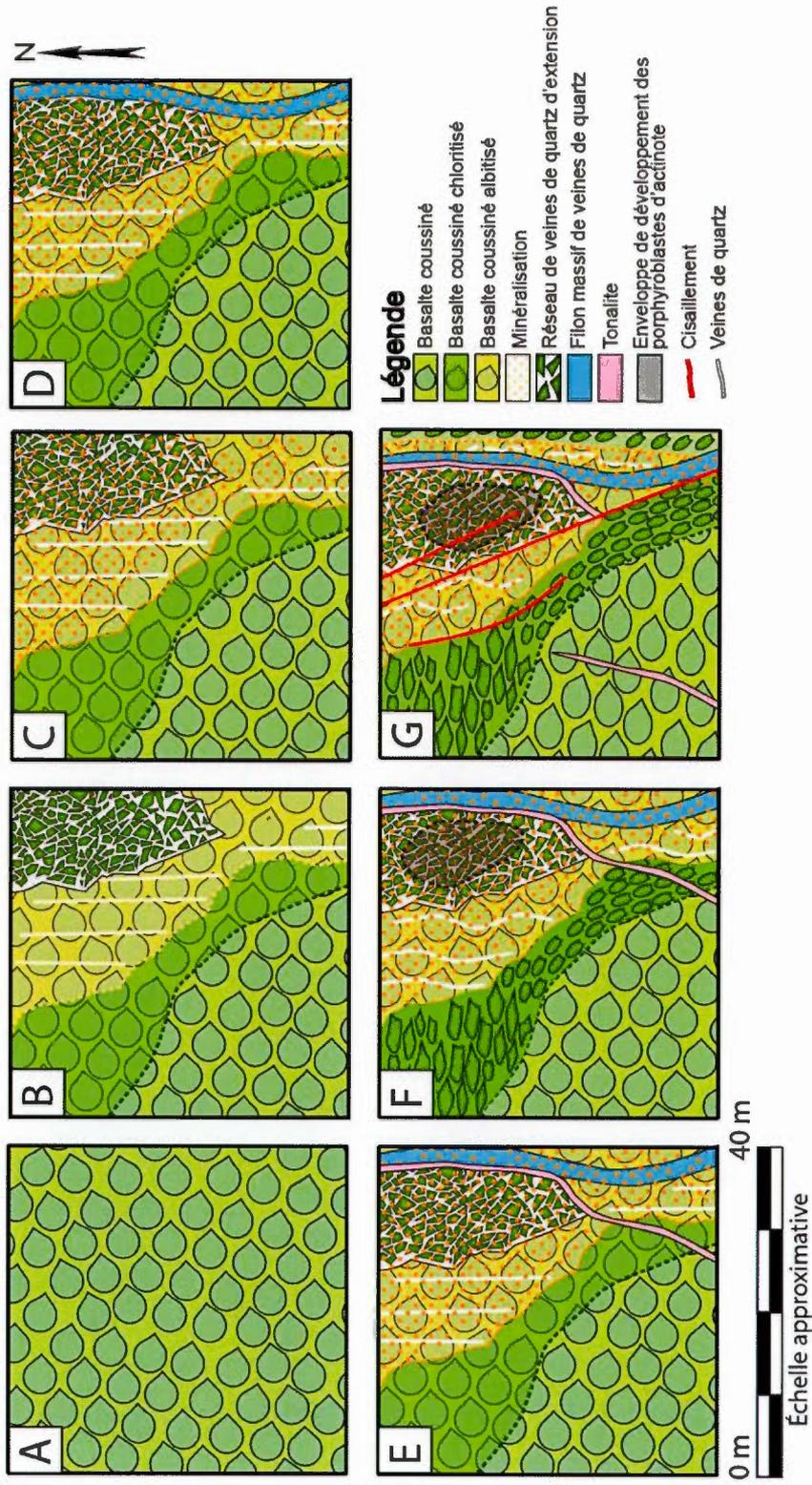


Figure 6.1: Blocs diagrammes décrivant la chronologie et la synthèse des événements géologiques associés à la mise en place de la minéralisation aurifère à la Zone no. 8 Orion.

La minéralisation du gisement de la mine Norlartic se compose de veines de quartz, carbonates, pyrites et or encaissées dans une intrusion micro-dioritique. Une tonalite qui recoupe la minéralisation de Norlartic a été datée à 2692 ± 2 Ma (Pilote et al., 1993). De ce fait, la zone minéralisée est plus vieille que 2692 ± 2 Ma, cela concorde avec l'âge de la minéralisation plus vieille que 2680 ± 1 Ma de la Zone no. 8 Orion. Ceci implique en conséquence que le gisement de la mine Norlartic fait partie des gisements réputés précoces de la région de Val-d'Or – Malartic (Pilote et al., 1993).

Une autre zone minéralisée qui se distingue du gisement Orion est celle de Marban. La minéralisation principale se retrouve dans un réseau de veines de quartz et de calcite encaissées dans un basalte modérément à fortement cisailé, chloritisé et carbonaté (Méthot et Trudel, 1987; Sauvé et al., 1993; Beaucamp, 2010). La minéralisation se compose de pyrite, pyrrhotite, traces de chalcopyrite, d'or natif et d'ilménite. L'aspect structural principal de ce gisement est qu'il est situé dans une inflexion importante dans la trajectoire du cisaillement Marbenite (Sauvé et al., 1993).

Le gisement de la mine Kiena (Morasse, 1998) est celui qui comporte le plus de similitudes avec le secteur étudié. La zone minéralisée principale est associée à une albitisation précoce et se compose d'une brèche mafique carbonatée dont certains fragments sont de composition dioritique. Cette brèche est encaissée dans les basaltes et les unités ultramafiques de la Formation de Jacola et est recoupée par un essaim d'intrusions felsiques porphyriques à feldspath. Les points communs sont la brèche mafique qui ressemble au faciès minéralisé de veines de quartz en stockwerk de la Zone no. 8 Orion, sans les fragments d'intrusions intermédiaires, ainsi que le recoupement de la minéralisation par des dykes felsiques porphyriques à feldspath. Le gisement de la mine Kiena est classé dans la catégorie des minéralisations aurifères précoces de la région de Val-d'Or - Malartic, puisqu'une intrusion interminérale a fait l'objet d'une analyse géochronologique datant la minéralisation de Kiena à 2686 ± 2 Ma (Morasse et al., 1995). Sachant que la minéralisation de la Zone no. 8 Orion est antérieure à 2680 ± 1 Ma (Pilote et al., 2013), il serait possible d'établir une corrélation temporelle entre ces deux gisements, puisque la date associée à la minéralisation de la mine

Kiena est englobée dans la marge d'erreur des valeurs obtenues pour l'âge de la mise en place de la Zone no. 8 Orion.

Finalement, à l'Est de la mine Malartic Hygrade se trouve le gisement aurifère de la mine Siscoe, qui présente peu de similitude avec le gisement Orion. La géologie de ce secteur se compose au nord d'un gabbro quartzifère (nommé stock de Siscoe) et au sud de basalte de la Formation de Dubuisson. Le contact de ces deux lithologies est caractérisé par la zone de cisaillement « K ». Le stock de Siscoe est recoupé par quatre types de dykes variant de mafiques à felsiques. Selon Sauvé et al. (1993), toutes les roches dans le secteur de cette mine ont subi la déformation régionale réputée D₂.

Le minerai du gîte Siscoe se compose de deux types de veines de quartz aurifères. Un premier type de veines est encaissée dans la zone de cisaillement « K » et est principalement composée de quartz, carbonates, chlorite, séricite et se distingue par la présence de talc et d'actinote. Ce type de veines aurifères est recoupée par des dykes mafiques et felsiques lenticulaires et cisailés par endroit. Cette première génération de minéralisation est pré-D₂, puisqu'elle est recoupée par des intrusions mafiques   felsiques (Olivo et Williams-Jones, 2002) ayant subi la déformation régionale D₂ (Sauvé et al., 1993).

Une deuxième génération de veines, plus tardives, est encaissée dans le stock de Siscoe. Ces veines sont composées de quartz blanc, de tourmaline et d'un peu de sulfures (Backman, 1936; Moss, 1939; Robert, 1990; Pilote et al., 1993). Ce deuxième type de veines de quartz minéralisées recoupe tous les dykes ainsi que les générations antérieures de veines aurifères et la schistosité S₂ (Backman, 1936; Moss, 1939; Pilote et al., 1993; Olivo et Williams-Jones, 2002). Cette génération de veines tardives est composée de quartz blanc vitreux avec de la tourmaline, de la scheelite et de la pyrite en grande quantité (Sauvé et al., 1993 et Olivo et Williams-Jones 2002). Donc, ce second type de minéralisation est contemporain à la dernière réactivation de cette zone de cisaillement, qui a enregistré la déformation régionale (Sauvé et al., 1993).

Suite à cet exercice comparatif de la Zone no. 8 Orion avec les mines environnantes, il est proposé de placer le gisement Orion dans le groupe des minéralisations précoces et déformées du secteur Val-d'Or - Malartic.

Tableau 6.2: Tableau comparatif des gisements environnant la Zone no. 8 Orion.

Nom de la mine	Localisation	Dimension et teneur	Années de production	Minéralisation	
				Brève description générale	(...)
Orion Zone no. 8 (Malartic Hygrade) Sauvé, (1987) Trudeau et Raymond, (1992) Trudel et Sauvé, (1992)	7 km au NE de Malartic	131 000 t à 5,31 g/t Au	1987 à 1990	- Disséminée dans le basalte encaissant albitisé, en inclusion dans la pyrite, entre les grains de pyrite, ou - Dans les veines et veinules de quartz-albite	(...)
Camflo Trudel et Sauvé, (1992) Zweng et al., (1993) Pilote et al., (2013)	6,4 km au NE de Malartic et 1 km au sud de Malartic Hygrade	8, 86 Mt à 5,78 g/t Au	1965 à 1992	- Veinules de quartz-carbonates aurifères recoupant une monzonite partiellement aurifère. - Les roches encaissantes riches en fer	(...)
Norlartic (Zone principale) Sauvé et al., (1993) Pilote et al., (2013)	15 km au NW de Val-d'Or	1,01 Mt à 4,7 g/t Au 510 757 t à 3,42 g/t Au	1959 à 1966 1989 à 1992	- Stockwork de veines de quartz-carbonate-pyrite-or encaissé dans une intrusion microdioritique, prenant place dans le cisaillement Norbenite.	(...)

Tableau 6.2 : Tableau comparatif des gisements environnant la Zone no. 8 Orion (suite).

Nom de la mine	Minéralisation				Âge et relation chronologique de la minéralisation
	Altération	Orientation	Association		
Orion Zone no. 8 (Malartic Hygrade) Sauvé, (1987) Trudeau et Raymond, (1992) Trudel et Sauvé, (1992)	- Distale: chloritisation - Proximale: Albitisation	La minéralisation est orientée N330 en concordance avec le flanc long au sud du pli en « Z » de Malartic Hygrade	Albitation précoce		- Plus vieille que 2680 Ma - La minéralisation est recoupée par une tonalite stérile datée à 2680 Ma
Camflo Trudel et Sauvé, (1992) Zweng et al., (1993) Pilote et al., (2013)	- Pyritisation - Carbonatation - Pyritisation et présence de magnétite	Est-ouest, parallèle au plan axial du pli de Malartic Hygrade	- Pyrite - Scheelite - Chalcopyrite - galène - molybdène - pyrrhotite - tellurites - Pyrite - Magnétite		- Plus jeune que 2680 ± 4 Ma - La minéralisation recoupe une monzonite quartzifère datée à 2680 ± 4 Ma
Norlartic (Zone principale) Sauvé et al., (1993) Pilote et al., (2013)	- Chloritisation - Carbonatation - Albitisation - Pyritisation	Minéralisation orientée N300°, puis qu'elle est principalement encaissée dans des intrusions qui se trouvent dans la zone Norbenite	Intrusion microdioritique recoupées par des veines de quartz		- Plus vieille que 2692 ± 2 Ma - La minéralisation est recoupée par une tonalite datée à 2692 ± 2 Ma
(...)				(...)	

Tableau 6.2 : Tableau comparatif des gisements environnant la Zone no. 8 Orion (suite).

