

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ À L'UNIVERSITÉ
DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MAÎTRISE
EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR ÉDOUARD CÔTÉ-LAVOIE

MÉTALLOGÉNIE ET PROCESSUS MINÉRALISATEURS DU STOCK DE
BOYVINET, DESMARAISVILLE, ABITIBI, QUÉBEC

Mai 2016

Résumé

Ce projet, financé à 100% par SOQUEM Inc., avait pour but de déterminer les facteurs de contrôles sur la formation d'une minéralisation aurifère au sein d'un pluton (Stock de Boyvinet) et de développer un modèle métallogénique pour le secteur du Lac Shortt, à Desmaraisville en Abitibi. Dans un premier temps, une lecture exhaustive de la littérature a permis de préciser les caractéristiques propres à certains modèles métallogéniques basées sur des relations de terrain et d'analyses fines en laboratoire. Ces caractéristiques ont été testées et ont permis de développer un modèle métallogénique pour générer des cibles d'exploration tant à l'échelle locale que régionale.

Le Stock de Boyvinet, dans la région du Lac Shortt (SOQUEM Inc.- MDN), renferme une minéralisation aurifère à faible teneur associée à des veinules de quartz et des zones d'altération hydrothermale. Ce stock a longtemps été considéré comme une syénite. Toutefois, une étude minéralogique de l'intrusion a donné lieu à une réinterprétation de la nature de l'intrusion, car composée de feldspaths (albite; $\pm 40\%$), d'amphiboles (hornblende; $\pm 10\%$) sous forme de phénocristaux avec en phases interstitielles des feldspaths potassiques à texture perthitique, du quartz, des carbonates ($\pm 10\%$) des minéraux opaques ainsi que de la titanite ($\pm 5\%$). Certaines phases mineures comme l'épidote, le quartz, la chlorite, les carbonates, la pyrite, ilménite, hématite et magnétite ($\pm 1-5\%$) sont également observées. Cette minéralogie est définie comme un résultat de l'altération hydrothermale d'un pluton à priori de composition monzodioritique/monzonitique.

Les caractéristiques géochimiques indiquent une affinité calco-alcaline avec une anomalie négative en Nb et Ta, et un fractionnement $La_N/Yb_N = 22$. Les roches environnantes sont chimiquement comparables, permettant d'interpréter une source d'origine similaire. Les altérations hydrothermales s'expriment par des assemblages aux proportions variables d'albite, hématite, carbonates, silice, chlorite, pyrite et magnétite. Les zones altérées (n=25) sont caractérisées par des gains forts en Si, Na, K et Ca ainsi que des pertes en FeO. Les enrichissements en or sont en lien avec les zones d'altération, mais les assemblages minéralogiques sont variables, incluant: albite-hématite-pyrite et carbonates-silice-chlorite-pyrite.

Les pyrites (n=53) ont été analysées par LA-ICP-MS au LabMater (UQAC). Des zonalités sont identifiées entre les cœurs poreux et les bordures recristallisées. Les assemblages métalliques Bi-Te-Cu-Ag-Sb sont typiquement d'origine magmatique et associés aux cœurs alors que les bordures à As-Ni-Co-Se sont caractéristiques des fluides métamorphiques. Des valeurs aurifères moyennes de 3,81 ppm, jusqu'à un maximum de 95,5 ppm dans les cœurs, par rapport à 0,32 ppm (maximum analysé de 1,32 ppm) dans les bordures permettent de proposer une relation directe entre les pyrites formées à partir des fluides magmatiques et la minéralisation aurifère. Des grains d'or libre se retrouvent également dans des fractures tardives de la pyrite.

Les inclusions fluides ont été analysées (n=24) par spectrométrie de masse à sonde-solide au LAMEQ (UQAC). Les fluides hydrothermaux ont été étudiés en fonction de deux groupes: minéralisés (n=14) et stériles (n=10). Cette subdivision a été définie selon les altérations hydrothermales et la présence de pyrite en

proportion importante ($\geq 2\%$). Malgré cette distinction, les fluides sont de compositions similaires, composés majoritairement de H₂O (50 - 100%; moy. 84,5%) et CO₂ (<50%; moy. 12,6%) avec, pour certains, des proportions plus élevées de H₂ (<2,1%; moy. 0,44%), de N₂ (<5,7%; moy. 2,1%) et de C₂H₆ (<3,1%; moy. 0,43%). Cette signature est typique des fluides d'origine métamorphique et constituent les derniers fluides enregistrés par les veines.

Deux processus minéralisateurs superposés sont proposés : magmatique et métamorphique. Une fénitisation primaire de l'encaissant, induite par des fluides magmatiques alcalins régionaux, est responsable d'un enrichissement aurifère et de l'altération en albite-hématite-pyrite précoce. La présence de plusieurs intrusions alcalines tardives dans la région et de la carbonatite du Lac Shortt, supporte cette interprétation. Une minéralisation orogénique est superposée sur la fénitisation, avec localement le développement de veinules de quartz-carbonates-pyrite et la surimposition des bordures de pyrites primaires.

Remerciements

Un si long travail se réalise grâce à un ensemble de facteurs et de personnes ressources. Ce projet est le résultat de 2 ans d'acharnements durant lesquelles j'ai été fortement appuyé par mon directeur, Damien, ainsi que par ma famille. Merci à Caroline et à ma famille de m'endurer et d'avoir à parler de roches sans arrêt, parfois de m'empêcher de le faire. Mes amis, qui ont aussi eu à réaliser ce même défi lors de nos maîtrises ou doctorats respectifs (Lou, Rose-Anne, Jean-Philippe, Jonathan, Pierre, Alex, Jérôme et Charley) et les autres étudiants du RÉDiST, sont également des ingrédients de cette réussite.

Je dois également remercier Yvon Trudeau et Laury Schmitt, de la SOQUEM Inc., qui ont financé ce projet et qui me l'ont proposé en premier lieu. J'ai eu de belles années à travailler chez SOQUEM. Merci également à Ludovic, Zach et Gabrielle qui m'ont accompagné sur le terrain pour l'échantillonnage et la cartographie de détail et l'équipe de SOQUEM Inc. de Chibougamau pour ces belles années passées à travailler avec eux.

Un rôle important lors des journées d'analyses a été joué par Sadia Mehdi et Danny Savard au LabMaTer de l'UQAC; merci à vous deux.

Un grand merci à Réal Daigneault et Pierre Pilote pour les corrections et les pertinents commentaires.

Table des matières

Résumé.....	iii
Remerciements	vi
Table des matières.....	vii
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xv
Introduction	17
1.1 Problématique générale.....	17
1.2 Application d'une méthode de classification métallogénique par test de caractéristiques discriminantes	24
1.3.1 Géologie du secteur	25
1.4 Buts et objectifs de l'étude.....	27
1.5 Méthodologie	28
Caractérisation géologique du Stock de Boyvinet	41
2.1 Composition minéralogique du Stock de Boyvinet.....	41
2.2 Composition géochimique de l'intrusion	47
2.3 Déformation	52
2.4 Survol des minéralisations observées	55
Caractérisation des altérations hydrothermales	71
3.1 Minéralogie	72
3.2 Associations spatiales avec la minéralisation	78
3.3 Bilans de masses	81
3.4 Réponses de la susceptibilité magnétique aux altérations hydrothermales.....	86
3.5 Conclusions	88

Cortèges métalliques du système minéralisateur.....	104
4.1 Introduction.....	104
4.2 Familles de pyrites et d'oxydes.....	105
4.2.1 Pyrites	105
4.2.2 Oxydes	108
4.3 Méthodologie analytique : LA-ICP-MS.....	109
4.3.1 Traitement des données.....	111
4.4 Résultats.....	112
4.4.1 Habitus de la minéralisation aurifère	114
4.4.2 Quantifications géochimiques.....	117
4.4.3 Comparaisons pyrites – oxydes.....	122
4.5 Conclusions	123
Analyse des inclusions fluides.....	146
5.1 Introduction.....	146
5.2 Objectifs de l'étude	147
5.3 Description des échantillons	148
5.4 Pétrographie des inclusions fluides	150
5.5 Analyse de la composition en gaz par spectrométrie de masses	151
5.6. Interprétation	154
Synthèse et Conclusions.....	165
6.1 Lithologies	166
6.2 Altérations hydrothermales	168
6.3 Structures et déformations.....	171
6.4 Minéralisation	173
6.5 Fluides minéralisateurs.....	177

6.6 Modèle(s) envisagé(s)	179
6.7 Proposition de cibles.....	181
6.8 Implications de la méthode de classification à l'échelle de l'Abitibi...	183
Références.....	193
Annexes	206
Annexe A – Descriptions des lames minces.....	207
Annexe B – Analyses roche totale	222
Annexe C - Analyses LA-ICP-MS	227
Annexe D – Cartographies des décapages	243

Liste des figures

Figure 1.1 Contexte de mise en place de plusieurs types de minéralisations aurifères, modifiée de Goldfarb et al. (2005).....	33
Figure 1.2 Comparaison des modèles IOCG et porphyrique (Richards et Mumin, 2013)	33
Figure 1.3 Modèle IRGS selon Hart (2005)	34
Figure 1.4 Localisation du projet Lac Shortt (SOQUEM Inc.).....	37
Figure 1.5 Géologie locale du secteur Lac Shortt (Faure, 2011; SOQUEM Inc.) Système de coordonnées UTM NAD 83.....	38
Figure 1.6 Description des travaux effectués sur les décapages (voir la légende à la Figure 1.7).....	39
Figure 1.7 Répartition des décapages et forages sur l'ensemble de la propriété (Modifié de SOQUEM Inc., géologie par Faure (2011)).....	40
Figure 2.1 Emplacement des échantillons utilisés pour l'étude	57
Figure 2.2 Diagramme à barres de la Compilation des pourcentages minéralogiques des lames minces étudiées (n=72) avec analyses en Au (ppb) superposées.....	58
Figure 2.3 Présence de fragments de composition méta-basaltique dans le corps intrusif.	59
Figure 2.4 Différence de la granulométrie des amphiboles au sein de l'intrusion...	61

Figure 2.5 Textures subophitiques des perthites et microperthites (tracées en rouge) contenant des exsolutions d'albite.....	61
Figure 2.6 Zonations observées dans les feldspaths; l'altération en albite intensifie le contraste de la zonation.	62
Figure 2.7 Texture trachytoïdale/lépidoblastique, affleurement	62
Figure 2.8 Différents faciès de brèches hydrauliques observés en lames minces, lumière polarisée.	63
Figure 2.9 Localisation des faciès de brèche hydraulique rencontrés (étoiles) en affleurement ou en forage	63
Figure 2.10 Classification minéralogique des échantillons (Streckeisen, 1976).....	64
Figure 2.11 Diagramme multiélémentaire des échantillons des encaissants (n=5; Poitras, 1993) et des fragments de méta-volcanites (n=3; Côté-Lavoie, 2013) normalisés au manteau primitif (Sun et McDonough, 1989).....	65
Figure 2.12 Affinité géochimique des échantillons de l'intrusion et de l'encaissant (Poitras, 1993); Modifié de Ross et Bédard (2009).....	66
Figure 2.13 Diagramme Nb vs Y pour le Contexte tectonique de mise en place pour l'intrusion et l'encaissant (Poitras, 1993); Modifié de Pearce (1984).....	66
Figure 2.14 Structures observées dans la partie est de l'intrusion (Affleurements TR-98-02-A & B). Structures N-S et E-O.	67
Figure 2.15 Déplacement des corps minéralisés (rouge) par une faille N-S (jaune) sur décapage principal; marteau pour échelle.....	67
Figure 2.16 Représentation des structures et veines sur stéréonets pour l'affleurement principal: zones minéralisées en rouge et non-minéralisées en bleu. Représentation stéréographique de Wulff (hémisphère inférieur). Plans et pôles (densité - contours).....	68
Figure 2.17 Fracturation tardive dans le faciès de Brèche à CC-CL, à angle avec l'axe de la brèche (en rouge orientée à 140°N). La fracturation tardive N-S (015°-030°) est soulignée en jaune	69
Figure 2.18 Structures ductiles - Lame 66_97,5 : Cisaillement observé en proximité du couloir de déformation Lac Shortt.....	69
Figure 2.19 Déformation fragile en lames minces : Déformations en kinks dans les macles de plagioclases.	70

Figure 2.20 Assemblages et comportement de la minéralisation du Stock de Boyvinet en lames minces.....	70
Figure 3.1 Altérations hydrothermales rencontrées au sein de l'intrusion	90
Figure 3.2 Variation de l'intensité d'hématisation	91
Figure 3.3 Présence d'hématite tardive dans (a) les fractures des grains de quartz (éch. 65_205.5) et (b) en brèche avec carbonates et quartz (éch. 66_318.2)	92
Figure 3.4 Intervalles des altérations hydrothermales en forage avec analyses aurifères (noir).	93
Figure 3.5 Diagrammes binaires pour les bilans de masse (Grant, 1986) des échantillons lithogéochimiques de l'intrusion (A) Al ₂ O ₃ vs TiO ₂ (B) TiO ₂ vs Zr.....	94
Figure 3.6 Diagramme Boxplot CCPI vs Index Ishikawa (modifié de Large, 2001)..	95
Figure 3.7 Bilans de masses globaux pour un précurseur unique (BVA-01) pour 33 échantillons. Valeurs aurifères superposées (valeurs numériques à la Figure 29C).....	96
Figure 3.8 Bilans de masses élémentaires (oxydes majeurs, variations en %) à partir d'un précurseur unique (BVA-01).....	97
Figure 3.9 Exemple de traitement des données de susceptibilité magnétique sur l'affleurement TR-98-02-A (partie ouest).....	98
Figure 3.10 Sections de forages avec susceptibilité magnétique (vert) et analyses aurifères (noir) pour les 11 forages décrits. Encadrés numérotés à la Figure 37. Échelles aurifères et de susceptibilité magnétique variables en fonction des forages.....	99
Figure 3.11 Agrandissements des secteurs encadrés à la Figure 3.10 concernant la perte significative de la susceptibilité magnétique reliée aux zones minéralisées (flèches noires).	100
Figure 3.12 Cartographie de la susceptibilité magnétique avec structures, altérations hydrothermales, rainures et teneurs aurifères de l'affleurement TR-98-02-A.....	101
Figure 3.13 Cartographie de la susceptibilité magnétique avec structures, altérations hydrothermales, rainures et teneurs aurifères (ppb) de l'affleurement TR-98-02-B.....	102

Figure 3.14 Cartographie de la susceptibilité magnétique avec altérations hydrothermales du décapage principal.....	103
Figure 4.1 Familles de pyrites rencontrées dans l'étude de la minéralisation	125
Figure 4.2 Relations entre inclusions (oxydes, sulfures et silicates) et inclusions aurifères au sein de différents types de pyrite (types 1 et 2).	126
Figure 4.3 Inclusions au cœur des pyrites de type	127
Figure 4.4 Signal représentatif des inclusions de feldspaths analysés au LA-ICP-MS.....	128
Figure 4.5 Exemples d'oxydes de fer décrits comme "magmatiques" (A, C, E) et "hydrothermaux" (B, D, F).	129
Figure 4.6 Présence d'hématite spéculaire au sein de veines à quartz-carbonates: en affleurement (décapage principal – étoile pour emplacement (A)) et en forages (échantillon 58_30.2 (B) et 58_117.5 (C)).	130
Figure 4.7 Exemple de signal d'analyse d'un grain de pyrite au LA-ICP-MS avec exemples de boîtes d'intégration du signal pour l'échantillon B11PY2.....	132
Figure 4.8 Cartographie élémentaire d'une pyrite de type 1 et 2 (BVA-06).....	133
Figure 4.9 Cartographie élémentaire d'une pyrite de type 1 et 2 (62_448).....	133
Figure 4.10 Cartographie élémentaire d'une pyrite de type 3 (66_210.8).....	134
Figure 4.11 Cartographie élémentaire d'une pyrite de type 4 (BVA-04).....	134
Figure 4.12 Zonalités métallifères et superposition des générations de pyrites primaires (rouge) métamorphiques (jaune) et hydrothermale tardive (vert) provenant des cartes élémentaires des Figures 4.7, 4.8 et 4.10.....	135
Figure 4.13 Cartographie élémentaire d'un grain d'oxyde (éch. BVA-26) Valeurs en ppm.....	136
Figure 4.14 Cartographie élémentaire d'un oxyde (éch. 66_286). Valeurs en ppm.....	137
Figure 4.15 Grains d'or libre associé à des pyrites de type 3 et 4 dans la partie nord de l'intrusion. (A) et (B) échantillon 66_210.8. Lumière réfléchie.....	138
Figure 4.16 Autre exemple de grains d'or libre au sein d'une fracture d'une pyrite métamorphique. Échantillon 66_210.8, lumière réfléchie.....	139

Figure 4.17 Or libre dans une veinule de Quartz-calcite-pyrite, échantillon 65_205.5. Lumière réfléchie.....	139
Figure 4.18 Signal d'analyse d'un grain d'oxyde avec trace du laser; échantillon BVA1OX1B. Intensité du signal en CPS (comptes par seconde) en fonction du temps.....	140
Figure 4.19 Diagrammes en boîtes à moustaches des valeurs d'analyse pour les grains de pyrite (lignes totales, cœurs et bordures) avec les limites de détection (minimales et maximales).....	141
Figure 4.20 Graphiques Au vs As (A); Au vs Ag (B); Au vs Cu (C); Au vs Bi+Te (D) pour les lignes totales, les cœurs et les bordures des grains de pyrite analysés au LA-ICP-MS.....	142
Figure 4.21 Diagrammes de quantification chimique pour les oxydes (lignes totales).	144
Figure 4.22 Comparaison des compositions en Ni et Co entre pyrites et oxydes...	145
Figure 5.1 Localisation des forages et des échantillons de veines de quartz à l'échelle de la propriété.....	157
Figure 5.2 Aspect de différents blocs de veines de quartz.....	158
Figure 5.3 Veine de quartz-carbonates (échantillon BVC - secteur sud du pluton) avec altérations hydrothermales caractéristiques de la minéralisation au sein du pluton, mais qui ne porte pas de valeur aurifère.....	159
Figure 5.4 Typologie des inclusions fluides selon Roedder (1979).....	160
Figure 5.5 Exemple commun des types d'inclusions fluides rencontrées dans les grains de quartz au sein du Stock de Boyvinet : IF1 (dominance liquide); IF2 (dominance gazeuse) et IF3 (liquide+gaz).....	161
Figure 5.6 Graphique des données d'analyse par spectrométrie de masse à sonde solide.....	162
Figure 5.7 (A) Graphique de la composition en gaz des 24 échantillons placés en ordre décroissant de pression totale (mbar) des gaz calculée. (B) Teneurs aurifères (Au ppb) reliées à chaque échantillon, avec la pression totale (mbar).....	163
Figure 6.1 Interprétation de la migration des pôles minéralogiques induite par l'altération hydrothermale.....	186
Figure 6.2 Paragénèse, relations spatiales et intensité des altérations hydrothermales en fonction de la minéralisation.....	187

Figure 6.3 Figure 6.3 Figure synthèse de l'évolution des pyrites et des inclusions de silicates-sulfures-oxydes.....	188
Figure 6.4 Figure 6.4 Modèle évolutif de la minéralisation proposé.....	189
Figure 6.5 Levé aéromagnétique de la propriété Lac Shortt (SOQUEM Inc., 2004) avec contacts géologiques (Faure, 2012), décapages, structures minéralisées interprétées, auréole magnétique interprétée, cibles d'exploration et proposition de levé P.P.....	190
Figure 6.6 Association entre les altérations hydrothermales à l'échelle du décapage principal et le levé magnétique aéroporté de la propriété.	191
Figure 6.7 (A) Zones ciblées pour les minéralisations de type orogénique par Faure et al. (2008). En rouge les zones ciblées, les croix étant des gîtes aurifères connus. (B) Typologies des intrusions dans le secteur de Lebel-sur-Quévillon / Lac Shortt définis par Faure (2011).....	192

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Résumé des altérations hydrothermales des modèles : en rouge celles discriminantes.....	35
Tableau 1.2 Récapitulatif des caractéristiques discriminantes des modèles génétiques introduites.....	36
Tableau 2.1 Résultats des analyses à la micro-fluorescence X des minéraux (% poids) : plagioclases, feldspaths potassiques et carbonates provenant de l'affleurement principal (Côté-Lavoie, 2013)	60
Tableau 4.1 Éléments et standards internes utilisés pour les analyses des pyrites (A) et des oxydes (B) au LA-ICP-MS	132
Tableau 4.2 Valeurs moyennes et médianes d'éléments discriminants au sein des coeurs, bordures et lignes totales dans les grains de pyrite (n=8)	143
Tableau 5.1 Liste des échantillons, leur composition en gaz (%), pression totale calculée (mbar) et leur teneur aurifère (Au ppb). Les échantillons en jaunes étaient ceux considérés comme minéralisés à partir des travaux de terrain et descriptions de carottes de forage.....	164

Chapitre 1

Introduction

1.1 Problématique générale

Les minéralisations à or-cuivre disséminées représentent une part importante des gisements exploités pour ces métaux. Il s'agit donc de cibles d'exploration très intéressantes. Le problème est que les minéralisations à or-cuivre disséminées sont communes et sont formées dans des environnements variés, notamment dans des gisements associés à des plutons ou systèmes intrusifs. Par exemple, les systèmes IOCG (Iron-Oxide-Copper-Gold : Sillitoe, 2003; Groves et al., 2010; Richard et Mumins, 2013), porphyriques (Sillitoe, 2010; Richard et Mumin, 2013), IRGS (Intrusion-Related Gold Systems : Sillitoe, 1998; Hart et Goldfarb, 2005) ou même des systèmes d'or orogéniques (Robert et Poulsen, 1997; Groves et al., 1998) sont des types génétiques qui peuvent mener à ce genre de minéralisation. Afin de bien distinguer ces types génétiques, il faut connaître leurs caractéristiques discriminantes. De plus, selon le modèle, la distribution spatiale des métaux est spécifique et cela touche directement les stratégies d'exploration.

Les caractéristiques discriminantes incluent : 1) le contexte tectonique de mise en place des plutons associés au système, 2) la géochimie des intrusions, 3) les altérations hydrothermales proximales et distales, 4) la zonalité possible des métaux dans les minéralisations, 5) les chronologies relatives de mise en place des intrusions, et 6) la composition des fluides minéralisateurs. Au final, des

caractéristiques discriminantes seront établies pour chaque type de gisement abordé.

À titre d'exemple, la ceinture de roches vertes de l'Abitibi contient plusieurs intrusions à minéralisations or-cuivre disséminées. Les intrusions ont une histoire complexe, variant de syn-volcaniques à post-tectoniques (Gaboury, 2006). Des cas typiques d'intrusions syn-volcaniques telles le Flavrian-Powell ou le Bourlamaque en Abitibi (Gaboury, 2006) et le pluton de Chibougamau (Leclerc et al., 2012; Côté-Mantha et al., 2012) ont des minéralisations aurifères et cuprifères importantes. Pour les intrusions tardi-tectoniques, le pluton d'O'Brien à Desmaraisville présente aussi une minéralisation à pyrite aurifère disséminée dans une syénite tardive (Lauzière, 1989). Ces exemples démontrent de façon concrète que ce type de minéralisation se forme dans différents contextes et qu'il faut s'attaquer aux caractéristiques discriminantes afin de cerner le bon modèle d'exploration. La revue des modèles introduits (IOCG, porphyrique, IRGS et or orogénique dans l'ordre) permettra de déterminer leurs caractéristiques discriminantes.

En fonction des modèles à or-cuivre disséminés, différents contextes de mise en place de plutons associés aux systèmes minéralisés sont connus (Goldfarb et al., 2005; Figure 1.1). Les contextes de mise en place de systèmes IOCG sont généralement intracratoniques et anorogéniques et localement associés à des contextes d'extension arrière-arc (Pollard, 2006; Groves et al., 2010; Richards et Mumin, 2013). Les gisements d'or orogéniques eux, sont associés à des contextes de formation en raccourcissement tectonique et localement aux régimes d'extension arrière-arc (quoique partagé avec le type Carlin; Goldfarb et al., 2005). Les systèmes

porphyriques sont quant à eux retrouvés dans les arcs continentaux et océaniques ainsi qu'aux orogénies associés à des zones de subduction, contrairement aux IRGS qui se mettent en place principalement en contexte d'arrière-arc ou intracratonique (comparable aux IOCG; Lang et Baker, 2001; Hart, 2004; 2005). Les compositions des intrusions pour chaque modèle métallogénique, ainsi que leur chronologie relative de mise en place sont résumées au Tableau 1. Les encadrés rouges sont les caractéristiques qui semblent discriminantes pour certains modèles. Il faut souligner que la composition du pluton et la chronologie relative de mise en place ne sont pas des caractéristiques discriminantes pour les systèmes IRGS.

