
REEVALUATION PALEO ENVIRONNEMENTALE DU COMPLEXE VOLCANIQUE DE SELBAIE ET DE SON POTENTIEL METALLOGENIQUE

Projet 2011-08

Par : Stéphane Faure, Ph.D
2012



CONSOREM

Consortium de recherche
en exploration minérale

AVERTISSEMENT

Ce document présente certains résultats des travaux de recherche du CONSOREM (Consortium de Recherche en Exploration minière) rendus publics pour le bénéfice de l'ensemble de la communauté géologique, ceci après la période de confidentialité prévue aux règlements généraux du CONSOREM.

Bien que ce document ait subi un processus d'évaluation interne, des erreurs ou omissions peuvent s'y retrouver et seul CONSOREM en assume la responsabilité.

Le contenu du document demeure la propriété de son auteur et du CONSOREM et peut être reproduit en totalité ou en partie à des fins non-commerciales en citant la référence suivante :

Faure, S., 2012. Réévaluation paléo environnementale du complexe volcanique de Selbaie et de son potentiel métallogénique. Rapport, Projet CONSOREM 2011-08, 26 p.

Toutefois, la reproduction multiple de ce document, en tout ou en partie, pour diffusion à des fins commerciales est interdite, sauf avec la permission écrite de CONSOREM.

CONSOREM

Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard de l'Université
Chicoutimi, QC, G7H 2B1

Tél. : (418) 545-5011 poste 5634

Courriel : consorem@uqac.ca
Site Web: www.consorem.ca

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Ce projet vise la réévaluation du potentiel pour le zinc, le cuivre et l'argent dans la région des anciennes mines Selbaie (production de 1981 à 2004 dans 3 zones, pour un total de 56,9 MT @ 0,87% Cu 1,85% Zn 39 g/t Ag 0,55 g/t Au), dans le nord-ouest de la Sous-province de l'Abitibi. Ce secteur d'une superficie de plus de 700 km² a fait l'objet que d'un seul épisode de cartographie régionale (Lacroix 1990 et 1994a) depuis la découverte de la minéralisation polymétallique en 1974, et toutes les publications scientifiques concernent la géologie de la mine et de ses environs. La carte géologique du camp de Selbaie a été complètement revue à partir des informations géologiques et géophysiques récentes et publiques du SIGÉOM, et de nouvelles données inédites en forage (descriptions lithologiques et lithogéochimie) provenant des compagnies membres et non-membres du CONSOREM, et surtout des traitements innovateurs qui ont permis de caractériser les structures synvolcaniques et l'altération hydrothermale de cet important complexe volcanoplutonique. Il s'agit d'une étude exhaustive qui traite à l'échelle régionale l'aspect des structures synvolcaniques, la géochimie des roches et des altérations, et les signatures magnétiques et gravimétriques.

Les principaux résultats indiquent que : 1) Les volcanites du Groupe de Brouillan sont calco-alkalines et comagmatiques avec les phases intermédiaires et felsiques du complexe intrusif de Brouillan. 2) La phase mafique du complexe de Brouillan est plutôt en grande partie comagmatique avec les basaltes tholéïtiques d'Enjalran qui entourent le complexe volcanoplutonique de Brouillan. Ceci a comme implication que les intrusions nourricières et les basaltes seraient plus jeunes que le complexe intrusif de Brouillan. 3) La signature lithogéochimique de l'horizon porteur du SMV stérile de 8 Mt à Selbaie (l'unité WAT) a été définie par géochimie et reconnue plus au sud à la limite entre le Brouillan et l'Enjalran. 4) Deux familles de failles synvolcaniques sont distinguées, soit celle NNO-SSE qui affecte la partie nord du complexe, et celle globalement E-O qui recoupe les failles NNO-SSE et à laquelle sont associées les phases les plus felsiques du complexe intrusif. Des structures déduites des empreintes géophysiques sont interprétées comme des failles à l'origine de grabens et certaines organisations circulaires peuvent correspondre à l'empreinte de petites calderas. L'altération hydrothermale a été caractérisée avec la Norme SV350 de LithoModeleur. Elle est typiquement volcanogène et se concentre le long de structures bordant certains bassins volcaniques.

Les failles synvolcaniques ainsi interprétées sont considérées comme des cibles d'exploration importantes, surtout celles qui sont situées près du complexe intrusif de Brouillan (source de chaleur). Plusieurs de ces failles ou segments de failles n'ont fait l'objet que de très peu de travaux d'exploration et sont par conséquent considérées comme des zones à fort potentiel.

TABLE DES MATIERES

Avertissement.....	i
Sommaire exécutif.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures.....	iv
1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Travaux antérieurs et présentation de la région à l'étude.....	2
1.2 Problématique et objectifs.....	3
1.3 Méthodologie et données utilisées.....	3
1.4 Présentation de la nouvelle carte géologique.....	4
2 STRUCTURES SYNVOLCANIQUES.....	4
2.1 Failles synvolcaniques et calderas interprétées.....	5
3 GÉOCHIMIE DES ROCHES VOLCANIQUES ET INTRUSIVES.....	8
3.1 Base de données lithogéochimiques.....	8
3.2 Affinité des roches volcaniques et intrusives.....	9
3.3 Composition reconstituée des roches volcaniques et intrusives.....	10
3.4 Comparaison géochimique entre les volcanites des groupes de Brouillan et d'Enjalran.....	12
3.5 Fertilité des rhyolites pour les SMV.....	15
3.6 Comparaison géochimique entre les intrusions des groupes de Brouillan et d'Enjalran.....	17
4 GÉOCHIMIE DES ALTÉRATIONS VOLCANOGÈNES.....	19
4.1 Altérations déterminées par la norme SV350C.....	19
5 CONCLUSION.....	22
Références.....	24

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Portion québécoise de la Sous-province archéenne de l'Abitibi montrant la localisation de la région d'étude (encadré blanc) et celle du gisement de Selbaie. Carrés et ronds rouges sont respectivement les mines et gîtes de métaux de base. Ronds jaunes sont les mines et gîtes d'or.	1
Figure 2.	Carte montrant la nouvelle interprétation du complexe volcanoplutonique de Brouillan. Le gisement de Selbaie et les principaux gîtes de métaux de base ont également été reportés sur la carte. Les failles en bleu sont interprétées comme des structures synvolcaniques. Les lignes concentriques en noir sont interprétées comme des structures de calderas. Les bassins de roches sédimentaires sont en bleu pâle et en cyan.	2
Figure 3.	Gravité résiduelle montrant les domaines gravimétriques et les structures volcaniques interprétées d'après le levé du DP 2008-02. Les couleurs chaudes indiquent les plus fortes densités et les couleurs froides les plus faibles densités. Les polygones sans motif correspondent à des roches volcaniques.	7
Figure 4. A)	Image composite de la dérivée « tilt » en transparence sur la première dérivée verticale du champ magnétique total (données MEGATEM de Xstrata Zinc). B) Interprétation géologique d'une structure circulaire pouvant correspondre à une caldera au nord du complexe intrusif de Brouillan. Localisation de la structure sur la Figure 2, à environ 10 km au nord de Selbaie. Les couleurs chaudes indiquent que le magnétisme est fort, alors que les couleurs froides indiquent des anomalies magnétiques faibles. Les failles sont indiquées par des lignes bleues et les polygones sans motif correspondent à des roches volcaniques. La surface en noir est un dyke protérozoïque. À noter l'incursion du bassin volcanique dans la région du forage B11-01 et du conducteur électromagnétique qui délimite la marge ouest.	7
Figure 5. A)	Image composite de la dérivée « tilt » en transparence sur la première dérivée verticale du champ magnétique total (données MEGATEM de Xstrata Zinc). B) Interprétation géologique d'une structure circulaire pouvant correspondre à une caldera au sud du gisement de Selbaie. Localisation de la structure sur la Figure 2. Les couleurs chaudes indiquent que le magnétisme est fort, alors que les couleurs froides indiquent des anomalies magnétiques faibles. Les lignes en bleu indiquent des crêtes magnétiques, alors que les lignes bleu pâle sont des failles synvolcaniques interprétées. Les polygones sans motif correspondent aux volcanites de Brouillan.	8
Figure 6.	Distribution des échantillons lithogéochimiques dans et autour du complexe volcanoplutonique de Brouillan avec les noms des principales compagnies ou les auteurs qui ont fourni des données pour les feuillets SNRC. A noter qu'il y a très peu d'échantillons dans les volcanites au nord du Pluton de Brouillan.	9
Figure 7.	Carte montrant l'affinité géochimique des volcanites et des intrusions d'après le ratio Zr/Y de Barrett et MacClean (1994). Ratio entre 2 et 4,5 : Tholéitique ; 4,5 et 7 : transitionnel ; 7 et 25 : calco-alcalin.	10
Figure 8.	Diagramme d'altérations de Large et al. (2001) modifié par Trépanier (2011) montrant les champs des roches fraîches ou altérées pour les différentes compositions de volcanites du Groupe de Brouillan avec les minéraux d'altération (cercle rouge).	11
Figure 9.	Diagramme d'altérations de Large et al. (2001) modifié par Trépanier (2011) montrant les mêmes échantillons que sur la Figure 8 mais repositionnés selon les valeurs des oxydes prédits par la méthode de bilans de masse sur précurseurs modélisés de Trépanier (2011).	11

Figure 10.	Diagramme de classification de Le Bas et al. (1986) pour les volcanites du Groupe de Brouillan. A) Valeurs analysées des oxydes. B) Valeurs prédites des oxydes selon la méthode des bilans de masse sur précurseurs modélisés de Trépanier (2011).....	12
Figure 11.	Distribution des échantillons classés selon la classification de Le Bas et al. (1986) avec les valeurs prédites des oxydes selon la méthode des bilans de masse sur précurseurs modélisés de Trépanier (2011) pour les volcanites du Groupe de Brouillan.	12
Figure 12.	Diagrammes Harker montrant les principaux oxydes prédits en fonction de SiO ₂ prédit par la méthode de Trépanier (2011) pour les volcanites des groupes de Brouillan (en vert, cyan et jaune) et d'Enjalran (vert foncé). Même légende pour les symboles que sur la Figure 8. À noter que les basaltes du Groupe d'Enjalran forment un groupe distinct par rapport à la suite différenciée du Groupe de Brouillan.	14
Figure 13.	Détail du diagramme de SiO ₂ prédit versus MgO prédit pour les basaltes du Groupe d'Enjalran (carré rouge) et les deux séries volcaniques du Groupe de Brouillan (croix verte : volcanites indifférenciées ; cercle bleu : échantillons à l'intérieur de la bande volcanique de Selbaie ; losange cyan : volcanites à l'extérieur du complexe volcanique de Brouillan).	14
Figure 14.	Synthèse par secteurs d'intérêts des observations et statistiques sur la géochimie des roches volcaniques du groupe de Brouillan avec la distribution des échantillons des suites déterminées à partir du diagramme de la Figure 10. La différence entre la somme des pourcentages des suites 1 et 2 sur 100% représente le pourcentage de volcanites dont la géochimie s'apparente au Groupe d'Enjalran.....	15
Figure 15.	Diagrammes de fertilité des rhyolites par secteurs d'intérêt pour l'exploration dans le complexe volcanique de Brouillan. A) Champs de fertilité des rhyolites avec des éléments traces selon Lesher (1986): FI : non-minéralisées ; FII : occasionnellement minéralisées ; FIIIa +FII : communément à occasionnellement minéralisées ; FIIIb : communément minéralisées. Y et Zr en ppm. B) Champs de fertilité des rhyolites avec éléments majeurs d'après Pearson (2007).	16
Figure 16.	Diagramme d'éléments immobiles montrant la géochimie particulière du tuf de Selbaie (unité WAT) juste sous l'amas de pyrite massive de 8 Mt par rapport aux autres volcanites de la séquence felsique de Selbaie. L'encadré montre les limites des ratios qui sont utilisées pour reconnaître d'autres rhyolites de type WAT dans le Groupe de Brouillan.	16
Figure 17.	Distribution des échantillons du type WAT (cercle rouge) par rapport aux autres volcanites felsiques du Groupe de Brouillan (cercle jaune) d'après le diagramme de la Figure 16. Lignes en noir sont des structures synvolcaniques interprétées. Voir la Figure 2 pour la légende de la carte géologique.....	17
Figure 18.	Diagrammes discriminant les intrusions des groupes de Brouillan (ronds) et d'Enjalran (carrés) classées selon le diagramme TAS de Le Bas et al. (1986) et indiqués par les lignes en pointillés bleues. Les lignes avec traits noirs sont les lignées magmatiques interprétées. A) Oxydes prédits en pourcentage poids. B) Éléments immobiles en ppm.....	18
Figure 19.	Distribution des échantillons d'intrusions des groupes de Brouillan (cercles) et d'Enjalran (carrés). Légende des symboles et couleurs sur la Figure 15. Lignes en gris sont des structures synvolcaniques interprétées. Voir la Figure 2 pour la légende de la carte géologique.....	18
Figure 20.	Distribution des échantillons d'intrusions dans et en périphérie du complexe intrusif de Brouillan indiquant le contenu en SiO ₂ prédit en pourcentage poids selon la	

méthode des bilans de masse de Trépanier (2011). L'image en arrière plan est la gravité résiduelle (d'après le DP 2008-02) avec les couleurs chaudes indiquant des plus fortes densités et les couleurs froides les plus faibles densités. Les structures synvolcaniques interprétées sont les lignes en noir et la ligne sismique 29 du projet LITHOPROBE est la ligne en tirets blancs (Bellefleur et al. 1995). Dates de : 1- Barrie et Krogh (1996) ; 2- Lacroix (1998) d'après une date préliminaire de Mortensen et Lacroix. 19

Figure 21. Altérations géochimiques. A) Localisation des échantillons lithogéochimiques qui ont servi à calculer l'indice Alt-Phyllo d'après la Norme SV350C de Trépanier (2012) sur une échelle maximum de 100, les couleurs vives ou blanches représentant les zones les plus altérées. En transparence sont les volcanites d'Enjalran. B) Image rapprochée de A avec les indices, gîtes et mines Selbaie avec structures synvolcaniques et calderas interprétées.....21

Figure 22. Altérations géochimiques. A) Indice Paragonite d'après la Norme SV350C de Trépanier (2012) sur une échelle maximum de 100, les couleurs vives ou blanches représentant les zones les plus altérées. En transparence sont les volcanites d'Enjalran. B) Image rapprochée de A avec les indices, gîtes et mines Selbaie ainsi que les structures synvolcaniques et calderas interprétées. Légende selon la Figure 21b.21

Figure 23. Altérations géochimiques. A) Indice Alt-Carb d'après la Norme SV350C de Trépanier (2012) sur une échelle maximum de 100, les couleurs vives ou blanches représentant les zones les plus altérées. En transparence sont les volcanites d'Enjalran. B) Image rapprochée de A avec les indices, gîtes et mines Selbaie ainsi que les structures synvolcaniques et calderas interprétées. Légende selon la Figure 21b.22

1 INTRODUCTION

Dans l'extrême NO québécois de la ceinture de roches vertes archéennes de la Sous-province de l'Abitibi (**Figure 1**), le gisement polymétallique à faibles teneurs de Selbaie (Les Mines Selbaie : 56,9 Mt @ 0,87% Cu 1,85% Zn 39 g/t Ag 0,55 g/t Au) a été découvert en 1974 et exploité dans 3 zones (zones A-1, A-2 et B) de 1981 à 2004 (Adam, 2004). Selon les données de Franklin (2005) et celles de Adam (2004) pour la Province archéenne de Supérieur, Selbaie est le quatrième gisement cuprifère derrière Kidd Creek (Timmins, Ontario), Horne (Rouyn) et Louvicourt (Val-d'Or), le cinquième plus important gisement de Cu et Zn en terme de tonnage miné après Kidd Creek, Noranda et Bousquet (Abitibi), et Geco (Manitouwadge, Ontario), et le sixième en Zn. Contrairement aux autres régions minières de l'Abitibi où les gisements de métaux de base forment des amas plus ou moins espacés, Selbaie est l'unique gisement connu sur une superficie comparable à celle des camps miniers de Noranda, Val-d'Or, Chibougamau ou Matagami (**Figure 1**). Le gisement est également atypique car il s'agit d'un amas de sulfures massifs volcanogène (SMV) constitué de 8 Mt de pyrite stérile localement argentifère (10 à 200 g Ag/t), qui est recoupé par un réseau de veines et de brèches polymétalliques d'origine épithermale (Deptuck et al., 1982; Bouillon, 1990; Faure et al., 1990; Faure et al., 1996; Taner, 2000). Les minéralisations volcanogènes sont associées à une caldera subaquatique à subaérienne et sont contenues dans des horizons pyroclastiques calco-alcalins (Deptuck et al. 1982; Larson et Hutchinson, 1993). Par comparaison et ailleurs en Abitibi, les minéralisations volcanogènes sont généralement situées dans des laves sous-marines tholéïtiques à transitionnelles. Il s'agit donc d'un des rares exemples de minéralisation épithermale archéenne au monde.