Nom de la mine	Localisation	Dimension et teneur	Années de production	Minéralisation	
				Brève description générale	
(...)					
Kiena Morasse et al., (1995) Morasse, (1998) Pilote et al., (2013) Sauvé et al., (1993)	10 km à l'ouest de Val-d'Or	10,71 Mt à 4,75 g/t Au	1981 à 2002	- S-50: brèche mafique carbonatée, où certains fragments sont dioritiques, encaissée dans des basaltes et des komatiites. Cette brèche recoup et est recoupée par un essaim de dykes felsiques granodioritique-tonalitique-porphyrrique à feldspath	
		1,73 Mt à 3,43 g/t Au	2006 à 2012		
Marban Méthot et Trudel, (1987) Sauvé et al., (1993) Beaucamp, (2010)	15 km à l'ouest de Val-d'Or	1,98 Mt à 5,27 g/t Au	1961 à 1974	Réseaux de veines de quartz encaissés dans ds bandes de basaltes cisailés (...)	
Siscoe Backam, (1936); Moss, (1939) Sauvé et al., (1993) Pilote et al., (1993) Olivo et Williams-Jones, (2002)	6,5 km au nord-ouest de Val-d'Or	2,98 Mt à 9,22 g/t Au	1929 à 1949	Veines de quartz aurifères dans un gabbro quartzifère et dans le cisaillement « K » - Veines de quartz précoces - Veines de quartz Zone « K » - Veines de quartz tardives	
		3,19 g/t Ag			

Tableau 6.2 : Tableau comparatif des gisements environnant la Zone no. 8 Orion (suite).

Nom de la mine	Minéralisation			Âge et relation chronologique de la minéralisation
	Altération	Orientation	Association	
(...)			(...)	
Kiena Morasse et al., (1995) Morasse, (1998) Pilote et al., (2013) Sauvé et al., (1993)	- Albitisation précoce - Carbonatation - Pyritisation	- Nord-sud, dans la charnière d'un pli en « Z »	- Albitisation - Intrusions interminérales	- 2686 ± 2 Ma - Granodiorite interminérale datée à 2686 ± 2 Ma
Marban Méthot et Trudel, (1987) Sauvé et al., (1993) Beaucamp, (2010)	- Basalte cisailé chloritisé - Carbonatation - Silicification - pyritisation	Les lentilles sont orientées E-W et découpées en échelon dans le sens du cisaillement Marbenite à N300°	- Basalte cisailé chloritisé - Carbonatation - Silicification - pyrites automorphes	- syn à post-D ₂ - L'or est principalement présente dans la pyrite automorphe dans les veines de quartz (Renou, 2007).
Siscoe Backam, (1936); Moss, (1939) Sauvé et al., (1993) Pilote et al., (1993) Olivo et Williams-Jones, (2002)	- Chloritisation intense - Carbonatation - silicification - Albitisation	Veines sont orientées: - N000 et ±N070 - ± N295 - N190 pendage W	- Gabbro quartzifère - Chloritisation - Carbonatation - Chlorite, pyrite - Chlorite, talc, pyrite - Tourmaline, scheelite	- Pré-D ₂ - Pré à tardi D ₂ - Post-D ₂

CHAPITRE VII

DISCUSSION

Les observations faites lors de la cartographie détaillée du gisement Zone no. 8 Orion du secteur Malartic Hygrade ont permis de mettre en lumière plusieurs caractéristiques. Dans un premier temps, il a été observé que la minéralisation aurifère se présente sous trois faciès distincts. D'abord, à la limite de la minéralisation au nord-ouest de l'affleurement se situe les veines de quartz subverticales orientées nord-sud et au sud-est de celles-ci, il y a le stockwerk de veines de quartz. Le second faciès minéralisé est le basalte coussiné pyriteux encaissant. Enfin, il y a les filons massifs de veines de quartz.

Intimement relié à la minéralisation, plusieurs altérations ont été définies. Une vaste chloritisation distale à la zone aurifère a été observée, ce qui a fragilisé le basalte encaissant et les unités ultramafiques au sud-est de l'affleurement. Ensuite, se superpose une albitisation proximale limitée à la région minéralisée. Cette altération est intimement associée à la mise en place du premier faciès minéralisé composé des veines de quartz nord-sud et du stockwerk de veines de quartz. Les fluides causant cette albitisation ont profité des fractures précoces, de la porosité primaire et de l'effet de la chloritisation pour percoler au travers du basalte encaissant. De plus, l'étroite relation spatiale entre l'albitisation et la zone minéralisée permet d'avancer qu'un même fluide hydrothermal aurifère a produit cette altération. À l'intérieur du halo d'altération albitisée se développe des porphyroblastes d'actinote en forme de bâtonnets. Ceux-ci ne montrent aucune orientation préférentielle, témoignant d'une mise en place associée au métamorphisme post-D₂. Le test de colorations des carbonates a démontré que la zone minéralisée est caractérisée par la présence de calcite et parfois d'ankérite en surface, alors qu'à l'extérieur le carbonate principal est la dolomie.

La cartographie et les données structurales obtenues au cours de cette étude ont permis d'établir que la stratigraphie est orientée vers le nord, à pendage Est. La polarité est inverse, vers l'Ouest. La schistosité associée à l'épisode de déformation D₂ (Daigneault et al., 2002)

est orientée principalement est-ouest. Elle est surtout pénétrative dans les laves ultramafiques, ainsi que dans le faciès minéralisé chloritisé de réseau de veines de quartz pyriteuses. Cette schistosité se matérialise par un clivage espacé Est-Ouest dans les basaltes coussinés albitisés non-pyriteux, ainsi que par un aplatissement des coussins selon une direction Est-Ouest. Dans les intrusions tonalitiques, une fabrique S_2 Est-Ouest est matérialisée par l'alignement des minéraux mafiques (biotite). Cette schistosité S_2 crénule les veines de quartz nord-sud qui nous apparaissent être la source de l'albitisation et qui délimitent la zone minéralisée. Cependant, à l'approche de la zone minéralisée albitisée proximale, il y a une inflexion de l'orientation de la fabrique S_2 vers le sud-sud-est/nord-nord-ouest dû au changement de compétence entre les zones albitisées et chloritisées et à la réactivation de certaines fractures précoces.

Deux zones majeures de cisaillements (Marbenite et Norbenite) sont présentes à proximité du gisement étudié. Il y a aussi le cisaillement Orion qui englobe les Zones minéralisées no. 8 et no. 10 sur la propriété Malartic Hygrade. Il est possible d'extrapoler la trace du cisaillement Orion pour qu'il englobe les Zones no. 1, 3 et 9 (voir figure 2.1). À la Zone no. 8 Orion, ce cisaillement recoupe cette zone minéralisée en plus de recouper et de perturber la schistosité S_2 en créant un entraînement normal dextre. Ces observations suggèrent que cette zone de cisaillement est postérieure ou réactivée par rapport à l'épisode de déformation D_2 . Les observations réalisées sur la Zone no. 8 Orion démontrent que ces zones de cisaillement se sont mises en place tardivement ou sont possiblement précoces mais ont subi une réactivation tardive, en créant un mouvement normal-dextre interprété à la Zone no. 8 Orion le long du cisaillement Orion.

Les analyses géochimiques effectuées sur les échantillons provenant du secteur de la mine Malartic Hygrade ont permis d'observer:

- La présence de deux populations de volcanites ultramafiques. La population « A » est enrichi en chrome et en nickel, alors que la population « B » est plus alumineuse.
- La présence de deux populations de volcanites mafiques qui se démarquent par leur contenu en chrome distinct, où seule la population « B », avec de faibles teneurs en chrome, possède des valeurs aurifères associées à une albitisation.

- Deux populations d'intrusions gabbroïques qui présentent les mêmes caractéristiques géochimiques que les volcanites mafiques, dont des contenus contrastant en chrome. Ces intrusions sont probablement contemporaines aux unités volcaniques.
- Quatre populations de tonalite ont été déterminées, lesquelles ne présentent aucune présence de feldspaths potassique selon le test de coloration. Trois de ces populations, « A » à « C », provenant vraisemblablement toutes d'une même source magmatique, sont présentes à la Zone no. 8 Orion. Sur cet affleurement, une datation a été effectuée sur une tonalite de population « A », cette intrusion recoupe clairement la minéralisation aurifère. De ce fait, il est possible d'affirmer que la minéralisation du gisement Zone no. 8 Orion est plus vieille que 2680 ± 1 Ma.

Les données recueillies ont permis d'établir et de proposer une séquence de mise en place de la minéralisation à la Zone no. 8 Orion. Dans l'ordre, les épisodes pertinents liés à la minéralisation débutent par la mise en place des veines de quartz nord-sud et du stockwerk de veines de quartz, auxquelles sont associées une chloritisation distale et une albitisation proximale des basaltes coussinés encaissant la zone aurifère. Il y a ensuite la mise en place des filons massifs de veines de quartz contenant des enclaves de basaltes pyriteux minéralisés. Par après, il y a la mise en place des trois populations de tonalite, avec enclaves de veines de quartz minéralisées, où la population « A », daté à 2680 ± 1 Ma, recoupe clairement la minéralisation en affleurement. Ensuite, survient la seconde phase de déformation D_2 et le développement de porphyroblastes d'actinote tardi- D_2 . Finalement, la mise en place ou réactivation des cisaillements orientés à $N330^\circ$ qui recouperont la minéralisation et la schistosité S_2 , produisant un entraînement normal-dextre sur ces structures.

Suite aux analyses comparatives entre la Zone no. 8 Orion et les gisements environnants, il a été possible de proposer certaines corrélations pertinentes. Premièrement, lors de l'analyse géochimique des données de l'intrusion felsique du secteur de Marban, fournies par la Corporation minière Niogold, neuf populations d'intrusions ont été identifiées, dont seulement les populations « A » à « E » sont de véritables intrusions felsiques. Il a été démontré géochimiquement que la population « A » de Marban a graphiquement des

comportements semblables à la monzonite de Camflo. De plus, la population « C » de Marban présente plusieurs similitudes avec la tonalite de la population « A » du secteur de la mine Malartic Hygrade, ainsi qu'avec l'intrusion felsique nommée « granodiorite interminérale » de la mine Kiena. Par ailleurs, la Zone no. 8 Orion et le gisement de Kiena possèdent de nombreuses ressemblances. Les zones minéralisées principales sont associées à une albitisation précoce et sont composées d'une brèche. Les corps minéralisés sont encaissés dans les basaltes et les unités ultramafiques de la Formation de Jacola et sont recoupés par un essaim d'intrusions felsiques porphyriques à feldspath. Le gisement Kiena est daté à 2686 ± 2 Ma (Morasse et al., 1995). Sa mise en place est donc englobée dans un étroit intervalle temporel commun à la mise en place de la minéralisation de la Zone no. 8 Orion, qui doit être antérieure 2680 ± 1 Ma. Ces deux gisements se classent dans la catégorie des minéralisations précoces de la région de Val-d'Or et Malartic (Pilote et al., 1993; Couture et al., 1994).

La mine Malartic Hygrade a exploitée sept zones minéralisées, toutes composées de veines de quartz aurifères présentant trois orientations préférentielles. Certaines zones sont orientées Est-Ouest, parallèles à la fabrique S_2 , au plan axial de l'ASMH et contemporaines à la déformation régionale. Un autre groupe de zones aurifères sont orientés Nord-Ouest/Sud-Est, dont la Zone no. 8 Orion, parallèles au flanc long de l'ASMH, parallèle à la stratigraphie, ce qui suggère une mise en place pré- D_2 . Un dernier groupe de veines aurifères possède une direction Nord-Est/Sud-ouest, parallèle au flanc court de l'ASMH, paraconcordant à la stratigraphie plissée par le second épisode de déformation, ce qui impliquerait une mise en place pré- D_2 .

De ces observations, il est possible d'émettre l'hypothèse qu'il y aurait eu deux épisodes de minéralisations aurifères distincts dans le secteur de la mine Malartic Hygrade, tout comme dans le camp minier de Val-d'Or -Malartic. Un premier épisode serait précoce, suivi d'un second, tardif par rapport au développement de la déformation régionale D_2 .

CONCLUSIONS

L'ancienne mine Malartic Hygrade se compose de sept zones minéralisées correspondant à diverses veines ou lentilles de quartz aurifères. Les observations macroscopiques ainsi que microscopiques, les travaux de terrains et les analyses géochimiques ont permis de caractériser l'environnement géologique et aurifère de la Zone no. 8 Orion.