Modèle IOCG

Il s'agit de systèmes où des magmas alcalins de compositions ultramafiques à felsiques sont génétiquement liés à la formation des minéralisations. Ceux-ci se mettent en place à faible ou moyenne profondeur dans le craton (<10 km de la paléosurface). Généralement d'âge protérozoïque, les teneurs en or varient entre 0,2 et 1g/t Au et entre 0,5 et 2% Cu (Groves et al., 2010). Les particularités des altérations hydrothermales de ce type de gisement se traduisent par une altération sodique (albite-magnétite-actinolite) régionale intense et proximale à la minéralisation, avec un halo d'altération potassique (feldspath potassique-sericite-magnétite-quartz±biotite-actinolite-chlorite) distal. À la paléosurface, l'altération phyllique (riche en hématite-séricite-carbonates-quartz±chlorite; Figure 1.2) est proximale à la minéralisation (Hitzman et Valenta, 2008; Monteiro et al., 2008; Groves et al., 2010; Richards et Mumin, 2013). Les fluides minéralisateurs des systèmes IOCG ont une

salinité élevée ($\pm 30-40\%$ poids) avec un assemblage d'éléments volatiles composé de H₂O et CO₂ (Pollard, 2001, 2006; Richards et Mumin, 2013).

Un seul exemple, mais toujours contesté, d'IOCG d'âge archéen est le gisement Salobo au Brésil (Requia et al., 2003). Certaines interprétations portent tout de même vers un système de formations de fer métamorphisées et enrichies hydrothermalement. À l'échelle du gisement, la concentration métallique évolue notamment en fonction du pourcentage d'oxydes de fer dans les horizons minéralisés.

Modèle porphyrique

Les magmas des systèmes porphyriques sont d'affinité calco-alcaline, enrichis en H₂O et en volatiles. Les altérations hydrothermales sont très marquées et définies selon des zonations concentriques. Du centre de l'intrusion vers la bordure (Lowell et Gilbert 1970; Sillitoe, 2010), on reconnaît l'altération potassique (feldspath K-biotite), phyllique (quartz-sericite) et propylitique (chlorite-épidote-albite-carbonate) (Sillitoe, 2010; Richards, 2011). La minéralisation se retrouve principalement dans le cœur potassique, sous forme de dissémination de sulfures et veines de quartz. La Figure 1.2 présente cette zonalité d'altération ainsi que la zonalité des sulfures en fonction de la profondeur de l'intrusion et de la chronologie relative des altérations hydrothermales. Les métaux sont également répartis selon une certaine zonalité apparente, soit riche en Au-Cu-Mo disséminés au centre de l'intrusion vers des systèmes à Au-Cu-métaux de base (brèches et veines) dans l'encaissant (Richards et Mumin, 2013). Les fluides impliqués dans les

minéralisations sont dits hypersalins, soit à salinité très élevée (30 - >50% éq. NaCl) et riches en H₂O (Richards et Mumin, 2013).

Un exemple de système porphyrique Au-Cu d'âge archéen est le gisement Troilus, au nord de Chibougamau. Goodman et al. (2005) ainsi que Fraser (1993) ont fait une description complète de ce gisement, ainsi que du contrôle structural sur la minéralisation. La conclusion de Fraser (1993) est que la minéralisation cuprifère est disséminée *in situ* dans l'intrusion aux contacts des brèches alors que Goodman (2005) associe l'or à un apport tardif de type orogénique dans des réseaux de veines de quartz en périphérie des zones de brèches.

Une comparaison entre les systèmes IOCG et porphyrique permet de voir les grandes différences entre les deux modèles (Figure 1.2; Richards et Mumin, 2013). En premier lieu, le contexte de mise en place, mais aussi les halos d'altérations hydrothermales et la zonalité métallifère varient grandement pour chacun des cas.

Modèle IRGS

Il s'agit de systèmes spatialement liés à des intrusions de granitoïdes de composition variable et d'affinité alcaline à sub-alcaline, mises en place près de la paléosurface (Hart, 2004; 2005). Les altérations varient d'un gîte à un autre, mais de façon générale, l'altération proximale est potassique (feldspath K), riche en carbonates et siliceuse (Lang et Baker, 2001). La particularité qui différencie le modèle IRGS des précédents est la zonalité des cortèges métalliques proximaux et distaux. Dans l'intrusion même (*intrusion-hosted* dans la littérature) un cortège à Au-Bi-Te±W, Mo, As est développé. À l'extérieur de l'intrusion, mais proximal dans les

roches encaissantes, il s'agit de Au-As±W alors que l'assemblage Au-As-Sb±Ag, Pb, Zn est distal (Figure 1.3; Hart, 2005). Les assemblages métalliques compris dans l'intrusion indiquent un apport magmatique alors que de façon distale, c'est la réaction fluides-encaissants qui est traduite par un enrichissement en métaux de base. Les fluides minéralisateurs sont à salinité faible-moderée (<25% poids éq. NaCl) avec un assemblage de volatiles à CO₂-CH₄-N₂-H₂S (Sillitoe et Thompson, 1998).

Le gisement Canadian Malartic d'Osisko est un exemple de gisement associé à un modèle IRGS d'âge archéen. Helt et al. (2014) l'interprètent comme tel, même s'il s'agit d'un gisement qui au fil des années a reçu l'étiquette de plusieurs modèles génétiques. Associée à de petits stocks porphyriques, la minéralisation est composée de réseaux de veinules de quartz avec or libre et tellurures, molybdénite et sulfures de métaux de base dans l'encaissant.

Un autre exemple concret de modèle Au-Cu IRGS archéen et riche en magnétite est le prospect Brosman à Chibougamau. Côté-Mantha et al. (2012) font le lien entre la présence de minéralisation avec un cortège métallique d'affinité magmatique dans, et en périphérie du pluton du Lac Line et de remobilisation hydrothermale tardive à Au-Cu dans les roches volcaniques encaissantes (distales).

Modèle or orogénique

Les systèmes de minéralisations aurifères de type orogénique ne sont pas directement associés à la mise en place de plutons, mais ceux-ci peuvent servir d'encaissants aux réseaux de veines et veinules qui forment les corps minéralisés.

N'étant pas une caractéristique discriminante, la composition des plutons est très variable (monzodiorite à syénite; d'affinité tholéiitique à calco-alkaline). La grande différence par rapport aux autres modèles est que la mise en place de la minéralisation est tardi-tectonique, associé à des structures dilatantes (Robert, 2001; Gaboury et al., 2001; Phillips et Powell, 2010). Les altérations hydrothermales proximales se traduisent par une forte séricitisation, localement une albitisation intense et la présence de carbonates de fer dans les épontes des veines. Distales par rapport à la minéralisation, on retrouve des altérations en feldspath K, \pm albite, magnétite, chlorite et épidote (Groves et al., 1998; Eilu, 1999). Les zonalités métalliques sont quasi-inexistantes. Les fluides sont faiblement salins (<5% poids éq. NaCl) et contiennent un cortège complexe d'éléments volatiles à $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-N}_2\text{-CH}_4\pm\text{C}_2\text{H}_6\pm\text{H}_2\text{S}$ à dominance de CO_2 et CH_4 (Gaboury, 2013). Outre la formation tardive des minéralisations, la composition complexe en éléments volatiles des fluides minéralisateurs, dont l'éthane (Gaboury, 2013), est une caractéristique discriminante. Un exemple achéen, qui illustre bien le concept d'intrusion comme réceptacle, est la Mine Sigma, où les veines aurifères sont restreintes au corps intrusif principalement (Robert et Brown, 1986a).

1.2 Application d'une méthode de classification métallogénique par test de caractéristiques discriminantes

Suite à cette revue, les caractéristiques discriminantes ont été dégagées pour chaque modèle génétique (Tableaux 1.1 et 1.2). Les altérations hydrothermales (Tableau 1.1), les zonalités métalliques, la composition minéralogique des plutons et leur chronologie relative de mise en place ainsi que la composition en éléments volatiles et la salinité des fluides minéralisateurs ont été compilées (Tableau 1.2). À noter que dans le cas du Tableau 1.1, le modèle IRGS a comme particularité de ne pas avoir d'altérations hydrothermales discriminantes (encadré noir).

Le Stock de Boyvinet : cas d'étude

La propriété Lac Shortt de SOQUEM Inc. est située entre Desmaraisville et Waswanipi, dans la zone volcanique Nord (Daigneault, 2004) de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi (Figure 1.4). Elle renferme des indices aurifères et cuprifères associés à une intrusion, nommé Stock de Boyvinet, et qui est considérée comme syénitique (Sharma et Lacoste, 1981; Brisson, 1998; Folco, 2003). Dans le secteur d'étude, les travaux d'exploration ont essentiellement été guidés par les intrusions syénitiques, puisque celles-ci sont hôtes de gisements exploités (Lac Shortt) ou en exploitation (Lac Bachelor) (Lauzière, 1989; Brisson, 1998; Folco, 2000). Lors d'un récent projet de fin d'études (Côté-Lavoie, 2013), il a été démontré que l'intrusion n'était pas une syénite, mais bien une intrusion d'affinité calco-alcaline de composition mozonitique à monzodioritique. De plus, la chimie des roches volcaniques encaissantes est similaire à celle de l'intrusion, suggérant fortement une source magmatique similaire.

1.3.1 Géologie du secteur

Situé dans la Province du Supérieur (Sous-province de l'Abitibi), le secteur du Lac Shortt se compose de roches volcaniques et volcanoclastiques ainsi que de roches intrusives, toutes d'âge archéen (Figure 1.5). Plusieurs travaux de cartographie y ont été réalisés dans le secteur, notamment dans les années 1980 (Sharma et Lacoste, 1981; Sharma et Lauzière, 1983; Sharma et Gobeil, 1987). On y retrouve notamment dans le secteur, la Formation d'Obatogamau (basaltes massifs jusqu'à rhyodacites), d'épaisseur plurikilométrique et la Formation de Ruisseau Dalime, composée de roches volcanoclastiques (Allard et Gobeil, 1984; Racicot et al., 1984). Le Complexe anorthositique de la Rivière Opawica et le Complexe de la Chute à l'Esturgeon (composition ultramafique à intermédiaire; Lamothe, 1983) forment des systèmes intrusifs majeurs d'âge archéen à protérozoïque dans la région. Quelques lamprophyres ultrabasiques sont aussi reconnus dans le secteur (Bourne et Bossé, 1991). La déformation se concentre principalement dans les portions de la ceinture à caractère volcano-sédimentaire, et la tectonique induite par l'orogénie kénoréenne est responsable de la verticalisation et du métamorphisme des roches environnantes au faciès des schistes verts (Chown et al, 1992; Daigneault et al. 2002).

La schistosité régionale a une orientation variant entre N070° et N090° avec un pendage subvertical (Brisson, 1998; Folco, 2000). Jusqu'à 6 événements de déformation ont été déterminés dans le secteur (Brisson, 1998). Deux familles de failles principales ont été reconnues régionalement, à savoir : 1) les failles à rejet pendage (inverses et inverses dextres), et 2) les failles à rejet directionnel et oblique

(senestres et senestres obliques). Brisson (1998) a toutefois signalé qu'aucune étude pétrologique ou géochimique ne laisse entrevoir de différence significative entre les minéralisations et les altérations hydrothermales en fonction des gisements associés à l'une ou l'autre des familles de failles abordées précédemment. Certaines structures orientées ENE à E, dont la faille du Lac Shortt (mouvement inverse) et la faille Opawica (à dominance inverse-dextre) sont des structures importantes localisées respectivement aux bordures nord et sud du Stock de Boyvinet (Brisson, 1998; Faure, 2011). Elles sont secondaires par rapport à la structure Wedding-Lamarck, située plus au Sud de la propriété (Sharma et Lacoste, 1981; Charbonneau et al., 1983; Boisvert, 1986; Faure, 2011).

Brisson (1998) a fait une étude détaillée des types de minéralisations du secteur Lac Shortt, notamment aux pourtours du Stock de Boyvinet, se concentrant particulièrement sur la mine du Lac Shortt et les indices aurifères connus à proximité (Figure 1.5). La minéralisation reconnue dans le Stock de Boyvinet se présente sous la forme de pyrite disséminée, communément cryptique, dans des zones faiblement à moyennement altérées (Folco, 2000; Côté-Lavoie, 2013).

Au final, la grande question pour le Stock de Boyvinet est de déterminer si la minéralisation aurifère observée est d'un type commun, mais dont l'expression est faible, ou d'un nouveau type qui n'aurait pas été reconnu avant dans le secteur. À cet égard, il est fondamental de bien déterminer le modèle génétique pour la minéralisation de ce secteur, d'où l'importance d'appliquer les guides de discrimination présentés précédemment. Le secteur Lac Shortt est donc un terrain-laboratoire idéal pour tester la série de caractéristiques discriminantes pour les

modèles génétiques décrits précédemment. Enfin, il existe de nombreux plutons synvolcaniques dans cette ceinture de roches vertes qui auraient le potentiel d'être l'hôte de minéralisations cryptiques similaires à celle du Stock de Boyvinet.

1.4 Buts et objectifs de l'étude

Ce projet est construit autour d'un but principal : établir un modèle métallogénique pour les minéralisations Au-Cu de Boyvinet en utilisant les caractéristiques discriminantes des modèles métallogéniques connus (Tableaux 1.1 et 1.2). Plus spécifiquement, les 5 objectifs suivants, qui correspondent aux caractéristiques discriminantes, seront abordés.

1. Établir les relations chronologiques entre hydrothermalisme, injection magmatique, métamorphisme et déformation;
2. Déterminer la signature géochimique de l'intrusion;
3. Définir les altérations hydrothermales;
4. Définir le cortège métallique de la minéralisation;
5. Caractériser la composition des fluides minéralisateurs.

1.5 Méthodologie

Dans cette section, l'approche méthodologique est détaillée selon les objectifs (section 1.4). L'étude repose sur deux volets : terrain et laboratoire. Le travail de terrain a été centré essentiellement sur une cartographie de détail des décapages accessibles pour collecter les informations de terrain qui constituent la base de la recherche, ainsi qu'une re-description et l'échantillonnage de forages carottés sélectionnés. Le volet laboratoire inclut des analyses fines à partir des échantillons récoltés sur le terrain (affleurements et forages). L'étude a été réalisée sur 5 décapages et 11 trous de forage (Figure 1.6 et 1.7). Les observations et échantillons utilisés ont permis entre autre de définir ou de préciser les relations minéralogiques et de fournir les données géochimiques nécessaires pour répondre aux objectifs. Plus spécifiquement, la méthodologie est présentée ci-dessous en fonction des objectifs.

Établir des relations chronologiques

À partir des travaux de cartographie de détail sur les décapages disponibles, des relations chronologiques entre, les lithologies, les altérations hydrothermales, la déformation et les assemblages métamorphiques permettront de déterminer les liens temporels entre différents événements importants, comme les épisodes magmatiques et la minéralisation, par exemple. Dans certains cas, ces relations seront précisées et validées en lames minces, par l'utilisation de la microscopie optique (UQAC).

Déterminer la signature géochimique de l'encaissant

La lithogéochimie des échantillons « frais » permettra de définir la signature géochimique de l'intrusion encaissant la minéralisation, et du même fait, de vérifier s'il s'agit d'une seule lithologie à partir des signatures en éléments majeurs (mobiles et immobiles) et traces. Des diagrammes de types « Streckeisen » (QFP) pour déterminer les types d'intrusion (sur les bases de la minéralogie; Streckeisen, 1976; Lameyre et Bowden, 1982), de type « Harker » ou de discrimination géochimique (ratios d'éléments majeurs ou traces; Harker, 2011) et des « spidergrams » (diagrammes de terres rares normalisés sur le manteau; Sun et McDonough, 1989) seront utilisés afin de définir l'affinité géochimique de l'intrusion et de déterminer s'il y a des variations compositionnelles. Des diagrammes de discrimination géochimique pourront être utilisés pour classifier l'environnement tectonique de mise en place de l'intrusion (Pearce, 1984) avec un rapport entre les éléments Rb, Y et Nb, basé sur les enrichissements mantelliques ou crustaux de certains éléments dans les intrusions granitiques. La détermination d'une « signature type », ou composition moyenne des échantillons permettra d'établir une composition chimique de base pour caractériser les altérations hydrothermales (méthode discutée ci-dessous). De plus, la minéralogie en lames minces pourra aider à déterminer les variations minéralogiques au sein de la lithologie encaissante et de corrélérer les changements associés aux altérations hydrothermales et à la minéralisation par rapport à la lithologie encaissante « fraîche ».

Définir des cortèges métalliques discriminants

À partir des récentes avancées concernant l'utilisation du LA-ICP-MS (p. ex. Large et al., 2009; Cook et al., 2013; Genna et Gaboury, 2015; Augustin et Gaboury, 2015) pour les assemblages et la répartition spatiale de métaux contenus dans les grains de pyrite, il est possible de déterminer la signature métallique de la minéralisation. Ces informations sont importantes quant à la compréhension des processus minéralisateurs (Thomas et al., 2011) et permettent d'interpréter l'origine des minéralisations selon leur assemblage de métaux. Cette approche est aussi utilisée pour les oxydes de fer (Dupuis et al., 2011; Dare et al., 2014; Nadoll et al., 2014). Les données analytiques ont été générées par le LA-ICP-MS de l'UQAC selon des protocoles internes en utilisant des lignes d'analyse. L'interprétation est basée sur des diagrammes qui combinent des teneurs en métaux et certains permettent ainsi de déterminer des affiliations génétiques (Dupuis et al., 2011; Dare et al., 2014).

Caractériser les altérations hydrothermales

Les altérations hydrothermales observées sur le terrain ont été décrites en lames minces. Selon le Tableau 1.1, certaines paragenèses d'altérations hydrothermales sont discriminantes spatialement pour certains modèles génétiques, notamment pour les systèmes IOCG et porphyrique. Pour les analyses géochimiques, elles ont été effectuées par un laboratoire externe (ALS Chemex). L'ensemble d'analyse comporte 58 éléments (traces, majeurs, LOI, métaux), analysés par ICP-MS et ICP-AES. Les données de ces analyses ont permis d'effectuer des bilans de masse pour comparer les gains et pertes d'éléments

chimiques mobiles (Si, Na, Ca, K, Mg, Fe, Rb, Sr) par rapport aux éléments immobiles (Ti, Al, Y, Zr) à partir de logiciels de calculs de bilans de masse (ex : Lithomodeleur; Trépanier et al., 2016) dans les zones altérées et minéralisées selon les travaux de McLean et Barrett (1992) et Franklin (1997). La lithogéochimie permettra de déterminer s'il y a perte ou gain d'éléments majeurs ou traces associés aux altérations proximales/distales par rapport aux corps minéralisés. Les pertes et les gains chimiques devraient se traduire par la minéralogie des altérations hydrothermales observées sur le terrain et confirmées en lames minces.

Caractériser les fluides minéralisateurs

Il est reconnu que les compositions en éléments volatiles varient d'un type de gisement à un autre (Tableau 1.2). Dans le cas des gisements d'or orogéniques, les travaux de Gaboury (2013) démontrent que la composition générale des inclusions est à H₂O-CO₂, avec communément des traces de méthane (CH₄) et d'éthane (C₂H₆) qui est une signature caractéristique des fluides minéralisateurs. Les éléments volatiles dans les inclusions fluides ont été analysés au LAMEQ par la technique de spectrométrie de masse à sonde solide selon la méthode de Gaboury et al., (2008). En plus, une analyse pétrographique des inclusions fluides dans les grains de quartz a été effectuée pour déterminer des familles (composition, forme, chronologie) selon les travaux de Roedder (1979, 1984) et de Bodnar (2003). Il est également possible de déterminer au microscope (LAMEQ) la composition des phases dans les inclusions (solides, liquides, gazeuses), et donc d'établir indirectement une salinité relative. Par exemple, dans les systèmes porphyriques, les inclusions fluides à température ambiante renferment des cristaux d'halite observables au microscope,

indiquant une très forte salinité des fluides minéralisateurs (Richards et Mumin, 2013).

Structure du mémoire.

Chacun de ces objectifs constitue un Chapitre du document. Le Chapitre 2 aborde la caractérisation géologique du Stock de Boyvinet. Le Chapitre 3 traite des altérations hydrothermales selon la minéralogie et la chimie. Le Chapitre 4 est dédié aux minéralisations, alors que le 5 traite des fluides minéralisateurs. Enfin le Chapitre 6 présente une synthèse à partir de laquelle un modèle métallogénique et des cibles d'exploration sont proposées, de même que les implications pour l'exploration à l'échelle locale et régionale.

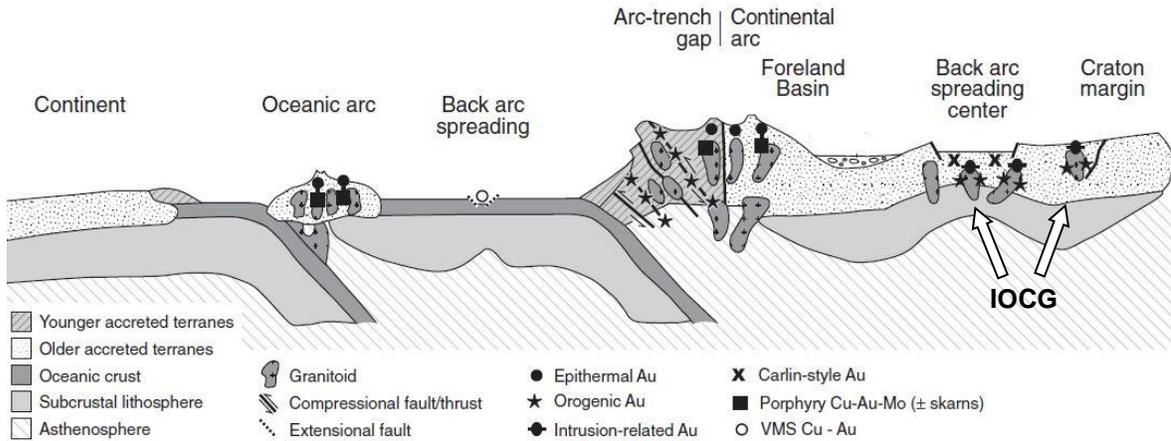


FIG. 2. Schematic diagram showing the tectonic setting of various gold deposit types. Orogenic gold deposits develop in the forearc region of a convergent continental margin over a wide range of crustal depths and may also develop in deformed back-arc sedimentary sequences seaward of the craton margin. Reduced intrusion-related gold deposits form inland of accreted terranes along shelf sequences of a craton margin. After Groves et al. (2005).