Ce rapport présente la synthèse des données géochimiques, géophysiques et géologiques qui ont été acquises dans la région de Selbaie (**Figure 1**). Dans le cadre de cette étude, la carte géologique des feuillets 32E14 et 32E15 du Système d'informations géominières du gouvernement du Québec (SIGÉOM) a été réinterprétée grâce aux données géologiques, géochimiques et géophysiques publiques et à des données inédites de compagnies membres et non-membres du CONSOREM, en particulier des données de descriptions et d'analyses géochimiques de carottes de forage (**Figure 2**). L'accent est mis sur la géochimie des roches volcaniques et des altérations ainsi que sur la reconnaissance et la chronologie de structures synvolcaniques reliées au développement de la caldera de Selbaie.

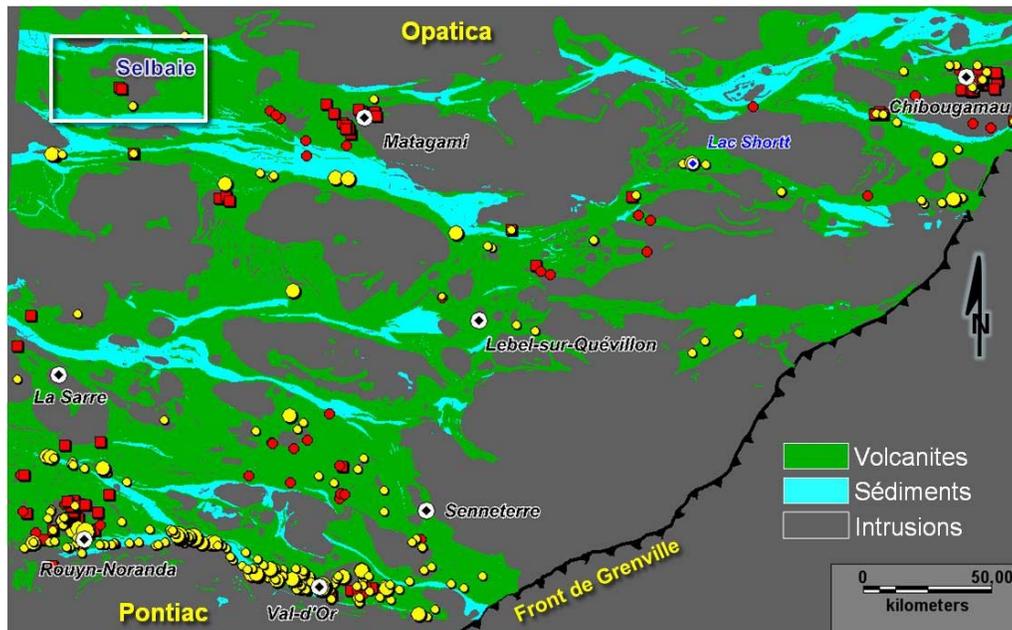


Figure 1. Portion québécoise de la Sous-province archéenne de l'Abitibi montrant la localisation de la région d'étude (encadré blanc) et celle du gisement de Selbaie. Carrés et ronds rouges sont respectivement les mines et gîtes de métaux de base. Ronds jaunes sont les mines et gîtes d'or.

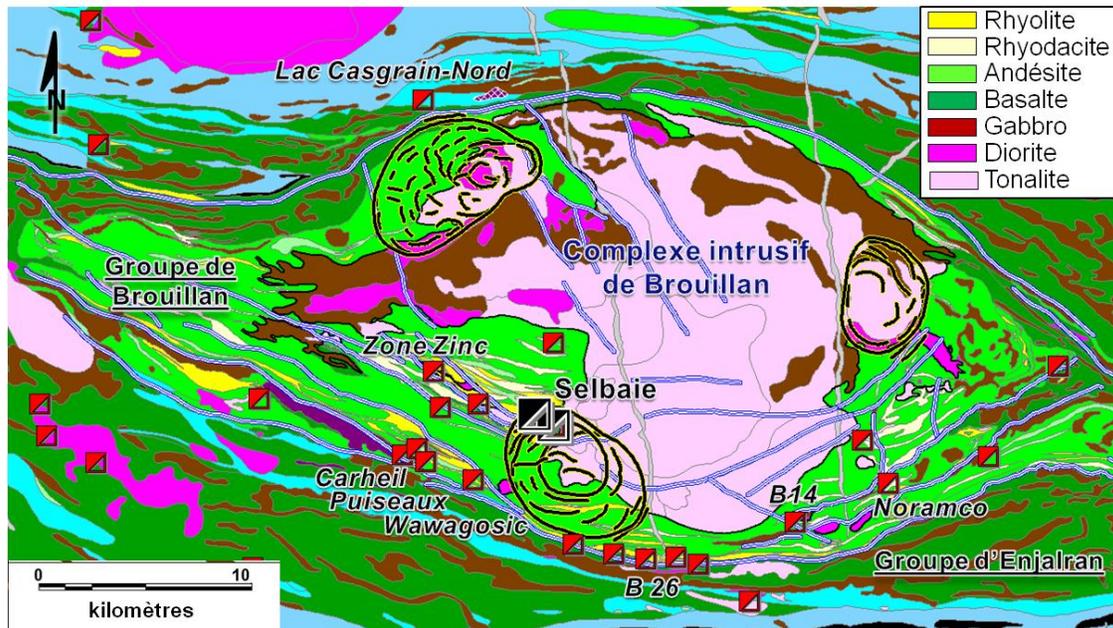


Figure 2. Carte montrant la nouvelle interprétation du complexe volcanoplutonique de Brouillan. Le gisement de Selbaie et les principaux gîtes de métaux de base ont également été reportés sur la carte. Les failles en bleu sont interprétées comme des structures synvolcaniques. Les lignes concentriques en noir sont interprétées comme des structures de calderas. Les bassins de roches sédimentaires sont en bleu pâle et en cyan.

1.1 Travaux antérieurs et présentation de la région à l'étude

Peu de travaux de cartographie sont disponibles dans la région en raison de l'épaisseur des dépôts glaciaires et de la rareté des affleurements (Lacroix, 1994a). La plaine de basaltes du Groupe d'Enjalran ainsi que les phases intrusives mafiques et felsiques du Pluton de Brouillan ont été initialement reconnues par Remick (1969), qui avait également reconnu la forme ocellée du complexe volcanoplutonique sur la base de levés magnétiques de basse résolution du gouvernement fédéral. Par la suite, Lacroix (1990 et 1994a) produit une seconde carte en utilisant de nouvelles cartes gradiométriques et électromagnétiques (DP-866 et DV86-10), et en compilant les données pétrographiques et lithogéochimiques de surface et de forages. Les hauts magnétiques de levés magnétiques ont été interprétés par Lacroix (1990) comme étant des filons couchés de gabbros interstratifiés dans les coulées de basaltes. Cette carte précise le contour du Pluton felsique de Brouillan, qui est encaissé dans les andésites et rhyolites du Groupe de Brouillan, qui sont elles-mêmes entourées par les coulées basaltiques et les sills gabbroïques du groupe d'Enjalran. L'absence de vésicules et d'amygdules ainsi que la grande continuité latérale des coulées basaltiques sont interprétées par Lacroix et al. (1990) comme un paléo-environnement sous-marin profond. Selon Lacroix (1994a), le groupe de Brouillan est dominé par des tufs à lapillis, à cristaux de quartz et à blocs. Des laves andésitiques massives ou coussinées et parfois des dômes felsiques sont présents.

La déformation est généralement faible et les textures volcaniques bien préservées sauf localement le long de corridors étroits de déformation au Sud de Selbaie (Deptuck et al., 1982 ; Larson et Hutchinson, Lacroix, 1994a; Taner 2000). Dans le secteur de Selbaie, le pendage des couches volcaniques est généralement subhorizontal, mais peut atteindre 40 degrés dans les flancs de plis ouverts (Bouillon, 1990; Faure et al., 1996). Dans le secteur Carheil-Puisseaux (Figure 2), les volcanites pentent à 60 degrés vers le sud exhibant en plan une section stratigraphique normale. Dans le secteur de B-26, les volcanites sont inclinées autour de 80 degrés vers le sud (Leclerc, 2004).

À la suite de la découverte de Selbaie, la majorité des travaux scientifiques se sont concentrés autour du gisement. La minéralisation se situe dans une bande de roches pyroclastites de composition intermédiaire à felsique (**Figure 2**) qui a été délimitée lors de travaux d'exploration par la compagnie Selco au début des années 1980 (Deptuck et al., 1982). La limite sud de ce bassin volcanique qui correspond à un dyke de porphyre, est interprétée par Taner (2000) comme une structure synvolcanique majeure. Faure (1990) et Faure et al. (1990 et 1996) réinterprètent la géologie du gisement, précisent la nature de la minéralisation épigénétique et du chevauchement qui recoupe la minéralisation à l'est, et proposent que la minéralisation des zones A-1 (fosse) et A-2 (sous-terre) se met en place en régime de déformation cassante lors d'une modification des contraintes synvolcaniques. Deptuck et al. (1982), Whyte et Nichol (1987), et Larson et Hutchinson (1993) ont étudié les altérations géochimiques dans et autour des zones minéralisées. Piché (1993) publie une centaine d'analyses lithogéochimiques au-delà des zones minéralisées, à l'échelle de la bande de pyroclastites (10 x 6 km²), et interprète l'altération en terme géochimique, étude qui sera reprise et approfondie avec plus de deux mille trois cents analyses par Piché et Jébrak (2006). Ces auteurs montrent que la bande de pyroclastites est lessivée en sodium, reconnaissent une zonalité de l'altération autour du gisement, et concluent qu'un système épithermal de type acide se superpose sur un système hydrothermal de type SMV. La première interprétation de la stratigraphie volcanique a été réalisée par Larson et Hutchinson (1993) qui définissent la caldera sous-marine à subaérienne de Selbaie à la suite des travaux de Deptuck et al. (1982). Le complexe intrusif de Brouillan correspondrait au cœur de cette caldera selon ces auteurs.

Concernant la chronologie absolue, Barrie et Krogh (1996) établissent l'âge d'une unité de rhyolite à porphyres de quartz et l'âge de la minéralisation stratiforme du SMV à 2729⁺³⁻² Ma et la minéralisation discordante des zones A-1 et A-2 à 2726^{±3} Ma. Ils mesurent également l'âge du Pluton de Brouillan immédiatement à l'est de la mine à 2729^{±4} Ma.

1.2 Problématique et objectifs

Dans les camps miniers de l'Abitibi, il est anormal de trouver un seul gisement de l'envergure de Selbaie (57 Mt) sans d'autres plus petits gisements satellites. Or, Selbaie est jusqu'à présent le seul gisement connu dans la région. On retrouve deux types de minéralisation à Selbaie; celui à sulfures massifs volcanogènes et celui à disséminations et veines épithermales. Il est reconnu que ces deux types de minéralisation se mettent en place le long de structures synvolcaniques (Franklin, 1997; Franklin et al., 2005; Gibson et al., 2007) et la reconnaissance de ces structures est capitale à l'échelle d'un camp minier pour renouveler les ressources. Or jusqu'à présent, seul le dyke de porphyre qui limite au sud la bande de pyroclastites de Selbaie est considéré comme une structure synvolcanique (Taner, 2000). Aucune autre structure synvolcanique ailleurs dans ce camp n'a été proposée. Dans le cas des SMV, la géochimie de l'horizon porteur est importante, alors que pour la minéralisation épigénétique, la géochimie de l'encaissant n'a pas d'importance. Ainsi, les stratégies d'exploration diffèrent en fonction du type de gisement recherché.

Depuis les plus récents travaux de compilation et de cartographie de Lacroix (1990, 1994a et 1994b), beaucoup de nouvelles données géologiques, géochimiques et géophysiques ont été rendues publiques dans le SIGÉOM. Un des buts du projet est donc de produire une nouvelle carte à la lumière de ces informations géologiques et géophysiques. L'objectif du projet est également de mettre en évidence les structures synvolcaniques. Cette étude vise à mieux comprendre la chronologie des épisodes magmatiques et la mise en place du complexe de Brouillan, se qui permettra de proposer des secteurs d'intérêt pour l'exploration dans cette région.

1.3 Méthodologie et données utilisées

La prospection dans la région nécessite une mise à niveau de la carte géologique à la lumière des nouvelles informations géologiques depuis les derniers travaux de Lacroix (1994a). L'étude se propose d'adresser les problématiques en utilisant toutes les données géologiques, géochimiques, et géophysiques disponibles. Ces données proviennent en grande partie du SIGÉOM. De nouvelles

données provenant de compagnies membres et non-membres du CONSOREM ont été compilées et intégrées. La nouvelle carte géologique (**Figure 2**) intègre des données lithogéochimiques, les descriptions d'affleurements et de sections de forages, et l'interprétation des levés aéromagnétiques MEGATEM (Xstrata Zinc Canada, disponibles sur <http://gdrdap.agg.nrcan.gc.ca/geodap/>) et de gravimétrie hélicoptée (Kerballi et Sander, 2008). Les données haute résolution du MEGATEM à l'est et l'ouest du complexe intrusif de Brouillan et le levé gravimétrique couvrant toute la région offrent une résolution inégalée depuis les derniers travaux de Lacroix (1994a) et n'ont jamais été considérés dans une interprétation régionale. Différents traitements ont été réalisés à partir du champ magnétique total avec le logiciel Geosoft, notamment la première dérivée verticale et le filtre « Tilt derivative ». Ce filtre géophysique représente l'angle entre le gradient horizontal total (X et Y) et la première dérivée verticale (Verduzco et al., 2004). Il permet d'enlever la composante régionale et réduit l'amplitude entre les anomalies.

Selbaie est un SMV et un épithermal acide marqué par un imposant système hydrothermal. L'étude géochimique de l'horizon porteur du SMV ainsi que des altérations est capitale pour identifier d'autres secteurs d'intérêts dans le camp minier. La grande majorité des données géochimiques dans la région de Selbaie contiennent seulement les éléments majeurs et quelques traces. La banque de données compilée est exhaustive mais très hétérogène au niveau de l'analyse en certains éléments; parfois la série des oxydes majeurs est incomplète et les valeurs Y et Zr par exemples sont présents que dans 46% des échantillons. Une centaine d'échantillons ont été analysés pour certaines Terres Rares (ÉTR) dans l'environnement immédiat de l'ancienne mine Selbaie (Larson et Hutchinson, 1993; Barry et Krogh, 1996). Avec l'arrivée des nouvelles analyses ICPMS ces dernières années, les échantillons sont analysés de manière plus systématique pour les ÉTR. Ce type de données se retrouve à deux endroits forés à l'ouest et au sud de Selbaie, et ont été intégrées dans la banque de données (Brisson, 2008, et compagnie NQ Exploration Inc.).

L'ensemble des données géophysiques, géochimiques et géologiques ont été superposées et les interprétations confrontées les unes aux autres.

1.4 Présentation de la nouvelle carte géologique

La carte présentée sur la **Figure 2** montre plusieurs différences significatives par rapport aux travaux de Lacroix (1990; 1994a) parce que de nouvelles informations géologiques et géophysiques ont été rendues disponibles depuis et permettent d'atteindre une résolution jusqu'à maintenant inégalée. Le groupe de Brouillan, interprété auparavant comme étant dominé par des basaltes, est maintenant caractérisé par géochimie comme une unité andésitique calco-alkaline. Une autre différence notable dans la nouvelle interprétation est le contour plus précis du complexe intrusif de Brouillan ainsi que la caractérisation géochimique de phases intrusives mafiques à felsiques. La superficie du pluton est diminuée par des incursions de roches volcaniques correspondant à de petits bassins volcaniques.

Dans les prochaines sections, l'identification des failles synvolcaniques et la réinterprétation des données géochimiques seront présentées. Enfin, les altérations volcanogènes seront étudiées.