L'analyse géochimique a permis d'établir la présence de deux populations de basalte dans le secteur de la mine Malartic Hygrade et de la Zone no. 8 Orion, où seulement la population « B » est minéralisée. De plus, quatre populations d'intrusions tonalitiques ont été identifiées dans le secteur Malartic Hygrade, alors que seulement trois sont présentes à la Zone no. 8 Orion.

Les travaux effectués sur le terrain ont permis de mettre en lumière les éléments géologiques caractéristiques de cette zone minéralisée. Il existe une relation étroite entre l'enveloppe d'altération proximale d'albitisation et le cœur de la minéralisation aurifère, tel que démontré par nos observations de terrain et par les analyses géochimiques. Cette albitisation du basalte minéralisé encaissant s'est propagé par la porosité primaire et la fracturation associée aux veines de quartz nord-sud et au réseau de veines de quartz massives. De façon caractéristique, cette albitisation se distribue de part et d'autre des veines de quartz d'orientation Nord-Sud au nord-ouest de l'affleurement.

Les observations de terrain démontrent qu'il n'existe qu'une relation spatiale entre les trois populations d'intrusions tonalitiques présentes sur la Zone no. 8 Orion et la minéralisation aurifère, étant donné la relation de recoupement du corps minéralisé par ces dykes. De plus, ces intrusions tonalitiques n'ont aucun lien avec l'albitisation des basaltes aurifères, puisque leur mise en place est tardive par rapport à la minéralisation. Considérant cette relation de recoupement, une analyse géochronologique a été effectuée sur une tonalite de la population « A », ce qui permet d'affirmer que la minéralisation est antérieure à 2680 ± 1 Ma ainsi qu'à la phase de déformation D_2 estimée se produire entre 2680 et 2670 Ma (Daigneault et al., 2002).

Cette étude a permis d'observer plusieurs aspects structuraux pertinents en lien avec la zone minéralisée de la Zone no. 8 Orion. L'albitisation proximale pré-D₂ a augmenté la compétence de la zone aurifère, ce qui a influencé et perturbé la direction de la schistosité S₂. Cette fabrique, originalement orientée vers l'est a subi une rotation à la faveur de mouvements dextres (réactivation possible) le long de failles orientées NW, à l'approche de la zone minéralisée à l'intérieur du halo de chloritisation distal.

Les comparaisons entre la Zone no. 8 Orion et les gisements environnants ont apporté des conclusions significatives. Dans les cinq populations d'intrusions felsiques identifiées géochimiquement du secteur de la mine Marban, il a été observé que la population « C » présente plusieurs similitudes avec la population « A » identifiée à la Zone no. 8 Orion.

Le gisement le plus comparable à la Zone no. 8 Orion est celui de la mine Kiena. Les zones minéralisées principales de ces deux gisements sont encaissées dans les basaltes et les unités ultramafiques de la Formation de Jacola. De plus, ces deux gisements présentent une albitisation proximale et précoce à la zone minéralisée. Enfin, la Zone no. 8 Orion, qui a été datée dans le cadre de cette étude, présente un âge plus vieux que 2680 ± 1 Ma, ce qui englobe l'âge de la minéralisation aurifère de la mine Kiena, qui a été daté à 2686 ± 2 Ma à l'aide d'une intrusion interminérale (Morasse et al., 1995). De ce fait, ces deux gisements sont classés dans la catégorie des minéralisations anciennes du secteur de Val-d'Or et Malartic.

Enfin, la Zone no. 8 Orion, fait partie des sept zones aurifères exploitées à la Mine Malartic Hygrade. Ces zones présentent trois orientations préférentielles. Un premier épisode, précoce par rapport à la phase de déformation régionale D₂, serait associé aux Zones no. 1 et 9, subparallèles à la stratigraphie S₀ et qui se situent sur le flanc court d'un pli en « Z », et comprendrait aussi les Zones no. 8 Orion et 10, également paraconcordantes à la surface S₀ et localisées sur le flanc long de ce pli. Les Zones no. 2, 3 et 4 sont quant à elles orientées est-ouest, ce qui correspond à la direction de la trace de l'axe de pli de l'AMSH et de la fabrique S₂. Ces trois zones occupent des géométries structurales qui ont une origine plus tardives et

qui sont directement associées à l'épisode de déformation régionale D₂. Il est légitime d'émettre l'hypothèse de deux épisodes aurifères distincts.

Suite à cette étude, quelques questions ont été soulevées et méritent une étude plus approfondie. Lors de travaux futurs, il serait intéressant d'analyser et de situer dans un cadre géologique la mise en place des veines de quartz nord-sud situées au nord-ouest de l'affleurement. Ceci permettrait de corréliser leur orientation à un événement géologique particulier et de mieux définir l'épisode d'albitisation essentiel à la mise en place de la minéralisation de la Zone no. 8 Orion.

De plus, puisque seule la population de basalte « B » présente des teneurs en or, il serait judicieux d'échantillonner d'avantage de basalte dans le secteur de la mine Malartic Hygrade. Cette opération permettrait de confirmer ou d'infirmer que seule cette population est aurifère, ou encore de reconnaître l'importance d'un épisode de fracturation plus vaste associé à des veines du quartz bordées par un front d'altération en albite-chlorite.

Aussi, une étude plus approfondie des zones minéralisées no. 2, 3 et 4 permettrait de documenter la seconde phase de minéralisation et de bien distinguer les deux épisodes minéralisateurs observés dans le secteur de la mine Malartic Hygrade.

Enfin, il a été observé que la population « C » d'intrusion felsique du secteur de la mine Marban est géochimiquement comparable à la population de tonalite « A » de la Zone no. 8 Orion, qui est daté à 2680 ± 1 Ma. De ce fait, il serait utile d'observer une relation de recoupement entre la population « C » de Marban et la minéralisation aurifère, afin de contraindre cette dernière dans le temps, ou encore de documenter si possibles (en affleurement ou en forages) les relations de recoupements entre les multiples variétés de dykes.

ANNEXE A

TEST DE COLORATION DES CARBONATES SUR LA ZONE NO. 8 ORION

Un test de coloration des carbonates au rouge d'alizarine a été effectué sur douze échantillons provenant du secteur de la mine Malartic Hygrade, principalement de la Zone no. 8 Orion et de la Zone no. 9 (voir figures 1 à 4). Selon Eilu et al., (1999) les carbonates ferrifères, tels que la dolomie et l'ankérite sont généralement associés au cœur d'un gisement aurifère, de type orogénique, alors que les carbonates calciques, tels que la calcite se retrouvent plutôt en périphérie de la zone minéralisée. Cette méthode d'analyse a donc été utilisée afin d'investiguer cette relation et de connaître les types de carbonates présents sur la Zone no. 8 Orion.

Sélection des échantillons

La coloration des carbonates au rouge d'alizarine peut être effectuée tant sur une surface fraîche et plane d'un échantillon que sur une surface altérée et irrégulière, ou encore directement sur un affleurement rocheux extérieur.

Sur les douze échantillons choisis, un seul provient de la Zone aurifère no. 9. Il s'agit d'une tonalite de population « A » à grains moyens (échantillon Z9.1). Les onze échantillons restants proviennent de la Zone no. 8 Orion. Trois de ceux-ci, R14, 2012-SB-2012-B3 et 2012-SB-2011-C1, sont des tonalites, alors que seulement 2012-SB-2012-B3 se trouve au cœur et recoupe la zone minéralisée. L'échantillon R10 correspond à un basalte pyriteux, recoupé par une veine de quartz, qui contraint la limite nord-ouest de la zone minéralisée. L'échantillon R13 est un basalte pyriteux fragmenté par un réseau de veines de quartz, situé en bordure d'une faille normale-dextre, qui délimite la partie sud-ouest de la zone minéralisée. Les échantillons R12 et 2012-SB-2012-A9, de même nature que l'échantillon

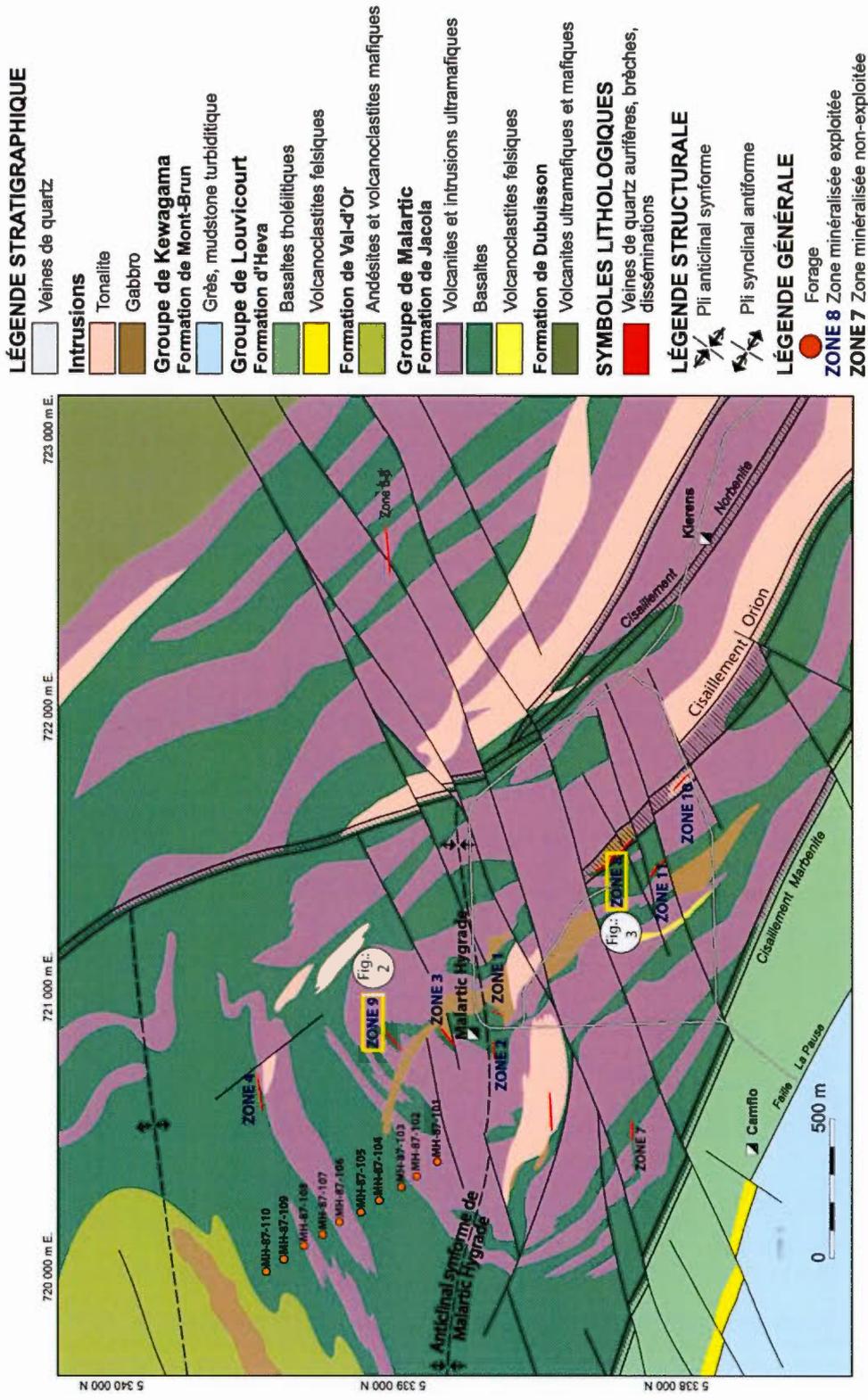


Figure 1: Schéma général de la localisation des échantillons utilisés pour la coloration des carbonates dans le secteur de la mine Malartic Hygrade.