FIGURE 1.1 - CONTEXTE DE MISE EN PLACE DE PLUSIEURS TYPES DE MINÉRALISATIONS AURIFÈRES, MODIFIÉE DE GOLDFARB ET AL. (2005)

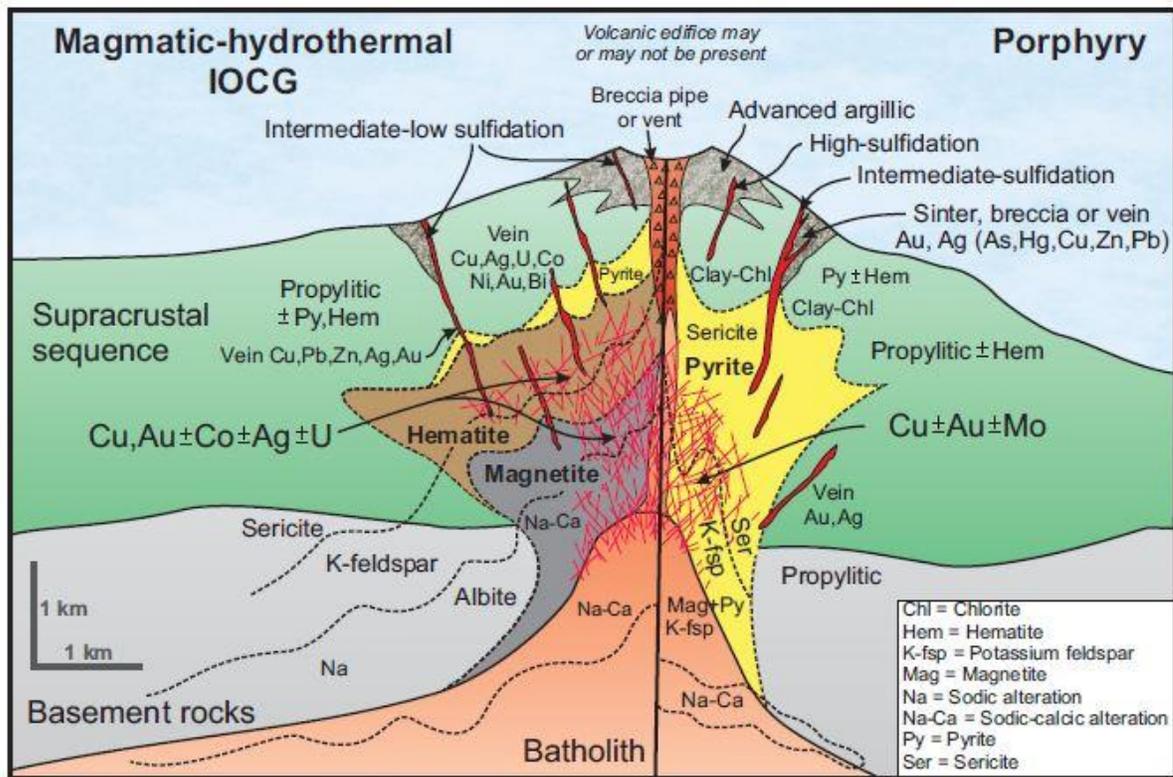


FIGURE 1.2 - COMPARAISON DES MODÈLES IOCG ET PORPHYRIQUE (RICHARDS ET MUMIN, 2013)

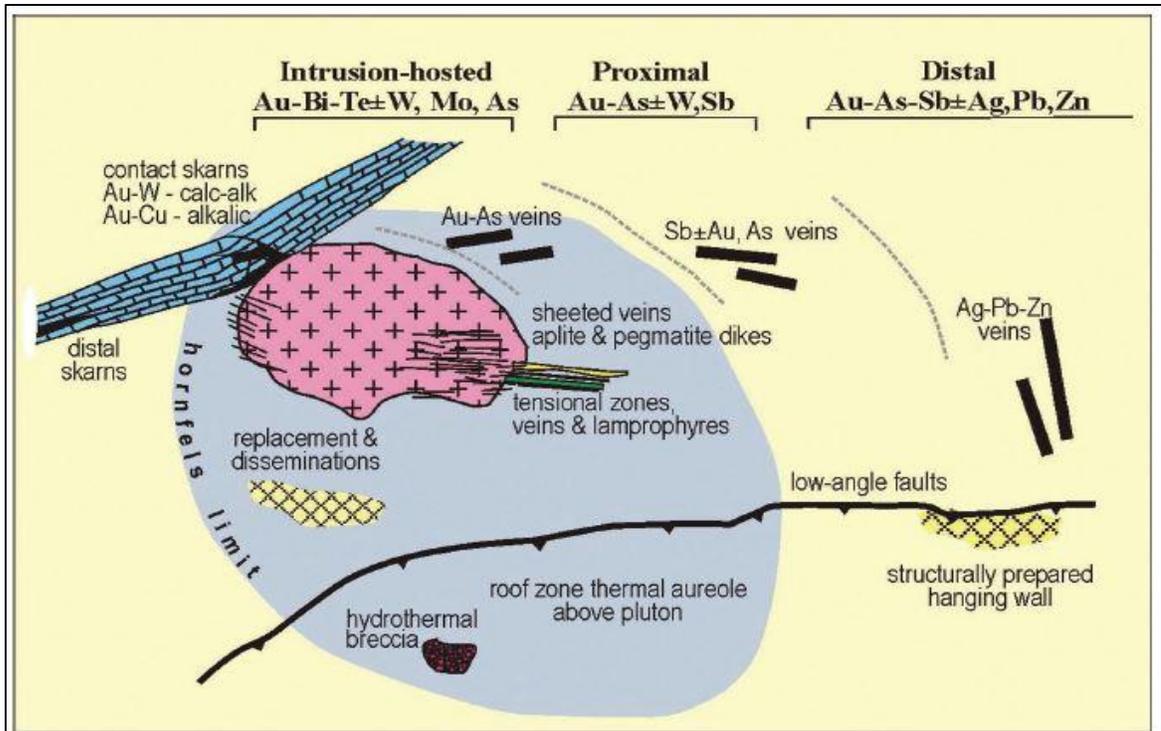


FIGURE 1.3 - MODÈLE IRGS SELON HART (2005) AVEC ZONALITÉ DES CORTÈGES MÉTALLIQUES

TABLEAU 1.1 - RÉSUMÉ DES ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES DES MODÈLES : EN ROUGE CELLES DISCRIMINANTES; EN NOIR, PAS DE CARACTÉRISTIQUES DISCRIMINANTES POUR LES SYSTÈMES IRGS.

Altérations	IOCG	Porphyrique	IRGS	Or orogénique
Feldspath-K				
Albite				
Sericite/ Muscovite				
Hematite				
Magnetite				
Sulfures				
Chlorite				
Argilique				
Epidote				
Amphibole				
Carbonates				
Silice				
	Distal----->Proximal	Distal----->Proximal	Distal----->Proximal	Distal----->Proximal
Sources:	Faure (2003) Richards and Mumin (2013)	Sillitoe (2010), Richards and Mumin (2013)	Lang and Baker (2001) Goldfarb, Baker et al. (2005)	Groves (1998) Eilu, Mathison et al. (1999)

TABLEAU 1.2 - RÉCAPITULATIF DES CARACTÉRISTIQUES DISCRIMINANTES DES MODÈLES GÉNÉTIQUES INTRODUITES. EN ROUGE, CELLES LES PLUS IMPORTANTES POUR CHACUN DES MODÈLES.

Modèle	Composition pluton	Chronologie relative de mise en place	Zonalités métalliques			Assemblage de volatiles	Salinité des fluides	Caractéristiques discriminantes
			Distal	Intermédiaire	Proximal			
IOCG	Diorite à Granitoïde (Alcalin à sub-alcalin)	Tardif	Cu-Au-Pb-Zn-Ag (veines)	Cu-Au-Ag-U-Co-Ni-Bi (veines)	Cu-Au-Fe±Co±Ag±U±ETR (veines+disséminé)	H2O-CO2	NaCl-KCl Élevée (±30-40% poids)	Halos d'albitisation, d'hématite et de magnétite très larges (régional); Zones de brèches à magnétite semi-massive à massive; Fluides à salinité
Porphyrique	Monzo à Granodiorite (Calco-alcalin)	Synvolcanique	Associé aux systèmes de type "skarn"	Au-Ag (veines-profond); Au-Ag±Cu±As±Hg±Zn±Pb (brèches ou veines-surface)	Cu-Au±Mo (stockwerks ou veines)	H2O	NaCl-KCl Très élevée (±30 - >50% poids)	Zonalités d'altérations très bien définies avec cœur enrichi en K; Texture ignée porphyrique; Fluides hypersalins
IRGS	Granitoïdes (Alcalin à sub-alcalin)	Syntectonique	Au-As-Hg±Ag±Pb±Zn (dissémination) et Au-Sb et Ag-Pb-Zn±Au (veines)	Au-As±Sn±W±Sb±Pb±Zn et As-Au (veines) et aussi en remplacement (disséminé)	Au-Bi-Te-W±Mo±As±Pb (veines+brèches) Mo-Au (veines+apiltes) Systèmes "skarn"	CO2-CH4-N2-H2S	NaCl Faible à modérée (<25% poids)	Métaux d'affinité magmatique: Mo, Sn, Bi, Te, W; Appauvris en métaux de base; Zonalités métalliques proximales et distales
Or orogénique	Monzo-diorite à Syénite (Tholéiitique à calco-alcalin)	Tarditectonique*	Cortèges métalliques à As-Ag-B-Bi-Se-Hg-Mo-Sb-Te-W±Cu±Pb±Zn		Au-Ag-Cu (veines d'extension)	CO2-H2O-N2-CH4±C2H6±H2S	Faible (< 5% poids)	Fluides: dominance de CO2-H2O-CH4-C2H6 et faiblement salins; Associé à des stockwerks de Qz-CB; Dans des structures de déformation ductile-fragile; Altération hydrothermale proximale en carbonates de fer
Sources	Groves et al. (1998); Robert (2001); Hart and Goldfarb (2005); Pollard (2006); Richards (2009); Faure (2010); Sillitoe (2010); Richards and Mumin (2013)		Lang et Baker (2001); Wilkinson (2001); Baker et al. (2005); Sillitoe (2010); Richards and Mumin (2013)			Sillitoe and Thompson (1998); Ridley and Diamond (2000); Pollard (2001; 2006); Wilkinson (2001); Jébrak et Marcoux (2008); Gaboury (2013) Richards and Mumin (2013)		

*Relié à la mise en place de la minéralisation; la mise en place des plutons peut varier de syn- à tardi-tectonique

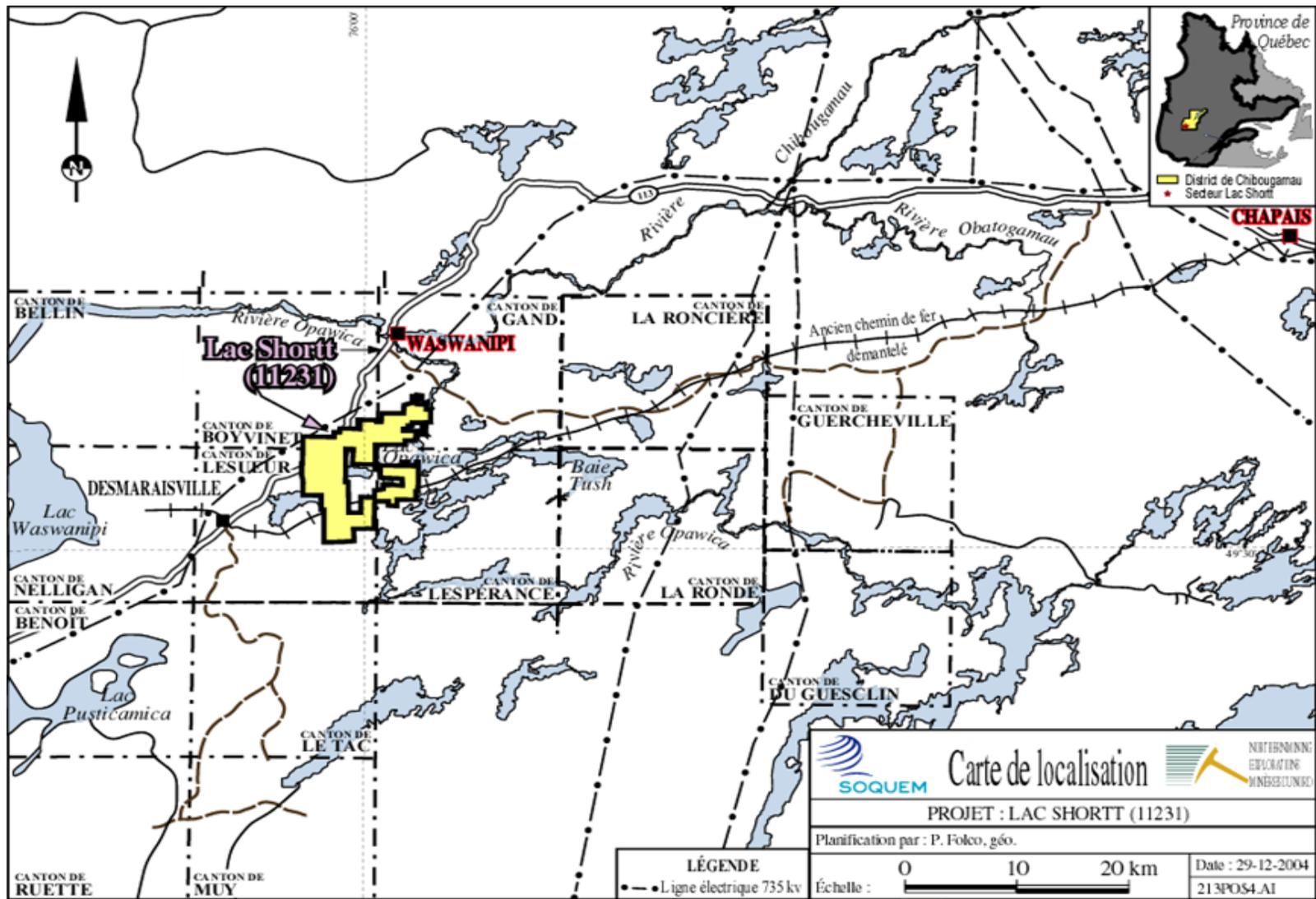


FIGURE 1.4 - LOCALISATION DU PROJET LAC SHORTT (SOQUEM INC.)

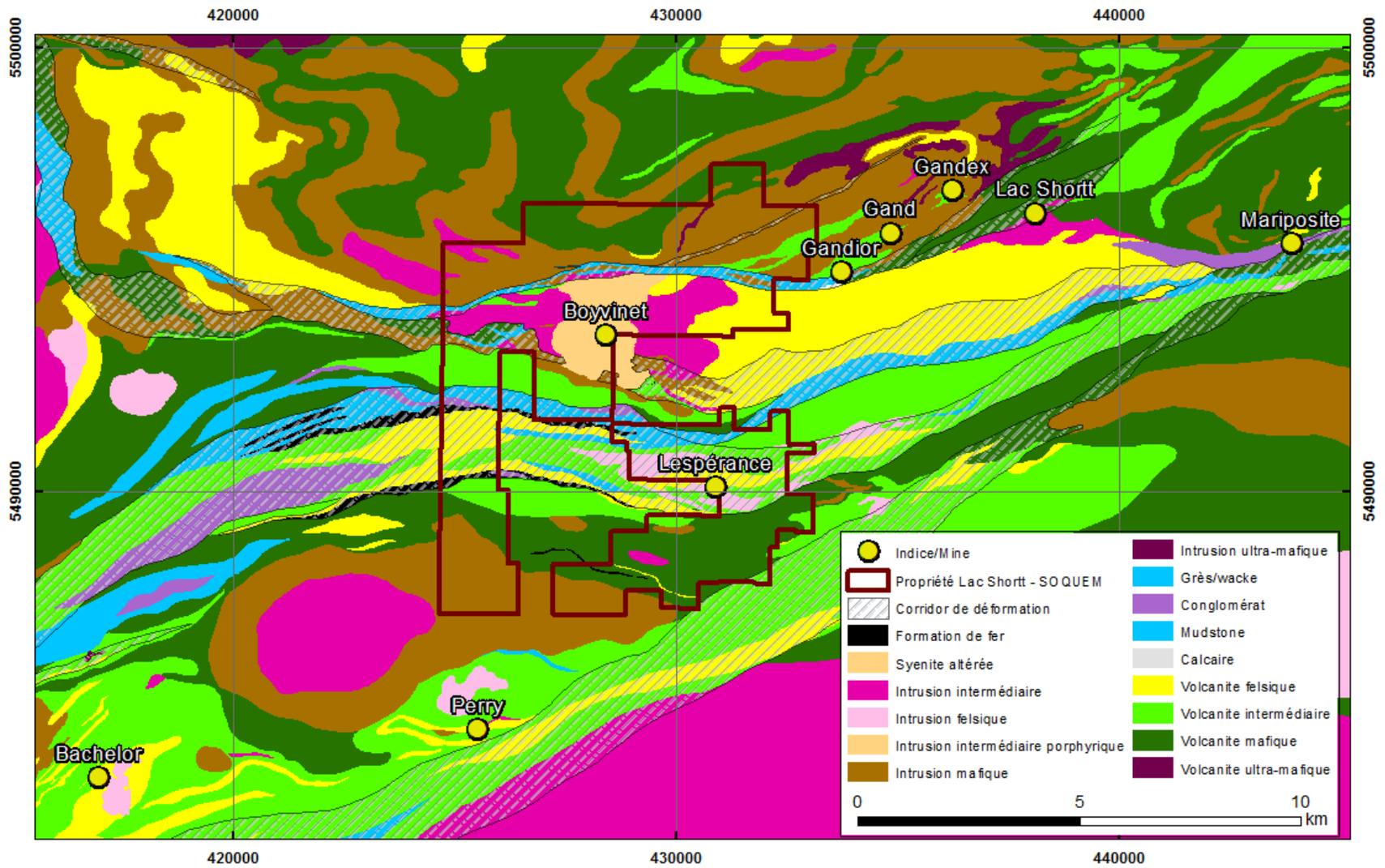


FIGURE 1.5 GÉOLOGIE LOCALE DU SECTEUR LAC SHORTT (FAURE, 2011; SOQUEM INC.) SYSTÈME DE COORDONNÉES UTM NAD 83

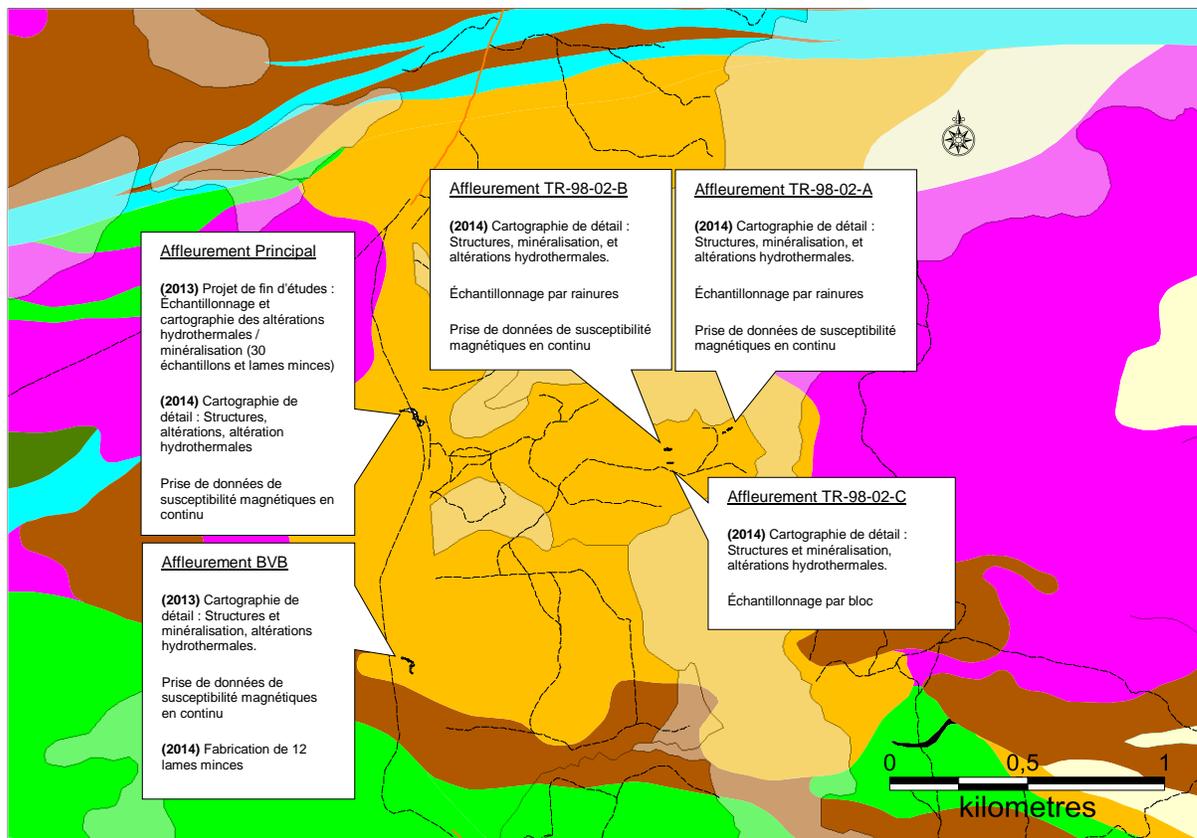


FIGURE 1.6 DESCRIPTION DES TRAVAUX EFFECTUÉS SUR LES DÉCAPAGES (VOIR LA LÉGENDE À LA FIGURE 1.7).

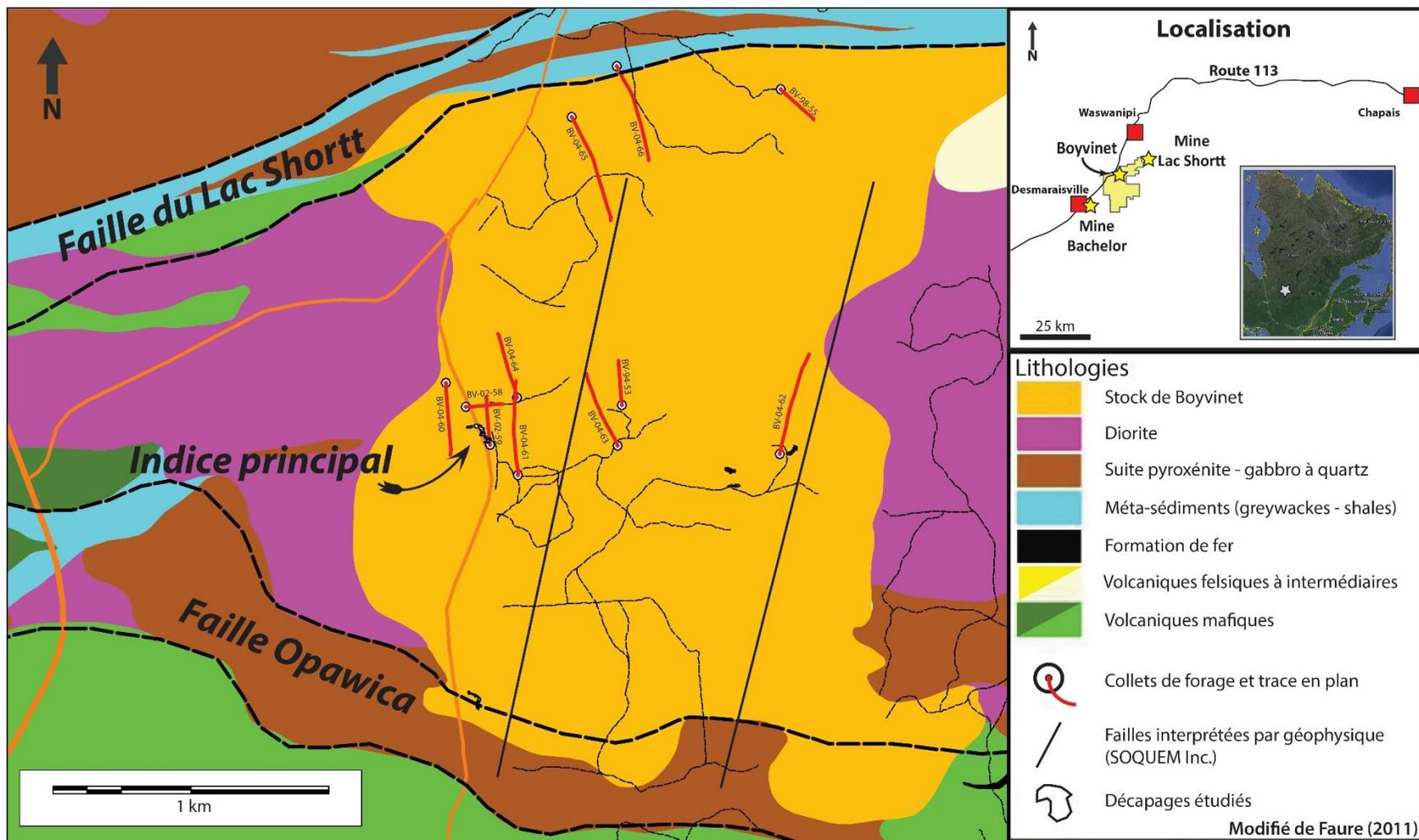


FIGURE 1.7 RÉPARTITION DES DÉCAPAGES ET FORAGES SUR L'ENSEMBLE DE LA PROPRIÉTÉ (MODIFIÉ DE SOQUEM INC., GÉOLOGIE PAR FAURE (2011)).

Chapitre 2

Caractérisation géologique du Stock de Boyvinet

Ce Chapitre présente les caractéristiques du Stock de Boyvinet en termes de 1) pétrographie (minéralogie, textures), 2) composition géochimique en éléments-traces, 3) affinité géochimique, et 4) classification selon un contexte tectonique de mise en place. La chimie des encaissants est aussi considérée. Il s'agit aussi de définir les structures observées, tant en décapage qu'en lames minces. Une description sommaire des minéralisations sera également présentée. Cette portion du mémoire vise à rencontrer les objectifs concernant la détermination des relations chronologiques ainsi que la signature géochimique de l'intrusion contenant la minéralisation et de ses encaissants. Ces informations ont été collectées à partir des données de terrain, en forages et des lames minces étudiées. Un total de 88 lames minces a été produit, comprenant 39 lames minces polies de 30 microns et 49 lames minces régulières de 30 microns. Les descriptions des lames minces sont disponibles en Annexe A.