2 STRUCTURES SYNVOLCANIQUES

Sans affleurements de qualité, il est difficile d'identifier des structures et des déformations synvolcaniques. Cependant, il existe toute une série de critères pour avancer qu'une structure est synvolcanique (Gibson et Kerr, 1993; Gibson et al., 1997), notamment :

- Réseaux de dykes ou apophyses liés à des intrusions synvolcaniques;
- Alignement de complexes de dômes et cryptodômes rhyolitiques;
- Dépression volcanique allongée (graben, rift, alignement de calderas, etc.);

- Changements abrupts d'épaisseur, de faciès, de direction ou de pendage suivant les unités volcaniques;
- Unités non-faillées recouvrant des séquences faillées;
- Brèches de bas de falaise, de roches fragmentaires, parfois foliées ou schisteuses;
- Présence de veines de quartz, de stockwerks et de filonets de sulfures;
- Intensification, discordance, changements, télescopage de l'altération hydrothermale et des minéralisations.

La faible quantité et la grande dispersion des affleurements compliquent l'utilisation de certains de ces critères à Selbaie. La géophysique (champ total et gravité) devient un outil indispensable, et lorsqu'il est combiné avec des observations géologiques ponctuelles, il permet une interprétation en continue tout en faisant abstraction de l'épaisse couverture glaciaire. Les structures synvolcaniques peuvent être définies en supposant qu'elles correspondent à des limites de domaines géologiques, de minéralisations et d'altérations hydrothermales ainsi que des domaines définis par les levés magnétiques et gravimétriques. Ces failles devraient être soulignées par des altérations, de la minéralisation polymétallique, des domaines lithotectoniques et structuraux d'orientation atypique pour l'Abitibi et qui pourraient être perceptibles par l'entremise du grain magnétique et/ou d'anomalies gravimétriques.

La sous-section suivante présente une interprétation possible d'un ensemble de structures synvolcaniques à l'échelle régionale.

2.1 Failles synvolcaniques et calderas interprétées

Larson et Hutchinson (1993), Adam (1996a) et Taner (2000) ont identifié, dans l'environnement immédiat du gisement de Selbaie, une série de failles synvolcaniques correspondant aux zones minéralisées, ou les limitant. Ces failles sont soit des réseaux parallèles de veines ou des zones injectés de dykes de compositions mafiques à felsiques et tholéitiques à calco-alcalines. Parmi ces failles, la structure orientée ONO-ESE qui délimite la partie sud du gisement est occupée par un dyke de porphyre à quartz-feldspath aux contacts francs et subverticaux, de plus de 8 km de long et de 50 à 300 m de largeur (Taner, 2000). Cette faille délimite au sud la séquence andésitique peu altérée et au nord la séquence felsique intra caldera de Selbaie, qui est fortement séricitisée. Une unité repère bien connue à l'ancienne mine et nommée RDBX (Rhyodacite Breccia) est limitrophe à cette faille. Elle est constituée de brèches volcaniques polymictes et altérées, et représenterait un faciès de talus ou d'effondrement de caldera (Bouillon, 1990; Taner, 2000).

Outres les failles dans l'environnement du gisement de Selbaie, aucune autre structure n'a été interprétée dans le complexe volcanoplutonique de Brouillan comme étant synvolcanique. Des structures synvolcaniques sont interprétées ici à partir de critères géophysiques, notamment; limites de domaines des grains magnétiques ou de gravité contrastée, arrêts ou changement de directions de crêtes magnétiques, changement rapide de textures magnétiques. Ces domaines et ces ruptures géophysiques ont été ensuite mis en relation spatiale avec l'information ponctuelle géologique, les zones d'altération et de minéralisation, et parfois avec des observations notées sur des cartes géologiques (Lacroix 1994a et série de GM déposée par les compagnies). Ci-après, les structures identifiées grâce aux données de gravimétrie, puis celles inférées à partir des données magnétiques sont présentées.

La gravimétrie résiduelle permet d'identifier des ruptures de grandes longueurs d'ondes. Sur la **Figure 3**, plusieurs hauts et bas gravimétriques peuvent être regroupés en domaines. On note, dans la partie nord du complexe intrusif de Brouillan, une série d'au moins 3 anomalies positives correspondant à la phase mafique du Brouillan. Ces anomalies sont segmentées par des failles NNO-SSE. Celles-ci sont similaires en orientation et en intensité gravimétrique, voir solidaires, avec celles situées dans le Groupe d'Enjalran (**Figures 2 et 3**). Les failles NNO-SSE se limitent à l'œil de Selbaie et ne semblent pas se prolonger dans le domaine de volcanites mafiques situé à l'extérieur du complexe volcanoplutonique de Brouillan (**Figure 2**; Lacroix 1994a). De plus, les deux plus basses anomalies gravimétriques sont situées au sud du complexe intrusif de Brouillan. L'anomalie située à l'est de Selbaie correspond à une phase granitique très

différenciée du complexe et serait contrainte latéralement par deux failles NNO-SSE. L'autre anomalie négative est située au SE de Selbaie et s'inscrit dans un domaine de bas gravimétrique globalement orienté E-O qui se poursuit de chaque côté de cette anomalie et qui correspond, d'après les données lithologiques, à un bassin de pyroclastites de composition andésitique (**Figures 2 et 3**). Dans ce corridor de faible gravité qui paraît recouper les structures NNO-SSE, deux faibles anomalies négatives sont observées; une à 3 km au sud de Selbaie, et une autre à une quinzaine de kilomètres à l'ouest de l'ancienne mine. Ces deux anomalies correspondent probablement à des volcanites ou intrusions felsiques situées sous les andésites. A l'échelle du NO de l'Abitibi, et notamment dans la région de Matagami (flancs sud et ouest), les failles NNO-SSE sont des structures minéralisées (flancs sud et ouest). Les structures longitudinales E-O sont comparables au flanc nord à Matagami.

Trois structures subcirculaires ont été déduites à partir de domaines et de bris de susceptibilité magnétique et des crêtes et creux magnétiques. La localisation de ces structures est présentée sur la **Figure 2**. Ces structures sont interprétées comme des dépressions circulaires, qui correspondent probablement à des calderas imbriquées dans la partie marginale de la grande caldera de Selbaie (complexe intrusif de Brouillan). Il pourrait s'agir de calderas tardives ou postérieures à la subsidence de la caldera principale tel que documenté et catégorisé par Geyer et Martí (2008). La superficie de ces trois structures varie de 17 à 33 km² ce qui permet de les identifier comme de petites calderas, alors que la caldera de Selbaie (environ 330 km² d'après la superficie du complexe) est une grande caldera d'après les études de Sobradelo et al. (2010). La structure subcirculaire située au NNO de Selbaie et celle identifiée au sud du gisement sont présentées ici (**Figures 4 et 5**).

La petite caldera interprétée au NNO de Selbaie est marquée par une bordure de bas magnétique (**Figure 4a**). Les hauts magnétiques de part et d'autre de la structure disparaissent en arrivant contre cette bordure démagnétisée. Dans la partie intrusive de cette caldera, les crêtes magnétiques soulignent la présence de diorites magnétiques, et ces crêtes se poursuivraient dans les roches volcaniques avec le même patron magnétique. Ces crêtes peuvent être interprétées comme des dykes annulaires. Cette caldera n'est pas parfaitement circulaire et pourrait avoir subi de la déformation. Elle semble s'être formée le long de failles NNO-SSE. Un bassin volcanique de même orientation est interprété à la marge Est de cette structure non seulement sur la gravité (**Figure 3**) et le magnétisme (**Figure 4**) mais sur la base d'un conducteur électromagnétique (Max-Min) considéré comme le contact avec l'intrusion de Brouillan. L'information lithologique dans cette zone provient d'un unique forage (numéro B11-01), qui a intercepté des tufs à lapilli, des dacites et rhyolites et des dykes intermédiaires qui se corrèlent géochimiquement au cortège de roches de la bande felsique de Selbaie (**Figure 4b**). Les carbonates sont abondants, et une trentaine d'analyses comprises entre 100 et 300 ppm Cu et/ou Zn ont été obtenues (Adam, 1996b). Lacroix (1994a) a noté sur les cartes l'existence de ces failles NNO-SSE qui se traduisent en affleurements par des veines de quartz et la présence de sulfures (**Figure 4b**).

Une autre structure circulaire est interprétée immédiatement au sud du gisement de Selbaie (**Figure 5**). Elle est limitée par deux failles longitudinales interprétées comme synvolcaniques. La partie centrale magnétique est occupée par un granite. Les crêtes magnétiques orientées NO-SE dans le bassin andésitique à l'ouest de Selbaie disparaissent ou se démembrant au niveau du périmètre de la caldera. À l'intérieur de la structure, les quelques crêtes magnétique définissent, sans grande netteté toutefois, un patron circulaire pouvant s'apparenter à des dykes ou des structures annulaires. Les failles normales NE-SO documentées par Faure et al. (1996) qui recouper la minéralisation mais qui précèdent le chevauchement N-S à Selbaie s'inscrivent parfaitement dans l'architecture d'une caldera et dans la chronologie des événements volcaniques reconnue à Selbaie. La Zone B pourrait être une structure associée à cette petite caldera ou avoir été reprise lors de sa formation (**Figure 5b**). Le chevauchement N-S à pendage vers l'est à Selbaie est une structure qui recoupe à faible angle la minéralisation qui a été interprétée comme une structure orogénique par (Faure et al. 1996) et Barrie et Krogh (1996). Par contre, de telles structures latérales peuvent se développer à la marge de calderas (la grande caldera de Selbaie en l'occurrence) en réponse à un effondrement gravitaire du volcan le long de couches qui offrent une faible résistance (Mathieu et van Wyk de Vries, 2009; Mathieu et al. 2011). À Selbaie, l'horizon de faible résistance pourrait correspondre à une zone altérée et argileuse de plusieurs mètres d'épaisseur (Faure et al., 1996).

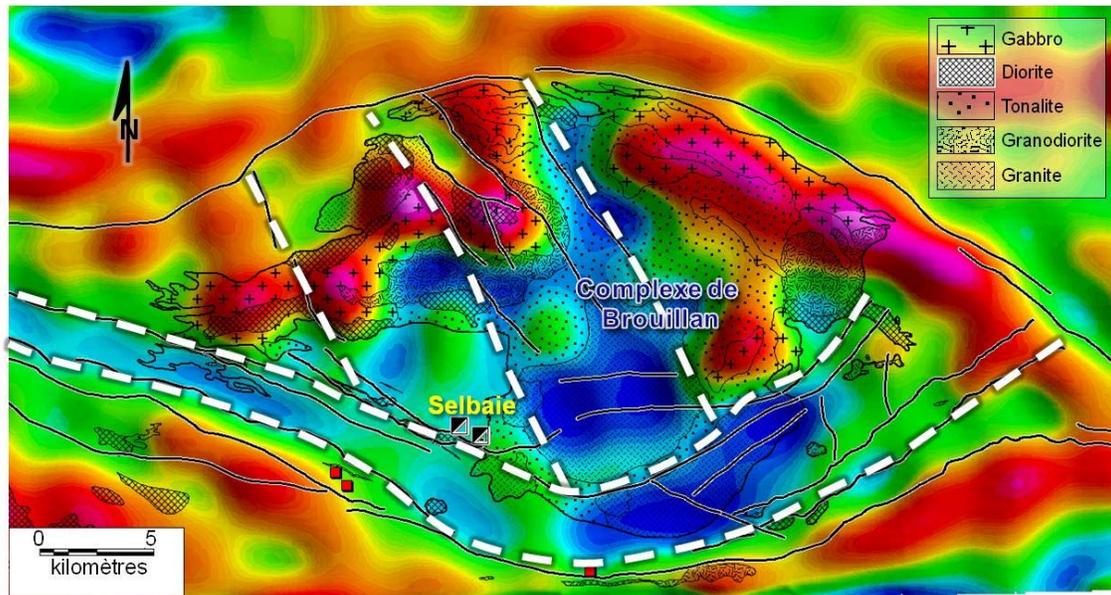
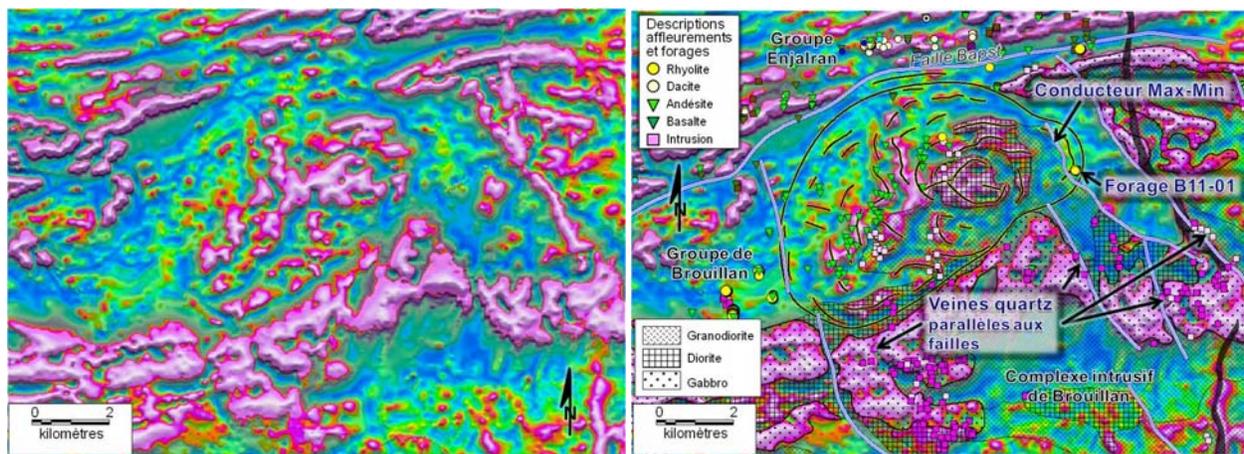


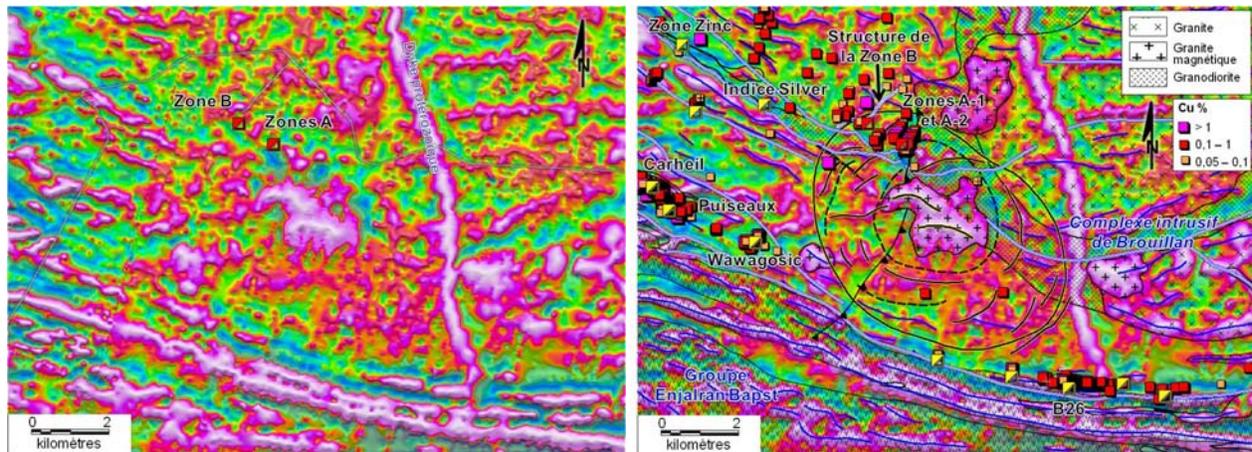
Figure 3. Gravité résiduelle montrant les domaines gravimétriques et les structures volcaniques interprétées d'après le levé du DP 2008-02. Les couleurs chaudes indiquent les plus fortes densités et les couleurs froides les plus faibles densités. Les polygones sans motif correspondent à des roches volcaniques.



A)

B)

Figure 4. A) Image composite de la dérivée « tilt » en transparence sur la première dérivée verticale du champ magnétique total (données MEGATEM de Xstrata Zinc). B) Interprétation géologique d'une structure circulaire pouvant correspondre à une caldera au nord du complexe intrusif de Brouillan. Localisation de la structure sur la **Figure 2**, à environ 10 km au nord de Selbaie. Les couleurs chaudes indiquent que le magnétisme est fort, alors que les couleurs froides indiquent des anomalies magnétiques faibles. Les failles sont indiquées par des lignes bleues et les polygones sans motif correspondent à des roches volcaniques. La surface en noir est un dyke protérozoïque. À noter l'incursion du bassin volcanique dans la région du forage B11-01 et du conducteur électromagnétique qui délimite la marge ouest.