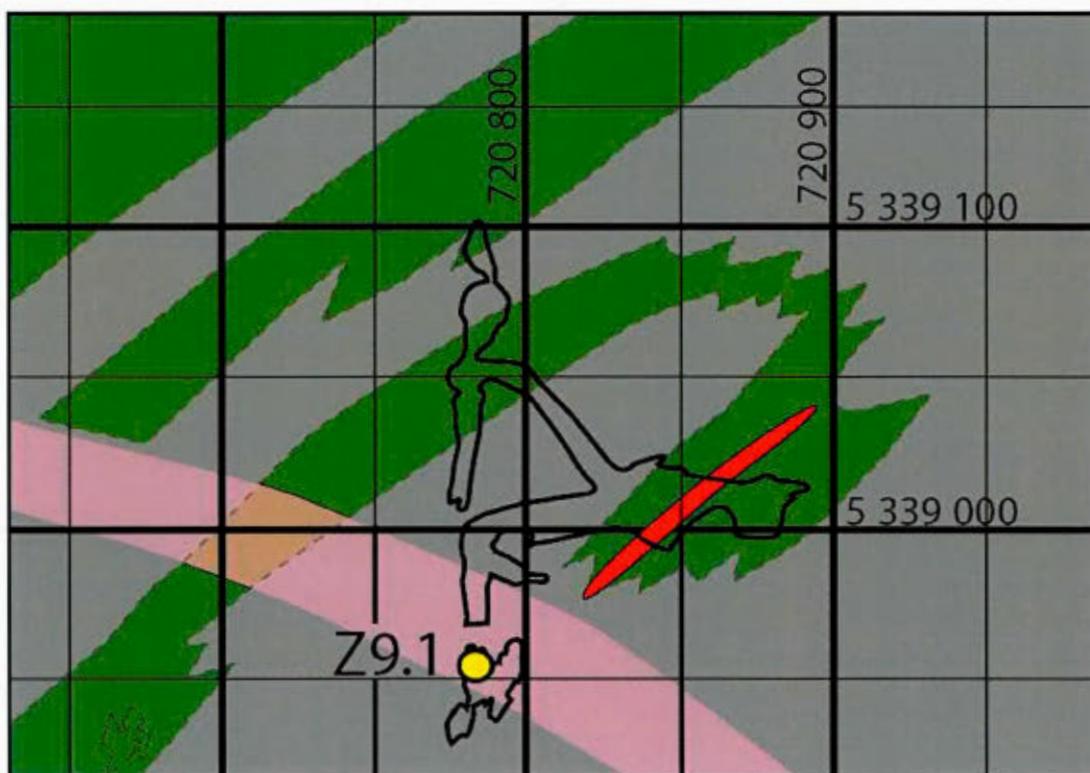


Figure 2: Agrandissement de la figure 1, représentant la localisation de l'échantillon Z9.1 à la Zone aurifère no. 9.

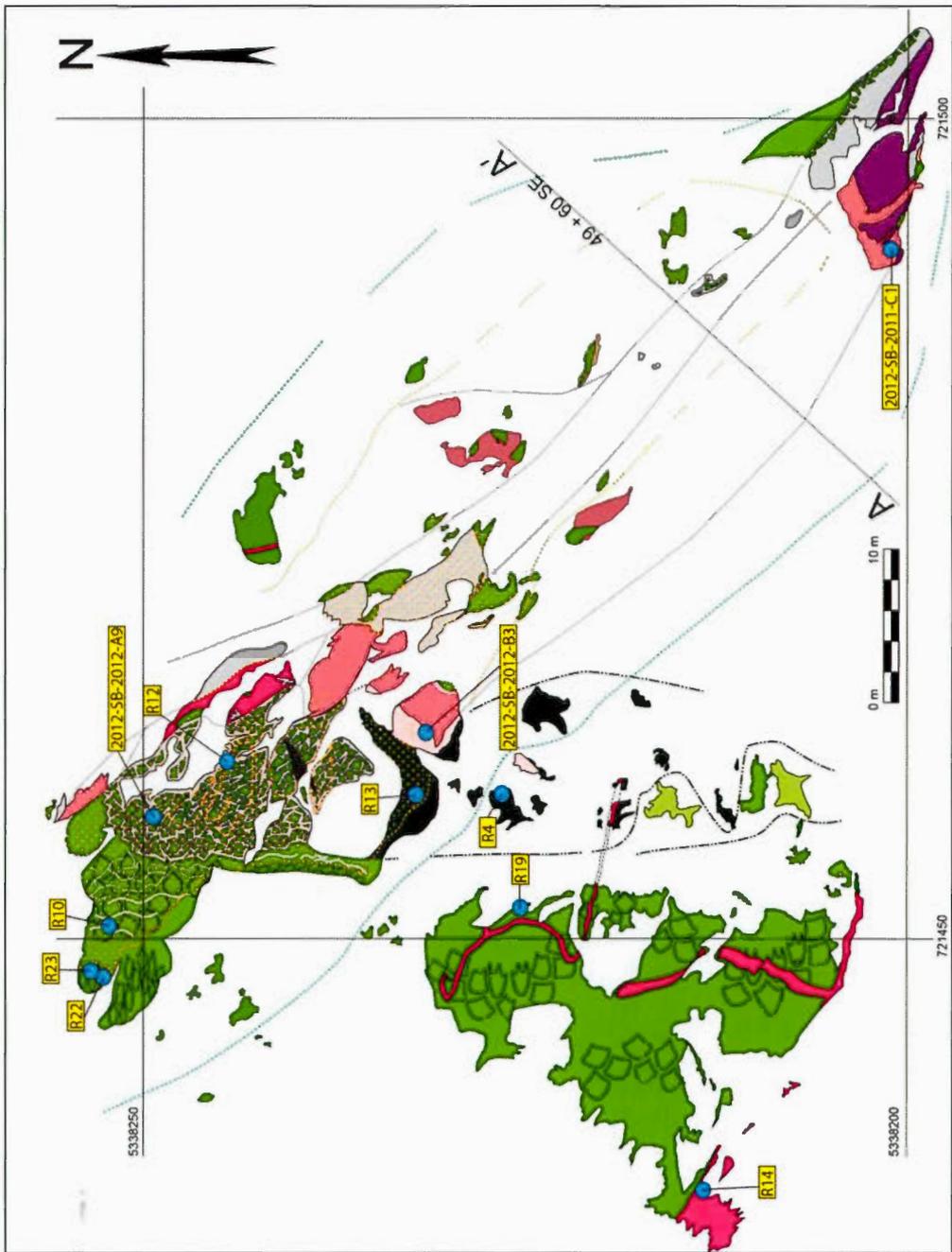


Figure 3: Cartographie détaillée de la Zone aurifère no. 8 Orion présentant la localisation des échantillons: R4, R10, R12, R13, R14, R19, R22, R23, 2012-SB-2011-1c1, 2012-SB-2012-A9 et 2012-SB-2012-B3 (voir figure 4 pour la légende).

Légende stratigraphique

 Veine de quartz

Intrusions

 Tonalite population A

 Tonalite population B

 Tonalite population C

Groupe de Malartic

 Volcanites ultramafiques

Basalte

 Brèche de sommet de coulée

 Faciès coussiné

 Faciès massif

Légende générale

 Échantillon ayant subi le test de coloration des carbonates

 Pyritisation et albitisation

 Limite de la minéralisation

 Limite de l'enveloppe de chloritisation

 Chloritisation intense

Faciès minéralisés

 Basalte pyriteux

 Réseau de veines de quartz d'extension

 Complexe de veines de quartz

Figure 4: Légende de la cartographie détaillée de la Zone no. 8 Orion de la figure 3.

R13, se trouvent au cœur de la zone aurifère. Enfin, les quatre derniers échantillons, R4, R19 R22 et R23 correspondent à des basaltes situés entre 1 et 20 mètres à l'extérieur de la zone minéralisée. Il est à noter que les échantillons R22 et R23 proviennent respectivement d'une bordure et d'un cœur de coussin basaltique.

Recette

Dans le cas présent, la solution utilisée était composée de:

- 0,5 g de ferricyanure de potassium;
- 0,1 g de rouge d'alizarine ;
- 100 ml d'acide chlorhydrique concentré à 2%

La solution a ensuite été transvidée dans un contenant compte-goutte permettant de déposer la quantité désirée de la solution de coloration sur les échantillons.

Malgré la présence de potassium dans la solution, qui permet de capter et de neutraliser l'excédent de cyanure, le port de gants est nécessaire, afin d'en éviter tout contact. De plus, puisque cette analyse s'est faite à l'intérieur, elle a été effectuée sous une hotte.

Protocole

Dans un premier temps, il suffit d'appliquer des gouttes de solution colorante aux endroits désirés sur l'échantillon. Ensuite, l'échantillon doit être rapidement rincé à l'eau distillée et séché à l'air libre.

Résultats

Les résultats obtenus (voir tableau 1) suite au test de coloration des carbonates démontre que la zone minéralisée est clairement caractérisée par la présence de calcite, laquelle se colore en mauve et par la présence d'une surface d'altération supergène d'une épaisseur de 1 cm composée d'ankérite qui se colore en bleu. En ce qui a trait à la zone d'altération distale, la couleur obtenue est bleu, ce qui indique la présence de carbonates ferrifères, comme la

dolomie ou parfois l'ankérite. De plus, il est à noter que toutes les intrusions tonalitiques ne présentent aucune coloration.

Discussion et conclusions

Le test de coloration des carbonates au rouge d'alizarine a permis d'établir que la calcite et l'ankérite en altération supergène sont associés à la Zone no. 8 Orion et que la dolomie est caractéristique de la zone distale. Ces résultats ne concordent pas avec la zonalité des carbonates décrite par Eilu et al. (1999) pour les filons orogéniques, où les carbonates ferrifères sont associés au cœur d'un gisement aurifère, alors que les carbonates calciques sont plutôt caractéristiques de la zone d'altération distale.

Tableau 1: Résultats du test de coloration des carbonates au rouge d'alzarine

# Éch.	Échantillons après coloration	Lithologie	commentaires
Z9.1		- Zone aurifère no. 9 - Tonalite à grains moyens	Aucune coloration
R4		- Zone aurifère no. 8 - Basalte bréchique, situé à 12m à l'extérieur de la zone minéralisée	Coloration bleutée le long des fractures indiquant la présence de dolomie
R10		- Zone aurifère no. 8 - Basalte coussiné situé à l'intérieur de la zone minéralisée à la limite NW	Une légère coloration mauve est observable où pointe le crayon: calcite
R12		- Zone aurifère no. 8 - Basalte fragmenté par un réseau de veines de quartz, situé au cœur de la zone minéralisée	- Une couleur mauve est observable au cœur de l'échantillon: calcite - Une couleur bleu est présente en surface de l'échantillon démontrant une altération supergène secondaire: ankérite

Tableau 1: Résultats du test de coloration des carbonates au rouge d'alzarine (suite)

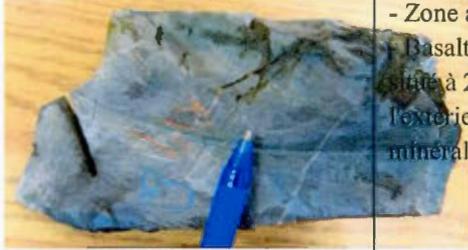
# Éch.	Échantillons après coloration	Lithologie	Commentaires
R13		<ul style="list-style-type: none"> - Zone aurifère no. 8 - Basalte fragmenté par un réseau de veines de quartz, situé à la limite SW faillée de la zone minéralisée 	<ul style="list-style-type: none"> - Une couleur mauve est observable au cœur de l'échantillon: calcite - Une couleur bleu est présente en surface de l'échantillon démontrant une altération supergène secondaire: ankérite
R14		<ul style="list-style-type: none"> - Zone aurifère no. 8 - Tonalite à grains moyens-fins, situé à l'extérieur de la zone minéralisée 	Aucune coloration
2012-SB-2011-C1		<ul style="list-style-type: none"> - Zone aurifère no. 8 - Tonalite à grains fins, situé à l'extérieur de la zone minéralisée 	Aucune coloration
R19		<ul style="list-style-type: none"> - Zone aurifère no. 8 - Basalte coussiné, situé à 20 mètres à l'extérieur de la zone minéralisée 	<ul style="list-style-type: none"> - Une couleur bleue est observable: dolomie, alors que des veinules de calcite blanches qui recoupent l'échantillon et qui réagissent au HCl, ne sont pas colorées en rouge-rose
2012-SB-2012-B3		<ul style="list-style-type: none"> - Zone aurifère no. 8 - Tonalite à grains moyens-grossiers recoupant la zone minéralisée 	Aucune coloration

Tableau 1: Résultats du test de coloration des carbonates au rouge d'alzarine (suite)

# Éch.	Échantillons après coloration	Lithologie	Commentaires
R22		<ul style="list-style-type: none"> - Zone aurifère no. 8 - Bordure de coussin basaltique situé à l'extérieur de la zone minéralisée à 1 mètre de la limite NW 	Couleur bleue associée à la présence de dolomie et d'ankérite
R23		<ul style="list-style-type: none"> - Zone aurifère no. 8 - Cœur de coussin basaltique situé à l'extérieur de la zone minéralisée à 1 mètre de la limite NW 	- Une légère couleur bleue est observable: dolomie
2012-SB-2012-A9		<ul style="list-style-type: none"> - Zone aurifère no. 8 - Basalte fragmenté par un réseau de veines de quartz, situé au cœur de la zone minéralisée 	- Une couleur mauve est observable à l'intérieur du réseau de veines de quartz-carbonates: calcite

ANNEXE B

COLORATION DES FELDSPATHS POTASSIQUES DES INTRUSIONS FELSIQUES DE LA RÉGION DE LA MINE MALARTIC HYGRADE

Le test de coloration des feldspaths potassiques au cobaltinitrite de sodium a été effectué sur huit échantillons d'intrusions felsiques provenant du secteur de la mine Malartic Hygrade, jusqu'ici identifiés comme tonalite.