2.1 Composition minéralogique du Stock de Boyvinet

La minéralogie du décapage principal a été étudiée par Côté-Lavoie (2013). Il en avait été conclu que la composition minéralogique du corps intrusif n'était pas syénitique, mais de nature autre (intrusion felsique intermédiaire à composition granodioritique ou monzodioritique). La Figure 2.1 présente la répartition des échantillons utilisés au sein de l'intrusion à partir des décapages et forages pour

établir la base de données pétrographiques et géochimiques. Suite aux travaux de pétrographie réalisés par Côté-Lavoie (2013), il faut préciser si cette intrusion est minéralogiquement et chimiquement homogène, ou s'il s'agit de plusieurs phases distinctes. Dans l'affirmative, cela pourrait avoir des implications pour l'établissement d'un modèle génétique, à l'exemple de plutons multi-phasés comme celui de Chibougamau (Daigneault et al., 2002), ou de Mooshla (Galley et Lafrance, 2014). La minéralogie de l'intrusion est présentée à la Figure 2.2. Il s'agit d'un graphique à barres compilées des pourcentages des minéraux pour chaque lame mince, et triés en ordre décroissant des teneurs aurifère (ppb).

L'étude pétrographique a déterminé que l'on retrouve principalement des feldspaths (albite $\pm 40\%$) et des amphiboles (hornblende; $\pm 10\%$) sous forme de phénocristaux avec en phases interstitielles des plagioclases, des feldspaths potassiques avec des exsolutions d'albite, du quartz, des carbonates ($\pm 10\%$), des minéraux opaques ainsi que de la titanite ($\pm 5\%$). Des phases comme l'épidote, le quartz, la chlorite, les carbonates, la pyrite, l'ilménite, l'hématite et la magnétite ($\pm 1-5\%$) sont considérées comme secondaires et interprétées comme étant l'expression de l'altération hydrothermale (section 3.1).

Les analyses en or (ppb) en ordre décroissant ont été superposées au graphique afin d'illustrer les relations minéralogiques et la quantité d'or contenue au sein d'un échantillon. Cette relation est discutée plus en détail dans la section 3.2, mais on peut affirmer à ce stade que la présence de carbonates (calcite), de quartz et de pyrite est généralement un indicateur de minéralisation aurifère.

Il faut souligner la présence de fragments de composition mafique dans ce stock, observés sur les décapages et en lames minces. La Figure 2.3 expose la présence en décapage de fragments de composition basaltique (ici les fragments sont considérés métamorphisés) riches en épidote et amphibole. Des échantillons ont été récoltés pour la fabrication de lames minces afin de déterminer la nature de ces fragments. Un échantillon sert aussi de comparatif en tant qu'échantillon des roches avoisinantes (basaltes du décapage (échantillons BVA-05 ainsi que BVA-28 et BVA-V3B sur la Figure 2.3C et D). La signature géochimique de ces fragments est discutée dans la section 2.2.

En général, les fragments sont très arrondis, voire globuleux, avec des bordures résorbées, témoignant d'une digestion partielle par l'intrusion. Il y a parfois des agglomérations d'oxydes aux pourtours des fragments, associés à une couronne de chlorite. La granulométrie de ces enclaves millimétriques à centimétriques est très fine et équi-grulaire; avec une composition à chlorite-hornblende-oxydes±quartz comprenant une grande quantité de points triples, dénotant des phénomènes de recristallisation.

Détermination des phases au μ -XRF

Il y avait incertitude concernant la composition réelle des phénocristaux feldspathiques, des feldspaths interstitiels/subophitiques (potassiques?) et celle des carbonates (calcite ou carbonate de fer?). Des analyses à partir d'un appareil de micro-fluorescence X (UQAC) ont permis de déterminer que les phénocristaux étaient de composition albitique (Na-Al-Si). Douze grains représentatifs ont été analysés au total pour confirmer ce résultat. Ce qui avait été initialement décrit

comme des feldspaths potassiques (avec des exsolutions d'albite) interstitiels en étaient véritablement (9 grains ont été analysés au total; parfois à plus d'un endroit sur le même grain), étant composées de 18 à 25 % de K_2O . En général, les carbonates sont de la calcite. Deux exceptions dans le cas des carbonates, seulement une des 11 analyses indique un carbonate riche en fer et une autre riche en magnésium. Le Tableau 2.1 présente un résumé des analyses pour les plagioclases, les feldspaths potassiques et les carbonates.

Les textures observées, de façon générale, étaient porphyriques (Figures 2.4 à 2.6), mais localement trachytoïdales (Figure 2.7), ou lépidoblastiques (phénocristaux orientés dans une direction préférentielle). Les feldspaths potassiques contenant des exsolutions albitiques (microperthitiques et perthitiques), possèdent quant à eux des textures subophitiques entre les phénocristaux de feldspaths/plagioclases albitisés (Figure 2.5).

Lors de l'analyse des textures en lames minces, une différence importante dans la texture porphyrique au niveau de la taille des cristaux des minéraux ferromagnésiens a été remarquée dans la partie centrale de l'intrusion. La Figure 2.4 présente la variation dans la texture ignée générale dans l'intrusion, à partir d'observations en lames minces. La variation s'observe facilement par le ratio d'amphiboles phénocristalline / matricielle dans les Figures A-D (partie Ouest de l'intrusion) et E-H (partie Est de l'intrusion). Les proportions modales (%) des minéraux restent toutefois les mêmes, surtout pour les feldspaths, amphiboles et la chlorite. Seule la titanite semble augmenter légèrement en termes de proportions en lien avec l'amphibole matricielle. La ligne de séparation coïncide avec les failles

interprétées par géophysique (Brisson, 1998; Martel et Folco, 2004). Un mouvement à composante verticale de ces failles, ou tout simplement une phase différente du pluton pourraient donc expliquer la variation brusque des textures magmatiques au sein de l'intrusion.

D'autres textures ont été répertoriées, dont des zonations dans les phénocristaux de feldspaths/plagioclases (Figure 2.6). Elles s'observent le plus communément dans les zones où l'altération hydrothermale est moins développée. L'altération facilite l'observation du phénomène de zonation en fonction de la coupe du grain et se compose de fine albite et d'hématite cristalline entre les grains d'albite (discuté dans le Chapitre 3). La présence importante d'albite peut indiquer des zonalités plus riches en sodium. Même s'ils sont altérés de façon générale au sein de l'intrusion, les zonations ainsi que des reliquats de macles dans les phénocristaux sont encore visibles dans une majorité des échantillons plus frais et suggèrent une cristallisation lente (fractionnement) dans la chambre magmatique.

Au sein de l'intrusion, plusieurs faciès de textures de brèche et des brèches (Figure 2.8) avec des matrices composées de chlorite, silice et carbonates ont pu être observés. Les faciès bréchiques répertoriés en décapage et en forages sont indiqués sur la Figure 2.9. Il s'agit de fragments de la roche hôte qui est désagrégée dans une matrice à chlorite – carbonates (calcite) ou quartzo-feldspathique à granulométrie fine. Les fragments de l'encaissant ne sont pas altérés ni détruits car les textures magmatiques initialement observées y sont encore visibles. L'ensemble est peu fracturé et peu déplacé globalement, avec une légère rotation des fragments seulement. Cela suggère une brèche de nature hydraulique (Jébrak, 1997; Taylor,

2010). On y observe aussi des carbonates (calcite) en grains libres et localement des minéraux opaques en trace. Aucune minéralisation dans ces faciès de brèches hydrauliques n'a été observée en décapage ou en forages. Il y a aussi un faciès de bréchification à carbonates, silice et pyrite, mais celui-ci sera traité dans la partie sur les altérations hydrothermales (Chapitre 3) car dans ce cas, il est relié directement à des zones minéralisées.

Classification minéralogique

Dans un diagramme de Streckeisen (1967), de type QAP pour les roches intrusives (Figure 2.10A), les échantillons se distribuent principalement dans la section «Syénite à Quartz» pour les échantillons du décapage principal (Côté-Lavoie, 2013). L'échantillon BVA-01 a été mis en évidence sur cette figure; c'est un échantillon représentatif de l'intrusion moins altérée sur le décapage et qui tombe dans le champ des monzonites. La Figure 2.10B présente la composition minéralogique des lames minces polies (minéralisées) et la Figure 2.10C expose celle des échantillons les plus frais (moins altérés) utilisés pour les analyses lithogéochimiques de l'intrusion. Certains échantillons à l'extérieur du nuage de points peuvent être considérés comme très altérés en quartz (silicification) ou renfermant des fragments basaltiques en plus grande proportion, en accord avec les observations faites en lames minces. En général, les échantillons de la Figure 2.10C sont les plus frais, donc près de la composition initiale de l'intrusion. Le diagramme suggère une composition monzodioritique à quartz ou granodioritique (Figure 2.10D). On peut donc interpréter que la composition minéralogique des échantillons dans les Figures 2.10A et B sont le résultat d'une variation de la minéralogie initiale

causée par l'abondance de certains minéraux altérés par des épisodes d'hydrothermalisme.

2.2 Composition géochimique de l'intrusion

Des analyses pour les éléments majeurs et traces ont été générées pour chaque échantillon du décapage principal, de certains intervalles de forages et de quelques autres échantillons provenant des autres décapages (position à la Figure 2.1; analyses en Annexe B). Ils ont été préparés (concassage) par ALS aux laboratoires de Val-d'Or, pour être envoyés aux laboratoires de Vancouver pour les analyses au LA-ICP-MS et ICP-AES. La digestion par 4 acides a été utilisée pour la mise en solution des échantillons analysés pour l'or. Deux blancs de silice et 3 standards ont été placés dans la suite de 42 échantillons pour des fins de contrôle de qualité des analyses. Les standards KPT-1 (2x) et WMG-1 (1x) ont été utilisés comme standards, et ont été fournis par le LabMater à l'Université du Québec à Chicoutimi. Le standard KPT-1 visait à valider les analyses en éléments majeurs alors que le WMG-1 a servi plus particulièrement pour les échantillons analysés pour l'or (meilleure précision d'analyse). Un duplicata d'un échantillon non-minéralisé a aussi été inséré dans la suite d'analyses aurifères dans le but de déterminer que les résultats étaient répétitifs ainsi qu'acceptables. Les valeurs d'analyses reçues étaient effectivement répétitives et les blancs n'étaient pas contaminés. De plus, les standards internes et externes possédaient des valeurs avec un très faible pourcentage d'erreur relative. Les analyses furent donc jugées comme utilisables dans le cadre de cette étude.

Composition en éléments-traces

Les analyses en éléments-traces normalisées par rapport au manteau primitif (Sun & McDonough, 1989) pour les échantillons de l'intrusion sont rapportées dans un graphique multiélémentaire (Figure 2.11). Pour des fins de comparaison, les échantillons suivants ont été ajoutés : 1) les corps dioritiques avoisinants (Poitras, 1993), 2) les basaltes à proximité et enclaves basaltiques échantillonnés, 3) la syénite de Beattie (Bigot et Jébrak, 2015), 3) la syénite du Lac Shortt (Prud'homme, 1990), et 4) le pluton O'Brien de la Mine Bachelor (Fayol, Ph.D. en cours). Les intrusions du Lac Shortt et d'O'Brien sont situées à moins de 10 km du Stock de Boyvinet, alors que la syénite de Beattie est située dans le camp de Duparquet, au Nord de Rouyn-Noranda. Les compositions de ces intrusions seront utilisées ici comme références pour mettre en relief les différences et similitudes de composition avec le Stock de Boyvinet. Il est important de souligner que tous les échantillons du Stock de Boyvinet observés sont au minimum faiblement altérés en albite et en hématite, partout dans l'intrusion. Considérant que les échantillons sont tous altérés, la classification géochimique de l'intrusion par les éléments majeurs mobiles n'est pas appropriée, mais des modélisations à partir de précurseur unique sont tout de même présentées dans la section 3.3. Il est toutefois possible de déterminer des affinités géochimiques et tectoniques à partir d'éléments-traces jugés immobiles comme Y, Yb, Nb, Ta, Ti et Zr (Pearce, 1984; MacLean et Barrett, 1993), et ainsi il sera possible d'effectuer des comparaisons avec les intrusions syénitiques et granitoïdes de référence.

Les spectres de la Figure 2.10 présentent des particularités importantes : 1) une anomalie négative en Nb-Ta, et 2) un fractionnement prononcé illustré par une

penne décroissante entre les éléments incompatibles et compatibles. L'anomalie négative en Nb et Ta indique une signature géochimique d'île en arc (magmatisme de supra-subduction; Winter, 2010). Le fractionnement magmatique (Sun et McDonough, 1989) est ici caractérisé par un rapport $La_N/Yb_N > 20$, typique des magmas calco-alcalins (Winter, 2010). De plus, la présence d'hornblende primaire (contenant jusqu'à 2,22% d' H_2O - pour la magnésiohornblende; *Mineralogical Association of America*, 2001) confirme la présence d'eau au sein du magma, à l'image de ceux retrouvés en contexte de subduction (Ridolfi et al., 2010).

Un autre aspect important dans le graphique, c'est la présence de 2 familles d'échantillons avec des valeurs en Rb différentes. Cet élément mobile est inclus dans les plagioclases (Klein, 2008) et son enrichissement peut traduire une signature d'altération hydrothermale. La presque totalité des valeurs aurifères les plus élevées provenant du corps intrusif (non des fragments ou des encaissants) sur le décapage principal sont effectivement reliées à l'enrichissement en Rb (Côté-Lavoie, 2013). Cette observation laisse entrevoir que cet élément en est un discriminant (« pathfinder ») pour tracer la minéralisation aurifère. Cela appuie également l'argument d'une composante hydrothermale dans le système minéralisateur.

Sur la Figure 2.1, les syénites sont plus évoluées (enrichies en éléments des terres rares), notamment celle du Lac Shortt, avec une forte anomalie en uranium et une négative en titane (typique des roches alcalines; Kovalenko et al., 2007) en comparaison avec les échantillons de Boyvinet. Quant au pluton O'Brien, son

spectre est similaire à celui de Boyvinet et de ses encaissants, mais moins différencié et plus appauvri en général.

Les signatures des roches dioritiques encaissantes et des basaltes proximaux sont comparables à celle de l'intrusion. Les spectres des échantillons, lorsque comparés, présentent des valeurs semblables voire quasi-identiques ainsi que les mêmes anomalies typiques (anomalie négative en Nb-Ta et fractionnement $L_{AN}/Y_{bN} > 20$). Ainsi, l'intrusion et le corps dioritique ont une composition comparable, ce qui suggère une source similaire. Cependant, le faible nombre et la variabilité des analyses pour les enclaves et les basaltes proximaux limitent la pertinence d'une comparaison poussée avec le Stock de Boyvinet. Néanmoins, la comparaison entre les compositions du Stock de Boyvinet et les corps dioritiques avoisinants est considérée valable et significative.

Classification géochimique et tectonique de l'intrusion

L'utilisation du logiciel Lithomodeleur[®] du CONSOREM (Trépanier et al., 2016) a permis de placer les échantillons provenant de toute l'intrusion dans des diagrammes de classification géochimique et tectonique pour les intrusions (Figures 2.12 et 2.13). La signature en éléments des terres rares (Figure 2.11) définit l'intrusion comme calco-alkaline. Sur la Figure 2.12, les points représentant les analyses du corps intrusif (en bleu), ainsi ceux de l'étude que ceux de Poitras (1993; en rouge), tombent dans le champ calco-alkalin du diagramme de classification en fonction des éléments-traces de Ross et Bédard (2009). Ceux-ci varient légèrement les uns par rapport aux autres, mais l'affinité génétique entre les échantillons provenant de l'intrusion et ceux des corps dioritiques avoisinants semble évidente.

Les syénites du Lac Shortt et de Beattie se distribuent aussi dans le champ calco-alcalin, tout comme le pluton O'Brien.

Pour ce qui est du contexte tectonique de mise en place, le diagramme de Pearce (1984; Figure 2.13), permet d'observer que les échantillons du stock de Boyvinet tombent dans le champ source d'arc volcanique (VAG/syn-COLG – *Volcanic Arc Granitoïd/ Syn-Collision Granitoïd*) plutôt qu'intracratonique (WPG) ou de ride océanique (ORG). Les corps dioritiques avoisinants et le pluton O'Brien se répartissent dans le même champ en accord avec l'interprétation que le stock n'est pas une syénite. De plus, ce diagramme illustre la similitude des compositions entre la diorite avoisinante et le stock, appuyant une source similaire. Dans les cas des syénites de Beattie et Lac Shortt, les points tombent dans les champs des intrusions intracratoniques, en accord avec leur nature tardi-tectonique.

Quant aux interprétations, il est clair que l'encaissant et le corps intrusif partagent une composition similaire avec des affinités et un contexte tectonique de mise en place semblables. La relation entre les intrusions peut s'expliquer de différentes manières, soit 1) par une phase précoce et une phase tardive, ou 2) par un pluton synvolcanique. L'argument du pluton synvolcanique est plausible. Cependant, selon la nomenclature utilisée par Chown et al. (1992), les monzonites et monzodiorites font plutôt partie de la suite syn-tectonique. Dans le cas présent, la minéralogie initiale tend vers une composition monzonitique ou monzodioritique riche en hornblende, constituant un excellent argument pour l'hypothèse d'un pluton syn-tectonique. Il est donc interprété que le Stock de Boyvinet est un pluton calco-alcalin syn-tectonique. La présence d'hornblende magmatique indique aussi qu'il

s'agit d'un magma hydraté, typique des magmas calco-alcalins (Winter, 2010). La comparaison avec les syénites démontre que Boyvinet n'en est pas une. Par contre, le Stock de Boyvinet partage des similitudes avec le pluton d'O'Brien.

2.3 Déformation

Empreinte de la déformation fragile

L'étude des structures sur les décapages faisait partie des éléments clés pour la cartographie de détail. Deux familles de fractures furent répertoriées sur le décapage principal : 1) les failles d'orientation N-S variant entre 345° et 030° à fort pendage, et 2) les failles généralement orientées E-O variant entre 255° et 290°, avec un pendage vers le nord entre 45° et 70°. Cette dernière famille de fractures est remplie par des veines de quartz-carbonates qui seront traitées dans le Chapitre 5). C'est d'ailleurs à l'intersection de ces deux familles de fractures que l'intensité de l'altération hydrothermale est à son maximum. La Figure 2.14 présente des cas observés sur les décapages de la partie est de l'intrusion (TR-98-02-A & B). Des mouvements apparents sont observés sur plusieurs fractures des deux familles. Ils sont dextres pour les structures N-S et senestres pour les E-O. Les mouvements senestres semblent cependant précoces aux mouvements dextres, car les fractures N-S, qui ont dissipé un mouvement, recoupent celles d'orientation E-O. La Figure 2.15 présente des exemples de mouvements apparents sur certaines des fractures observées en décapage, ainsi qu'une intensité d'altération plus forte qui est associée à leur intersection.

Les structures fragiles (failles, joints) sont celles qui composent la majeure partie des observations en surface ou en forage. En lames minces, la déformation

fragile correspond à des déplacements causés par des veinules ou veines. En décapage, les fractures E-O ne varient pas en orientation, tandis que celles faisant partie de la famille N-S se distribuent entre les directions 330° et 010°. La Figure 2.16 présente la cartographie de détail des veines du décapage principal, avec des stéréonets des mesures de veines divisés selon les zones minéralisées (rouge) et stériles (bleu). Il faut noter les déplacements causés par les structures N-S sur les veines d'orientation E-O. Le système de veines, dans les zones minéralisées ou stériles possèdent des orientations similaires mais des pendages variables. En effet, les zones stériles sont à pendage abrupt, alors que les portions minéralisées possèdent des pendages modérés. La Figure 2.15 montre une relation de recoupement et un déplacement des zones minéralisées en sulfures par ces failles. On dénote également une relation directe entre l'altération hydrothermale en carbonates de fer (Chapitre 3) et l'intersection des fractures E-O et des failles N-S.

En plus des familles de fractures observées, des faciès de brèches tardives non-minéralisées sont observées en décapage (décapage principal) orientées à 140°N, à angle des structures majeures. La distribution des faciès bréchiques (section 2.1) en décapage et forages est représentée à la Figure 2.9. Ces brèches sont toutefois recoupées par des fractures tardives cassantes d'orientation N-S (015°-030°; Figure 2.17), ce qui implique que le système de fracturation N-S est postérieur aux failles et veines E-O. Il faut également mentionner que ces brèches recourent les veines dans les zones minéralisées, impliquant une chronologie relative de formation tardive et sans lien avec la minéralisation.

Empreinte de la déformation ductile

Quelques structures ductiles ont été répertoriées lors de cette étude, soit en décapage, forage ou sur les lames minces étudiées. Seules quelques petites zones de déformation ductile à l'échelle des lames minces ont été observées. Néanmoins, la présence du couloir de déformation associé à la Faille du Lac Shortt (See, 1994; Brisson, 1998; Faure, 2011), qui longe le contact du Stock de Boyvinet dans sa partie nord, est la structure ductile connue la mieux développée aux pourtours ou au sein de l'intrusion. Il semble qu'un des forages, le BV-04-66, recoupe ce couloir de déformation (selon l'interprétation de Faure, 2011). Celui-ci a été échantillonné car des zones de cisaillements ductiles ont été observées à 97,5 m de profondeur (lame 66_97,5). La Figure 2.18 présente des microphotographies de la lame mince proximale au couloir de déformation du Lac Shortt, où l'empreinte de la déformation ductile est bien exprimée avec des fragments arrondis de feldspaths de forme sigmoïde et des veinules de quartz plissées et boudinées (LM non-orientée). Brisson (1998) rapporte que la faille du Lac Shortt possède un mouvement à rejet pendage prédominant, de sens inverse, ayant rejoué en coulissage dextre. Suite à ces mouvements, des décrochements mineurs tardifs fragiles, parallèles et obliques à ce couloir se sont mis en place. La Figure 2.18C présente aussi des structures ductiles (veinules de chlorite avec minéraux opaques) présentes au sein des fragments mafiques (rencontrés régulièrement en enclaves millimétriques à décimétriques dans le corps intrusif). Également, pour les observations en lames minces, des déformations sont observées dans les macles des plagioclases sous forme de kink bands (Figure 2.19).

2.4 Survol des minéralisations observées

Cette section permet d'introduire un sommaire descriptif de la minéralisation observée sur le terrain et lors de l'étude des forages. L'essentiel des travaux sur la minéralisation est toutefois présenté dans le Chapitre 4 surtout quant à l'étude des sulfures en laboratoire. La Figure 2.20 présente des exemples de la minéralisation et des assemblages de minéraux généralement retrouvés dans les zones minéralisées du décapage principal.

La minéralisation est très discrète, voire difficile à remarquer, avec de la pyrite disséminée en faible proportion (<2%). En lames minces (Figure 2.21A), la minéralisation se distingue par de la pyrite fine disséminée, associée à des traces de chalcopyrite (libre ou en inclusion) et de la magnétite (principalement en remplacement). La pyrite est généralement idiomorphe à hypidiomorphe et millimétrique. Quelques rares veinules de pyrite massive distales ou en périphérie de la minéralisation ont été décrites en forages, semblant être tardives à la minéralisation disséminée. Ces veinules de pyrite massive sont majoritairement associées à des veines ou stockwerks de chlorite verdâtres millimétriques (Folco et Schmitt, 1998; 2002; Martel et Folco, 2004). Sur les décapages étudiés, la minéralisation aurifère est associée à de minuscules veinules de quartz-carbonates dans des zones fortement altérées en carbonates au sein de structures d'orientation E-O. Il y a une augmentation de la concentration de magnétite aux épontes des zones altérées pyriteuses contenant les veinules de quartz-carbonates (reliée à la variation des conditions redox?). La magnétite associée directement à la minéralisation est en remplacement (altération d'oxydation) des phases comme la

titanite. Ces relations ont également été observées lors des travaux de cartographies exécutés à l'été 2014 pour les tranchées TR-98-02-A, B et C à l'Est de l'intrusion (emplacement Figure 1.6). Du même fait, le contrôle structural dans les structures E-O portant les veines sont les mêmes, et le décrochement dextre tardif et cassant des failles N-S est aussi comparable pour la minéralisation observée sur les autres décapages répartis dans l'ensemble de l'intrusion.