A)

B)

Figure 5. A) Image composite de la dérivée « tilt » en transparence sur la première dérivée verticale du champ magnétique total (données MEGATEM de Xstrata Zinc). B) Interprétation géologique d'une structure circulaire pouvant correspondre à une caldera au sud du gisement de Selbaie. Localisation de la structure sur la Figure 2. Les couleurs chaudes indiquent que le magnétisme est fort, alors que les couleurs froides indiquent des anomalies magnétiques faibles. Les lignes en bleu indiquent des crêtes magnétiques, alors que les lignes bleu pâle sont des failles synvolcaniques interprétées. Les polygones sans motif correspondent aux volcanites de Brouillan.

3 GÉOCHIMIE DES ROCHES VOLCANIQUES ET INTRUSIVES

Cette section traite de la lithogéochimie des roches volcaniques et des intrusions synvolcaniques. La majorité des travaux de géochimie ont porté sur l'environnement immédiat de Selbaie (Sinclair, 1977; Deptuck et al., 1982; Larson et Hutchinson, 1993; Barry et Krogh, 1996) ou sur la bande de volcanites felsiques de 10 km de longueur et porteuse de la minéralisation (**Figure 2**; Piché, 1993; Taner, 2000; Piché et Jébrak, 2006). Par contre, aucune étude lithogéochimique n'a été réalisée sur l'ensemble du complexe volcanoplutonique de Brouillan et des roches volcaniques mafiques l'entourant (**Figure 2**). Ce rapport met donc l'accent sur la géochimie des roches volcaniques et intrusives de toute cette région afin de distinguer l'affinité et la composition des roches ainsi que le métasomatisme (altération) qu'elles ont subi.

3.1 Base de données lithogéochimiques

Un des objectifs du projet était de mettre à jour les données géochimiques pour l'ensemble du secteur à l'étude (SNRC 32E14 et 32E15) en annexant aux données publiques du SIGÉOM des données publiques et non-publiques récentes. Ces données proviennent de compagnies membres et non-membres du CONSOREM. Au total, 4659 échantillons lithogéochimiques ont été acquis des compagnies et 4582 proviennent directement du SIGÉOM, pour un total de 9241 échantillons (**Figure 6**). Cette nouvelle banque de données est exhaustive mais est également très hétérogène au niveau de l'analyse en certains éléments; parfois les oxydes sont incomplets, et les valeurs en Y et en Zr sont présents dans 46% des échantillons et rarement dans l'environnement immédiat de Selbaie. Les ÉTR n'ont été analysés que récemment par les compagnies Cogitor, NQ, et Xstrata Zinc Canada.

3.2 Affinité des roches volcaniques et intrusives

L'affinité géochimique des échantillons de roches volcaniques et intrusives a été calculée avec le ratio Zr/Y selon les critères géochimiques de Barrett et MacClean (1994). À partir de la localisation des échantillons géochimiques, l'affinité a été assignée pour chaque polygone de la carte contenant au moins un échantillon ou a été extrapolée à partir des polygones les plus proches. La carte des affinités ignées pour la région est présentée sur la **Figure 7**. Le Groupe de Brouillan est presque exclusivement calco-alcalin, sauf à l'OSO de Selbaie où deux minces bandes de volcanites transitionnelles bordées par des failles synvolcaniques sont observées (**Figure 7**). La majorité du complexe intrusif de Brouillan est également calco-alcalin et est probablement comagmatique avec les volcanites du Groupe de Brouillan tel que proposé initialement à Selbaie sur la base de profils de terres rares par Barry et Krogh (1996). En revanche, la couronne nord du complexe est majoritairement constituée de gabbros tholéiitiques ou de diorites transitionnelles (**Figures 2 et 7**). Les volcanites qui entourent l'œil du complexe volcanoplutonique de Brouillan sont essentiellement constituées de basaltes et de gabbros d'affinité tholéiitique. En première hypothèse, on interprète la phase mafique et tholéiitique du complexe intrusif comme étant plus jeune par rapport aux phases plus felsiques et calco-alcalines et serait comagmatique des roches mafiques du Groupe d'Enjalran (**Figure 7**). Cette hypothèse est sensée compte tenu du fait que le centre du complexe volcanoplutonique de Brouillan est généralement subhorizontal et représente le cœur d'un anticlinal régional (Faure et al., 1990; Lacroix 1994a). Dans cette architecture, le cœur calco-alcalin du complexe de Brouillan serait plus érodé et plus vieux que la périphérie mafique et plus jeune. La phase mafique intrusive du complexe intrusif de Brouillan au nord et en forme d'arc de cercle est interprétée comme un conduit nourricier majeur qui alimentait les plaines de basaltes du Groupe d'Enjalran.

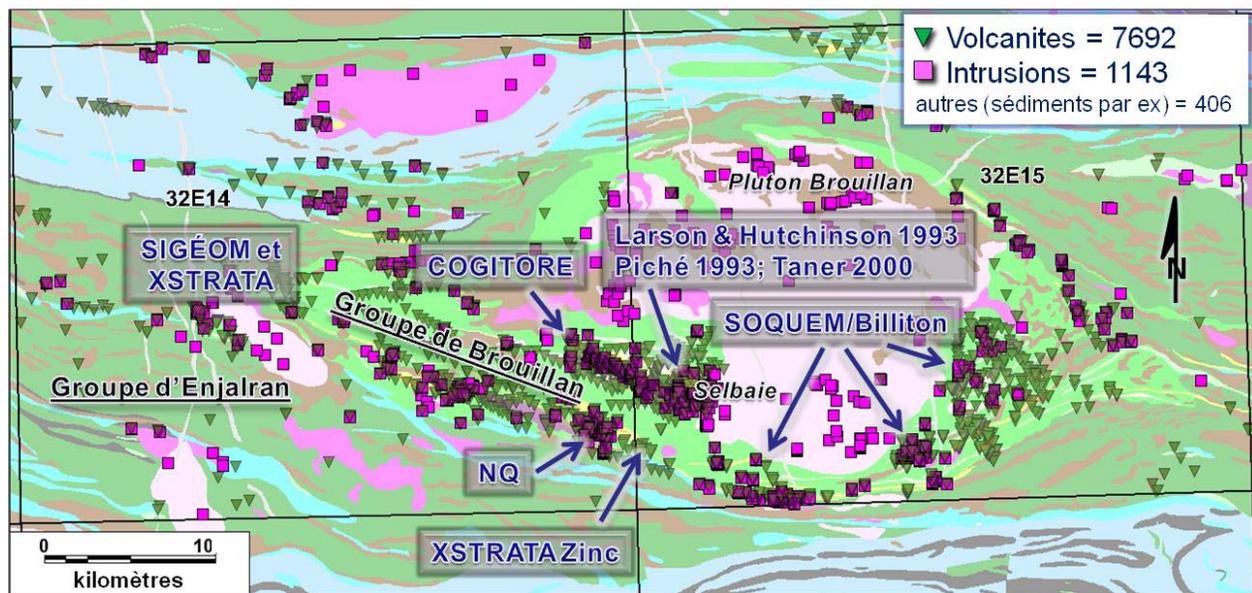


Figure 6. Distribution des échantillons lithogéochimiques dans et autour du complexe volcanoplutonique de Brouillan avec les noms des principales compagnies ou les auteurs qui ont fourni des données pour les feuillets SNRC. A noter qu'il y a très peu d'échantillons dans les volcanites au nord du Pluton de Brouillan.

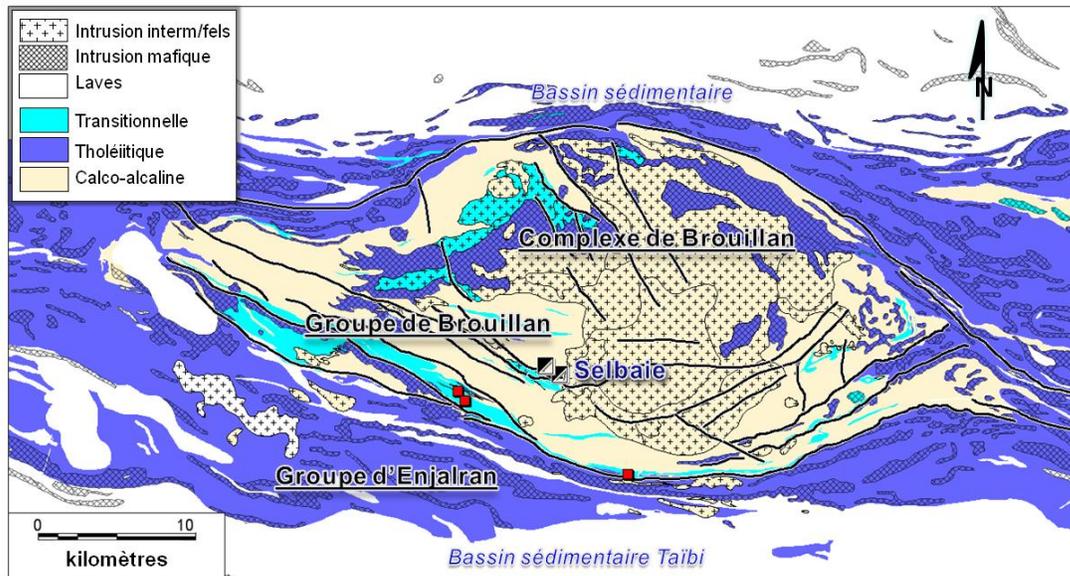


Figure 7. Carte montrant l'affinité géochimique des volcanites et des intrusions d'après le ratio Zr/Y de Barrett et MacClean (1994). Ratio entre 2 et 4,5 : Tholéitique ; 4,5 et 7 : transitionnel ; 7 et 25 : calco-alcalin.

3.3 Composition reconstituée des roches volcaniques et intrusives

Un des défis de la lithogéochimie est d'identifier le protolithe de la roche hôte avant qu'elle ne subisse l'altération hydrothermale (métasomatisme). La reconnaissance de la composition initiale en éléments majeurs est fondamentale afin de nommer et classer correctement les roches volcaniques et intrusives. Les diagrammes de classification des roches ignées utilisant des éléments traces, comme celui de Winchester et Floyd (1977) ou de Pearce (1996) qui utilise les ratios Nb/Y versus Zr/TiO₂, sont théoriquement insensibles à l'altération mais sont moins discriminants que les diagrammes utilisant les majeurs comme ceux recommandés par l'IUGS pour les roches ignées (Le Maître et al. 1989). De plus, seulement 3408 des 9241 échantillons (36,9%) de la région de Selbaie ont été analysés pour le Nb, mais seulement 458 de ces analyses, qui sont regroupées à trois endroits à l'extérieur de la bande de pyroclastites de Selbaie, ont des seuils de détection inférieure à 1 ppm et pourraient être utilisés avec fiabilité dans les diagrammes de Winchester et Floyd (1977) ou de Pearce (1996).

La **Figure 8** montre qu'environ la moitié (49,8%) des roches volcaniques du Groupe de Brouillan sont altérées, dont une bonne proportion vers les pôles séricite et chlorite-pyrite. Dans ces circonstances, des diagrammes de classification de roches utilisant les éléments majeurs, comme le diagramme TAS (Total Alkali Silica) ou celui de Winchester et Floyd (1977) avec SiO₂ versus Zr/Ti par exemples, ne peuvent être utilisés pour nommer correctement les échantillons altérés. Dans ce cas, il faut prédire les valeurs des oxydes majeurs selon un modèle. Le calcul des bilans de masse est la méthode de traitement optimal de roches métasomatisées. Il s'agit de calculer les gains et les pertes en éléments (généralement les majeurs) d'un échantillon altéré par rapport à un protolithe frais. La difficulté est d'identifier les échantillons les moins altérés d'une banque de données dont les affinités et les compositions peuvent être très différentes. Afin de palier à cette difficulté, Trépanier (2011) a proposé une nouvelle méthode de bilans de masse sur des précurseurs modélisés à partir d'une banque de milliers de roches ignées fraîches et de composition variée. Cette méthode est basée sur les réseaux neuronaux et calcule, selon une équation complexe et non-linéaire, la composition initiale en éléments majeurs (oxydes prédits) d'une roche métasomatisée, à partir de ses ratios d'éléments immobiles (Al₂O₃, Zr, TiO₂ avec Cr et Y optionnels).

La méthode de Trépanier (2011) a été appliquée pour tous les échantillons de roches volcaniques et intrusives des feuilletés 32E14 et 32E15 contenant les oxydes majeurs et au moins le Zr ce qui a permis de modéliser la valeur des oxydes des protolithes frais. Le résultat de cette modélisation, présenté par la **Figure 9**, montre qu'il existe une nette différence dans la classification des roches volcaniques, comparée à celle présentée dans la **Figure 8**. Les diagrammes utilisant les oxydes majeurs ont pu ainsi être utilisés pour classer les échantillons dont les oxydes ont été prédits (**Figure 10**). On note une remarquable cohérence dans la suite de roches volcaniques du Groupe de Brouillan selon le diagramme TAS de Le Bas et al. (1986). La distribution en carte de ces résultats montre que le groupe de Brouillan est constitué majoritairement d'andésites calco-alcalines. Le groupe d'Enjalran est constitué de basaltes tholéiitiques (**Figures 7 et 11**). Cependant, on observe de petits îlots d'andésites isolés à l'extérieur du complexe volcanoplutonique de Brouillan, et une langue de basaltes dans les volcanites de Brouillan orientée OSO-ENE et située à l'est du complexe intrusif (**Figures 7 et 11**).

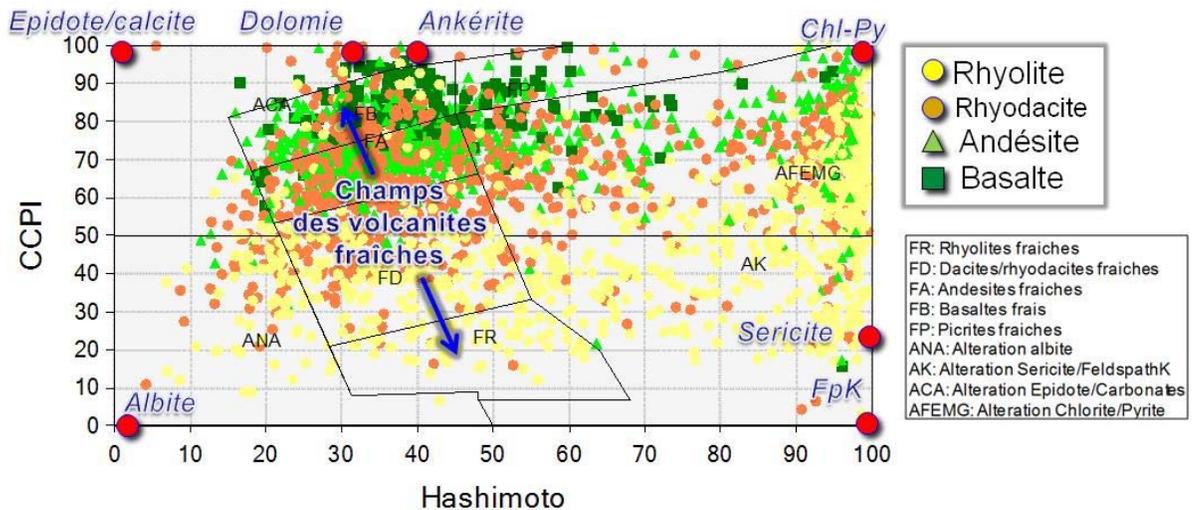


Figure 8. Diagramme d'altérations de Large et al. (2001) modifié par Trépanier (2011) montrant les champs des roches fraîches ou altérées pour les différentes compositions de volcanites du Groupe de Brouillan avec les minéraux d'altération (cercle rouge).