Le gisement de la mine Camflo est situé à 1 km au sud ouest du puits de Malartic Hygrade et la minéralisation aurifère est associée à une monzonite, soit une intrusion felsique potassique. Le but de cette analyse a été de tester l'hypothèse de la présence de feldspaths potassiques dans ces intrusions, afin d'affirmer ou non une affinité entre les intrusions felsiques du secteur Malartic Hygrade et celles de la mine Camflo.

Sélection et préparation des échantillons

Huit échantillons des intrusions felsiques présentes dans le secteur de la mine Malartic Hygrade ont été sélectionnés (voir figure 1). Plus précisément, quatre d'entre eux proviennent de la Zone no. 8 Orion (voir figure 2 et 3), dont un de la population « A », 2012-SB-2012-B3, deux de la population « B », 2012-SB-2011-C1 et 2012-SB-2012-B1, ainsi qu'un de la population « C », 2012-SB-2010-B5. Un cinquième échantillon, Z9.1, provient de la Zone aurifère no. 9 (voir figure 4A) et fait partie de la population « A ». Le sixième échantillon, 2012-SB-2145-C, est une intrusion intermédiaire provenant de la Zone no. 1 (voir figure 4B). Deux autres échantillons proviennent de deux forages d'un secteur non-aurifère de la mine Malartic Hygrade (voir figure 1). Ces deux derniers échantillons, B7 de population «B» et B28 de population «C» proviennent respectivement des forages MH-87-102 à 36.97 m et MH-87-109 à 76.36 m.

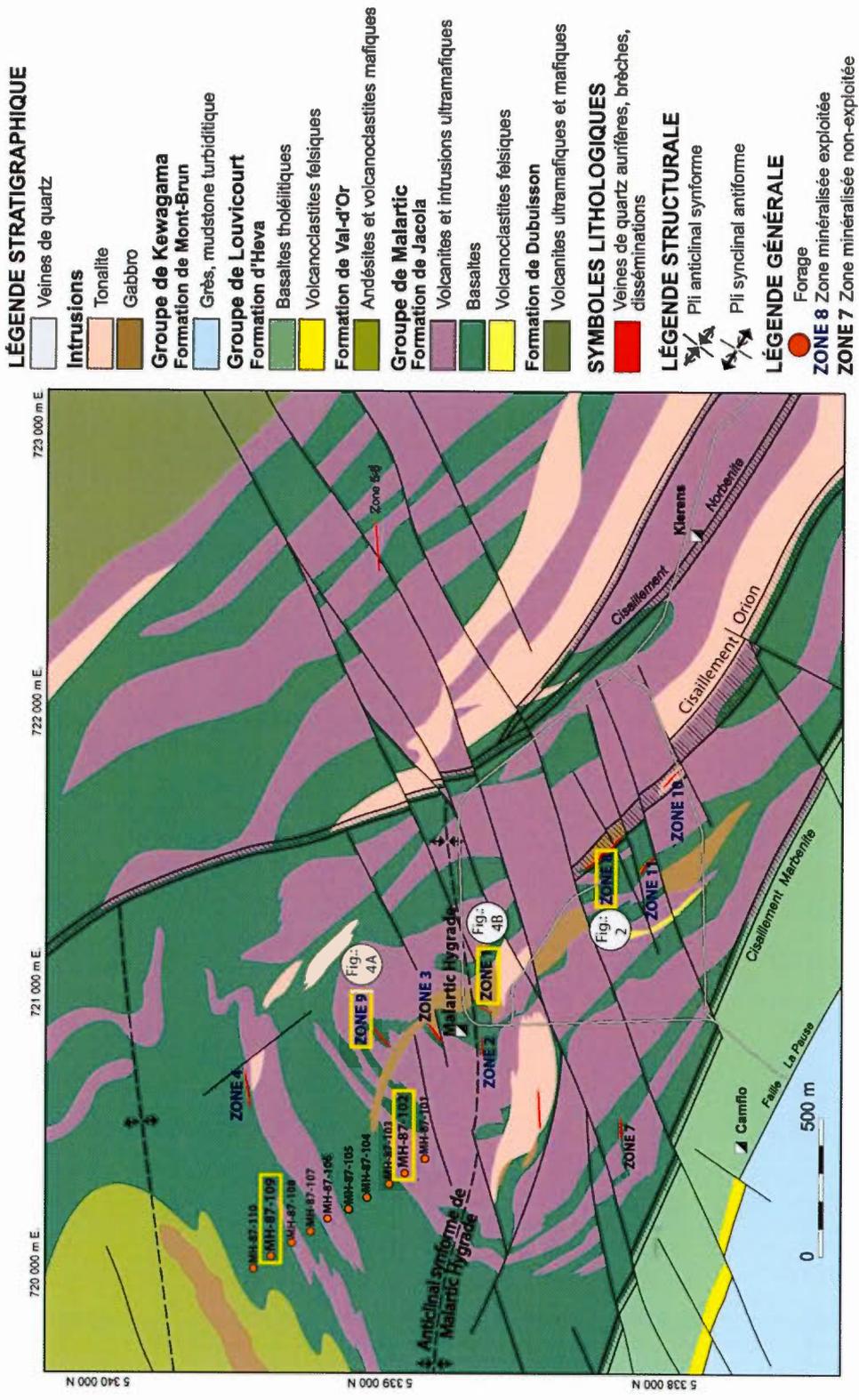


Figure 1: Schéma général de la localisation des échantillons utilisés pour la coloration des feldspaths potassiques dans le secteur Malarctic Hygrade.

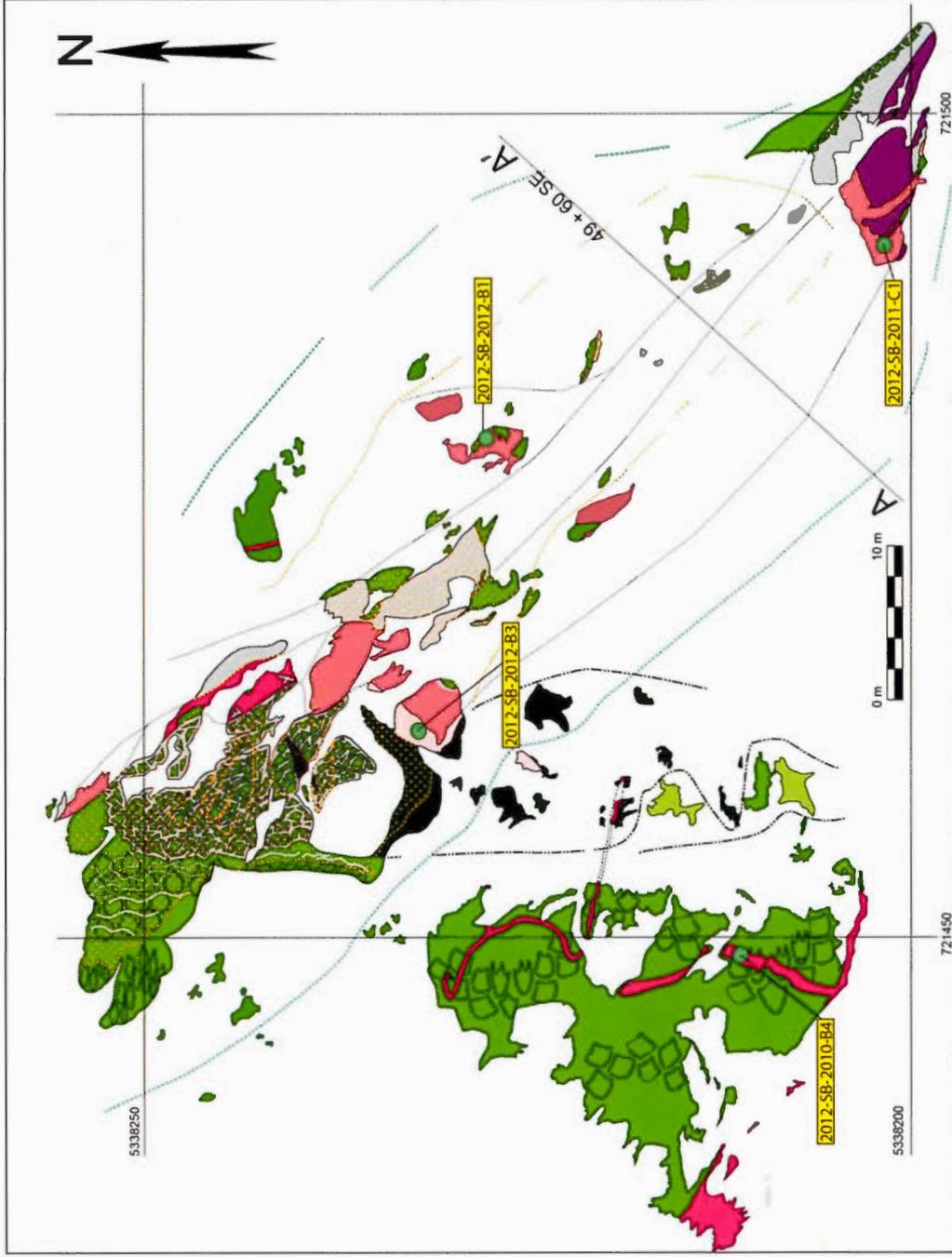


Figure 2: Cartographie détaillée et la localisation des échantillons 2012-SB-2010-B4, 2012-SB-2011-C1, 2012-SB-2012-B1 et 2012-SB-2012-B3 à la Zone aurifère Orion no. 8 (voir figure 3 pour la légende).

Légende stratigraphique

 Veine de quartz

Intrusions

 Tonalite population A

 Tonalite population B

 Tonalite population C

Groupe de Malartic

 Volcanites ultramafiques

Basalte

 Brèche de sommet de coulée

 Faciès coussiné

 Faciès massif

Légende générale

 Échantillon ayant subi le test de coloration des feldspaths alcalins

 Pyritisation et albitisation

 Limite de la minéralisation

 Limite de l'enveloppe de chloritisation

 Chloritisation intense

Faciès minéralisés

 Basalte pyriteux

 Réseau de veines de quartz d'extension

 Complexe de veines de quartz

Figure 3: Légende de la cartographie détaillée de la Zone Orion no. 8 de la figure 2.