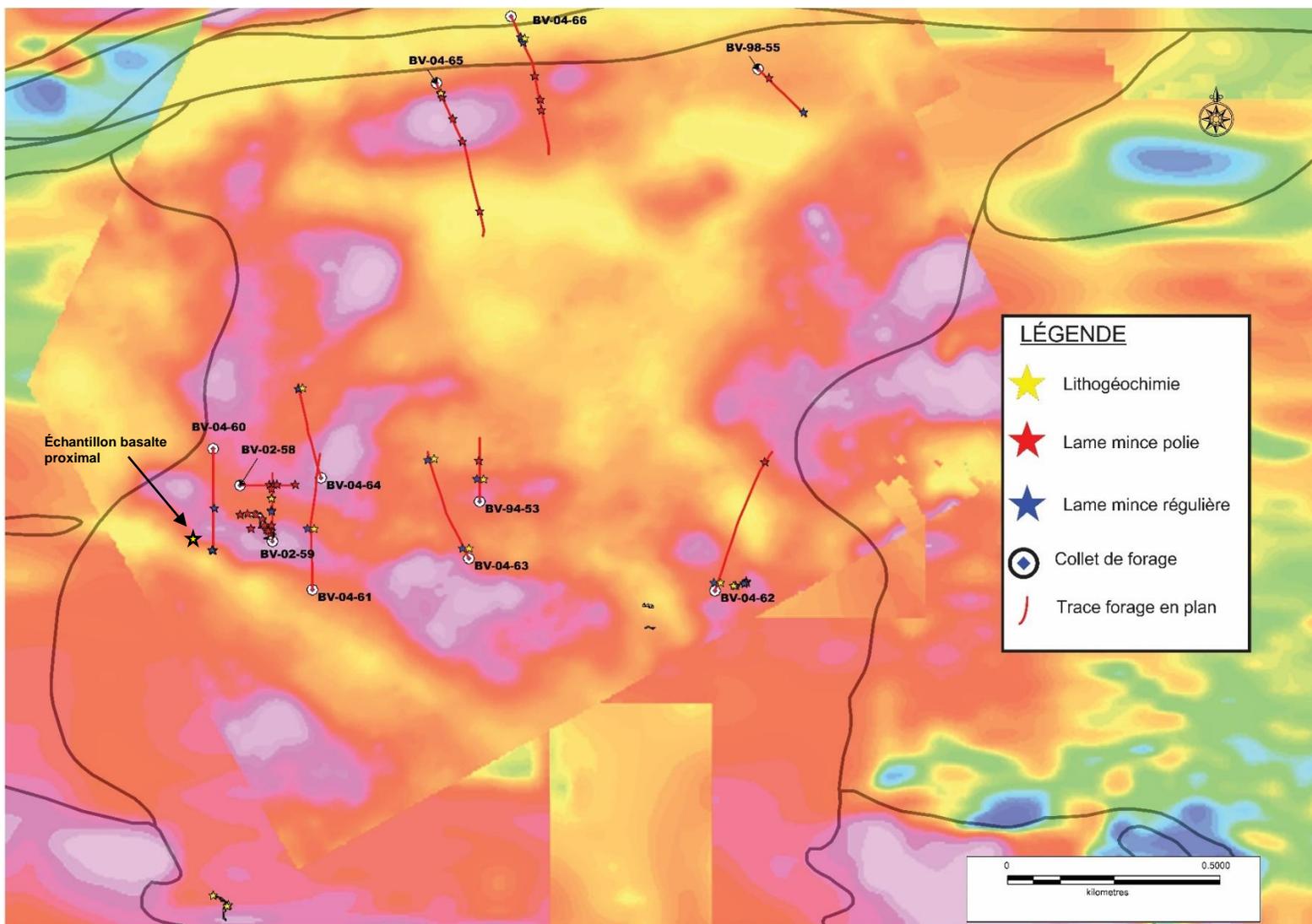


FIGURE 2.1 DISTRIBUTION DES ÉCHANTILLONS UTILISÉS POUR L'ÉTUDE (DÉCAPAGES ET FORAGES DISPONIBLES). LEVÉ MAGNÉTIQUE AÉROPORTÉ EN FOND (SOQUEM INC.); CONTOURS GÉOLOGIQUES EN NOIR (FAURE, 2011).

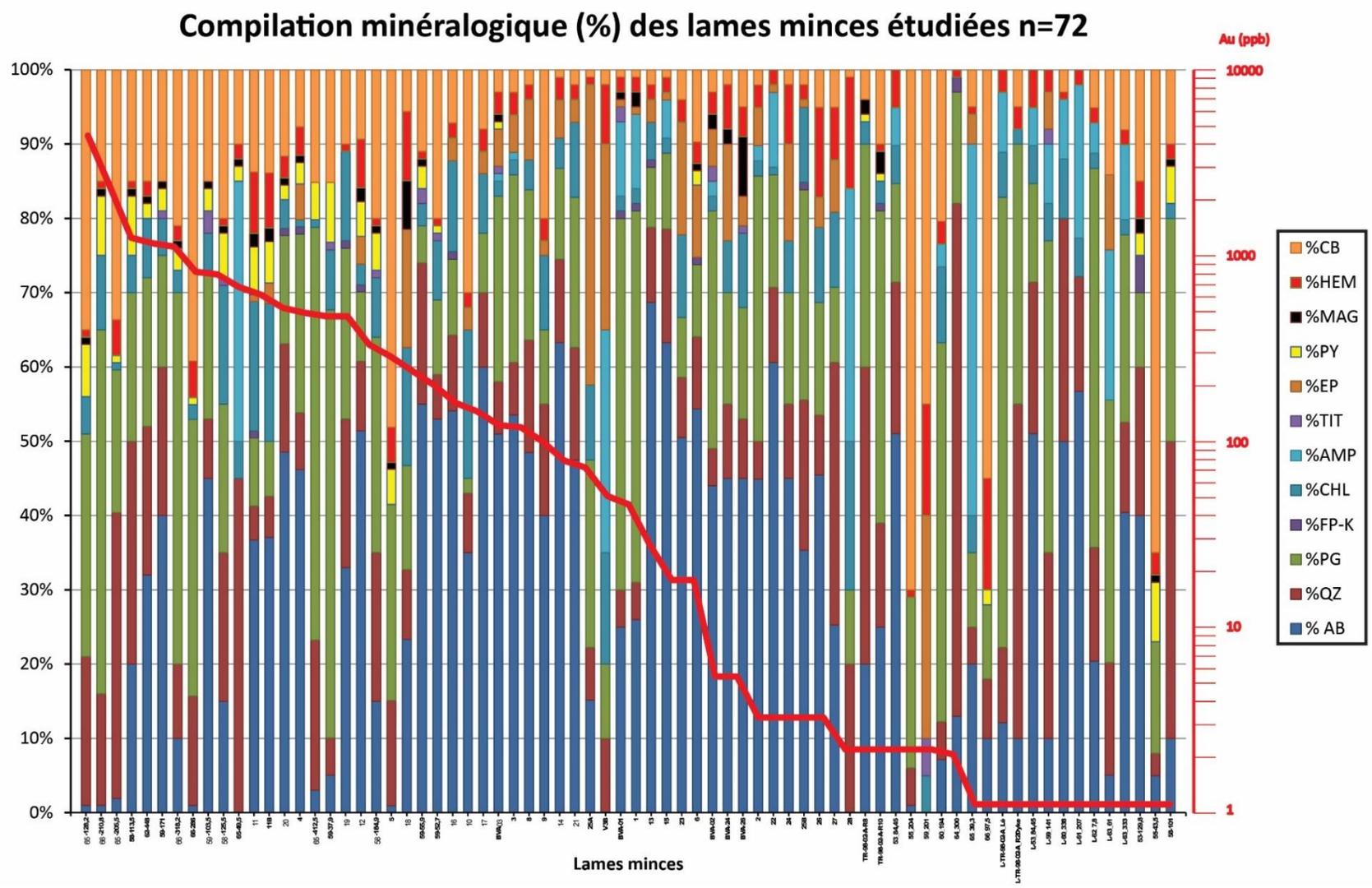


FIGURE 2.2 DIAGRAMME À BARRES DE LA COMPILATION DES POURCENTAGES MINÉRALOGIQUES DES LAMES MINCES ÉTUDIÉES (N=72) AVEC ANALYSES EN AU (PPB) SUPERPOSÉES.



FIGURE 2.3 PRÉSENCE DE FRAGMENTS DE COMPOSITION MÉTA-BASALTIQUE DANS LE CORPS INTRUSIF. (A) DÉCAPAGE BVB; (B) DÉCAPAGE PRINCIPAL; (C) LAME MINCE BVA-18 ET (D) LAME MINCE BVA-01

TABEAU 2.1 RÉSULTATS DES ANALYSES À LA MICRO-FLUORESCENCE X DES MINÉRAUX (%POIDS) : PLAGIOCLASES, FELDSPATHS POTASSIQUES ET CARBONATES PROVENANT DU DÉCAPAGE PRINCIPAL (CÔTÉ-LAVOIE, 2013)

Plagioclases	Oxyde (Wt%)	BVA-06-01	BVA-06-02	BVA-06-03	BVA-06-04	BVA-11A-1	BVA-11A-2	BVA-11A-3	BVA-11B-1	BVA-11B-2	BVA-18-1	Moyenne	Écart-type
	Na2O	14,561	14,251	14,744	13,855	12,878	14,355	13,776	13,153	13,277	14,481	13,933	0,618
MgO	0,82	0,774	2,144	0,708	4,481	0,658	0,723	0,787	1,604	0,809	1,351	1,140	
Al2O3	17,088	17,584	16,249	17,468	17,152	17,18	17,701	17,861	17,979	17,17	17,343	0,472	
SiO2	67,014	66,58	63,476	67,131	63,211	66,974	66,143	65,992	65,042	66,908	65,847	1,388	
K2O	0,05	0,293	0,117	0,328	0,07	0,092	0,267	1,444	0,777	0,127	0,357	0,416	
CaO	0,238	0,331	2,684	0,329	0,88	0,447	1,205	0,54	1,051	0,346	0,805	0,703	
BaO	0,104	0,04	0,058	0,035	0,035	0,097	0,06	0,057	0,057	0	0,054	0,029	
MnO	0,019	0,008	0,024	0,011	0,229	0,112	0,01	0,017	0,041	0,015	0,049	0,067	
Fe2O3	0,051	0,064	0,416	0,068	0,986	0,021	0,049	0,075	0,099	0,059	0,189	0,287	
ZnO	0,012	0,017	0,017	0,016	0,017	0,01	0,014	0,018	0,016	0,012	0,015	0,003	
SrO	0,044	0,057	0,07	0,049	0,061	0,053	0,052	0,055	0,058	0,063	0,056	0,007	

Feldspaths potassiques	Oxyde (Wt%)	BVA-06-1	BVA-06-2	BVA-06-3	BVA-06-4	BVA-08-1	BVA-11B-1	BVA-12-1	BVA-20-1	BVA-20-3	BVA-20-4	Moyenne	Écart-type
	Na2O	9,853	4,983	4,983	4,329	13,810	22,660	19,027	5,046	4,661	5,611	9,496	6,392
Al2O3	12,948	14,685	14,685	14,629	15,897	15,962	15,798	14,302	14,483	14,746	14,814	0,859	
SiO2	67,808	58,656	58,656	58,987	68,995	60,698	60,491	55,389	56,357	56,818	60,286	4,371	
K2O	7,751	20,142	20,142	19,637	0,447	0,113	0,261	24,107	23,652	21,390	13,764	9,803	
CaO	1,479	1,334	1,334	1,790	0,734	0,488	4,341	1,034	0,748	1,234	1,452	1,032	
Fe2O3	0,161	0,200	0,200	0,629	0,118	0,078	0,081	0,122	0,098	0,201	0,189	0,154	

Carbonates	Oxyde (Wt%)	BVA-04-1	BVA-06-1	BVA-06-2	BVA-11A-1	BVA-11A-2	BVA-11A-3	BVA-11A-4	BVA-11A-5	BVA-11A-6	BVA-11B-1	Moyenne	Écart-type
	Na2O	1,378	9,557	2,303	1,949	3,564	1,662	2,081	4,463	1,581	1,353	2,989	2,388
MgO	34,995	10,754	16,684	1,026	0,67	0,364	0,723	1,877	0,577	0,631	6,830	10,764	
Al2O3	0,523	11,275	7,161	0,793	0,33	0,738	0,451	4,387	0,392	0,302	2,635	3,608	
SiO2	1,844	38,142	38,196	1,442	1,066	40,711	0,653	12,546	0,322	0,398	13,532	17,043	
K2O	0,234	0,244	2,446	0,549	0,577	0,352	0,359	0,324	0,421	0,405	0,591	0,627	
CaO	45,763	22,188	23,352	91,799	91,95	55,224	94,014	70,868	94,708	94,873	68,474	28,299	
BaO	0,089	0,268	1,553	0,206	0,121	0,092	0,054	3,281	0,115	0,093	0,587	0,995	
MnO	0,466	0,312	0,303	1,049	0,826	0,315	0,865	0,828	1,086	1,186	0,724	0,327	
Fe2O3	13,799	7,076	7,723	0,428	0,321	0,095	0,251	1,051	0,269	0,281	3,129	4,515	
ZnO	0,073	0,054	0,061	0,303	0,088	0,153	0,124	0,071	0,074	0,073	0,107	0,071	
SrO	0,835	0,131	0,218	0,458	0,487	0,293	0,425	0,304	0,456	0,404	0,401	0,182	

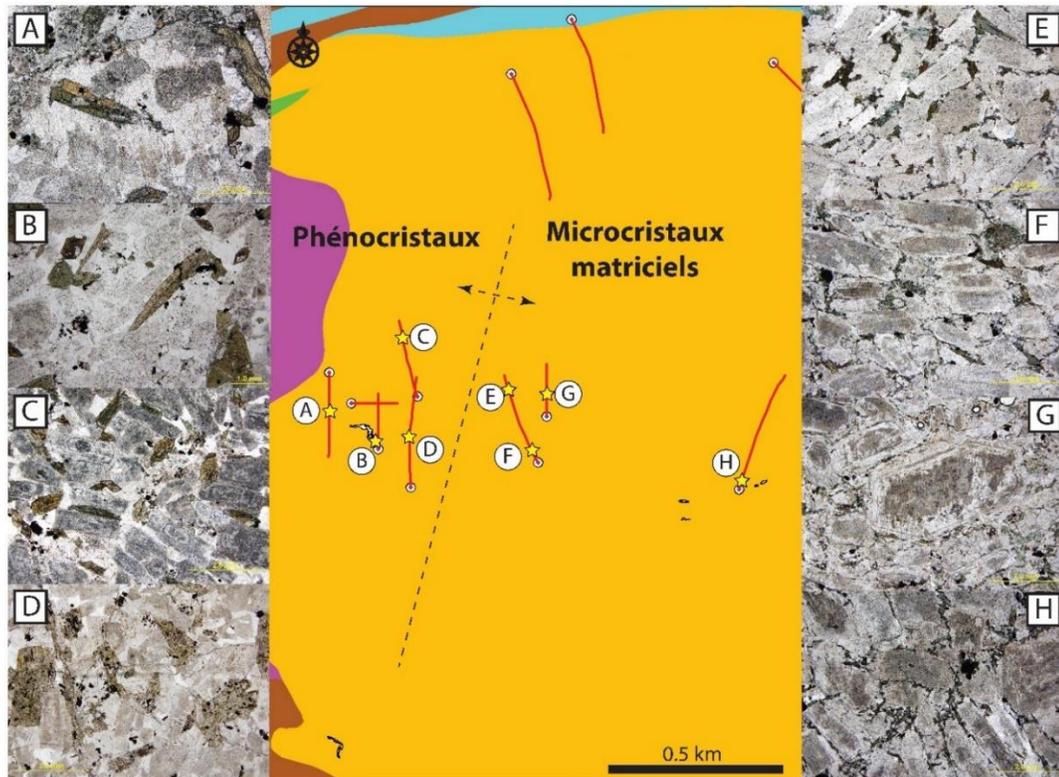


FIGURE 2.4 DIFFÉRENCE DE LA GRANULOMÉTRIE DES AMPHIBOLES AU SEIN DE L'INTRUSION: A) 60_194; B) BVA-01 C) 64_300 ; D) 61_207 ; E) 63_333; F) 63_61; G) 53_84.5 ET H) 62_7.8. LIGNE DE SÉPARATION DE LA VARIATION EN POINTILLÉ NOIR.



FIGURE 2.5 TEXTURES SUBOPHITIQUES DES FELDSPATHS POTASSIQUES PERTHITIQUES (TRACÉES EN ROUGE) CONTENANT DES EXSOLUTIONS D'ALBITE

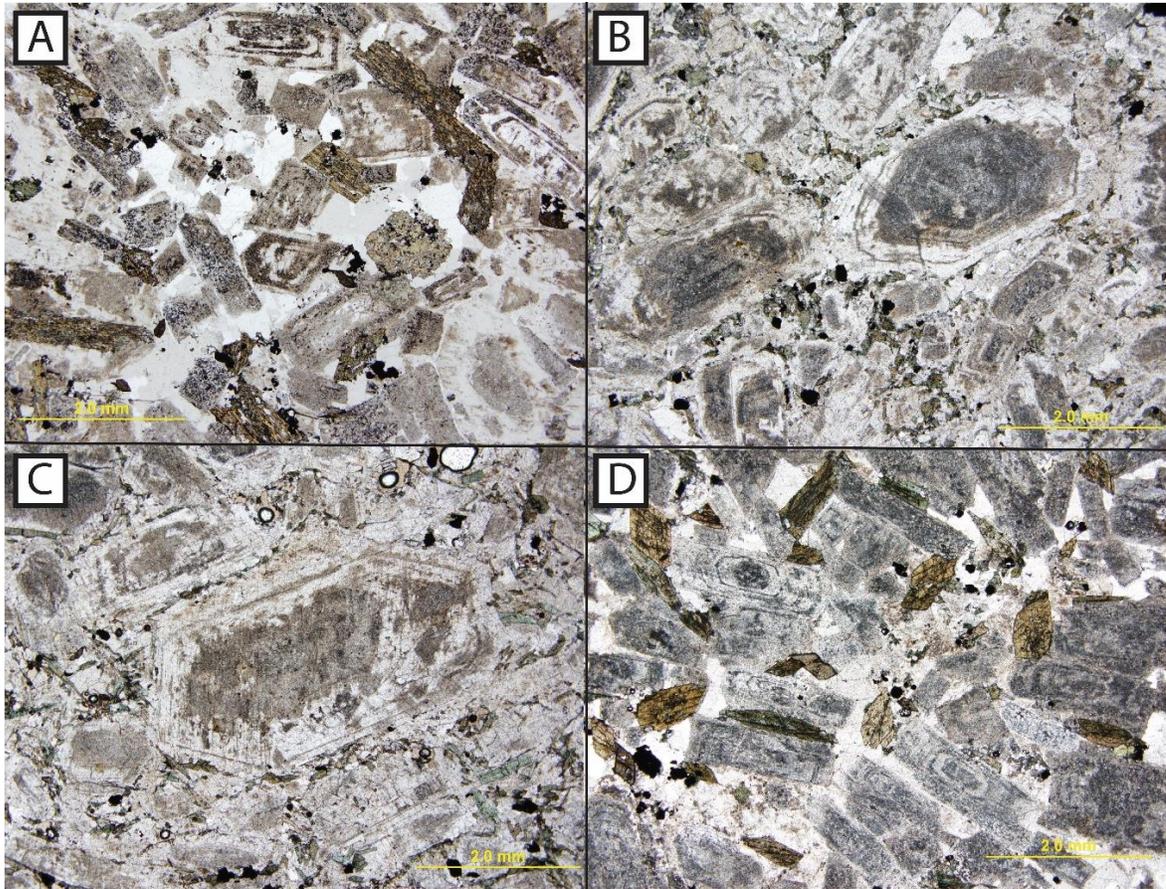


FIGURE 2.6 ZONATIONS OBSERVÉES DANS LES FELDSPATHS; L'ALTÉRATION EN ALBITE INTENSIFIE LE CONTRASTE DE LA ZONATION. (A) ÉCHANTILLON BVA-14; (B) TR-98-02-A-LÉ; (C) 53_84.45 ET (D) 61_206.9



FIGURE 2.7 TEXTURE TRACHYOÏDALE/LÉPIDOBLASTIQUE, DÉCAPAGE BVB (BLOC DE LAME MINCE ÉCHANTILLON BVB-13, 5 CM DE LARGEUR)

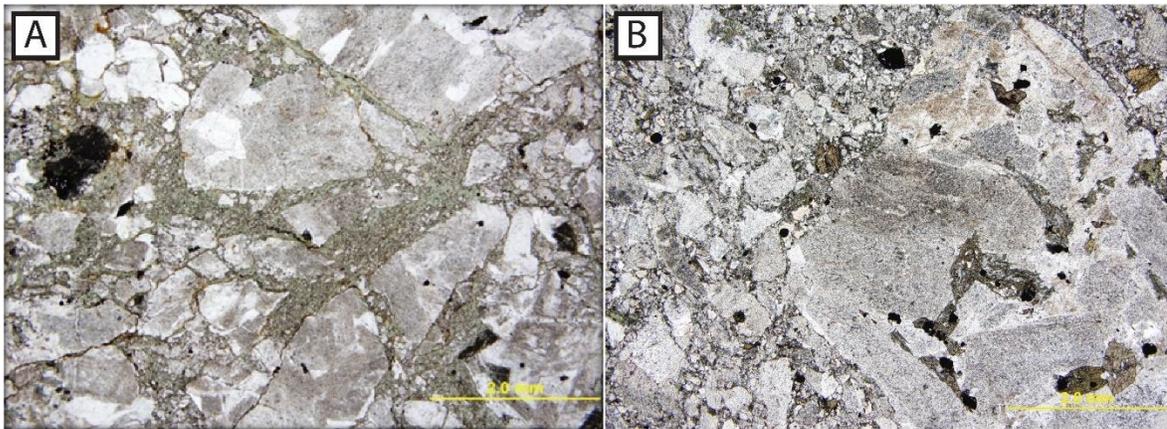


FIGURE 2.8 DIFFÉRENTS FACIÈS DE BRÈCHES HYDRAULIQUES OBSERVÉS EN LAMES MINCES, LUMIÈRE POLARISÉE. (A) ÉCHANTILLON BVA-09 ET (B) 60_193.4

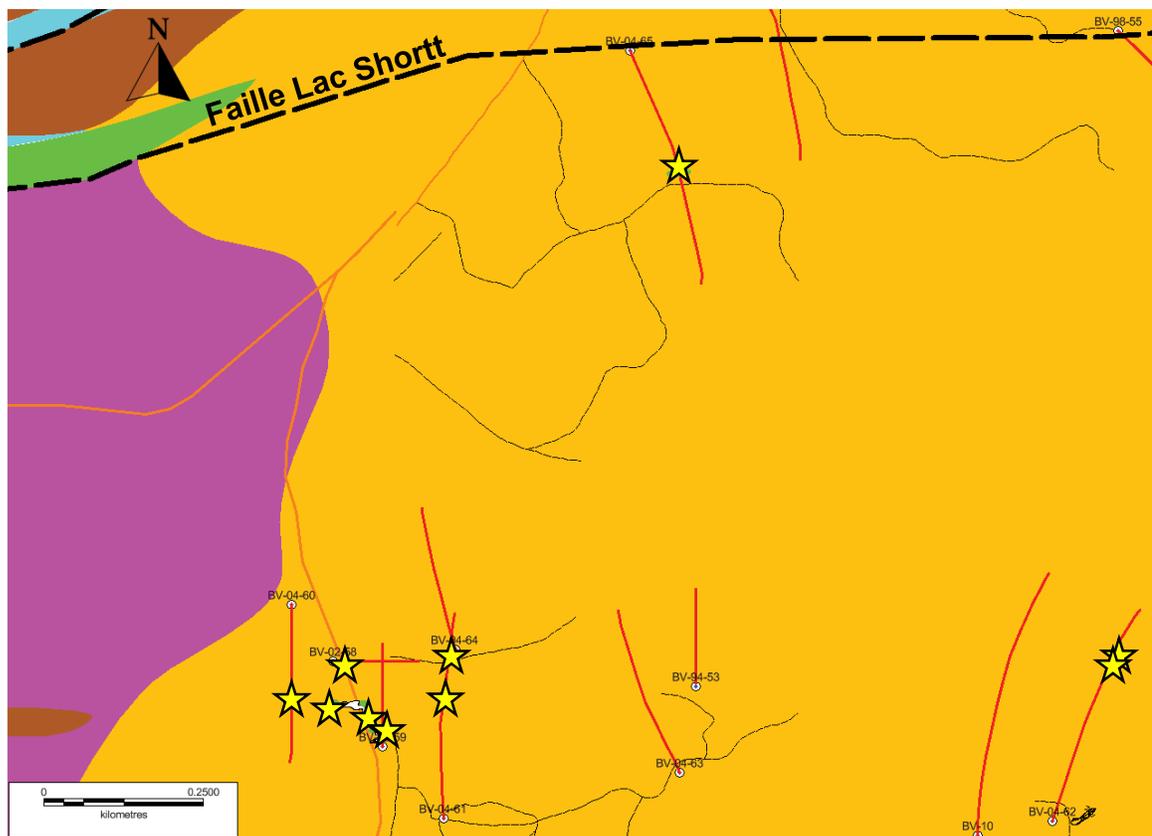


FIGURE 2.9 LOCALISATION DES FACIÈS DE BRÈCHE HYDRAULIQUE RENCONTRÉS (ÉTOILES) EN DÉCAPAGE OU EN FORAGE.