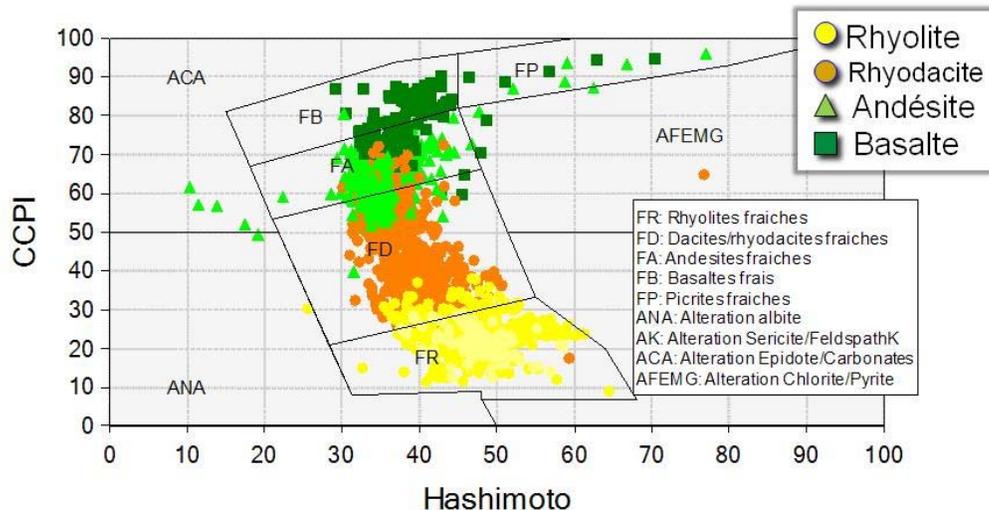


Figure 9. Diagramme d'altérations de Large et al. (2001) modifié par Trépanier (2011) montrant les mêmes échantillons que sur la **Figure 8** mais repositionnés selon les valeurs des oxydes prédits par la méthode de bilans de masse sur précurseurs modélisés de Trépanier (2011).

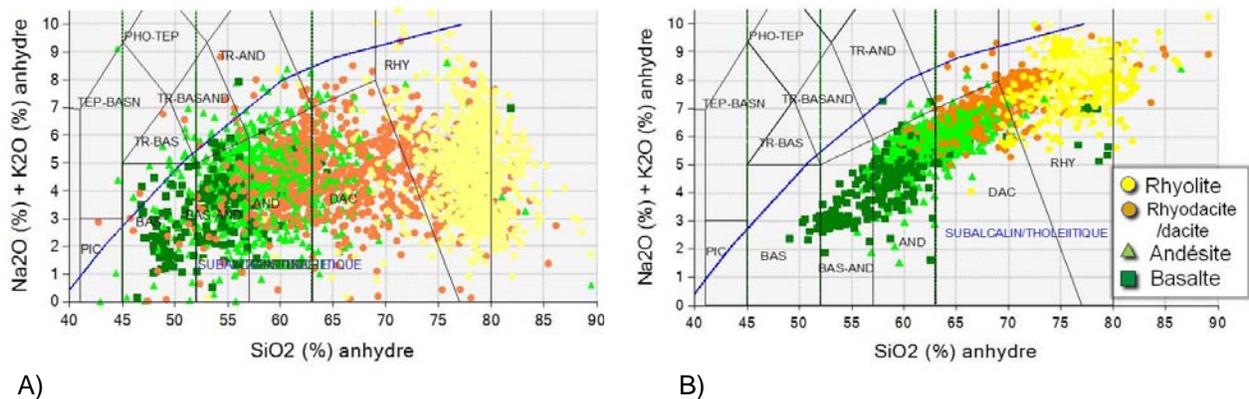


Figure 10. Diagramme de classification de Le Bas et al. (1986) pour les volcanites du Groupe de Brouillan. A) Valeurs analysées des oxydes. B) Valeurs prédites des oxydes selon la méthode des bilans de masse sur précurseurs modélisés de Trépanier (2011).

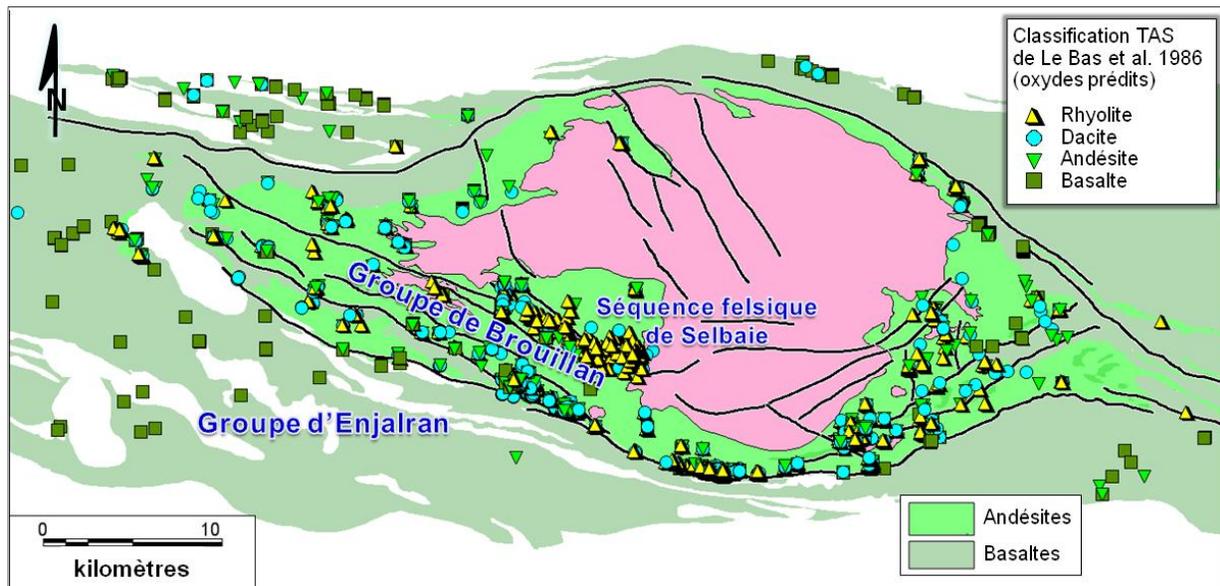


Figure 11. Distribution des échantillons classés selon la classification de Le Bas et al. (1986) avec les valeurs prédites des oxydes selon la méthode des bilans de masse sur précurseurs modélisés de Trépanier (2011) pour les volcanites du Groupe de Brouillan.

3.4 Comparaison géochimique entre les volcanites des groupes de Brouillan et d'Enjalran

Tel que présenté dans les sous-chapitres précédents de la section 3, les groupes de roches volcaniques de Brouillan et d'Enjalran sont différents aux niveaux volcanologique et géochimique. Le Groupe de Brouillan est constitué de pyroclastites et de laves calco-alcalines allant du spectre des basaltes andésitiques jusqu'aux rhyolites (**Figures 7 et 10b**). Le Groupe d'Enjalran est quant à lui tholéitique et caractérisé par des laves essentiellement basaltiques (**Figures 7 et 11**). Au sein même de ces deux sources magmatiques différentes, existe-t-il des différences? Cette sous-section vise à démontrer 1) que les volcanites de Brouillan se divisent en deux suites géochimiquement et géographiquement distinctes; et

2) que les volcanites d'Enjalran constituent une seule suite qui se corrèlent régionalement avec d'autres volcaniques mafiques parmi les plus jeunes de la région.

Les diagrammes Harker des principaux oxydes prédits montrent l'évolution géochimique des volcanites des groupes de Brouillan et d'Enjalran avec la différenciation magmatique exprimée par le SiO_2 prédit (**Figure 12**). En première approximation, les deux groupes semblent former une seule et unique suite magmatique. Dans le détail cependant et pour certains oxydes en particulier, le Groupe d'Enjalran a un comportement différent et forme un ensemble volcanique distinct et séparé du Groupe de Brouillan qui lui est solidaire d'une même lignée magmatique. Une nette brisure est observée avec Al_2O_3 , Fe_2O_3 total, et MgO prédits en fonction de SiO_2 prédit. Le Fe_2O_3 total, et dans une moindre mesure Al_2O_3 et MgO , montrent un étalement des valeurs prédites selon l'ordonnée avec des valeurs étalées entre 10 et 15% Fe_2O_3 total. Ceci traduit une plus grande proportion de minéraux ferromagnésiens en fonction du SiO_2 par rapport aux volcanites du Groupe de Brouillan. Les basaltes d'Enjalran sont appauvris en Al_2O_3 prédit par rapport aux valeurs moyennes des andésites et dacites du Groupe de Brouillan. Dans le détail, la **Figure 13** montre la différence marquée du comportement du MgO prédit en fonction de la différenciation magmatique avec un bris net de continuité entre les deux groupes. Les volcanites d'Enjalran sont groupées selon un axe de distribution plutôt subvertical entre 48% et 53% SiO_2 prédit et des valeurs de MgO prédit comprises entre 5 et 9% poids pour une moyenne d'environ 7,5%. En termes de composition en générale et de valeurs en MgO et TiO_2 spécifiquement, ce groupe de volcanites se compare aux basaltes tholéiitiques du Groupe des Cartwright situés plus au sud et datés à 2721.4 ± 3.1 Ma (Legault et al., 2000 ; Legault et al., 2002). Cette comparaison viendrait supporter l'hypothèse que le Groupe d'Enjalran est plus jeune que celui de Brouillan. Le Groupe de Brouillan qu'en à lui montre une tendance décroissante plus graduelle et moins prononcée du MgO prédit en fonction de SiO_2 prédit (**Figure 13**). De plus, on remarque deux lignées magmatiques distinctes, nommées arbitrairement suites 1 et 2, et qui se sont différenciées toutes les deux et de façon indépendante, par cristallisation fractionnée. La suite 1 est plus riche en MgO prédit d'environ 1% par rapport à la suite 2 pour une même valeur de SiO_2 . Géographiquement, la suite 2 est concentrée dans la bande de volcanites intermédiaires à felsiques de Selbaie, alors que la suite 1 se trouve à l'extérieur de cette bande (**Figures 2, 13 et 14**). Par contre, on retrouve des échantillons de la suite 2 à l'extérieur de la bande de Selbaie, et ces échantillons sont donc considérés des éléments de fertilité pour les minéralisations de type SMV (**Figure 14**).

La **Figure 14** résume par secteurs d'intérêt l'ensemble des observations géochimiques pour les volcaniques du Groupe de Brouillan. Globalement, la proportion des échantillons de roches volcaniques de la suite 2 de Selbaie diminue vers l'est, l'ouest et le sud. Dans le complexe volcanique de Brouillan, la séquence de Selbaie se distingue par une nette dominance de rhyolites calco-alcalines et correspond, en grande partie, à la suite 2 identifiée dans cette section. Le secteur de Carheil et Puiseaux situé au SO de Selbaie montre beaucoup de similitude avec la séquence de Selbaie. Dans ce secteur, si l'épaisseur de l'empilement de volcanites felsiques (entre 500 et 1000m) est comparable à celles situées sous la surface du gisement de Selbaie, les proportions de volcanites calco-alcalines et de roches de la suite 2 sont légèrement inférieures à celles observées près de l'ex-mine Selbaie. Dans le secteur du gîte B-26, situé au SSE de Selbaie, les unités felsiques sont en continuité avec celles de Carheil et Puiseaux à l'ouest, mais l'épaisseur de la séquence diminue à moins de 350m (Leclerc, 2004). Les volcanites sont d'affinité tholéiitique à transitionnelle et la suite 2 atteint moins de 60% en proportion par rapport à la suite 1. Le Secteur de Selbaie Est est également dominé par des roches calco-alcaline mais diffère par la prédominance de dacites et de rhyodacites et de volcanites de la suite 1 comparativement à l'environnement du gisement de Selbaie.

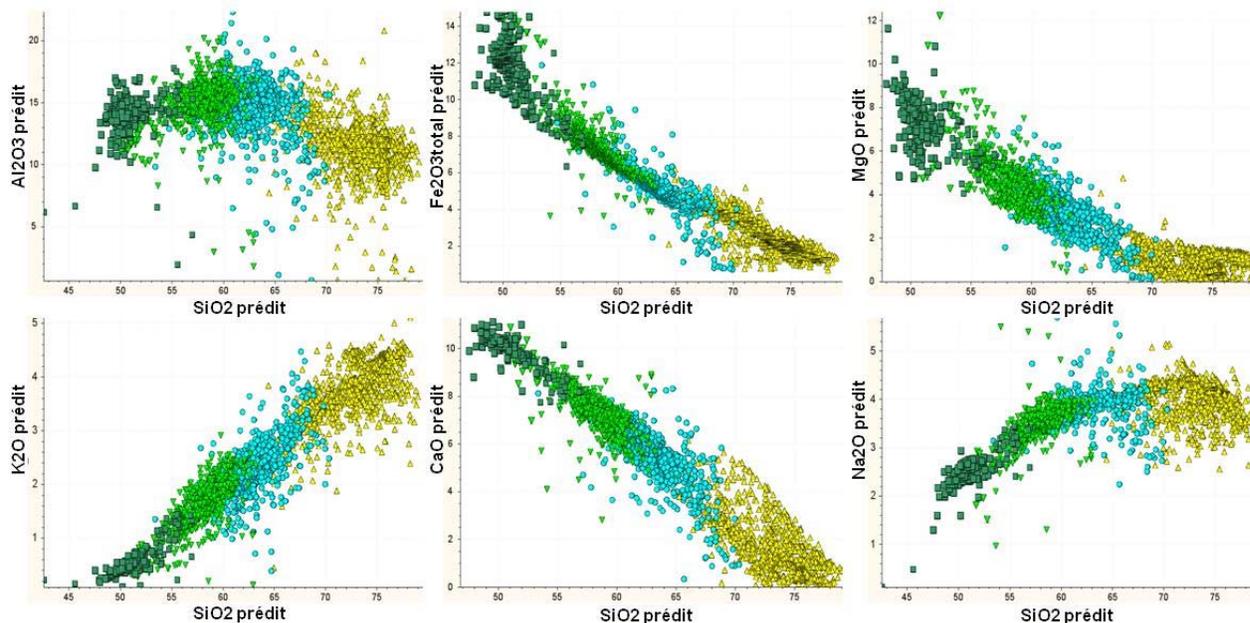


Figure 12. Diagrammes Harker montrant les principaux oxydes prédits en fonction de SiO₂ prédit par la méthode de Trépanier (2011) pour les volcanites des groupes de Brouillan (en vert, cyan et jaune) et d'Enjalran (vert foncé). Même légende pour les symboles que sur la Figure 8. À noter que les basaltes du Groupe d'Enjalran forment un groupe distinct par rapport à la suite différenciée du Groupe de Brouillan.

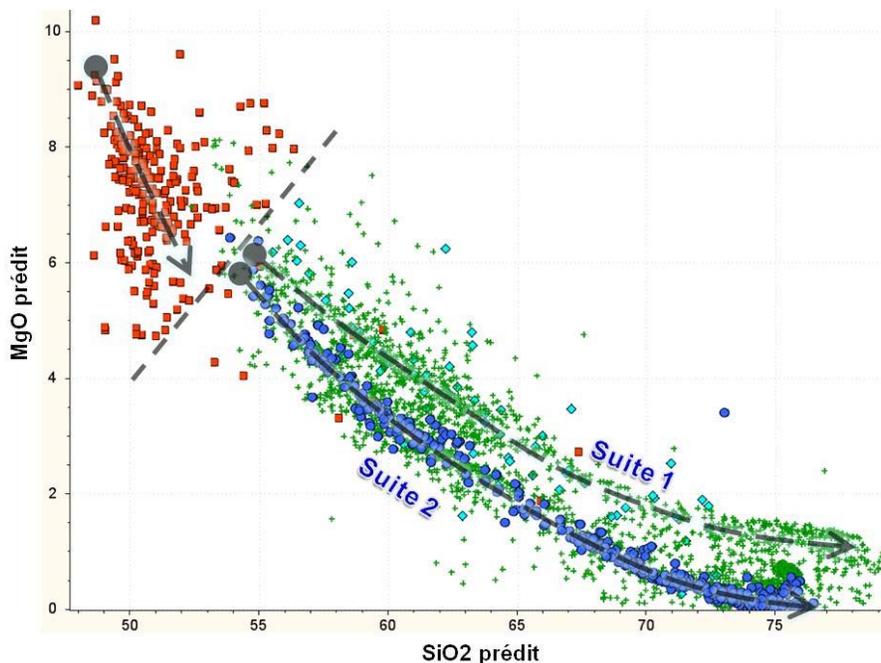


Figure 13. Détail du diagramme de SiO₂ prédit versus MgO prédit pour les basaltes du Groupe d'Enjalran (carré rouge) et les deux séries volcaniques du Groupe de Brouillan (croix verte : volcanites indifférenciées ; cercle bleu : échantillons à l'intérieur de la bande volcanique de Selbaie ; losange cyan : volcanites à l'extérieur du complexe volcanique de Brouillan).