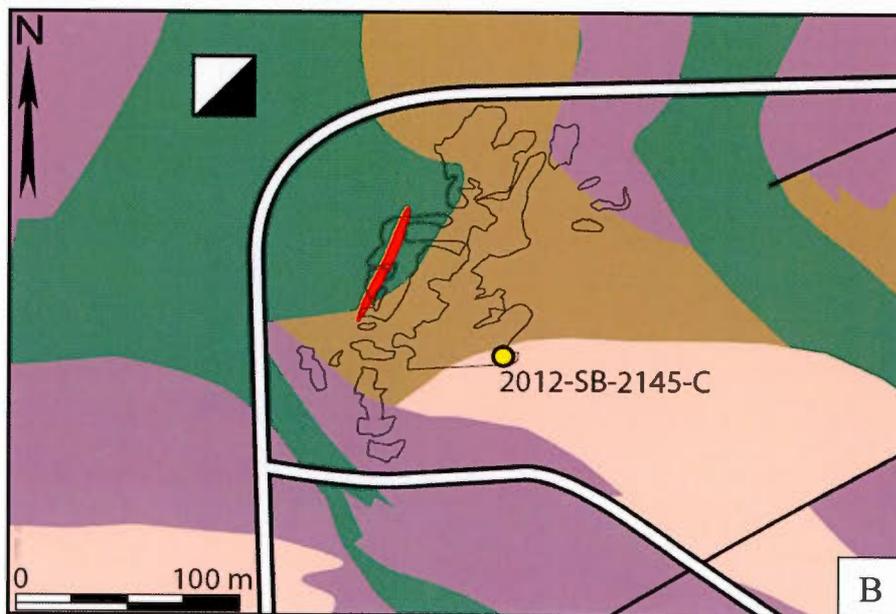
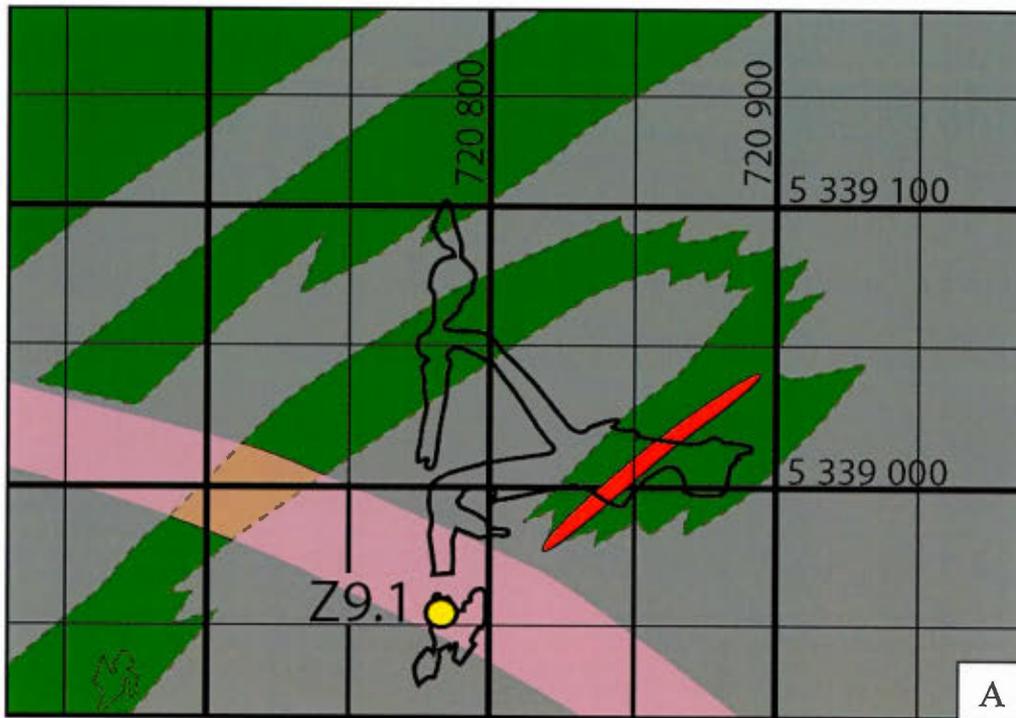


Figure 4: (A) et (B) représentent respectivement la localisation des échantillons et Z9.1 de la Zone économique no. 9 et 2012-SB-2145-C à la Zone aurifère no. 1.

Les échantillons doivent tous avoir une surface plane et propre, nettoyée à l'eau et séchée. Cette surface doit être de dimension plus petite que le récipient contenant les solutions utilisées lors du test de coloration (Norman, 1974 et McMonigle, 2014), afin d'éviter toutes manipulations susceptibles de créer des éclaboussures d'acide fluorhydrique (HF).

Protocole

Dans un premier temps, il faut plonger la surface plane des échantillons dans l'acide fluorhydrique - HF (Voir figure 5A), dans ce cas-ci concentré à 48%, environ 20 secondes (Bailey et Stevens, 1960; Boone et Wheeler, 1968; Norman, 1974 et McMonigle, 2014). Il est fortement conseillé d'imbiber une mince éponge d'acide fluorhydrique dans un bassin en plastique et d'y presser les échantillons, ce qui évite tous risques d'éclaboussures. Cette étape a pour but de briser les liens entre le silicium et l'oxygène dans les molécules tétraédriques SiO_4 présentes dans les feldspaths, qui renferment l'ion K^+ des feldspaths potassiques. Il se formera ainsi une molécule de OH et une molécule de SiF, ce qui permet de libérer l'ion K^+ du feldspath alcalin (Bailey et Stevens, 1960 et McMonigle, 2014). Les échantillons sont ensuite épongés sur un papier absorbant afin d'enlever l'excédent d'acide fluorhydrique (Voir figure 5B) et déposés sur une plaque chauffante (Boone et Wheeler, 1968), la surface imbibée vers le haut, afin d'accélérer l'évaporation du HF (Voir figure 5C). Lorsque les manipulations impliquant l'acide fluorhydrique sont terminées, il est conseillé de rincer la surface de travail dans la hotte à grande eau.

La solution de cobaltinitrite de sodium ($\text{Na}_3\text{Co}(\text{NO}_2)_6$) utilisée afin de colorer en jaune les feldspaths potassiques, est une solution saturée (Boone et Wheeler, 1968 et Norman, 1974). Lors de nos manipulations, nous avons utilisé 20.8 g de poudre de cobaltinitrite de sodium dissoute dans 49.7 g d'eau, ici dé-ionisé.

Lorsque les échantillons imbibés de HF sont secs, ils sont trempés dans la solution de cobaltinitrite de sodium (Voir figure 5D) environ trente secondes (Bailey et Stevens, 1960; Boone et Wheeler, 1968; Norman, 1974 et McMonigle). Lors de cette étape, les ions de potassium libérés précédemment vont s'associer au $\text{Co}(\text{NO}_2)_6$ et former du cobaltinitrite de potassium, ce qui forme un précipité fin de couleur jaune sur les feldspaths potassiques

(Bailey et Stevens, 1960 et McMonigle, 2014). Les échantillons sont ensuite plongés dans un bassin d'eau afin d'enlever le surplus de la solution colorante, voir figure 5E (Bailey et Stevens, 1960; Boone et Wheeler, 1968; Norman, 1974 et McMonigle, 2014) et déposés une seconde fois sur la plaque chauffante (Bonne et Wheeler, 1968) afin d'accélérer le temps de séchage (Voir figure 5F).

Résultats

Suite au test de coloration au cobaltinitrite de sodium sur les feldspaths alcalins, les résultats démontrent qu'il y a absence de feldspaths potassiques sur les huit échantillons analysés (tableau 1). De ce fait, sept échantillons sont de véritables tonalites et l'intrusion intermédiaire (2012-SB-2145-C1) est une diorite.

Cependant, une couleur jaune pâle est observable sur les échantillons 2012-SB-2010-B5, Z9.1 et 2012-SB-2145-C1. Sur les deux premiers échantillons, cette coloration se situe dans les veinules, ce qui illustre la présence de séricite. En ce qui a trait à l'échantillon 2012-SB-2145-C1, la coloration jaune est disséminée dans cette intrusion intermédiaire équi-granulaire. Toutefois, en regardant de plus près, il peut être noté que ces taches jaunes ne sont pas associées à des minéraux en particuliers, mais représentent plutôt une altération potassique associée à la présence de séricite, ce qui concorde avec les taches jaunes qui ne présentent pas un contour net, mais plutôt graduel, parfois à l'intérieur d'un même minéral (voir figure 6).

Discussion et conclusions

Les résultats obtenus, suite à la coloration des feldspaths alcalins au cobaltinitrite de sodium, permettent d'affirmer qu'aucune des populations « A », « B » et « C » d'intrusions felsiques dans le secteur de la mine Malartic Hygrade contiennent des feldspaths potassiques. De ce fait, aucuns liens génétiques et chronologiques ne peuvent être faits entre ces intrusions tonalitiques, peu minéralisées sporadiquement et les intrusions alcalines et minéralisées de la mine Camflo.

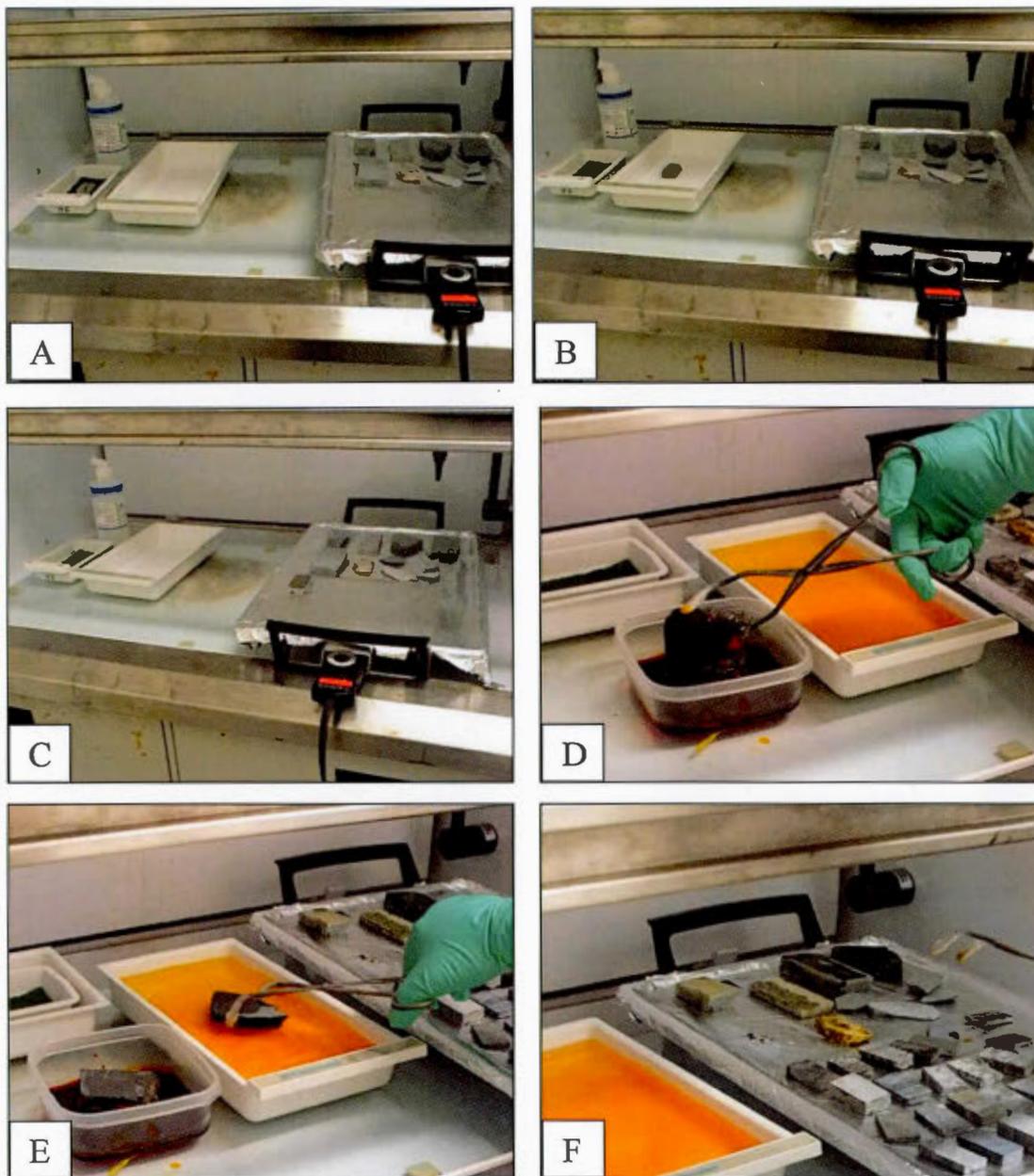


Figure 5: Étapes de la coloration des feldspaths alcalins au cobaltinitrite de sodium. **A)** Trempage de l'échantillon dans un bassin d'acide fluorhydrique; **B)** Éponger le surplus de HF à l'aide d'un papier absorbant; **C)** Séchage de l'échantillon sur une plaque chauffante; **D)** Trempage de l'échantillon dans la solution de cobaltinitrite de sodium; **E)** Rincer le surplus de la solution de coloration; **F)** Séchage de l'échantillon sur une plaque chauffante.