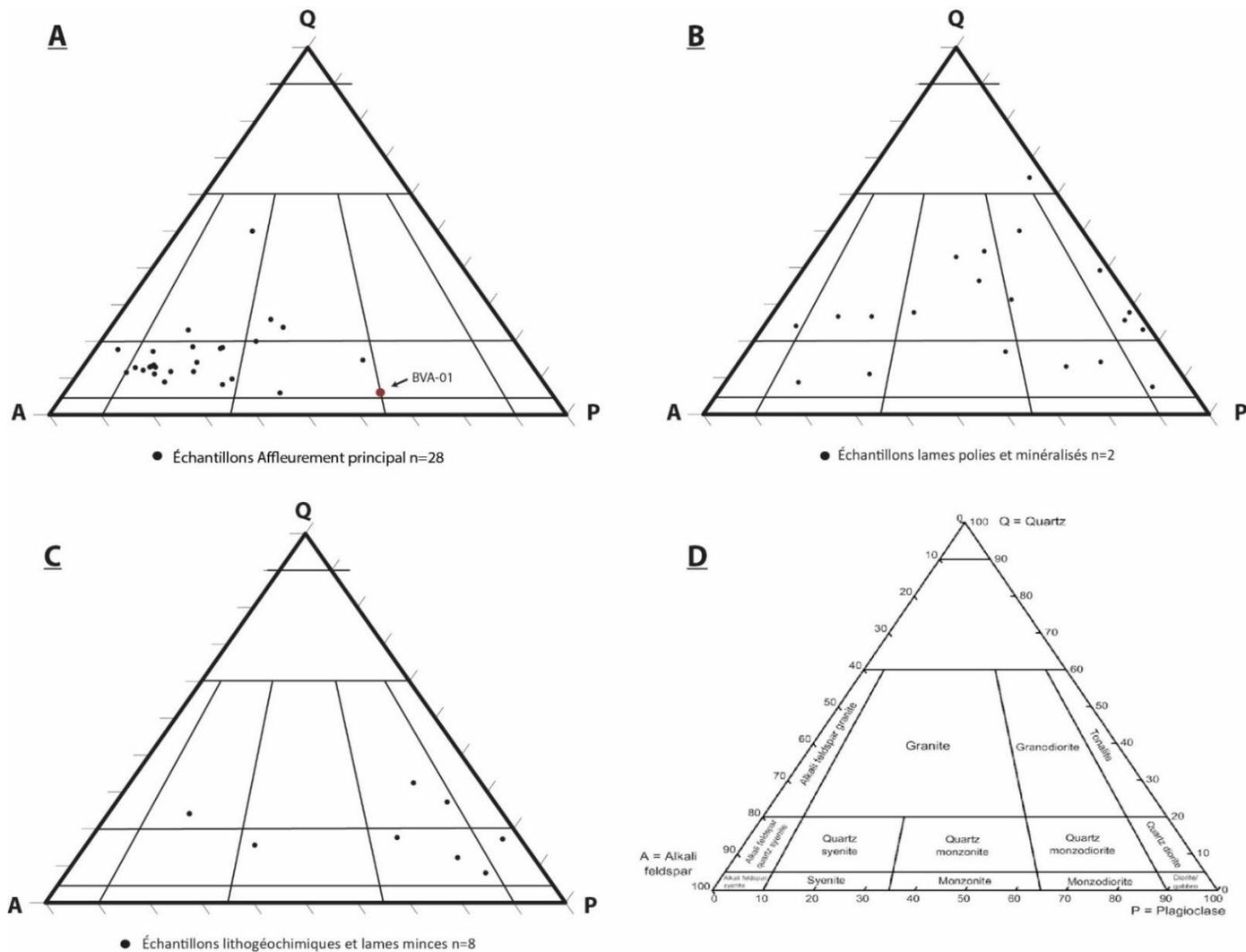


FIGURE 2.10 CLASSIFICATION MINÉRALOGIQUE DES ÉCHANTILLONS (STRECKEISEN, 1976) A) ÉCHANTILLONS DU DÉCAPAGE PRINCIPAL; B) ÉCHANTILLONS MINÉRALISÉS EN OR; C) ÉCHANTILLONS « FRAIS » UTILISÉS POUR LITHOGÉOCHIMIE ET D) CHAMPS LITHOLOGIQUES DÉFINIS PAR STRECKEISEN (1967)

Diagramme multiélémentaire des échantillons normalisés au manteau primitif

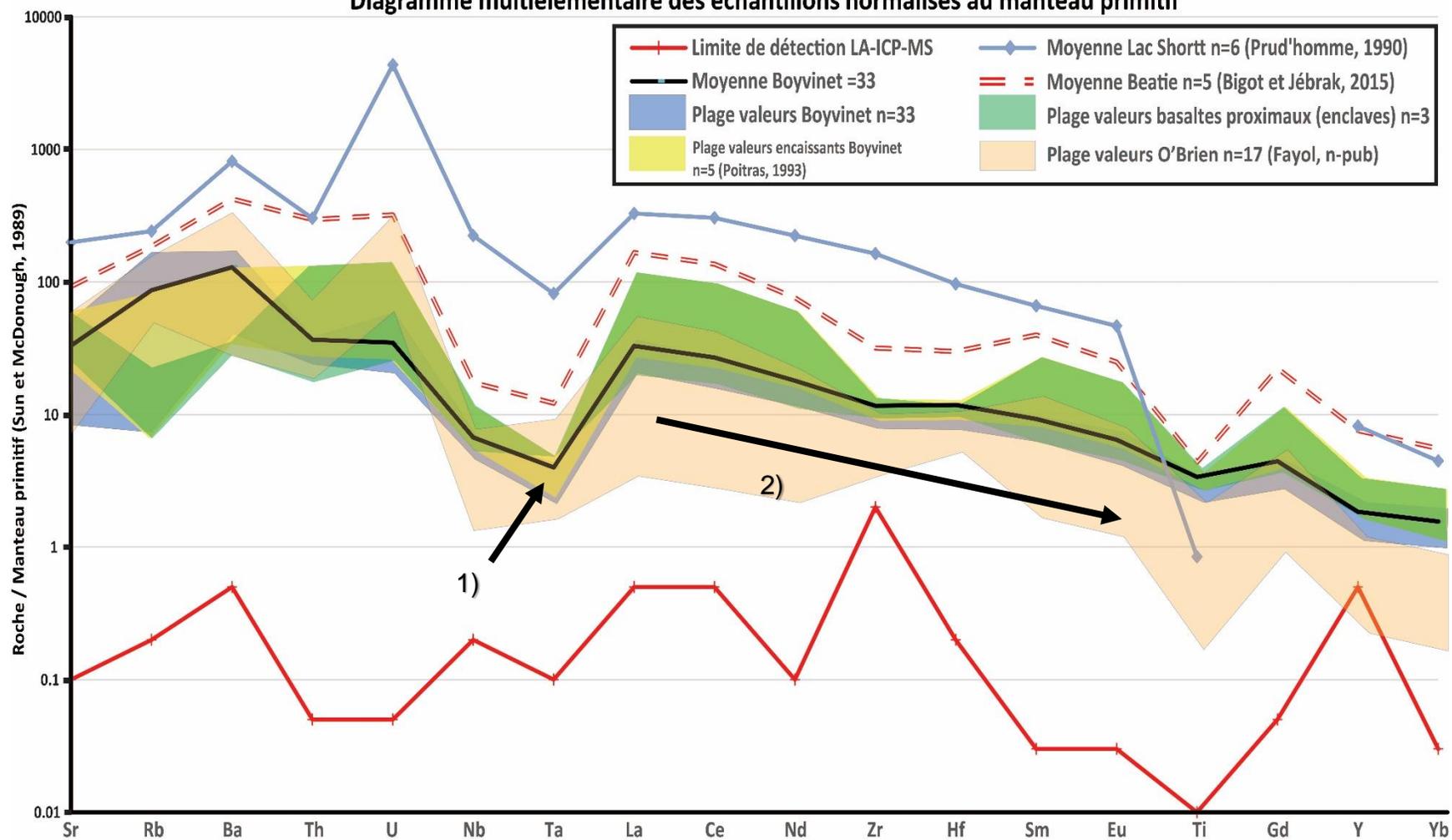


FIGURE 2.11 DIAGRAMME MULTIÉLÉMENTAIRE DES ÉCHANTILLONS DE L'INTRUSION (N=33) NORMALISÉS AU MANTEAU PRIMITIF (SUN ET MCDONOUGH, 1989)

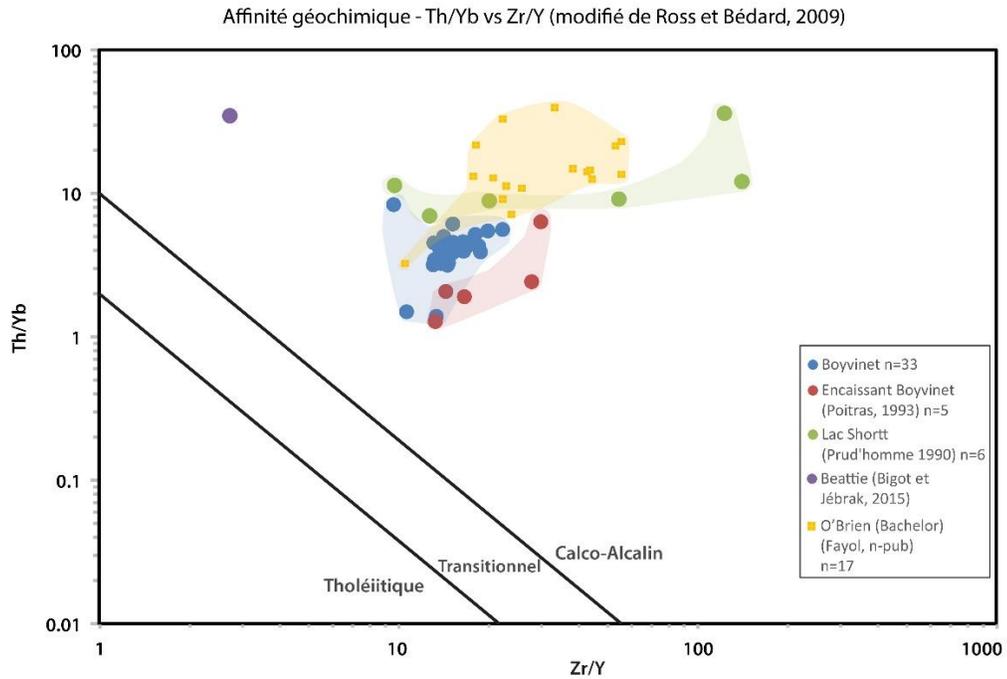


FIGURE 2.12 AFFINITÉ GÉOCHIMIQUE DES ÉCHANTILLONS DE L'INTRUSION ET DE L'ENCAISSANT (POITRAS, 1993); MODIFIÉ DE ROSS ET BEDARD (2009)

Contexte tectonique de mise en place - Nb vs Y (modifié de Pearce et al., 1984)

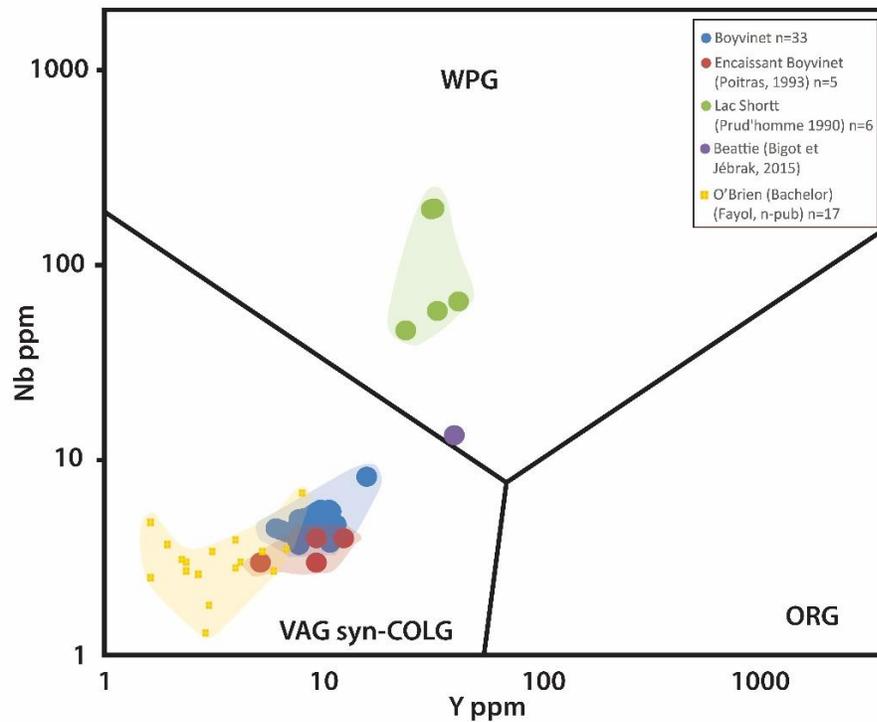


FIGURE 2.13 DIAGRAMME NB VS Y POUR LE CONTEXTE TECTONIQUE DE MISE EN PLACE POUR L'INTRUSION ET L'ENCAISSANT (POITRAS, 1993); MODIFIÉ DE PEARCE (1984)



FIGURE 2.14 STRUCTURES OBSERVÉES DANS LA PARTIE EST DE L'INTRUSION (DÉCAPAGES TR-98-02-A & B). STRUCTURES N-S ET E-O; BOTTE À DROITE POUR ÉCHELLE.

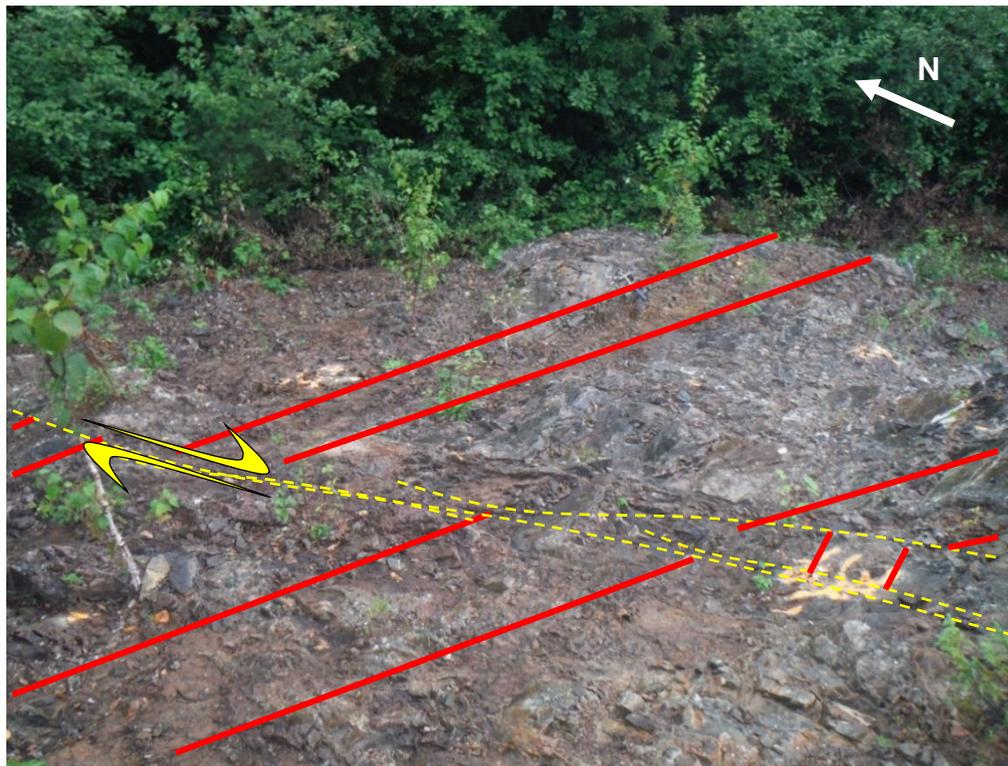


FIGURE 2.15 - DÉPLACEMENT DES CORPS MINÉRALISÉS (ROUGE) PAR UNE FAILLE N-S (JAUNE) SUR DÉCAPAGE PRINCIPAL; MARTEAU POUR ÉCHELLE

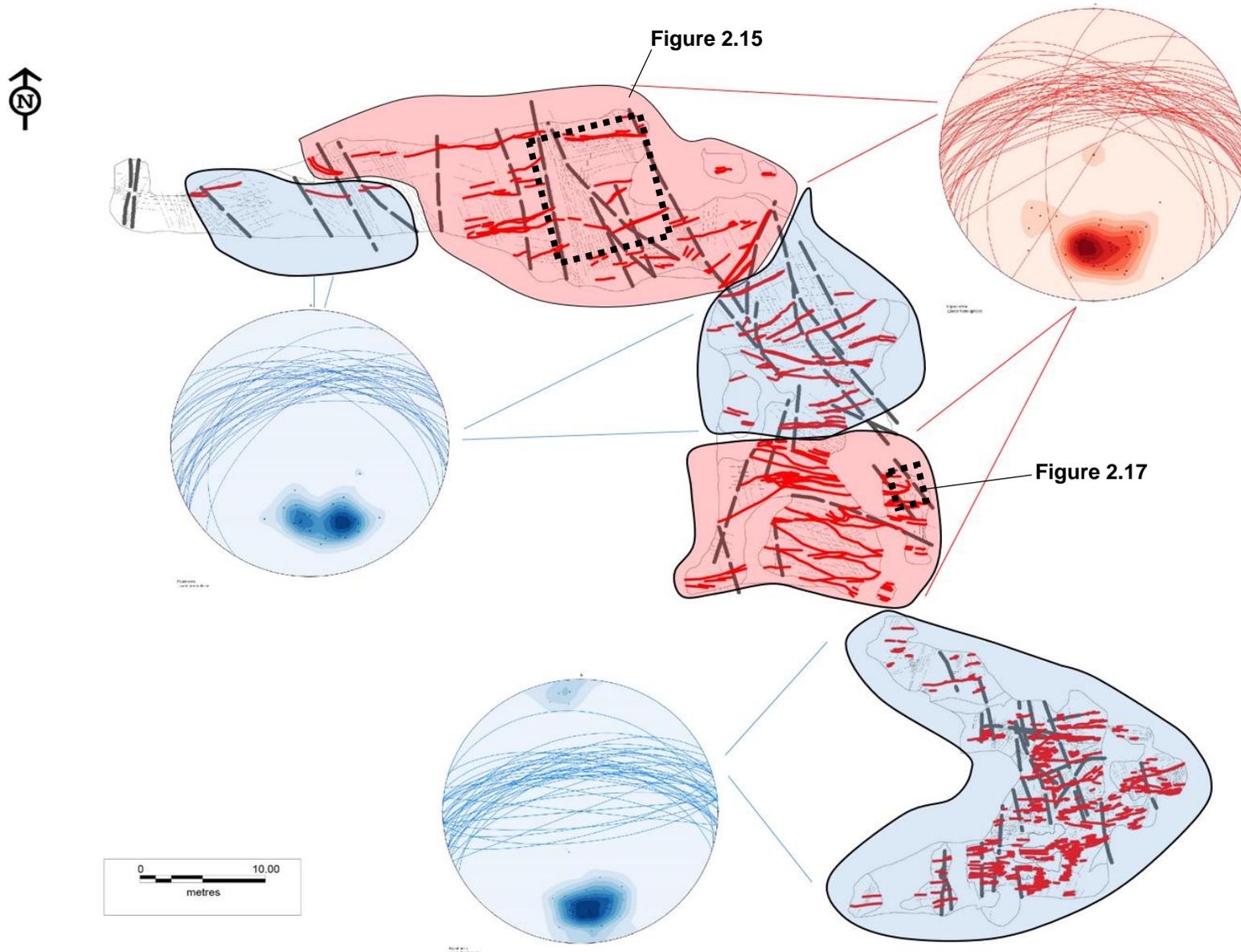


FIGURE 2.16 REPRÉSENTATION DES STRUCTURES ET DES VEINES SUR STÉRÉONETS SUR LE DÉCAPAGE PRINCIPAL: ZONES MINÉRALISÉES EN ROUGE ET NON-MINÉRALISÉES EN BLEU. REPRÉSENTATION STÉRÉOGRAPHIQUE DE WULFF (HÉMISPÈRE INFÉRIEUR). PLANS ET PÔLES (DENSITÉ - CONTOURS)

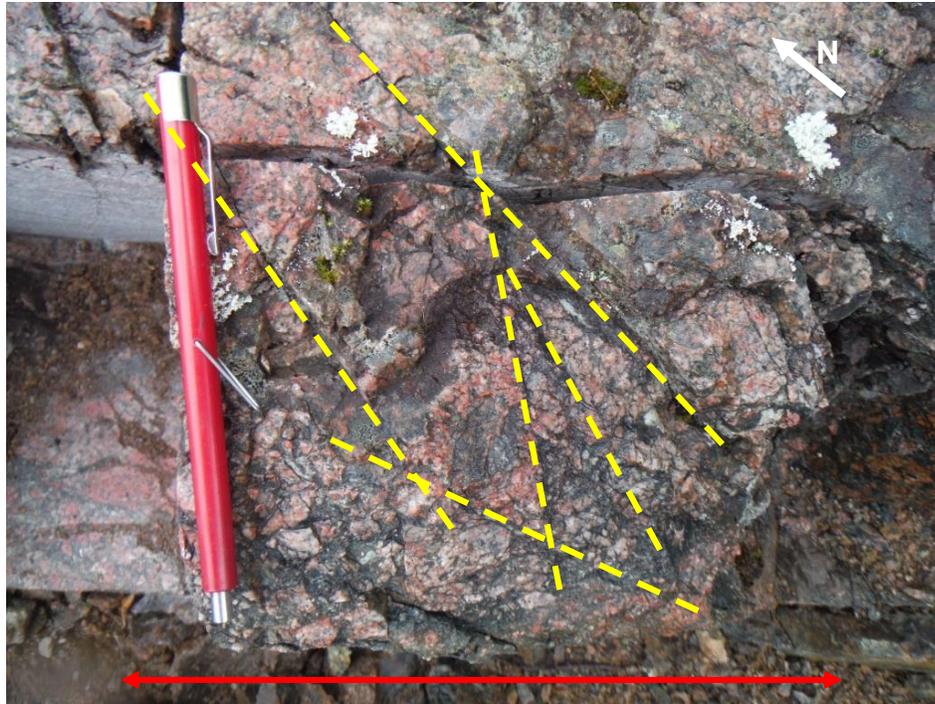


FIGURE 2.17 FRACTURATION TARDIVE DANS LE FACIÈS DE BRÈCHE À CC-CL, À ANGLE AVEC L'AXE DE LA BRÈCHE (EN ROUGE ORIENTÉE À 140°N). LA FRACTURATION TARDIVE N-S (015°-030°) EST SOULIGNÉE EN JAUNE.