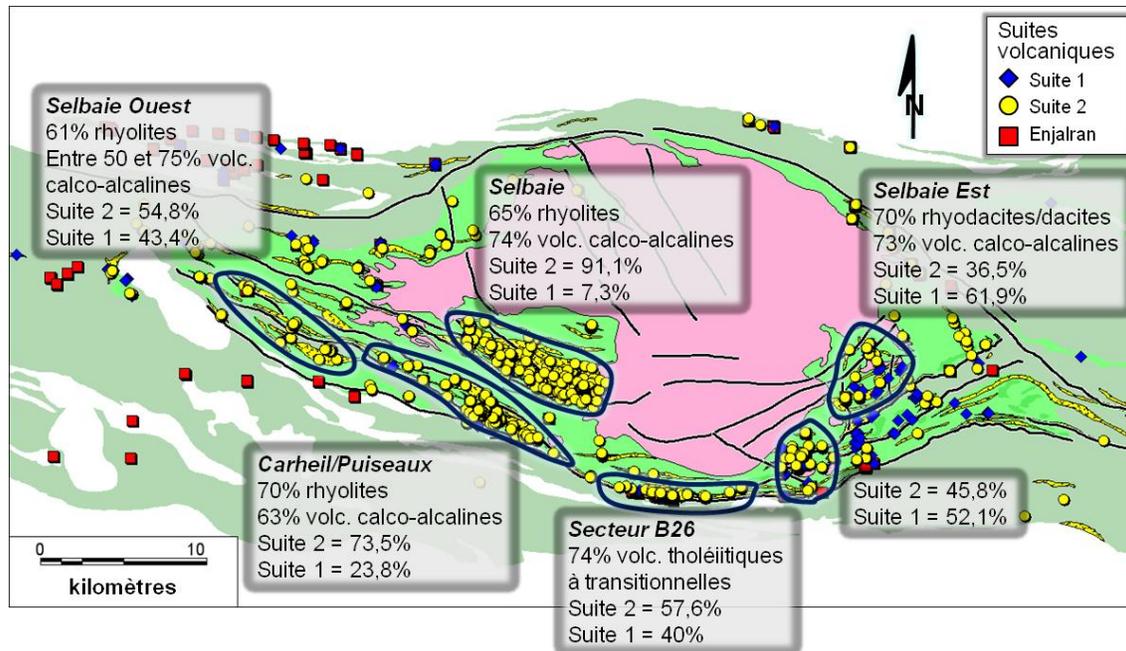


Figure 14. Synthèse par secteurs d'intérêts des observations et statistiques sur la géochimie des roches volcaniques du groupe de Brouillan avec la distribution des échantillons des suites déterminées à partir du diagramme de la Figure 10. La différence entre la somme des pourcentages des suites 1 et 2 sur 100% représente le pourcentage de volcanites dont la géochimie s'apparente au Groupe d'Enjalran.

3.5 Fertilité des rhyolites pour les SMV

Un des intérêts majeurs de l'exploration dans le complexe volcanique de Brouillan est de trouver un sulfure massif minéralisé. Le SMV de la ex-mine de Selbaie, qui contient 8 Mt de pyrite et qui est localement minéralisé en argent (Taner, 2000), montre qu'il existe un potentiel pour ce type de gisement, notamment parce que les SMV sont rarement isolés dans un camp minier (Franklin et al., 2005; Gibson et Galley, 2007). Selon les critères établis avec le Zr et Y par Leshner (1986), la grande majorité des rhyolites du Groupe de Brouillan seraient du type FII et FIIIa, c'est-à-dire occasionnellement à communément minéralisées. Les rhyolites calco-alkalines de Selbaie, Carheil et Selbaie Est sont plutôt du type FII (occasionnellement minéralisées). Selon le diagramme discriminant de Pearson (2007), qui utilise des éléments majeurs, la majorité de ces rhyolites sont fertiles (**Figure 15**). Ces deux diagrammes sont encourageants mais peu discriminants.

Afin de mieux discriminer la fertilité des rhyolites de Brouillan, la géochimie de l'unité rhyolitique sous-jacente au SMV du gisement de Selbaie doit être étudiée. Cette unité est nommée le tuf de Selbaie, ou le WAT (terme de mine signifiant « welded acid tuff »), et est une unité distinctive de pyroclastites felsiques (Deptuck et al. 1982; Larson et Hutchinson, 1993). Larson et Hutchinson (1993) et Taner (2000) ont montré que cette unité a une signature géochimique particulière. En combinant les éléments immobiles TiO_2 , Al_2O_3 et Zr utilisés par ces auteurs dans un seul diagramme (**Figure 16**), cette unité se distingue de la majorité des autres volcanites felsiques. Les ratios TiO_2/Al_2O_3 compris entre 0,010 et 0,025 et Zr/Al_2O_3 entre 13,5 et 21 sont les limites arbitraires qui sont fixées pour caractériser les rhyolites de type WAT dans le Groupe de Brouillan. La distribution régionale des rhyolites de type WAT selon ces critères est montrée sur la **Figure 17**. Une forte proportion de ces échantillons se trouve autour du gisement de Selbaie mais leur quantité diminue rapidement vers l'ouest dans la bande felsique de Selbaie. Certains horizons dans les secteurs de Carheil, Puisseaux et B-26 ont également des signatures comparables au WAT, mais les plus grandes proportions d'échantillons et d'épaisseurs d'unités favorables sont observées dans le secteur de Carheil et Puisseaux. Quelques échantillons comparables au WAT sont également reconnus à l'ouest de Carheil et à l'est de B-26, où l'information géochimique est déficiente (**Figure 17**).

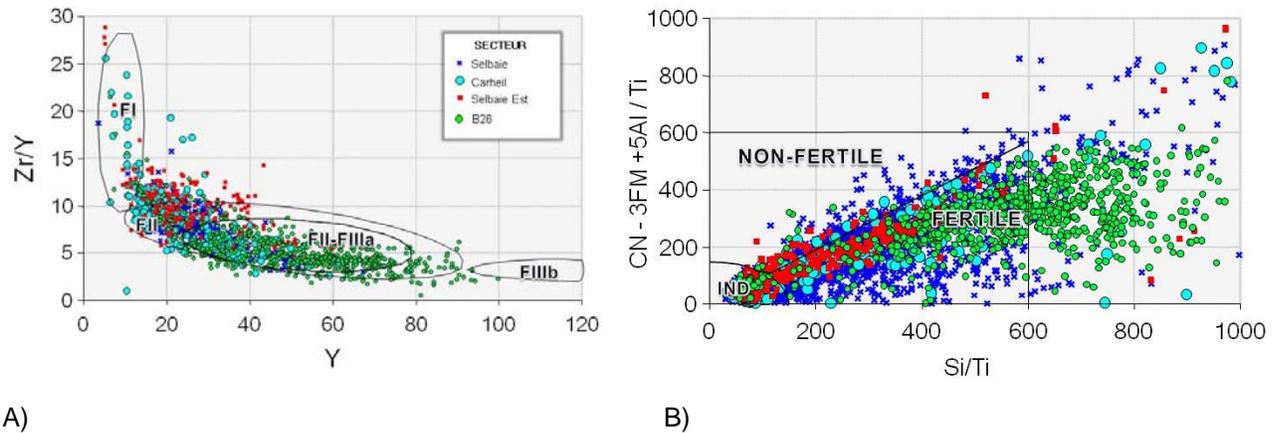


Figure 15. Diagrammes de fertilité des rhyolites par secteurs d'intérêt pour l'exploration dans le complexe volcanique de Brouillan. A) Champs de fertilité des rhyolites avec des éléments traces selon Lesher (1986) : FI : non-minéralisées ; FII : occasionnellement minéralisées ; FIIIa + FII : communément à occasionnellement minéralisées ; FIIIb : communément minéralisées. Y et Zr en ppm. B) Champs de fertilité des rhyolites avec éléments majeurs d'après Pearson (2007).

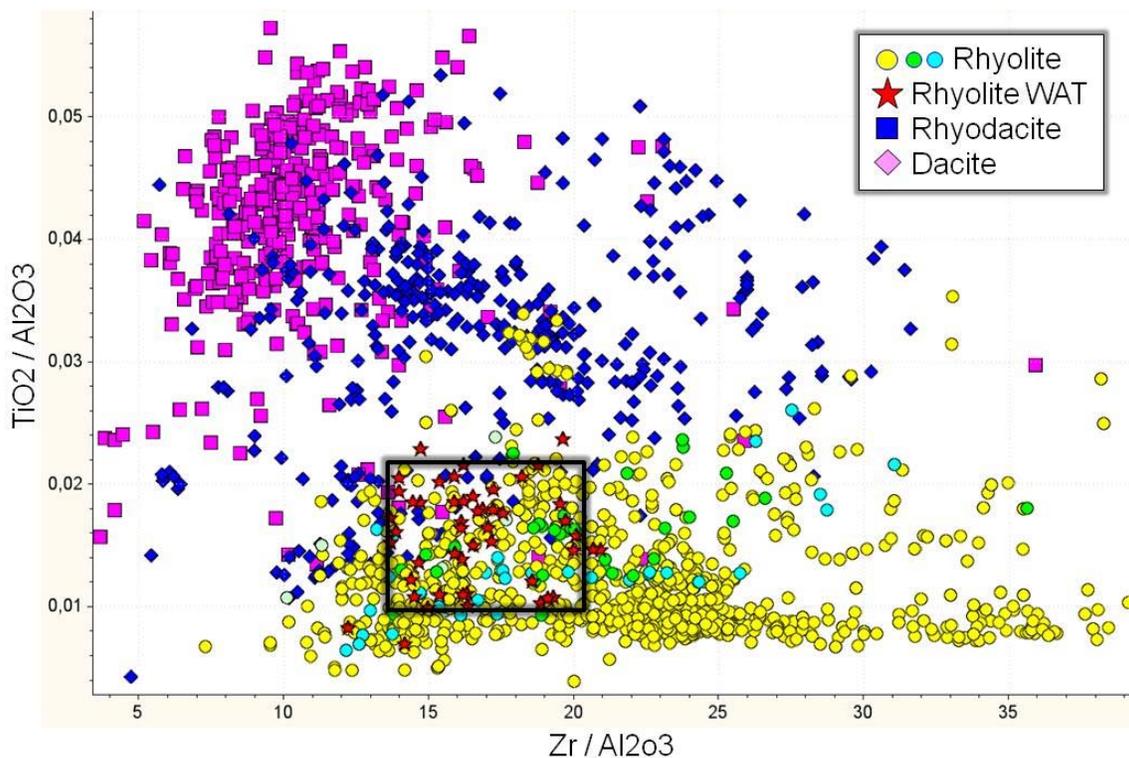


Figure 16. Diagramme d'éléments immobiles montrant la géochimie particulière du tuf de Selbaie (unité WAT) juste sous l'amas de pyrite massive de 8 Mt par rapport aux autres volcanites de la séquence felsique de Selbaie. L'encadré montre les limites des ratios qui sont utilisées pour reconnaître d'autres rhyolites de type WAT dans le Groupe de Brouillan.

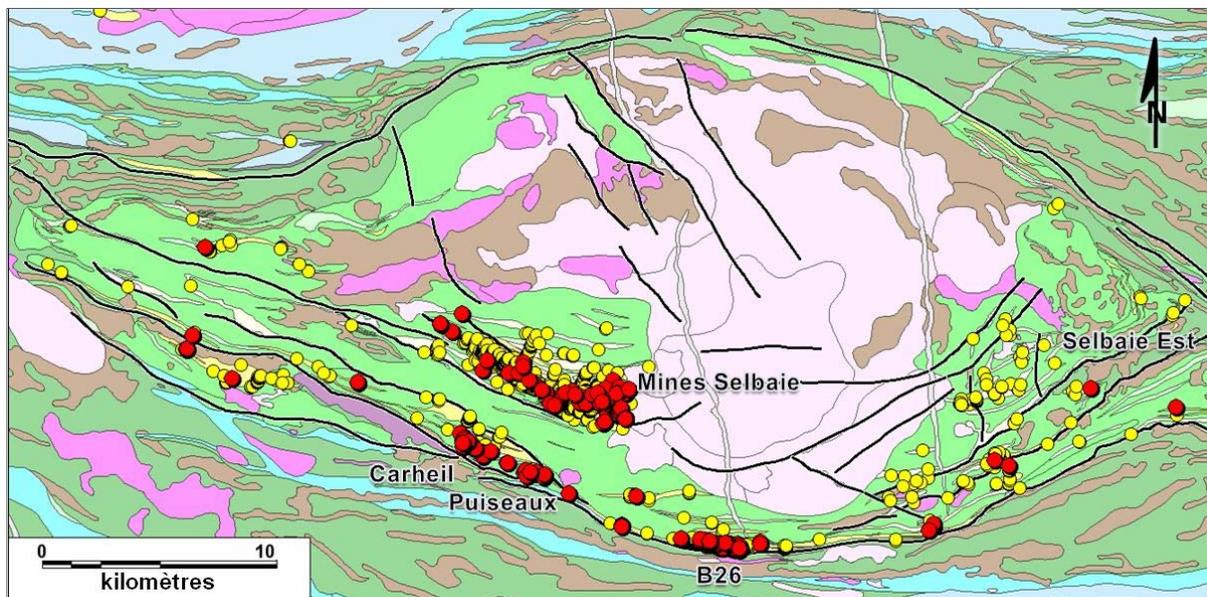


Figure 17. Distribution des échantillons du type WAT (cercle rouge) par rapport aux autres volcanites felsiques du Groupe de Brouillan (cercle jaune) d'après le diagramme de la **Figure 16**. Lignes en noir sont des structures synvolcaniques interprétées. Voir la Figure 2 pour la légende de la carte géologique.

3.6 Comparaison géochimique entre les intrusions des groupes de Brouillan et d'Enjalran

Comme pour les volcanites, les intrusions des groupes de Brouillan et d'Enjalran sont géochimiquement différentes, et appartiennent à des lignées magmatiques distinctives (**Figure 18**). Les gabbros tholéïtiques d'Enjalran sont plus mafiques et magnésiens proportionnellement aux gabbros transitionnels à calco-alcalins du Groupe de Brouillan et montreraient possiblement une source komatiitique comparable au Groupe des Cartwright (Legault et al., 2000). En effet, 3 échantillons d'intrusions ont des valeurs de MgO prédit supérieures à 18% (**Figure 18a**) ainsi qu'une douzaine d'autres échantillons d'après les valeurs originales en MgO, les valeurs prédites n'ayant pu être calculées pour ces échantillons. La différence est nette également dans le diagramme Zr versus TiO_2 où les gabbros d'Enjalran forment une suite cohérente et continue (**Figure 18b**). Les intrusions du Groupe de Brouillan, qui correspondent à des dykes, des petites intrusions, et au pluton de Brouillan, peuvent être classées en deux suites magmatiques similaires à celles des volcanites (**Figures 13 et 18a**). Ces deux suites d'intrusions proviendraient d'une source commune mais différente de celle d'Enjalran (**Figure 18a**).

La distribution en carte des échantillons montre que les intrusions du Groupe de Brouillan se retrouvent presque exclusivement dans l'œil de Selbaie, à l'exception de 5 échantillons situés dans le Groupe d'Enjalran (**Figure 19**). Par contre, les intrusions gabbroïques, tholéïtiques et magnétiques du type Enjalran sont observées autour de l'œil mais également dans le nord du complexe intrusif de Brouillan et le long de certaines failles synvolcaniques situées dans le Groupe de Brouillan (**Figures 7 et 19**). Ces gabbros recoupent la grande intrusion intermédiaire et felsique du Brouillan, ce qui suggère que ceux-ci sont effectivement plus jeunes (sections 2.2 et 2.4).

L'architecture interne du complexe intrusif de Brouillan est étudiée dans cette section, en comparant les données géochimiques au levé gravimétrique hélicoptère (Kerbali et Sander, 2008; **Figure 20**). En combinant la gravimétrie et les valeurs de SiO_2 prédit des échantillons lithogéochimiques d'intrusions du complexe intrusif de Brouillan, on remarque clairement que les intrusions les plus mafiques (inférieur à 55% SiO_2 prédit) situées au nord du complexe correspondent aux anomalies gravimétriques les plus fortes (plus denses), alors que les phases les plus felsiques situées au sud (supérieur à 70% SiO_2 prédit)

se corrélient aux densités les plus faibles. Les deux anomalies négatives côte à côte dans le sud du complexe témoigneraient de la présence de granites selon la composition géochimique prédite, et d'un enracinement autour de 5 km de profondeur selon l'interprétation de Bellefleur et al. (1995) le long de la ligne sismique 29 de Lithoprobe (**Figure 20**). De plus, ces phases felsiques seraient plus jeunes de 9 Ma, selon la date préliminaire de 2720,3 Ma de Mortensen et Lacroix publiée par Lacroix (1998), par rapport à la tonalite de Brouillan datée à 2729 ± 4 Ma (Barrie et Krogh, 1996).