Tableau 1: Résultats du test de coloration des feldspaths potassiques au cobaltinitrite de sodium

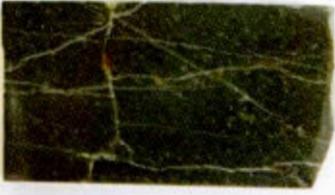
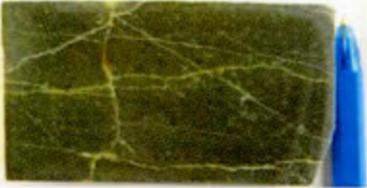
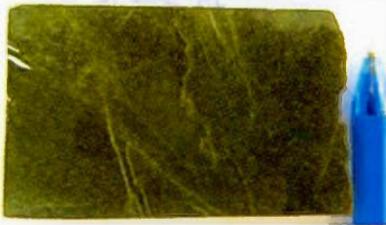
# Éch.	Échantillons avant coloration	Échantillon après coloration	Commentaires
2012-SB-2010-B5			- Orion Zone no. 8 - Aucun Fp K - Tonalite à grains fins, population «C»
2012-SB-2011-C1			- Orion Zone no. 8 - Aucun Fp K - Tonalite à grains moyens, population «B»
2012-SB-2012-B1			- Orion Zone no. 8 - Aucun Fp K - Tonalite à grains fins, population «B»
2012-SB-2012-B3			- Orion Zone no. 8 - Aucun Fp K - Tonalite à grains grossiers (3-4 mm), population «A»
Z9.1			- Zone no. 9 - Aucun Fp K - Tonalite à grains moyens-grossiers (2 à 4 mm), population « A »

Tableau 1: Résultats du test de coloration des feldspaths potassiques au cobaltinitrite de sodium (suite)

# Éch.	Échantillon avant coloration	Échantillon après coloration	Commentaires
2012- SB- 2145- C			- Zone no. 1 - Présence de Fp K à 5% - Diorite équi-granulaire (grains 1-2 mm)
B7			- Forage MH-87-102 (36.97 m) - Aucun Fp K - Tonalite à grains fins, population «B»
B28			- Forage MH-87-109 (76.36 m) - Aucun Fp K - Tonalite à grains fins, population «C»

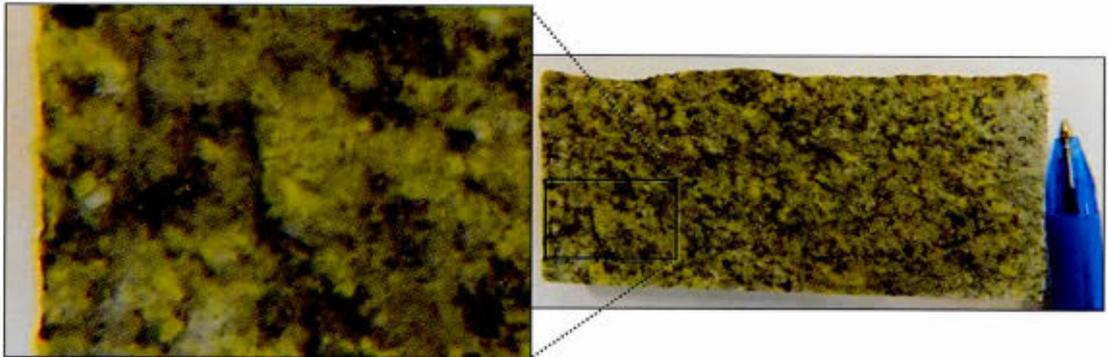


Figure 6: Altération potassique associée à la présence de séricite dans l'échantillon 2012-SB-2145-C1.

APPENDICE A

La base de données des analyses géochimiques du secteur Malartic Hygrade, Marban, Camflo, Norlartic et Kiena, est disponible en version numérique.

RÉFÉRENCES

- Alsac, C., Latulippe, M., 1977, Pétrographie et géochimie de formations volcaniques minéralisées de l'Abitibi et de l'Estrie. Ministère des Richesses Naturelles, Québec; DPV-519.
- Alsac, C., Latulippe, M., 1979, Quelques aspects pétrographiques du volcanisme archéen du Malartic en Abitibi (Province du Québec, Canada). *Journal canadien des Sciences de la Terre*, vol. 16, pages 1041-1059.
- Ayer, J., Amelin, Y., Corfus, F., Kamo, S., Ketchum, J., Kwok, K., Trowell, N., 2002, Evolution of the southern Abitibi greenstone belt based on U-Pb geochronology: autochthonous volcanic construction followed by plutonism, regional deformation and sedimentation, *Precambrian Research*, vol. 115, pages 63-95.
- Babineau, J., 1982, Évolution géochimique et pétrologique des séries volcaniques de la région de Cadillac-Malartic, Abitibi. Mémoire de M.Sc. non-publié, Université de Montréal, Montréal, Québec, 85 pages.
- Babineau, J., 1983, Carte géologique et structurale de la région du lac Malartic, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, DP 83-30, carte annotée.
- Babineau, J., 1985, Géologie de la Région de La Motte, Abitibi, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, ET 84-03, 17 pages.
- Backmann, O.L., 1936, Geology of Siscoe gold mine. *Canadian Mining Journal*; 57 (no. 10): 467-475.
- Bailey, E.H., Stevens, R.E., 1960, Selective staining of k-feldspar and plagioclase on rocks slabs and thin sections, *The American Mineralogist*, vol. 45, pages 1020-1025.
- Barrett, T. J., MacLean, W. H., 1994, Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks. Alteration and alteration processes associated with ore-forming systems. *Geological Association of Canada, Short Course Notes*, vol. 11, pages 433-467.
- Beaucamp, C., 2010, Origine métasomatique et contrôle structural de la minéralisation aurifère du secteur minier de Marban, canton de Dubuisson, Val-d'Or, Abitibi, Québec, Mémoire de maîtrise non-publié, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, 83 pages.
- Boone, G.M., Wheeler, E.P., 1968, Staining for cordierite and feldspars in thin sections, *The American Mineralogist*, vol. 53, pages 327-331.
- Bouchard, M.F., 1979, Tectonique de la région de Cadillac – Malartic, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, rapport intérimaire DPV-683, 16 pages.

- Bouchard, M.F., 1980, Région de Cadillac – Malartic, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, DPV-791, 10 pages.
- Bouillier, A.-M., Robert, F., 1992, Paleoseismic events recorded in Archean gold-quartz vein network, Val-d'Or, Abitibi, Quebec, Canada, *Journal of Structural Geology*, vol. 14, pages 161-179.
- Card, K.D., 1990, A review of the Superior Province of the Canadian shield, a product of Archean accretion, *Precambrian Research*, vol. 48, pages 99-156.
- Chainey, D., 1983, Paramètres pétrographiques et géochimiques du gisement d'or de la mine Camflo, Québec, Canada; Mémoire de M.Sc. non-publié, École Polytechnique, Montréal, Québec, 215 pages.
- 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*, vol. 29, pages 2211-2225.
- Claoué-Long, J.C., King, R.W., Kerrich, R., 1990, Archean hydrothermal zircons in the Abitibi greenstone belt: constraints on the timing of gold mineralisation, *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 98, pages 109-128.
- Claoué-Long, J.C., King, R.W., Kerrich, R., 1992, Reply to comment on "Archean hydrothermal zircons in the Abitibi greenstone belt: constraints on the timing of gold mineralisation", *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 109, pages 601-609.
- Corfu, F., 1993, The evolution of the southern Abitibi greenstone belt in light of precise U-Pb Geochronology, *Economic Geology*, vol. 88, pages 1323-1340.
- Corfu, F., Davis, D.W., 1991, Comment on "Archean hydrothermal zircons in the Abitibi greenstone belt: constraints on the timing of gold mineralization", *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 104, pages 545-552.
- Corfu, F., Krogh, T.E., Kwok, Y.Y., Jensen, L.S., 1989, U-Pb zircon geochronology in the southwestern Abitibi greenstone belt, Superior Province, *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 26, pages 1747-1763.
- Couture, J.F., Pilote, P., Machado, N., Desrochers, J.-P., 1994, Timing of gold mineralization in the Val-d'Or district, southern Abitibi belt: evidence for two distinct mineralizing events, *Economic Geology*, vol. 89, pages 1542-1551.
- Daigneault, R., Mueller, W.U., Chown, E.H., 2002, Oblique Archean subduction : accretion and exhumation of an oceanic arc during dextral transpression, Southern Volcanic Zone, Abitibi Subprovince, Canada, *Precambrian Research*, vol. 115, pages 261-290.

- Davis, D.W., 1992, Ages constraints on deposition and provenance of Archean sediments in the southern Abitibi and Pontiac subprovince from U-Pb analysis of detrital zircons, *Lithoprobe Rep 25*, UBC, Vancouver, Canada, pages 147-150.
- Davis, D.W., 2002, U-Pb geochronology of Archean metasedimentary rocks in the Pontiac and Abitibi subprovinces, Quebec, constraints on timing, provenance and regional tectonics, *Precambrian Research*, vol. 115, pages 97-117.
- Desrochers, J.P., Hubert, C., Pilote, P., 1996a, Géologie de la région de Val-d'Or – Malartic (Abitibi-est), Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, ET 96-01, 123 pages.
- Desrochers, J.P., Hubert, C., Pilote, P., 1996a, Géologie de la région de Val-d'Or – Malartic (Abitibi-est), Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB 96-01, une carte 1 :20 000, une carte 1 :50 000 et une carte 1 : 2 500.
- Dimroth, E. - Imreh, L. - Rocheleau, M. - Goulet, M., 1982 - Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Québec. Part I: stratigraphy and paleogeographic model. *Journal canadien des Sciences de la Terre*; vol. 19, pages 1729-1758.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., Rocheleau, M., 1983a, Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Quebec, Part II: tectonic evolution and geochemical model, *Journal canadien des Sciences de la Terre*, vol. 20, pages 1355-1373.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, M., Rocheleau, M., 1983b, Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi belt, Quebec, Part III: plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model, *Journal Canadien des Sciences de la Terre*, vol. 20, pages 1374-1388.
- Ducharme, Y., Lieber, E., 2013, Activity report 2010-2012, Marban Block Property. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, filière des travaux statutaires; GM 67935, 12784 pages, 75 cartes.
- Eilu, P.K., Mathison, C.I., Groves, D.I., Allardyce, W.J., 1999, Atlas of alteration assemblages, styles and zoning in orogenic lode-gold deposits in a variety of host rock and metamorphic settings, The University of Western Australia, Publication no. 30
- Gallagher, D., 1940, Albite and gold, *Economic Geology*, vol. 35, pages 698-736.
- Gunning, H.C., 1937, Cadillac area, Quebec. Commission Géologique du Canada, Memoir 206, 71 pages.
- Gunning, H.C., Ambrose, J.W., 1940, Malartic area, Quebec. Commission Géologique du Canada, Memoir 222, 162 pages et 12 cartes hors-textes.