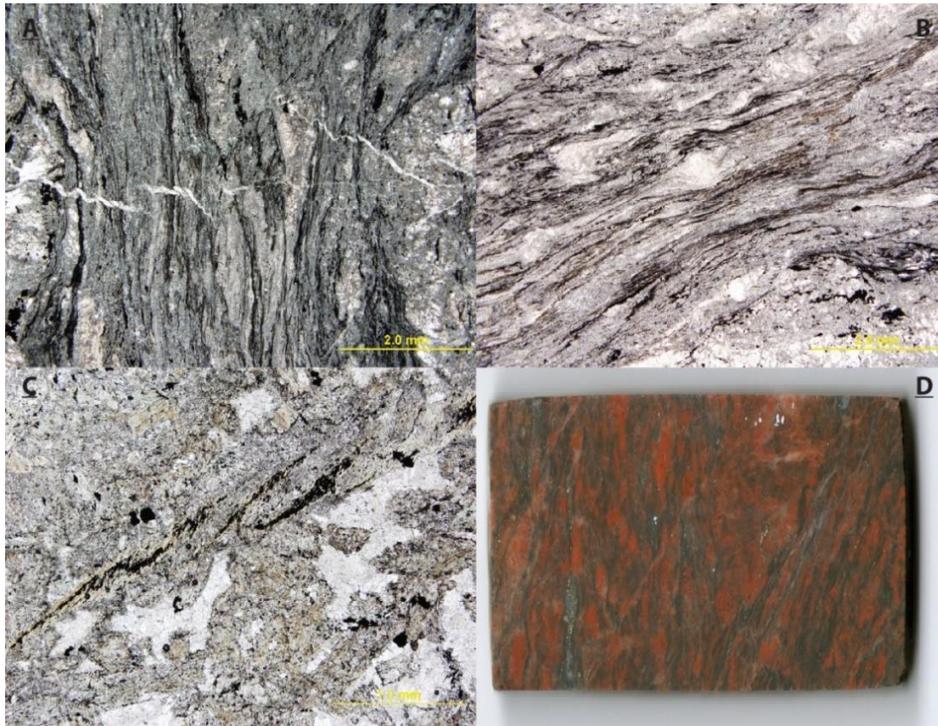


FIGURE 2.18 STRUCTURES DUCTILES - LAME 66_97,5 : CISAILLEMENT OBSERVÉ À PROXIMITÉ DU COULOIR DE DÉFORMATION LAC SHORTT. (A) VEINE DE QUARTZ PLISSÉE ET BOUDINÉE. (B) CISAILLEMENT AVEC FRAGMENTS DE CISAILLEMENTS DANS LES VEINULES DE CHLORITE AU SEIN DES FRAGMENTS MAFIQUES (LAME BVA-23). (D) APERÇU GÉNÉRAL DE LA DÉFORMATION DANS LE BLOC DE LA LAME MINCE 66_97,5.

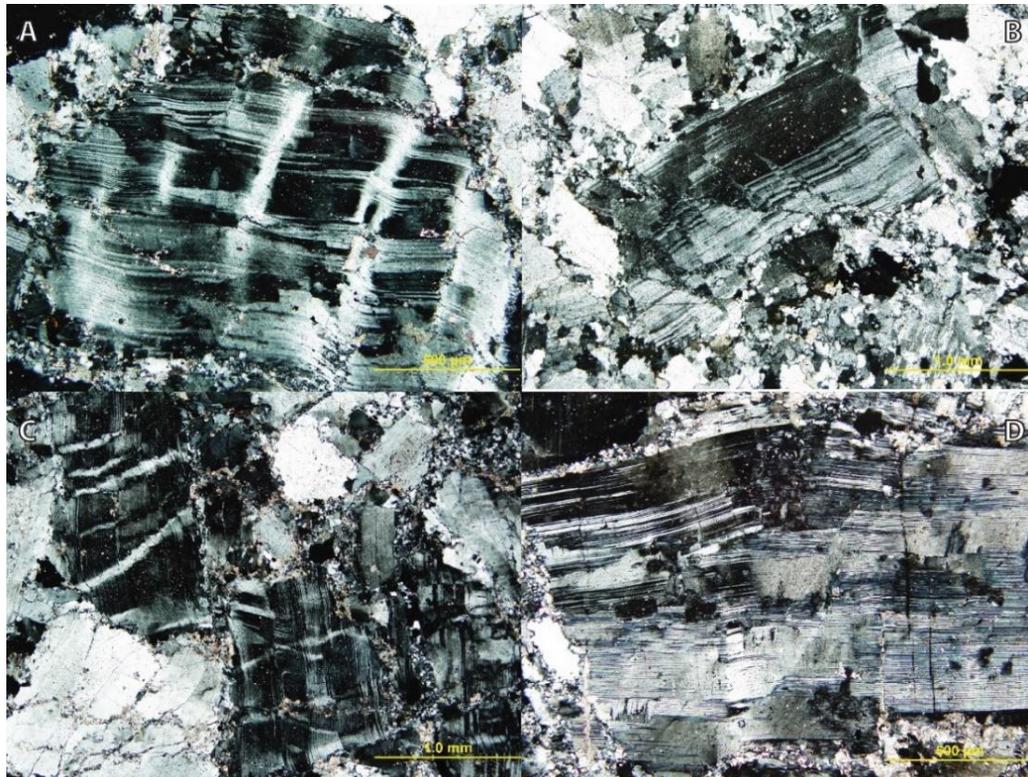


FIGURE 2.19 DÉFORMATION DUCTILE EN LAMES MINCES : DÉFORMATIONS EN KINKS DANS LES MACLES DE PLAGIOCLASES. (A) LAME 65_412.5 (B) LAME TR-98-02-A-DYKE (C) LAME 65_412.5 (D) LAME 55_43.5

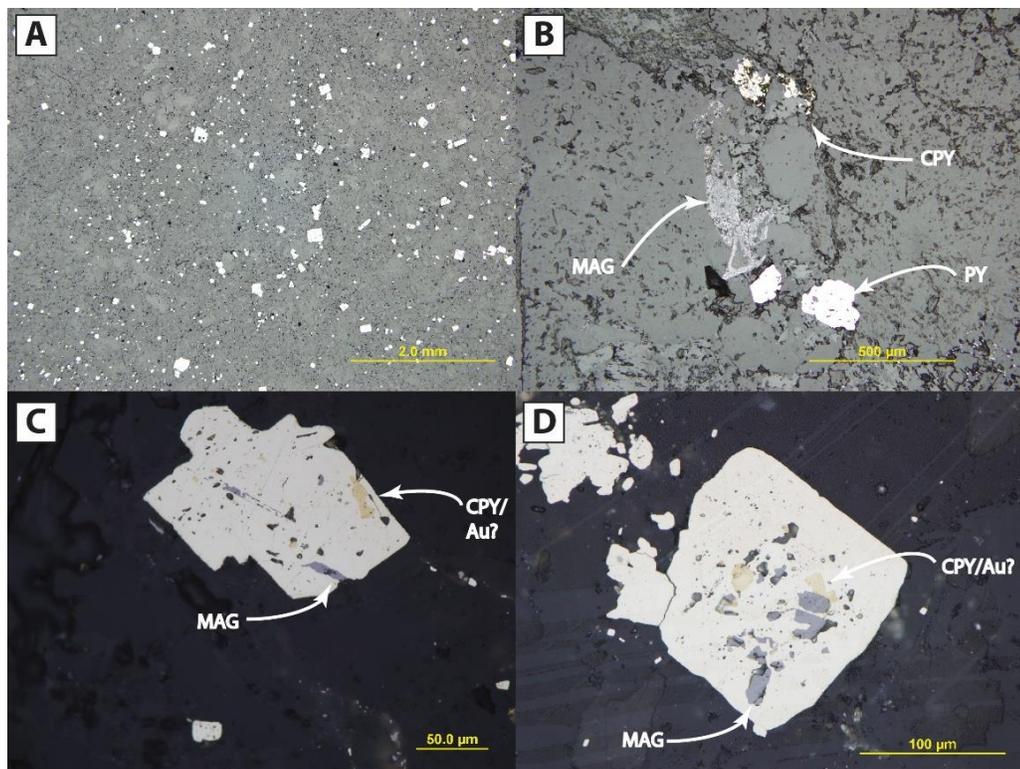


FIGURE 2.20 ASSEMBLAGES ET DISTRIBUTION DE LA MINÉRALISATION DU STOCK DE BOYVINET EN LAMES MINCES : (A) LAME BVA-05 (B) LAME BVA-06 (C) LAME BVA-11A (D) LAME 59_171

Chapitre 3

Caractérisation des altérations hydrothermales

Les altérations hydrothermales varient minéralogiquement et spatialement, de proximale à distale, en fonction des types de gisements (Tableau 1.1; Thompson et Thompson, 1996; Eilu et al., 1999; Jébrak et Marcoux, 2008; Pirajno, 2009). Elles représentent l’empreinte des variations chimiques causées par le passage des fluides hydrothermaux et constituent généralement une suite de minéraux typiques selon certains contextes (Mikucki, 1998). La nature des fluides influence donc la minéralogie d’altération. L’altération hydrothermale est directement reliée à la genèse de la minéralisation. C’est donc une caractéristique discriminante qui influence les stratégies d’exploration sur une propriété. Ce Chapitre vise 1) à déterminer la (ou les) séquences paragenétique(s) des minéraux d’altération hydrothermale au sein du Stock de Boyvinet, 2) à relier spatialement les altérations à la minéralisation, et 3) de les quantifier géochimiquement à l’aide de bilans de masses pour déterminer les variations en éléments mobiles (gains et pertes). En effectuant des levés de susceptibilité magnétique, il sera possible de comparer la réponse magnétique de certaines altérations. Par la suite, des comparaisons seront réalisées avec la minéralogie décrite en lames minces, en affleurement et en forages, afin de proposer des liens avec la susceptibilité magnétique des zones minéralisées à l’échelle des affleurements cartographiés.

3.1 Minéralogie

La minéralogie des altérations hydrothermales a été décrite à partir de cartographies de détail (échelle 1 :50) en affleurement et en forages en premier lieu, et par la suite à partir d'échantillons représentatifs en lames minces. Les travaux de terrain réalisés dans le cadre de ce projet correspondent à un total de 5 décapages et 11 forages carottés. La suite paragenétique complète observée dans le corps intrusif est : albite – chlorite – hématite – silice – carbonates – magnétite – pyrite ± séricite ± épidote (Figure 3.1). Cette suite de minéraux s'observe sur tous les affleurements minéralisés et dans la majorité des forages répartis au sein du corps intrusif (Figure 2.1). Les altérations hydrothermales rencontrées en lames minces et en cartographie sont décrites ci-dessous selon les minéraux. Il faut souligner que les altérations hydrothermales ont été plus faciles à reconnaître et à placer chronologiquement grâce à la hornblende, qui a enregistré une grande partie des transformations minéralogiques.

Épidotisation

L'épidote, une phase principalement rencontrée au sein de la hornblende, est perceptible à quelques endroits où le degré d'altération est plus faible (Figure 3.1A). Elle s'observe sous forme de texture en « manteau d'Arlequin » (pôle pistachite; Roubeault, 1982). Sous la forme cryptocristalline, l'épidote est alors difficile à différencier des carbonates aussi présents en remplacement dans la hornblende. Il est fort possible qu'il s'agisse d'une évidence du métamorphisme régional aux schistes verts (métamorphisme prograde). L'épidote est communément remplacée par la chlorite, sauf pour la partie sud de l'intrusion, notamment sur le décapage BVB

(Figure 1.7). À cet endroit, l'épidote est un minéral interstitiel du corps intrusif lui-même et forme aussi localement des veinules centimétriques (voir rapport interne en Annexe D). Cette épidotisation prononcée et ponctuelle pourrait être en lien avec la proximité des dykes majeurs de gabbros du complexe de la Chute-à-l'Esturgeon et de la Faille Opawica.

Chloritisation

La chlorite remplace communément l'épidote développée dans les phénocristaux de hornblende (Figure 3.1B et 3.1G) et se retrouve aussi en grains libres dans les zones interstitielles aux phénocristaux de feldspaths albitisés. L'altération en chlorite est aussi très bien développée au sein des fragments mafiques (Figure 2.3), fort probablement tardive à l'épidotisation. De plus, on retrouve communément des zones de filonets de chlorite aux pourtours de zones minéralisées (en affleurement et en forage) d'épaisseur décimétrique à métrique. Localement, des veinules de chlorite-pyrite sont retrouvées dans ces portions de filonets, mais ne portent pas des valeurs aurifères économiques. La cartographie de l'affleurement TR-98-02-A en annexe présente un exemple concret de veinules de chlorite périphériques aux zones minéralisées.

La chlorite se retrouve également en ciment des brèches hydrauliques. Ces brèches stériles ont été décrites à la section 2.3. La chlorite en ciment est clairement différente de celle qui remplace les phases ferromagnésiennes de l'intrusion. En effet, la chlorite en ciment est d'aspect bleuté en lumière polarisée alors que celle en remplacement est plus verdâtre.

Martitisation (albitisation et hématisation)

La martitisation, selon Thompson et al. (1996), est un développement d'albite secondaire dans un feldspath, associé à la présence d'inclusions d'hématite cristalline très fine (provenant d'une transformation de la magnétite en hématite). Lorsque l'albite secondaire se développe sous forme tabulaire très fine, elle le fait selon un plan préférentiel, voire deux, résultant en une texture en « damier ». Cette texture est l'étape ultime de l'altération des grains originels de feldspaths. La figure 3.1C présente l'aspect microgranulaire de l'albitisation et des inclusions d'hématite. L'altération se développe généralement en fonction des macles ou des portions plus sodiques. On retrouve également des néocristaux d'albite dans les veines périphériques aux zones fortement albitisées (discuté dans le Chapitre 5). Sur la Figure 3.1C, la propagation se limite seulement aux phénocristaux de feldspaths et non aux minéraux interstitiels. Cette altération est omniprésente dans l'intrusion et a été observée en général dans toutes les lames minces provenant du corps intrusif (affleurement et forages; dans environ 90% des feldspaths observés). Cependant, une zonalité d'intensité de l'albitisation en fonction de la fracturation semble diviser les zones entre « faiblement altérée » et « fortement altérée ». L'intensité de l'altération se définit par la perte totale des macles des feldspaths/plagioclases en lames minces. En conséquence, l'intensité de l'hématisation varie également proportionnellement de faible à très forte au sein des feldspaths altérés (Figure 3.2).

Silicification

La silicification diffuse (jusqu'à 5% du contenu minéralogique) s'observe en forages et sur la majorité des affleurements cartographiés. Communément associée aux

zones riches en veines et veinules de quartz-carbonates, elle est aussi présente de manière pervasive sous la forme de grains de quartz très fins et parfois recristallisés (jonctions triples). La silicification pervasive est toutefois directement reliée à l'enrichissement aurifère, comparativement aux simples intervalles de stockwerks de veines et veinules, qui elles sont communément stériles. La description complète des veines de quartz et quartz-carbonates est présentée dans le Chapitre 5, en lien avec les fluides minéralisateurs.

Carbonatation

La carbonatation s'observe sous plusieurs formes : en remplacement dans les phénocristaux de hornblende, en veinules et en grains libres dans la mésostase de manière diffuse (environ 5%, jusqu'à 10% dans les zones minéralisées). Deux principaux types de carbonates sont reconnus (Tableau 2.3) : calcite et carbonates de fer (ankérite). En grains libres, ou en veinules (Figure 3.1D), la granulométrie est moyenne à grossière (plurimillimétrique), présentant des grains communément maclés et idiomorphes. La Figure 3.1D présente, en lumière polarisée et double polarisée, un remplacement en carbonates dans les grains de hornblende. Elle reprend l'épidotisation et une partie de la chloritisation sous forme de grains xénomorphes distribués de façon homogène à granulométrie fine. Les veinules de calcite observées (affleurements et lames minces) sont pratiquement toujours en périphérie de veines de quartz-carbonates et recoupent les veines de quartz. Dans la partie Nord de l'intrusion (trous BV-04-65 et 66), on observe un remplacement quasi-total de la roche par les carbonates, indépendamment du protolithe. Ils sont observés sous forme de fins grains de carbonates matriciels micrométriques, ou

sous la forme de bréchification intense, accompagnés d'une très forte hématisation. Cette hématisation, discutée ci-dessous, est différente de celle associée à la martitisation (albite+hématite) qui elle, est développée au sein du corps intrusif en général.

Titanite

La présence de titanite (traces à 2%) s'observe en périphérie des amphiboles (hornblende) et des minéraux opaques en grains hypidiomorphes à idiomorphes. En général, on observe de beaux grains de titanite de taille variable; mais certains sont résorbés ou hypidiomorphes (Figure 2.5). Les Figures 3.1E et F présentent un bon exemple de l'association de la titanite avec la hornblende. Du point de vue de la composition chimique, il est possible que les titanites soient un produit secondaire de l'altération hydrothermale des hornblendes car celles-ci peuvent être légèrement enrichies en titane (Deer, 1966). Une origine magmatique des titanites peut aussi être envisagée, selon les textures observées. Outre leur origine incertaine, les titanites montrent une relation chronologique importante: elles sont ultérieurement oxydées en ilménite \pm magnétite (Figure 2.20), donc possiblement antérieures aux oxydes dans l'histoire de l'évolution hydrothermale.

Oxydes

Les phases d'oxydes rencontrées sont essentiellement de la magnétite, très rarement de l'ilménite (en traces ou en remplacement des titanites), et de l'hématite (jusqu'à 5% du contenu minéralogique au total). Toutes les lames minces contiennent un certain pourcentage de magnétite. Tel qu'observé sur le terrain, l'intrusion semble contenir de la magnétite (1-5%) de façon générale. On l'observe

en remplacement dans les phases suivantes : hornblende, chlorite (Figure 3.1G), pyrite et titanite. Dans le cas de fragments basaltiques (Figure 2.3), la magnétite semble soit magmatique ou en remplacement des minéraux ferromagnésiens ou d'altération. Les oxydes seront discutés dans le Chapitre 4 avec une description exhaustive des observations réalisées en lames minces, pour déterminer leur relation avec la minéralisation aurifère.

Séricite

Certaines lames minces comportaient des feldspaths séricitisés (traces-1%) (Figure 3.1F). Ces échantillons proviennent plus particulièrement des forages situés au nord, près du couloir de déformation de la Faille Shortt (trous BV-04-65 et 66). La teinte brunâtre de la séricite se distingue bien de la teinte gris-rosé de l'albitisation. Elle est également observée ailleurs dans l'intrusion, mais à très faible intensité. Sa nature en « taches » permet aussi de la différencier des autres altérations associées aux feldspaths. Cette altération peut indiquer un apport en potassium dans le système, ou la présence antérieure de feldspaths potassiques au sein de l'intrusion (Thompson, 1996). Fait à noter, la séricitisation se superpose à l'albitisation au cœur des grains de feldspaths, ce qui suggère une origine tardive par rapport à la martitisation retrouvée ailleurs dans l'intrusion.

Hématisation

L'hématisation superposée à la martitisation générale de l'intrusion (traces-2%) est présente particulièrement dans la portion nord de l'intrusion, en bordure de la Faille du Lac Shortt. Phénomène reconnu à la mine du Lac Shortt (Prud'homme, 1990; Brisson 1998), cette altération est postérieure à la martitisation car elle est retrouvée

dans des zones de métasomatisme (silicification et de carbonatation intense). La Figure 3.3 présente des évidences en microphotographies de grains d'hématite compris dans les fractures de grains de quartz et dans les brèches à carbonates observées dans la portion nord, ce qui implique une venue tardive de l'hématite par rapport aux autres phénomènes d'altérations précoces. Cette relation chronologique est également confirmée par les relations de terrain sur le décapage principal, essentiellement par la zonalité des altérations hydrothermales cartographiées.

3.2 Associations spatiales avec la minéralisation

Afin de cibler les relations spatiales entre les différentes altérations hydrothermales et la minéralisation aurifère, une compilation des observations faites à partir des carottes de forages est présentée à la Figure 3.4. Un total de 11 forages y est représenté (emplacement des forages sur la Figure 2.1), avec les intervalles des altérations hydrothermales jugées significatives : l'hématite (Hm), silicification (Si), pyrite (Py), carbonatation (Cb) et chloritisation (Cl). Les analyses aurifères en Au (ppb) ont aussi été représentées en association avec les altérations décrites. L'échelle des teneurs aurifères varie en fonction des teneurs moyennes en forages. Toutes les mesures proviennent des forages décrits lors des travaux de terrain, rapportés sur un logiciel (Microsoft Excel), traités et mis en figure synthèse grâce à des programmes d'illustration (Adobe Illustrator).

La figure 3.4 illustre bien les relations spatiales entre la répartition de la minéralisation au sein des trous de forage, altérations hydrothermales et teneurs aurifères. À partir de cette compilation, plusieurs relations peuvent être établies : 1)

la présence de minéralisation aurifère est associée à différentes altérations hydrothermales à l'échelle de la propriété, 2) il y a de larges halos d'altérations hydrothermales, c'est-à-dire qu'un très grand volume de roche altérée est observé dans l'intrusion, et 3) les intervalles altérés ne sont pas seulement proximaux aux corps aurifères. Le constat est que les corps minéralisés et les zones d'altérations hydrothermales sont d'étendues variables et distribués dans l'ensemble de l'intrusion.

Les altérations hydrothermales se superposent communément avec la majorité des intersections minéralisées, ce qui est en accord avec les observations de terrain. La pyrite est directement associée à la minéralisation, mais pas dans la totalité des intersections en forages. Évidemment, étant donné la nature cryptique et disséminée de la minéralisation ainsi que la fine granulométrie des grains de pyrite, certaines zones minéralisées peuvent ne pas avoir été décrites, malgré la présence d'or dans les analyses. D'autre part, il faut aussi souligner un problème de géométrie : les forages sont orientés pour la plupart vers le nord, soit dans l'axe de pendage des systèmes de veines minéralisées. Cela peut donc engendrer des absences d'intersections aurifères ou encore fausser (exagérer ou diminuer) les épaisseurs réelles de celles-ci.

Les altérations hydrothermales directement reliées à la minéralisation sont composées d'albite, hématite, carbonates, silice, chlorite, séricite et pyrite. Les oxydes, tels la magnétite ou l'ilménite, n'ont pas été considérés dans cette compilation. Ils sont trop disséminés ou fins, et donc difficiles à déterminer objectivement en forages. Par contre, il faut mentionner que la magnétite est communément présente

en plus grandes proportions aux épontes des halos d'altération en silice et carbonates, dans l'encaissant martitisé et chloritisé.

L'hématisation est en général associée à l'albitisation (martitisation) et correspond à une altération de faible intensité largement distribuée au sein de l'intrusion. Par contre, celle-ci devient plus forte à proximité des zones minéralisées. La Figure 3.2 illustre ce phénomène en comparant des échantillons mégascopiques. Ainsi, certaines zones minéralisées s'accompagnent d'une intensification de l'hématisation, manifestée par la couleur rougeâtre, alors que l'intrusion globalement renferme un bruit de fond d'hématite et d'albite. Les intervalles hématisés rapportés à la Figure 2.3 sont ceux qui correspondent à une forte hématisation superposée à l'altération générale (comparable à la Figure 3.2C). Au final, l'hématisation intense est communément proximale aux zones aurifères et plus spécifiquement au cœur des zones à carbonates-silice-chlorite-séricite.

Selon la figure 3.4, les zones silicifiées sont généralement associées aux zones les plus riches en pyrite. Les zones décrites comme silicifiées sont généralement dépourvues des veines de quartz (en bleu sur la Figure 3.4). Néanmoins, dans certains cas, notamment dans la portion nord à proximité de la faille du Lac Shortt, les zones silicifiées s'accompagnent d'une certaine proportion d'intersections minéralisées liées à la présence de veines sur de larges épaisseurs.

La carbonatation et son intensité se retrouvent intimement reliées à la densité de fracturation et à la rencontre des deux familles de structures décrites auparavant (celles à tendance E-O et N-S). Quoique présente de façon générale, mais à faible intensité (en remplacement des amphiboles), la carbonatation est très influencée

par la proximité des zones densément fracturées N-S, et semble se superposer à l'altération en albite-hématite observée au sein de l'intrusion en général.

La chloritisation, quant à elle, est communément sous forme de zones de filonets décimétriques à métriques développés en périphérie de zones minéralisées. La chlorite n'est donc pas directement présente dans les intervalles minéralisés. Néanmoins, les filonets de chlorite se sont toutefois révélés être de bons indicateurs de la proximité des zones minéralisées en forages et en affleurement.

Une suite d'altérations hydrothermales générale a été identifiée précédemment, incluant albite – chlorite – hématite – silice – carbonates – magnétite – pyrite ± séricite ± épidote (Figure 3.1). Selon la Figure 3.4, la superposition de ces minéraux n'est pas toujours complète. Par exemple, des zones aurifères sont associées spécifiquement à des halos d'altération en albite-hématite (1), alors que d'autres zones sont associées uniquement à l'assemblage carbonates-silice-chlorite (2). Sur la Figure 3.4, les encadrés rosés illustrent des intersections minéralisés ayant la paragenèse albite-hématite, alors que ceux en orange sont pour la paragenèse carbonates-silice-chlorite. Ces relations suggèrent donc deux pôles distincts d'altération, soit albite-hématite et carbonates-silice-chlorite. Certes, ces deux pôles d'altérations sont également superposés. Chronologiquement, selon les relations établies ci-haut, l'assemblage carbonates-silice-chlorite est tardif.