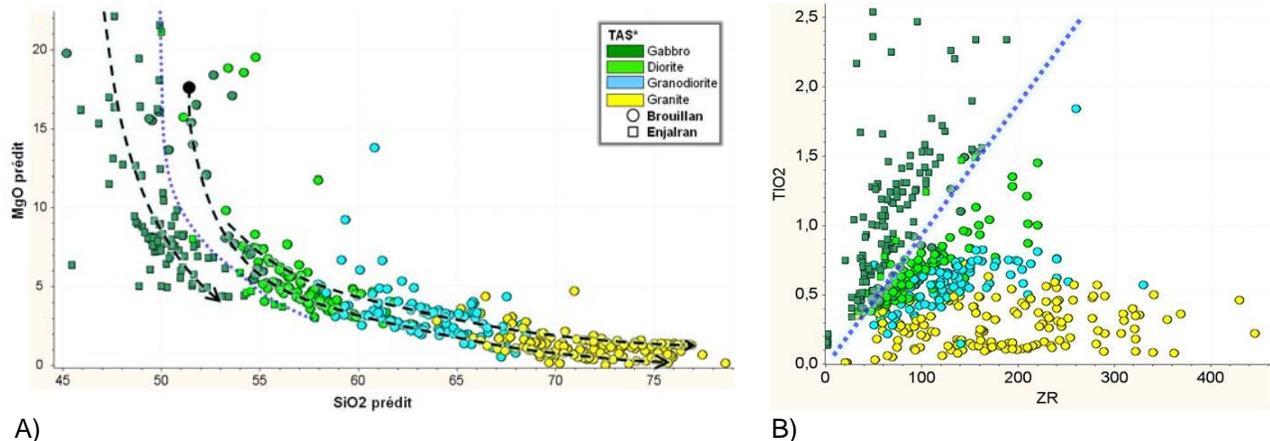


Figure 18. Diagrammes discriminant les intrusions des groupes de Brouillan (ronds) et d'Enjalran (carrés) classées selon le diagramme TAS de Le Bas et al. (1986) et indiqués par les lignes en pointillés bleues. Les lignes avec traits noirs sont les lignées magmatiques interprétées. A) Oxydes prédits en pourcentage poids. B) Éléments immobiles en ppm.

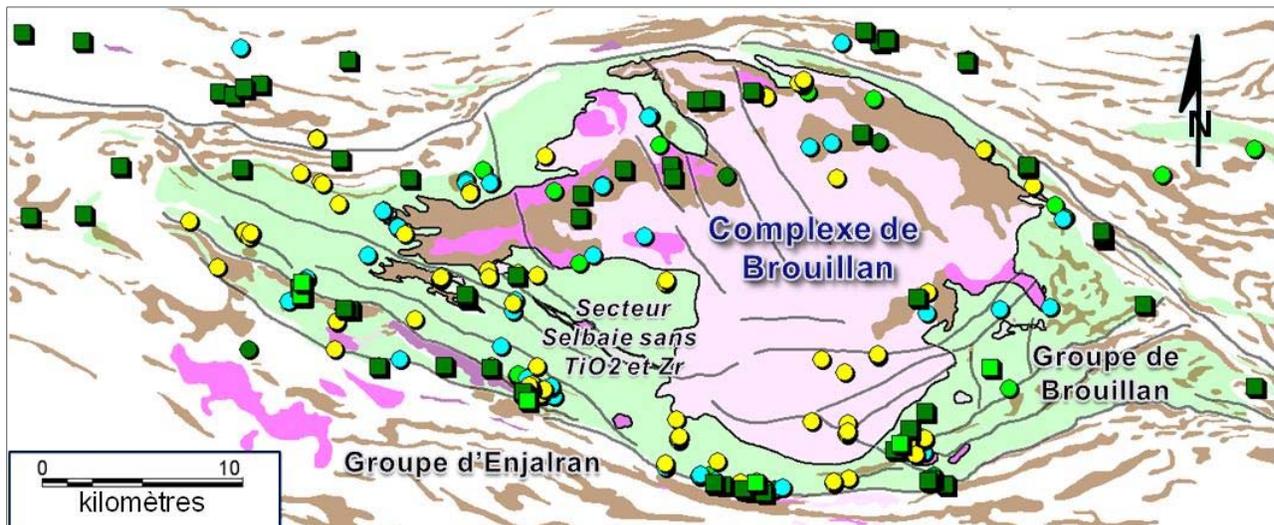


Figure 19. Distribution des échantillons d'intrusions des groupes de Brouillan (cercles) et d'Enjalran (carrés). Légende des symboles et couleurs sur la Figure 15. Lignes en gris sont des structures synvolcaniques interprétées. Voir la Figure 2 pour la légende de la carte géologique.

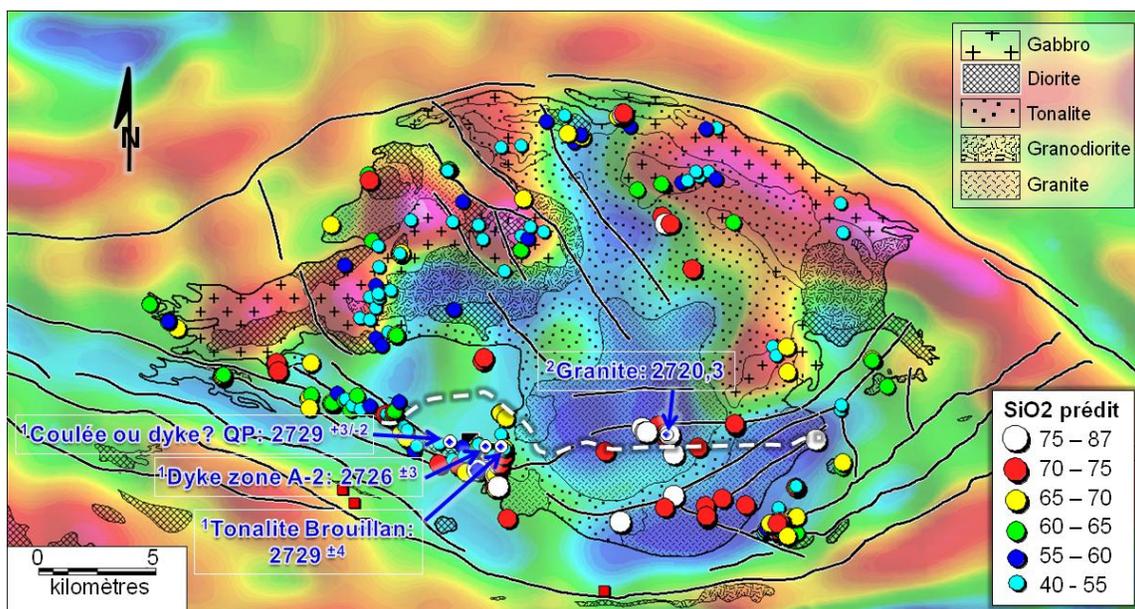


Figure 20. Distribution des échantillons d'intrusions dans et en périphérie du complexe intrusif de Brouillan indiquant le contenu en SiO_2 prédit en pourcentage poids selon la méthode des bilans de masse de Trépanier (2011). L'image en arrière plan est la gravité résiduelle (d'après le DP 2008-02) avec les couleurs chaudes indiquant des plus fortes densités et les couleurs froides les plus faibles densités. Les structures synvolcaniques interprétées sont les lignes en noir et la ligne sismique 29 du projet LITHOPROBE est la ligne en tirets blancs (Bellefleur et al. 1995). Dates de : 1- Barrie et Krogh (1996) ; 2- Lacroix (1998) d'après une date préliminaire de Mortensen et Lacroix.

4 GÉOCHIMIE DES ALTÉRATIONS VOLCANOGÈNES

Cette section traite des altérations volcanogènes dans le complexe volcanoplutonique de Brouillan. Les échantillons lithogéochimiques ont été traités avec la nouvelle norme SV350C dans le logiciel LithoModeleur (Trépanier 2012). Il s'agit d'un calcul de minéraux normatifs pour les roches métamorphiques. Les diagrammes de stabilité des roches métamorphiques permettent de prédire l'assemblage des minéraux présents dans une roche selon la composition géochimique globale de l'échantillon et le faciès métamorphique. Les réactions minérales sont calculées simultanément et de manière stœchiométrique dans des tétraèdres correspondant au métamorphisme de la région, c'est-à-dire au faciès des schistes verts (Taner, 2000). La norme calcule de manière itérative la composition minéralogique théorique des échantillons. Différents indices d'altération basés sur les minéraux métamorphiques sont calculés. Les résultats présentés dans la prochaine sous-section permettent d'étudier le système hydrothermal à une échelle régionale.

4.1 Altérations déterminées par la norme SV350C

La base de données lithogéochimiques qui a servi à déterminer les altérations normatives compte 8588 échantillons de roches volcaniques et intrusives (**Figure 21a**). Les échantillons de roches intrusives du pluton de Brouillan n'ont pas été pris en compte car ils sont trop peu nombreux et sont généralement peu altérés. Il est à noter que la répartition des échantillons est inégale et se concentre au niveau du gisement de Selbaie, ainsi que vers l'ouest dans la bande felsique de Selbaie, et autour des gîtes connus (**Figure**

21). Très peu d'échantillons ont été recueillis au nord du complexe intrusif de Brouillan. Trois principaux types d'altération sont distingués selon la norme SV350C. Il s'agit des indices d'altération en phyllosilicates (**Figure 21**), en pyrophyllites (**Figure 22**) et en carbonates (**Figure 23**).

Autour de Selbaie, la plus vaste et intense altération est celle en phyllosilicates, tel que caractérisée par l'indice Alt-Phyllo sans CO₂ dans LithoModeleur, c'est-à-dire l'indice correspondant à la somme des minéraux normatifs de séricite, chlorite, pyrophyllite et paragonite rapportée sur 100 (**Figure 21**). Ce type d'altération est typiquement volcanogène et traduit d'importants gains en K, Na, Mg, Fe, Al et SiO₂. Ce type d'altération a déjà été identifié à Selbaie par Sinclair (1977) pour le MgO, Piché et Jébrak (2006) pour le Na₂O et K₂O, et Larson et Hutchinson (1993) pour la majorité de ces éléments. Cette altération se traduit minéralogiquement en lames minces par de la chloritisation, séricitisation et silicification (Deptuck et al., 1982; Larson et Hutchinson, 1993). Ce type d'altération à Selbaie est située dans un domaine où la stratification est globalement subhorizontale (Deptuck et al., 1982; Faure et al., 1996; Taner, 2000). La zone mesure 2 par 4 km² et est orientée NO-SE, bien au-delà la Zone A-1 hôte du SMV de pyrite. Cette superficie est proportionnelle à l'épaisseur de l'altération, qui est estimée à environ 800 m par des forages profonds depuis la surface du gisement (Taner, 2000). Piché et Jébrak (2006) sont arrivés à une géométrie similaire selon leur indice ISER de Normat. Ce type d'altération est également observée autour de la Zone Zinc plus à l'ouest, le long du dyke porphyrique qui longe la faille synvolcanique au sud du gisement de Selbaie (**Figure 21**). Dans les secteurs des gîtes Carheil-Puisseaux et B-26, les cellules hydrothermales étaient probablement de même intensité qu'à Selbaie mais étaient de plus petites dimensions car l'épaisseur moyenne de l'altération n'est que de 200 m dans un horizon de rhyolites en particulier (**Figure 21**). Le secteur du gîte de Noramco (Selbaie Est) est également altéré mais l'intensité de l'indice en phyllosilicates est de moitié celle de Selbaie. D'autres anomalies généralement ponctuelles sont également observées le long de failles synvolcaniques interprétées dans les sections précédentes de ce rapport.

L'indice Paragonite sans CO₂ de la norme indique des gains en Al et Na. Une anomalie supérieure à 4% paragonite peut témoigner d'une intense altération résiduelle due au lessivage hydrothermal. L'anomalie en paragonite normative à Selbaie coïncide avec le SMV à pyrite et sa superficie est équivalente à deux fois celle du SMV (**Figure 22**). Ce résultat est en accord avec ceux de Piché et Jébrak (2006), obtenus avec l'indice IPYRO de Normat. Ces deux indices sont donc de bons indicateurs pour l'altération volcanogène proximale. Des anomalies de dimensions plus modestes sont répertoriées plus à l'ouest. Ces anomalies sont adjacentes à la Zone B, et se situent le long de la structure synvolcanique observée immédiatement au sud de Selbaie. La plus vaste et intense anomalie en paragonite se situe dans le secteur de Noramco (**Figure 22b**). Cette zone d'altération se suit de manière discontinue sur près de 9 km de longueur et semble contrôlée par les deux structures parallèles NE-SO et l'une des deux structures N-S du secteur Selbaie Est. Une partie de cette anomalie se corrèle au gîte Noramco, mais le reste de l'anomalie régionale ne correspondent à aucun gîte connu ni à des valeurs significatives en Cu ou Zn. Il n'y a aucune anomalie en paragonite normative dans les secteurs de Carheil, Puisseaux et B-26, ce qui les distingue du gisement de Selbaie.

La carbonatation est connue depuis les premières publications sur Selbaie (Deptuck et al., 1982). L'indice Alt-Carb de LithoModeleur représente la somme des carbonates normatifs (calcite, dolomie, sidérite et magnésite). L'altération en ces carbonates est observée autour du gisement de Selbaie, et l'intensité de cette altération augmente à l'est et au sud de Selbaie, le long des 3 failles synvolcaniques orientées ONO-ESE (**Figure 23**) et est maximum dans la Zone Zinc. La zone d'altération en carbonates normatifs la plus étendue se situe à l'est du complexe intrusif de Brouillan, autour du gîte de Noramco et au NE de celui-ci, entre les deux structures N-S qui semblent en contrôler la géométrie. L'altération en carbonates sur une vaste zone se corrèle spatialement avec l'altération proximale en paragonite (gains en Al) et ces altérations sont similaires à celles du gisement SMV de Mattabi en Ontario (Adam, 1996a; Morton et al., 1996; Taner, 2000). D'autres arguments vont dans le sens de cette interprétation, notamment la grande étendue latérale et semi conforme à la stratification de la zone altérée, le contact diffus de cette zone ainsi que la forte proportion de pyroclastites et de volcanites fragmentaires felsiques qu'elle recoupe (Morton et Franklin, 1987). L'altération en carbonates normatifs est plutôt peu développée dans les secteurs de Carheil, Puisseaux et B-26.

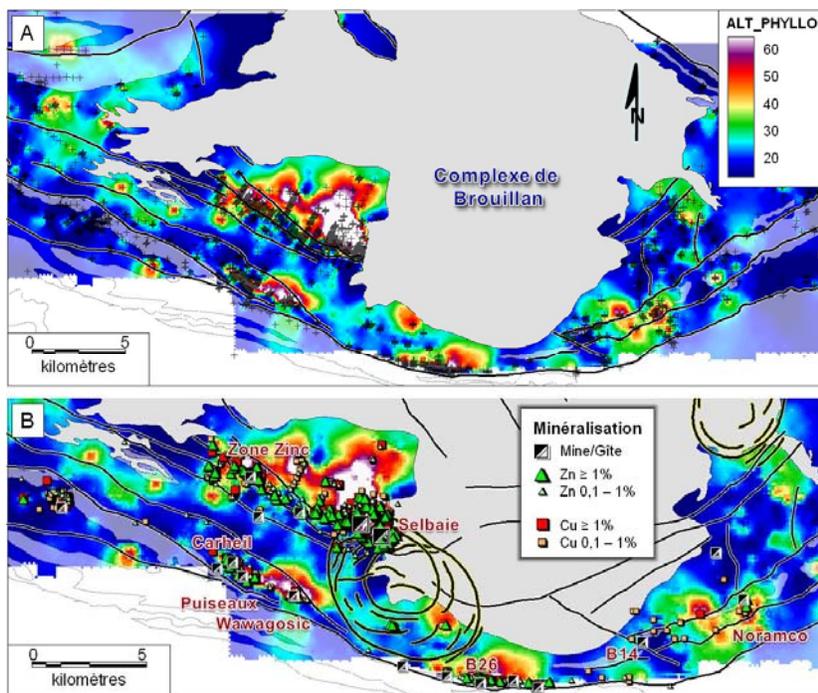


Figure 21. Altérations géochimiques. A) Localisation des échantillons lithogéochimiques qui ont servi à calculer l'indice Alt-Phyllo d'après la Norme SV350C de Trépanier (2012) sur une échelle maximum de 100, les couleurs vives ou blanches représentant les zones les plus altérées. En transparence sont les volcanites d'Enjalran. B) Image rapprochée de A avec les indices, gîtes et mines Selbaie avec structures synvolcaniques et calderas interprétées.