- Hanes, J.A., Archibald, D.A., Hodgson, C.J., Robert, F., 1992, Dating of Archean auriferous quartz vein deposits in the Abitibi greenstone belt, Canada: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence for a 70- to 100- m.y. – time gap between plutonism-metamorphism and mineralization, *Economic Geology*, vol. 87, pages 1849-1861.
- Hanes, J.A., Archibald, D.A., Hodgson, C.J., Robert, F., 1992, Dating of Archean auriferous quartz vein deposits in the Abitibi greenstone belt, Canada: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence for a 70- to 100- m.y. – time gap between plutonism-metamorphism and mineralization – A reply, *Economic Geology*, vol. 89, pages 687-690.
- Imreh, L., 1976, Nouvelle lithostratigraphie à l'ouest de Val-d'Or et son incidence géologique. Ministère des Richesses Naturelles, Québec, DP-349, 73 pages.
- Imreh, L., 1984, Sillon de La Motte – Vassan et son avant-pays méridional : synthèse volcanologique, lithostratigraphique et géologique, Ministère de l'Énergie et des ressources, Québec, MM 82-04.
- Imreh, L., Trudel, P., 1990, Considérations typologiques et métallogéniques sur des gisements aurifères du district de Val-d'Or, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, DV 87-25, pages 75-83.
- Jenkins, C.L., Brown, A.C., 1999, Cadre métallogénique des gisements de sulfures massifs volcanogènes et filoniens des cantons Bourlamaque et Louvicourt, partie sud de la Sous-province de l'Abitibi, Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 99-12, 48 pages.
- Kerrick, R., 1983, Geochemistry of gold deposits in the Abitibi greenstone belt: CIM Spec. Paper 27, 75 pages.
- Kerrick, R., 1994, Dating of Archean auriferous quartz vein deposits in the Abitibi greenstone belt, Canada: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence for a 70- to 100- m.y. – time gap between plutonism-metamorphism and mineralization – A discussion, *Economic Geology*, vol. 89, pages 679-687.
- Kerrick, R., King, R., 1993, Hydrothermal zircon and baddeleyite in Val-d'Or Archean mesothermal gold deposits. Characteristics, compositions and fluid inclusion properties, *Journal canadien des Sciences de la Terre*, vol. 30, pages 2334-2351.
- Kerrick, R., Kiser, T.K., 1994, 100 Ma timing paradox of Archean gold, Abitibi greenstone belt (Canada): new evidence for U-Pb and Pb-Pb evaporation ages of hydrothermal zircons, *Geology*, vol. 22, pages 1131-1134.
- Kishida, A., Kerrich, R., 1987, Hydrothermal alteration zoning and gold concentration at the Kerr-Addison archean lode gold deposit, Kirkland Lake, Ontario, *Economic Geology*, vol. 82, pages 649-690.

- Latulippe, M., 1966, The relationship of mineralization to Precambrian stratigraphy in the Matagami Lake and Val-d'Or districts of Quebec. Association Géologique du Canada, volume special 3, pages 21-42.
- Latulippe, M., 1976, Excursion géologique Val-d'Or – Malartic, Ministère des Richesses Naturelles, Québec, DPV 367, 124 pages.
- MacLean, W.H., Barrett, T.J., 1993, Lithogeological techniques using immobile elements, *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 48, pages 109-133.
- Méthot, Y., Trudel, P., 1987, Géologie de la mine Marban - Région Malartic, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB-87 53, 67 pages.
- Morasse, S., 1998, Geology, structure and timing of gold mineralization at the Kiena deposit, Val-d'Or, Québec. Thèse de doctorat non-publiée, Queen's University, Kingston, Ontario, 362 pages.
- Morasse, S., Wasteneys, H.A., Cormier, M., Helmstaedt, H., Mason, R., 1995, A pre-2686 Ma intrusion-related gold deposit at the Kiena mine, Val-d'Or, Québec, Southern Abitibi Province. *Economic Geology*, **90**: 1310-1320.
- Moss, A.E., 1939, The geology of the Siscoe gold mine, province of Québec. Thèse de Ph.D. non-publiée, Université McGill, Montréal, Québec, 159 pages.
- Mueller, W., Daigneault, R., Gaboury, D., Pearson, V., 2008, Effusive and explosive subaqueous volcanism in the Abitibi Greenstone Belt: ocean floor and subaqueous caldera volcanism, Geological Association of Canada – Mineralogical Association of Canada, Joint Annual Meeting, Québec 2008, Guidebook to Field Trip A1, 80 pages.
- Mueller, W., Daigneault, R., Mortensen, J., Chown, E.H., 1996, Archean terrane docking: upper crust collision tectonics, Abitibi Greenstone Belt, Quebec, Canada, *Tectonophysics*, vol. 265, pages 127–150.
- Norman, G.W.H., 1941, Région de la carte de Vassan-Dubuisson, comté d'Abitibi, Québec. Commission Géologique du Canada, brochure 41-6.
- Norman, G.W.H., 1942, La partie est du canton de Dubuisson, comté d'Abitibi, Québec. Commission Géologique, brochure 42-9.
- Norman, G.W.H., 1943, Bourlamaque, Abitibi county, Quebec. Commission Géologique du Canada, brochure 43-2.
- Norman, G.W.H., 1944, Région de La Motte, comté d'Abitibi, Québec. Commission Géologique du Canada, étude préliminaire 44-9, 15 pages.

- Norman, G.W.H., 1946, Preliminary maps of NW, NE, SW and SE Bourlamaque, Abitibi county, Quebec. Commission Géologique du Canada, étude préliminaire 46-15, 46-16, 46-17 et 46-18
- Norman, G.W.H., 1947, Dubuisson, Bourlamaque et Louvicourt, comté d'Abitibi, Québec. Commission Géologique du Canada, brochure 47-20.
- Norman, M.B., 1974, Improved techniques for selective staining of feldspar and other minerals using amaranth, *Journal research U.S. geological survey*, Vol. 2, pages 73-79.
- Olivo, G.R. – Williams-Jones, A.E., 2002 - Genesis of the auriferous C quartz-tourmaline vein of the Siscoe mine, Val-d'Or district, Abitibi Subprovince, Canada: structural, mineralogical and fluid inclusion constraints. *Economic Geology*, v. 97, p. 929-947.
- Parent, G., 1985, Géochimie du groupe volcanique de Malartic, d'âge archéen, région de l'Abitibi. Mémoire non-publié, Université de Montréal, Québec, 104 pages.
- Pearce, J.A. - Harris, N.B.W. - Tindle, A.G., 1984 - Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, volume 25, pages 956-983.
- Pilote, P., Couture, J.F., Desrochers, J.P., Machado, N., Pelz, P., 1993, Minéralisations aurifères multiphasées dans la région de Val-d'Or : l'exemple de la mine Norlartic, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, DV 93-03, pages 61-66.
- Pilote, P., Lacoste, P., Moorhead, J., Bertrand-Blanchette, S., et Ouellet, Marie-Claude, 2012, Géologie de la région de Malartic, Phase 1. Ministère des Ressources Naturelles, Québec, CG-32D01D-2013-01, 1 carte 1 :20 000.
- Pilote, P., Scott, C., Mueller, W., Lavoie, S., RIOPEL, P., 1999 - Géologie des Formations Val-d'Or, Héva et Jacola - nouvelles interprétations du Groupe de Malartic. Ministère des Ressources naturelles du Québec; DV 99-03, page 19.
- Pilote, P., Lacoste, P., Moorhead, J., Daigneault, R., McNicoll, V., David, J., 2013 – Géologie de la région de Malartic. Résumé des conférences et des photoprésentations, Québec Mines 2013. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Québec; DV 2014-03, page 15.
- Pilote, P., Moorhead, J., et Mueller, W., 2000, Géologie de la région de Val-d'Or: Sous-province de l'Abitibi -Volcanologie physique et évolution métallogénique. Association géologique du Canada - Association minéralogique du Canada, Réunion annuelle, Québec 1998, Guide d'excursion A2, MB 2000-09, 116 pages.
- Powell, W.G., Carmichael, D.M., Hodgson, C.J., 1995a, Conditions and timing of metamorphism in the southern Abitibi greenstone belt, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 32, pages 787-805.

- Robert, F., 1989, Internal structure of the Cadillac tectonic zone southeast of Val-d'Or, Abitibi belt, Quebec, Canadian Journal, of Earth Sciences, vol. 26, pages 2661-2690.
- Robert, F., 1990a, An overview of gold deposits in the Eastern Abitibi Subprovince, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 43, pp 93-105.
- Robert, F., 1990b, Dating old gold deposits, Nature, vol. 346, pages 792-793.
- Robert, F., 1990c, Structural setting and controls of gold-quartz veins of the Val-d'Or area, southeastern Abitibi Subprovince. *Dans: Gold and Base-Metal Mineralization in the Abitibi Subprovince, Canada, with Emphasis on the Quebec segment. Compilés par: S.E. Ho, F. Robert et D.I. Groves, University of Western Australia, Publication no. 24, pages 167-209.*
- Robert, F., 1994, Vein fields in gold districts, the example of Val-d'Or, southeastern Abitibi subprovince, Quebec, Current Research 1994-C, Geological Survey of Canada, pages 295-302.
- Robert, F., 1996, Filons de quartz-carbonates aurifères Dans : Géologie des types de gisements minéraux du Canada, Éditeurs : O.R. Eckstrand, W.D. Sinclair et R.I. Thorpe, Commission Géologique du Canada – Geological Society of America, Géologie du Canada, vol. 8, pages 387-405.
- Robert, F., Brown, A.C., 1986a. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, quebec, Part I, Geologic
- Robert, F., Brown, A.C., 1986b. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, quebec, Part II, Vein paragenesis and hydrothermal alteration, Economic Geology, vol. 82, pages 1646-1482.
- Rocheleau, R., Hébert, R., Lacoste, P., St-Julien, P., Racine, M., Gaudreau, R., 1997, synthèse stratigraphique, paléogéographique et gîtologique : cantons de Vauquelin, Pershing et parties de Louvicourt, Pascalis et Danain, Ministère des Ressources Naturelles du Québec, MB 97-11, 117 pages, 6 cartes.
- Sansfaçon, R., Hubert, C., 1990, The Malartic gold district, Abitibi belt, Quebec: Geological setting, structure and timing of gold emplacement at Malartic Gold Fields, Barnat, East Malartic, Canadian Malartic and Sladen Mines. *In : La ceinture polymétallique du nord-ouest québécois, Éditeurs: M. Rive, P.Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, G. Riverin et A. Simard, L'institut canadien des mines et de la métallurgie, Volume Spécial 43, pages 221-235.*
- Sauvé, P., 1987, Géologie des propriétés de Malartic Hygrade et de Black Cliff, région de Malartic, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, MB 87-50, 47 pages.

- Sauvé, P., Imreh, L., Trudel, P., 1993, Description des gisements d'or de la région de Val-d'Or, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MB 87-40.
- Scott, C.R., Mueller, W., et Pilote, P., 2002, Physical volcanology, stratigraphy, and lithochemistry of an Archean volcanic arc: evolution from plume-related volcanism to arc rifting of SE Abitibi Greenstone Belt, Val-d'Or, Canada, *Precambrian Research*, vol. 115, pages 223-260.
- Sharpe, J.I., 1968, Canton de Louvicourt, Ministère des Richesses Naturelles, Québec; RG-135, 59 pages.
- Stockwell, C.H., 1982, Proposals for time classification and correlation of Precambrian rocks and events in Canada and adjacent areas of the Canadian shield, Part 1: A time classification of Precambrian rocks and events, *Geological Survey of Canada*, paper 80-19, 135 pages.
- Tardif, G., 1989, La petite histoire de Val-d'Or, 1935-1985. Les publications Dubuisson Enrg., 211 pages.
- Thurston, P.C., Chivers, K.M., 1990, Secular variation in greenstone sequence development emphasizing Superior Province of Canada, *Precambrian Research*, vol. 46, pages 21-58.
- Thurston, P.C., Ayer, J.A., Goutier, J., Hamilton, M.A., 2008, Depositional gaps in Abitibi greenstone belt stratigraphy: a key to exploration for syngenetic mineralization. *Economic Geology*, v. 103, pages 1097-1134.
- Tourigny, G., 1984, Géologie Structurale et métamorphisme des roches précambriennes du Groupe de Kewagama dans la région de Cadillac-Malartic, Abitibi, Québec. Mémoire de maîtrise non publié, Université de Montréal, 85 pages.
- Trudeau, Y., Raymond, D., 1992, Geology and structure, Orion mine (No. 8 zone), Val-d'Or district, Quebec: *Exploration and Mining Geology*, v. 1, p. 223-230.
- Trudel, P., Sauvé, P., 1992, Synthèse des caractéristiques géologiques des gisements d'or du district de Malartic, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MM 89-04, 113 pages.
- Winchester, J. A., Floyd, P. A. 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, **20**: pages 325-343.
- Wong, L., Davis, D.W., Krogh, T.E., Robert, F., 1991, U-Pb zircon and rutile chronology of Archean greenstone formation and gold mineralization in the Val-d'Or region, Quebec, *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 104, pages 325-336.

Zweng, P.L., Mortensen, J.K., Dalrymple, G.B., 1993, Thermochronology of the Camflo Gold Deposit, Malartic, Quebec: Implications for magmatic underplating and the formation of gold-bearing quartz veins, *Economic Geology*, Vol. 88, pages 1700-1721.

Ressources électroniques:

McMonigle - Marin.edu: <http://www.marin.edu/~jim/geolprojects/>

Steven Dutch, 1997, University of Wisconsin:
<https://www.uwgb.edu/dutchs/EarthSC102Notes/102minerals.htm>