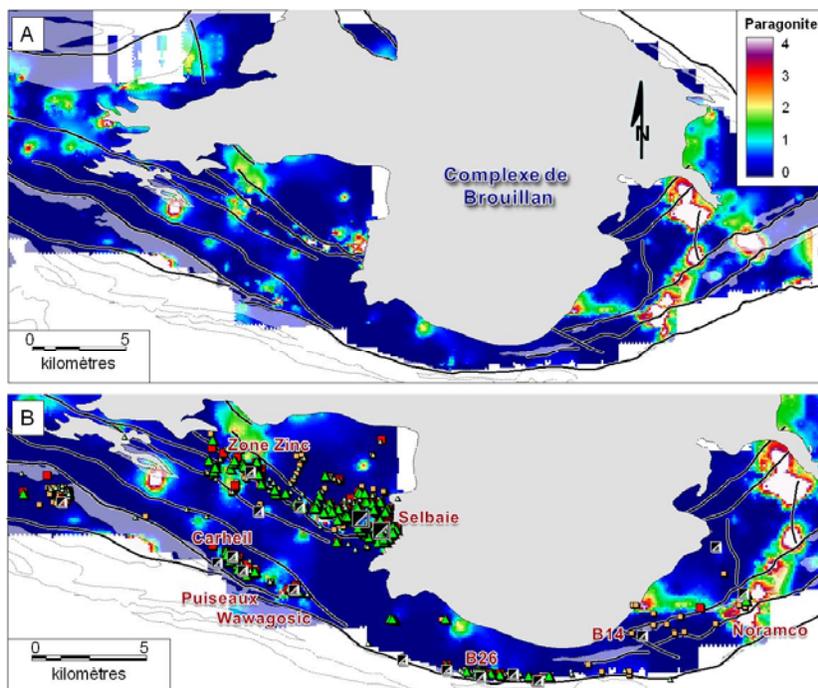


Figure 22. Altérations géochimiques. A) Indice Paragonite d'après la Norme SV350C de Trépanier (2012) sur une échelle maximum de 100, les couleurs vives ou blanches représentant les zones les plus altérées. En transparence sont les volcanites d'Enjalran. B) Image rapprochée de A avec les indices, gîtes et mines Selbaie ainsi que les structures synvolcaniques et calderas interprétées. Légende selon la **Figure 21b**.

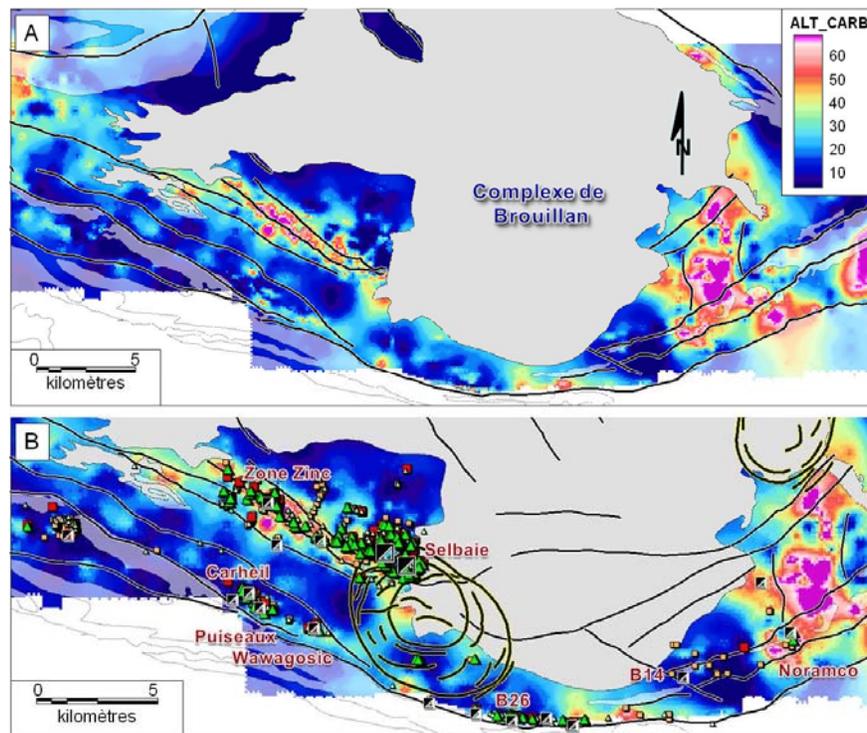


Figure 23. Altérations géochimiques. A) Indice Alt-Carb d'après la Norme SV350C de Trépanier (2012) sur une échelle maximum de 100, les couleurs vives ou blanches représentant les zones les plus altérées. En transparence sont les volcanites d'Enjalran. B) Image rapprochée de A avec les indices, gîtes et mines Selbaie ainsi que les structures synvolcaniques et calderas interprétées. Légende selon la Figure 21b.

5 CONCLUSION

Une nouvelle interprétation géologique du camp minier de Selbaie est présentée. La mise à jour et l'intégration de l'information géologique, géochimique et géophysique a permis de démontrer que les volcanites calco-alcalines de composition intermédiaire à felsique du Groupe de Brouillan sont comagmatiques au complexe intrusif de Brouillan. Ceci permet de définir la dimension du complexe volcanoplutonique associé à la grande caldera de Selbaie. La phase mafique dans le complexe intrusif de Brouillan serait la phase la plus jeune et serait comagmatique aux volcanites du Groupe d'Enjalran qui ceinture le Groupe de Brouillan.

Une série de failles synvolcaniques ONO-ESE, comparables en orientation avec les structures minéralisées du camp minier de Matagami (flancs sud et ouest), sont recoupées par des failles globalement orientées E-O. Les failles synvolcaniques sont matérialisées par des réseaux de dykes synvolcaniques (zone du porphyre au sud de Selbaie), des dépressions volcaniques allongées, des volumes importants de brèches volcaniques (unités RDBX à Selbaie par exemple), des veines de quartz, et par la présence de sulfures. Trois structures subcirculaires ont été identifiées en bordures du complexe intrusif de Brouillan principalement sur la base des levés magnétiques haute résolution. Ces structures pourraient correspondre à de petites calderas imbriquées dans la grande caldera de Selbaie.

Les failles synvolcaniques au sud du complexe volcanoplutonique de Brouillan contiennent ou délimitent de larges zones d'altérations en phyllosilicates normatifs qui sont d'origine volcanogène ou des zones

d'altération proximales et résiduelles en aluminium et sodium. Le secteur situé à l'est du complexe intrusif de Brouillan est caractérisé par un bassin de roches volcaniques dacitiques N-S fortement altérées en carbonates normatifs et délimité par des zones à paragonite normatif. Cet assemblage de minéraux d'altération présente des similitudes avec celui qui caractérise le gisement de sulfures massifs de Mattabi.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier Daniel Adam (Mines Richmond), Mehmet Taner, Yvon Trudeau (SOQUEM), Michel Dessureault et Michel Allard (Xstrata Zinc Canada), ainsi que Sylvain Lacroix (Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec) et Guy Parent (NQ Exploration) pour l'obtention de données lithogéochimiques et pour les discussions fructueuses qui ont alimenté les idées tout au long du projet. Merci également à Lucie Mathieu, Réal Daigneault et Geneviève Boudrias qui ont bien voulu commenter et critiquer le rapport.

RÉFÉRENCES

- Adam, D., 1996a. Géologie structurale du gisement de Les Mines Selbaie (Cu, Zn, Au, Ag), Sous-province de l'Abitibi, Québec, Canada. Rapport interne, Les métaux Billiton Canada, 30 p.
- Adam, D., 1996b. Rapport d'une campagne de forage, propriété B11, Canton Lanoullier, Québec. Ministère des ressources naturelles du Québec, GM 54382, 39 p.
- Adam, D., 2004. Les Mines Selbaie, final ore reserves statement as of January 22, 2004. Rapport interne BHPbilliton, 25 p.
- Barrett, T.J. et MacLean, W.H., 1994. Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks. *Dans* Lentz, D.R. ed. Alteration and alteration processes associated with ore-forming systems. Geological Association of Canada, short course notes, 11: 433-467.
- Barrie, C.T. et Krogh, T.E., 1996. U-Pb Zircon Geochronology of the Selbaie Cu-Zn-Ag-Au Mine, Abitibi Subprovince, Canada. *Economic Geology*, 91: 563-575.
- Brisson, T., 2008. Travaux 2008, projet Selbaie West, cantons Carheil et Brouillan, Québec. Ministère des ressources naturelles et de la Faune du Québec, GM 63690.
- Commission Géologique du Canada, 1968. Rivière Turgeon, Québec. Carte géophysique 5349G.
- Deptuck, R., Squir, H., et Wierzbicki, 1982. Geology of the Detour zinc-copper deposits, Brouillan Township, Quebec. *Dans* Precambrian Sulphide Deposits, H.S. Robinson Memorial Volume, R.W. Hutchinson, C.D. Spence et J.M. Franklin éditeurs, Geological Association of Canada Special Paper 25, p.319-342.
- DP-866, 1982. Les relevés Géophysiques Inc., levé EM (Input), région de Brouillan-Manthet. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- DV86-10, 1986. Traitement des données géophysiques (aéromagnétiques), région de Brouillan-Manthet. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- Faure, S. 1990. Synthèse géologique et évolution géodynamique du gisement polymétallique de Les Mines Selbaie, nord-ouest de la ceinture archéenne de l'Abitibi. Mémoire de Maîtrise (M. Sc.), Université du Québec à Montréal, 110 p.
- Faure, S., Jébrak, M. et Bouillon, J.J. 1990. Géologie et minéralisations en Zn-Cu-Ag-Au de Les Mines Selbaie. *Dans* La Ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois 1990. Editeurs; M. Rive, P. Verpaelst, Y. Gagnon, J.M. Lulin, G. Riverin et A. Simard. ICM Institut canadien des mines et de la métallurgie, volume spécial 43: 363-372.
- Faure, S., Jébrak, M. et Angelier, J. 1996. Structural evolution of Les Mines Selbaie, northern Abitibi, Québec, Canada. *Exploration and Mining Geology*, 5: 215-230.
- Geyer, A., et Martí, J. 2008. The new worldwide collapse caldera database (CCDB): A tool for studying and understanding caldera processes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 175: 334 – 354.
- Franklin, J. M. 1997. Lithogeochemical and Mineralogical Methods for Base Metal and Gold Exploration. *Dans* "Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration" édité par A.G. Gubins, p. 191–208.

- Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R., et Galley, A.G. 2005. Volcanogenic Massive Sulfide Deposits. Economic Geology 100th Anniversary Volume, pp. 523–560 et annexe.
- Gibson, H., et Galley, A., 2007, Volcanogenic massive sulphide deposits of the Archean, Noranda District, Quebec, in Goodfellow, W. D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, Special Publication No. 5, Mineral Deposits Division, Geological Association of Canada, p. 533-552.
- Gibson, H.L. et Kerr, D.J. 1993. Giant volcanic-associated massive sulphide deposits: with emphasis on Archean examples: Economic Geology, Special Publication 2, p. 319-348.
- Gibson, H.L., Morton, R.L. et Hudak, G.J. 1997. Submarine volcanic processes, deposits, and environments favourable for location of volcanic-associated massive sulfides deposits. In Volcanic-associated massive deposits: Processes and examples in modern and ancient settings, T. C. Barrie et Hannington, M. D. éditeurs, p.13-51.
- Kerballi, M, et Sander, L. 2008. Levé gravimétrique aéroporté à l'ouest de Matagami. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, DP 2008-02, 10 cartes. Données disponibles gratuitement sur <http://edg.rncan.gc.ca/gravity>.
- Lacroix, 1990. Géologie de la région des rivières Turgeon et Théo. Ministère des ressources naturelles du Québec, MB 90-28, 22 p.
- Lacroix, S., 1994a. Géologie de la partie ouest du sillon Harricana-Turgeon, Abitibi. Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 94-54, 26 p.
- Lacroix, S., 1994b. Géologie de la partie ouest du sillon Harricana-Turgeon, Abitibi. Annexe 1 : analyses lithogéochimiques. Ministère des ressources naturelles du Québec, MB 94-61, 77 p.
- Lacroix, S., 1998. Compilation et répartition des gisements polymétalliques à tonnage évalué dans la Sous-province de l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 98-06, 29 p.
- Lacroix, S., Simard, A., Pilote, P., et Dubé, L.M. 1990. Regional geologic elements and mineral resources of the Harricana-Turgeon belt, Abitibi of NW Quebec. Institut canadien des mines et de la métallurgie ICM, volume spécial 43 : 313-326.
- Larson, J.E., et Hutchinson, R.W. 1993. The Selbaie Zn-Cu-Ag Deposits, Quebec, Canada: an example of evolution from Subaqueous to Subaerial volcanism and mineralization in an Archean caldera environment. Economic Geology, 88:1460-1482.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali–silica diagram. Journal of Petrology 27, 745–750.
- Leclerc, A. 2004. Étude lithogéochimique pour Ressources Yorbeau; classification, altération et minéralisations, propriété Beschefer. Ministère de ressources naturelles et de la Faune, GM 61037, 106 p.
- Legault, M., Daigneault, R., Mueller, W., Gauthier, M., Jébrak, M., et Piché, M. 2000. Contexte géologique du camp minier de Joutel. Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 2000-10, 40 p.
- Legault, M., Gauhtier, M., Jébrak, M., Davis, D.W., et Baillargeon, F. 2002. Evolution of the subaqueous to near-emergent Joutel volcanic complex, Northern Volcanic Zone, Abitibi Subprovince, Quebec, Canada. Precambrian Research, 115 : 187–221.

- Mathieu, L. et van Wyk de Vries, B. 2009. Edifice and substrata deformation induced by intrusive complexes and gravitational loading in the Mull volcano (Scotland). *Bulletin of volcanology* 71: 1133–1148.
- Mathieu, L., Kervyn, M., et Ernst, G.G.J. 2011. Field evidence for flank instability, basal spreading and volcano-tectonic interactions at Mt Cameroon, West Africa. *Bulletin of volcanology*, 73 : 851-867.
- Morton, R. L. et Franklin, J. M., 1987. Two-fold classification of Archean volcanic-associated massive sulfide deposits. *Economic Geology*, 82:1057-1063.
- Morton, R., Hudak, G., et Koopman, 1996. Physical volcanology, hydrothermal alteration and massive sulphide deposits of the Sturgeon Lake Caldera – Filed trip guidebook B3, Geological Association of Canada Annual Meeting, Winnipeg, Manitoba, may 27-29, 37 p.
- Pearson, V., 2007. Le PER-GH: un nouvel indice de classification des volcanites felsiques pour la reconnaissance des environnements fertiles. Rapport du projet CONSOREM 2004-02, 27p.
- Piché, M., 1993. Étude de l'altération des roches volcaniques encaissantes à la mine Selbaie, canton de Brouillan. Ministère des ressources naturelles, MB 93-52, 41 p.
- Piché, M. et Jébrak, M., 2006. Determination of alteration facies using the NORMAT normative mineral alteration index: Selbaie Cu-Zn deposit, northern Abitibi greenstone belt, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 43, 12: 1877-1885.
- Remick, J.H., 1969. Géologie de la region d'Harricana-Turgeon, comtés d'Abitibi-Est et Abitibi-Ouest. Rapport préliminaire, Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, RP-564, 217 p.
- Sinclair, I.G.L. 1977. Primary dispersion patterns associated with the detour zinc-copper-silver deposit at Lac Brouillan, Province of Quebec, Canada. *Journal of Geochemical Exploration*, 8: 139 -151.
- Sobradelo, R., Geyer, A., et Martí, J. 2010. Statistical data analysis of the CCDB (Collapse Caldera Database): Insights on the formation of caldera systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 198: 241–252.
- Taner, M.F. 2000. The geology of the volcanic-associated polymetallic (Zn, Cu, Ag, and Au) Selbaie deposits, Abitibi, Quebec, Canada. *Exploration and Mining Geology*, 9: 189-214.
- Trépanier, S. 2011. Guide pratique d'utilisation de différentes méthodes de traitement de l'altération et du métasomatisme. Projet CONSOREM 2008-07, 209 p. (disponible sur www.consorem.ca)
- Trépanier, S., 2012. Norme LithoModelleur. Projet CONSOREM 2011-04.
- Verduzco, B. Fairhead, J.D. et Green, C.M. 2004, New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, February, p. 116-119.
- Whyte, J.B. et Nichol, I. 1987. Geochemical alteration associated with the Selbaie copper-zinc-silver deposit. *Journal of Geochemical Exploration*, 28: 165-182.