3.3 Bilans de masses

Des calculs de bilan de masse ont été effectués afin de quantifier et corréler les altérations hydrothermales sur des bases chimiques. Cela devrait permettre de vérifier si les altérations décrites en lames mince sont en accord avec les

constituants chimiques majeurs (SiO_2 , Na_2O , Fe_2O_3 , CaO , K_2O et MgO). La méthodologie se base sur l'utilisation de la méthode de Grant (1986) incluse dans le logiciel Lithomodeleur® (CONSOREM; Trépanier et al., 2016). Des bilans de masse à partir de précurseur unique ont été calculés à partir des échantillons analysés provenant de l'intrusion (total de 33 analyses). L'utilisation du précurseur unique se base sur certains concepts tels que : 1) le précurseur est un corps intrusif (ce qui limite les variations dans sa chimie), 2) le pluton n'est pas zoné, donc constitué seulement d'une phase, et que 3) la taille et le contenu des phénocristaux est considérée homogène. Effectivement, comme expliqué au Chapitre 2, les proportions minéralogiques restent pratiquement toujours les mêmes, malgré la différence de taille des cristaux (principalement dans le cas de la hornblende).

En premier lieu, de simples graphiques binaires ont été créés (Figure 3.5) pour déterminer 1) s'il existe une variabilité dans les analyses chimiques à partir de ratios d'éléments immobiles (Al_2O_3 , TiO_2 et Zr; Barrett et McLean (1993)), et 2) pour comparer les échantillons minéralisés et stériles. Selon les diagrammes, il y a une variabilité importante entre les échantillons non minéralisés (bleu) et minéralisés (rouge) qui est définie par une distribution et un décalage le long de la droite d'altération. Cette droite est définie selon l'origine et la composition d'un échantillon considéré comme frais (BVA-01, Figure 3.2A - mis en évidence sur les diagrammes). Comme les éléments utilisés sont considérés comme immobiles, un gain de masse conserve le rapport, mais diminue les concentrations absolues des éléments et inversement. De la sorte, les échantillons situés le long de la droite d'altération et sous l'échantillon de référence ont subi un gain de masse et inversement.

Les deux diagrammes présentent des gains de masse pour la plupart des échantillons minéralisés. Il y a aussi un groupement apparent d'échantillons, essentiellement stériles autour de l'échantillon de référence BVA-01, indiquant qu'ils sont peu altérés. Toutefois, certains échantillons minéralisés ont enregistré des pertes en éléments mobiles. Il n'y a donc pas de relation totalement cohérente entre altération et minéralisation.

Le diagramme d'altération hydrothermale de type Boxplot (Figure 3.6; modifié de Large et al., 2001) a été utilisé car il permet de visualiser l'effet de l'altération en fonction de la minéralogie. La distribution des échantillons montre une tendance vers le pôle d'altération en albite, ce qui est cohérent avec les observations de terrain et en lames minces. En outre, une légère division en deux groupes se dessine sur le graphique, définissant les échantillons ayant une altération en albite plus prononcée de ceux légèrement enrichis en potassium (séricite). Au final, les échantillons minéralisés montrent une dispersion importante, impliquant qu'aucune altération spécifique et unique ne caractérise les échantillons minéralisés.

Pour mieux définir les altérations hydrothermales, des calculs de bilans de masses ont été effectués. La Figure 3.7 présente les bilans de masse globaux calculés à partir d'un précurseur unique (BVA-01) pour les 33 échantillons (méthode de Grant, 1986). Les échantillons ont été disposés de manière à faire ressortir les gains et les pertes totales (somme) et ce en lien avec les teneurs aurifères. Un total de 24 échantillons montre des gains de masses contre 7 pour des pertes. L'or est essentiellement associé aux gains de masses, mais sans lien cohérent entre l'intensité des gains et les valeurs aurifères.

La Figure 3.8 présente les bilans de masse pour les oxydes majeurs, soient le SiO_2 (gain <30%), CaO (gain <25%), Na_2O (gain <33%), Fe_2O_3 (perte <8%), K_2O (gain <200%) et MgO (perte 5%). Les bilans de masse ont été calculés en fonction des éléments immobiles : Al_2O_3 , TiO_2 , Zr, Y, Nb et Th. Cette figure est divisée en trois catégories, en fonction des bilans de masse globaux de la Figure 3.7 : BLEUS pour les échantillons avec de forts gains de masses, VERTS pour ceux considérés comme neutre et les ROUGES pour ceux ayant subi des pertes. Pour les fins de la caractérisation, 3 échantillons par catégories ont été sélectionnés (Figure 3.7) selon l'intensité maximale des gains ou pertes.

Des gains en silice, sodium, potassium et calcium caractérisent les échantillons ayant de forts gains de bilans de masse (en vert). Ils ont toutefois des pertes en fer et magnésium. La très forte variation du K_2O relativement aux autres oxydes peut être expliquée par sa faible contraction initiale et par la forte mobilité du K en solution.

Les échantillons avec de fortes pertes de masse ont des déficits en silice, sodium, calcium et magnésium, mais des gains en potassium et en fer. Leur altération hydrothermale est peu développée (dominance à martitisation faible et chlorite) comparativement à la série d'échantillons avec gains de masses. Ces échantillons sont pour la plupart localisés en marge de zones minéralisées.

Les échantillons « neutres » ont des variations positives ou négatives qui sont expliquées par la minéralogie spécifique de chaque échantillon. Par exemple, les gains en fer traduisent la présence d'hématite causée par la martitisation en périphérie des zones altérées.

La Figure 3.7 permet de bien visualiser l'intensité générale de l'altération hydrothermale. Cette intensité d'altération hydrothermale est cohérente avec les descriptions minéralogiques effectuées sur le terrain et en lames minces. Le SiO_2 , le CaO , le Na_2O , le Fe_2O_3 et le K_2O représentent respectivement les altérations comme la silicification, la carbonatation, l'albitisation, la chloritisation (et/ou carbonates de fer) et la séricitisation respectivement.

La grande majorité des échantillons minéralisés ont enregistré des gains en éléments mobiles (Figure 3.7). Les gains chimiques en silice, calcium et sodium sont le reflet de l'altération hydrothermale et sont concordants avec la minéralogie (quartz, carbonates et albite). Ce sont les principaux éléments mobiles en ajout dans les échantillons analysés. La méthode des bilans de masse par précurseur unique se révèle donc une méthode efficace pour ce projet si l'intensité d'altération hydrothermale du précurseur utilisé est égale ou moindre à celle de l'échantillon BVA-01 (analyse #938451; Annexe B). Celui-ci est très faiblement martitisé (altération générale dans l'intrusion), et ne présente pas de carbonatation, de pyrite ou de forte hématisation. Les analyses en éléments majeurs, avec la méthode du bilan de masses par précurseur unique, pourraient alors donner des indications relatives aux grands couloirs d'altérations hydrothermales comme l'albitisation, la silicification ou la carbonatation sans être une méthode coûteuse de caractérisation des altérations hydrothermales au sein d'un corps intrusif homogène tel le Stock de Boyvinet.. Enfin, il faut souligner que la corrélation avec une perte au feu plus élevée est aussi observée dans les analyses chimiques des échantillons minéralisés.

3.4 Réponses de la susceptibilité magnétique aux altérations hydrothermales

En utilisant un appareil GDD de mesure de susceptibilité magnétique pour les carottes de forages, un test a été effectué afin de déterminer la viabilité d'une telle méthode sur des affleurements et ce, dans le but de coupler cette information aux observations obtenues en cartographie et à la géochimie des échantillons. L'appareil mesure la susceptibilité magnétique en continu à des intervalles réguliers de 0,5 seconde. Les données prises en affleurement ont été intégrées sous forme de lignes de points géoréférencés ayant une valeur de susceptibilité magnétique. La Figure 3.9 présente un exemple du traitement des données à partir des lignes. Chaque point équivaut à une donnée d'unité de susceptibilité magnétique (10^{-3} SI). Les valeurs sont ensuite interpolées à partir de l'inverse des distances au carré dans le logiciel MapInfo. Pour les affleurements TR-98-02-A et B, les lignes étaient orientées vers le nord et réparties au mètre, alors que pour le décapage principal, elles l'étaient aux deux mètres.

Pour les résultats en affleurement et en forage (Figures 3.10 et 3.11), on observe une perte quasi-totale du magnétisme dans les zones minéralisées. L'encaissant, de façon générale, possède une valeur en $SI \cdot 10^{-3}$ de 20-25 et localement jusqu'à 50 en affleurement, tandis que les zones minéralisées ont des valeurs de 0,1-1 $SI \cdot 10^{-3}$. Le contraste permet bien de visualiser les zones aurifères à l'échelle d'un affleurement. En ce qui concerne les forages, des valeurs enregistrées pour les roches encaissantes varient entre 20 et 40 $SI \cdot 10^{-3}$ alors que

celles pour les intersections minéralisées sont de 0,1 et 5 SI*10⁻³. Ces valeurs sont comparables et répétitives dans tous les forages et affleurements analysés.

Il est possible d'interpréter ces réponses à partir de la paragenèse d'altération hydrothermale : la silicification, la carbonatation, la pyritisation et la martitisation/hématisation (remplacement de la magnétite par l'hématite). La Figure 3.10 traite des informations recueillies à partir des forages, et met aussi en relation la susceptibilité magnétique et la minéralisation aurifère. Les encadrés rouges sont agrandis dans la Figure 3.11 et les variations abruptes de la susceptibilité magnétique ressortent très bien (mises en évidence par les flèches noires). De façon générale, en forage comme en affleurement, c'est le comportement observé en périphérie de zones minéralisées. Les Figures 3.12, 3.13 et 3.14 présentent les résultats du traitement des données de susceptibilité magnétique en affleurement, avec la cartographie des altérations hydrothermales et les valeurs aurifères des rainures (Au en ppb). Ces variations minéralogiques causent la perte significative du magnétisme au sein du corps minéralisé, et le démembrement par les failles N-S (introduit sur la Figure 2.15) créent un fort contraste entre les zones altérées et minéralisées et l'encaissant.

Le lien spatial est très fort entre les altérations hydrothermales, la présence de minéralisation et la baisse significative de la susceptibilité magnétique (Figures 3.12 à 3.14). Le tout semble, comme décrit dans la section 2.3, d'orientation E-O, recoupé et démembrée par des structures N-S en décrochement. Il faut souligner ici la bonne corrélation entre l'emplacement des failles/structures cassantes et la perte significative de susceptibilité magnétique. Cela indique que la cartographie des

altérations hydrothermales, des corps minéralisés et des structures concordent bien avec les mesures de susceptibilité magnétique, et ce au décimètre près. Ces informations permettent aussi de percevoir des zones faiblement silicifiées et/ou carbonatées qui auraient pûes être manquées lors de la cartographie ou la description des carottes de forage. Au final, cette méthode permet de bien discerner les zones altérées aussi bien sur les décapages qu'en forages. Les implications de ces interprétations seront discutées dans le Chapitre 6 quant au potentiel et la définition de futures cibles d'exploration à travailler.

3.5 Conclusions

À partir des descriptions faites en affleurement, forage et en lame minces, une suite d'altérations hydrothermales reliées directement aux zones minéralisées a été déterminée : albite-hématite-carbonates-silice-chlorite-séricite et pyrite. Cependant, deux paragénèses d'altérations hydrothermales ont été individualisée en liens avec les intervalles minéralisés, soit albite-hématite-pyrite et carbonates-silice-chlorite-séricite-pyrite.

À partir des bilans de masses, des gains de masse globaux sont associés aux échantillons minéralisés, quoique la majorité des échantillons analysés comportant des gains de masse soient stériles. Les variations de masses pour SiO_2 , Na_2O , Fe_2O_3 , CaO , K_2O et MgO ont été calculés à l'aide d'un précurseur unique jugé frais (faiblement altéré) et il a été démontré que : 1) les échantillons minéralisés ont enregistrés des gains en silice, sodium, potassium et calcium et des pertes en fer et magnésium, et 2) les échantillons qui ont subi des pertes de masse se caractérisent par des déficits en silice, sodium, calcium et magnésium, mais ont des gains en

potassium et en fer. Ces résultats concordent avec les altérations décrites et la minéralogie des échantillons. La méthodologie est donc efficace et permet de quantifier des gains et pertes associées aux zones minéralisées et stériles. Enfin, les zones altérées et minéralisées correspondent à des zones de démagnétisation importantes, exprimées par des valeurs faibles de susceptibilité magnétique.

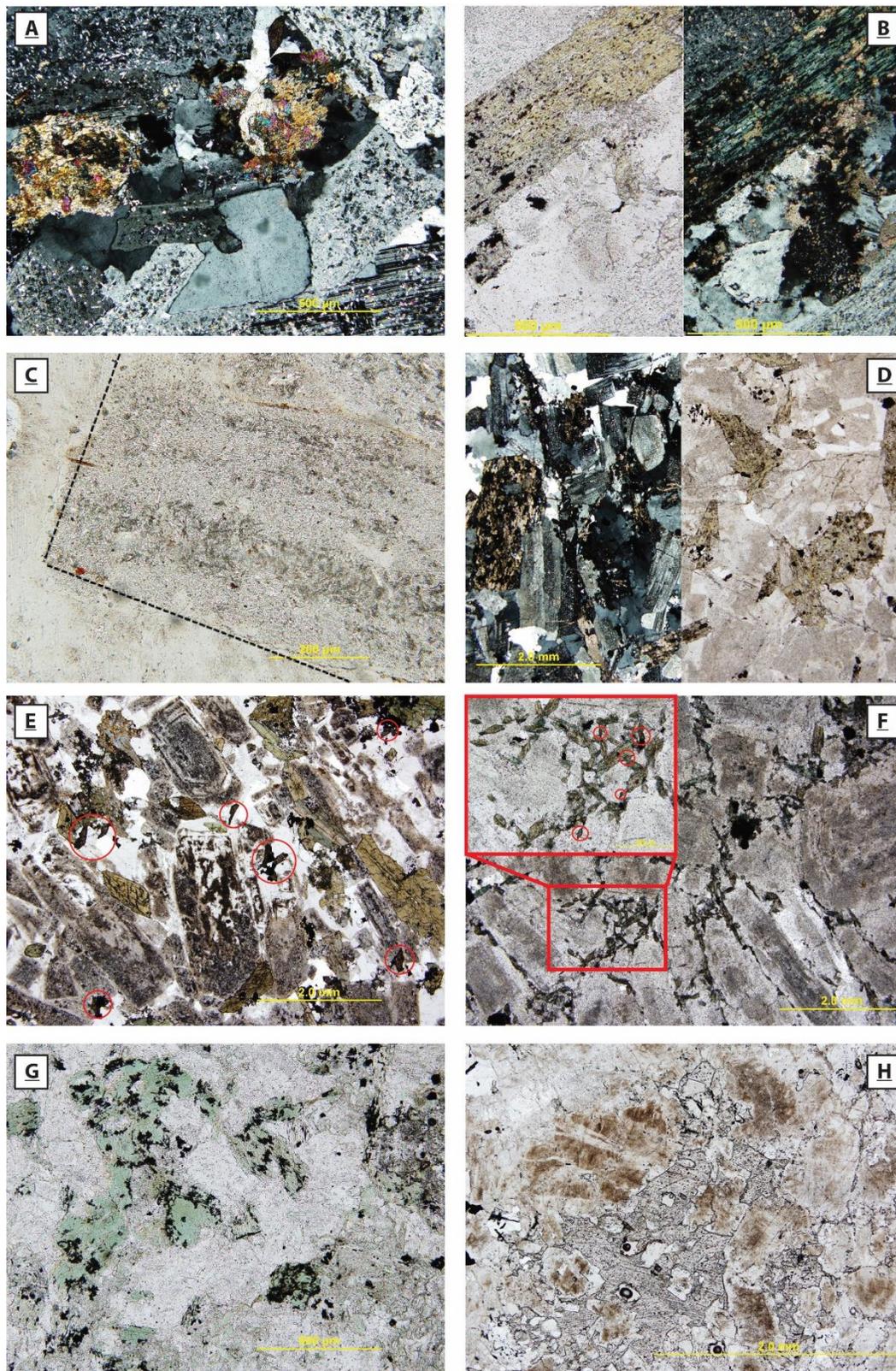


FIGURE 3.1 ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES RENCONTRÉES AU SEIN DE L'INTRUSION (A) ÉPIDOTE; (B) CHLORITE; (C) MARTITISATION; (D) CARBONATATION; (E ET F) TITANITE; (G) OXYDATION (ET CHLORITE) ET (F) SÉRICITE



FIGURE 3.2 VARIATION DE L'INTENSITÉ D'HÉMATISATION (A) FAIBLE - ALBITE DOMINANTE; (B) MOYENNE - INTENSITÉ RETROUVÉE GÉNÉRALEMENT DANS L'INTRUSION; (C) TRÈS FORTE - SUPERPOSITION ASSOCIÉE AUX ZONES MINÉRALISÉES

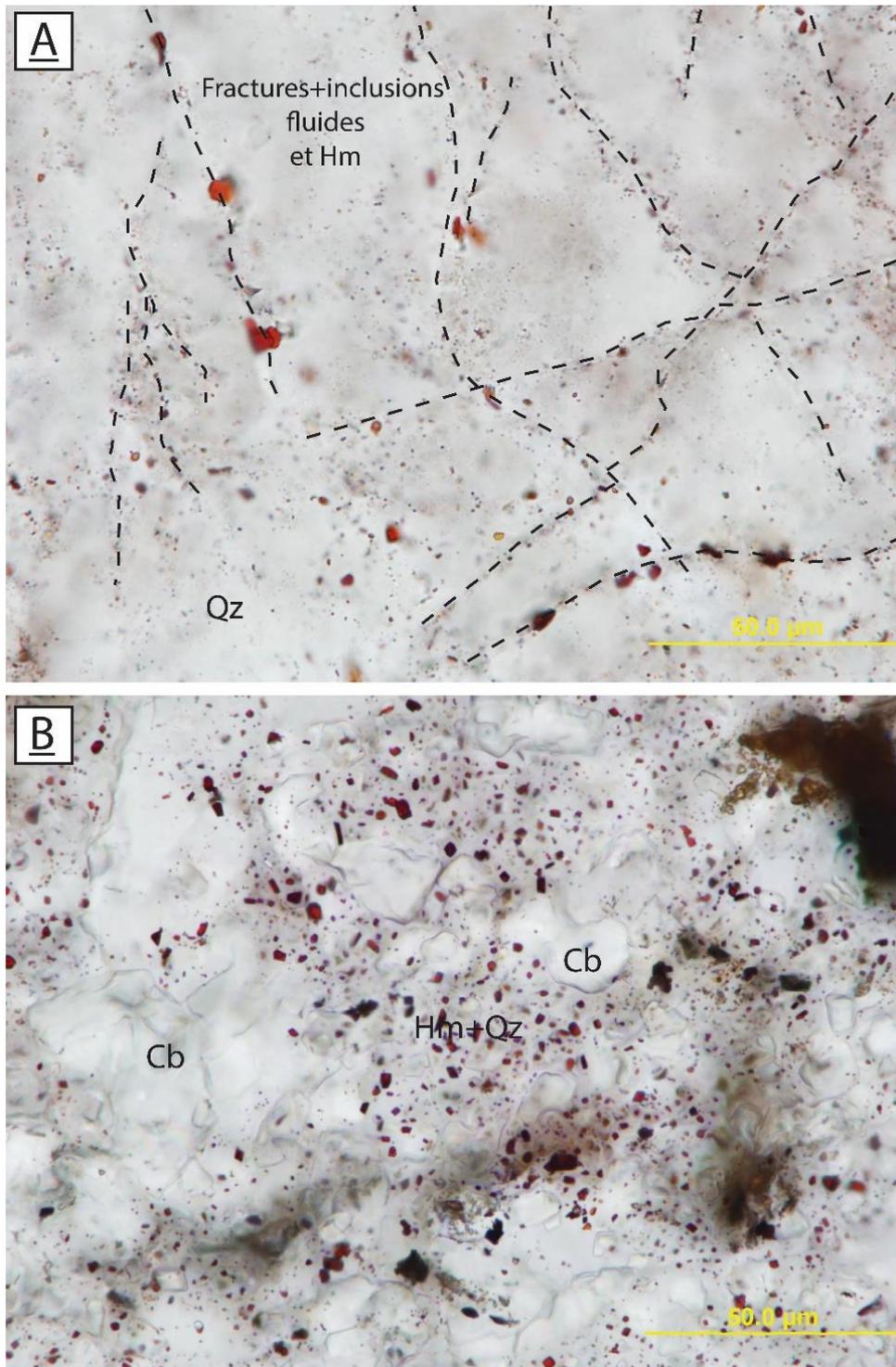


FIGURE 3.3 PRÉSENCE D'HÉMATITE TARDIVE DANS (A) LES FRACTURES DES GRAINS DE QUARTZ (ÉCH. 65_205.5) ET (B) EN BRÈCHE AVEC CARBONATES ET QUARTZ (ÉCH. 66_318.2)

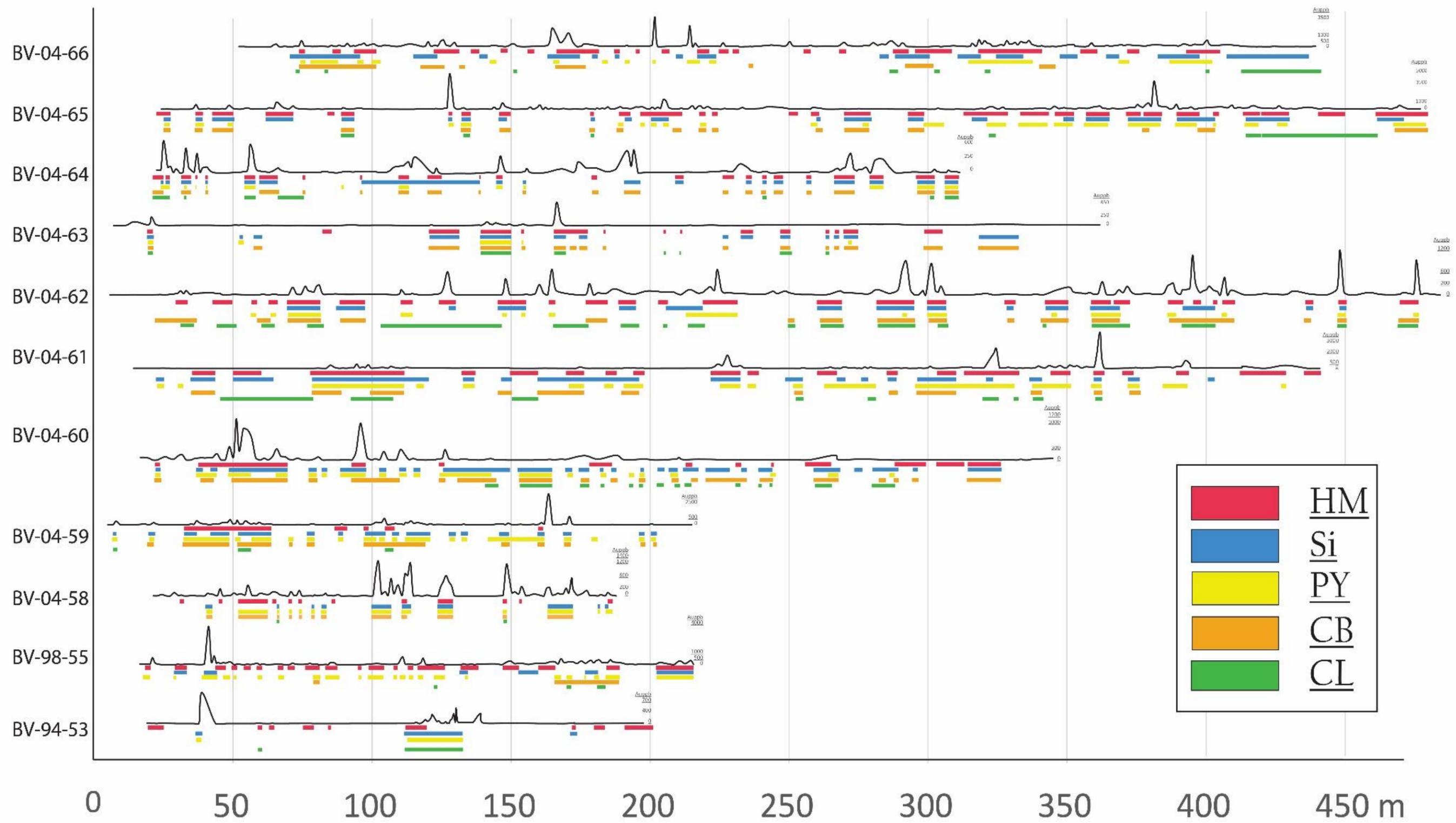


FIGURE 34 INTERVALLES D'ALTÉRATION HYDROTHERMALE EN FORAGE AVEC ANALYSES AURIFÈRES (NOR). LES ÉCARTS POUR LES ANALYSES AURIFÈRES SONT VARIABLES À CHAQUE TROU DE FORAGE

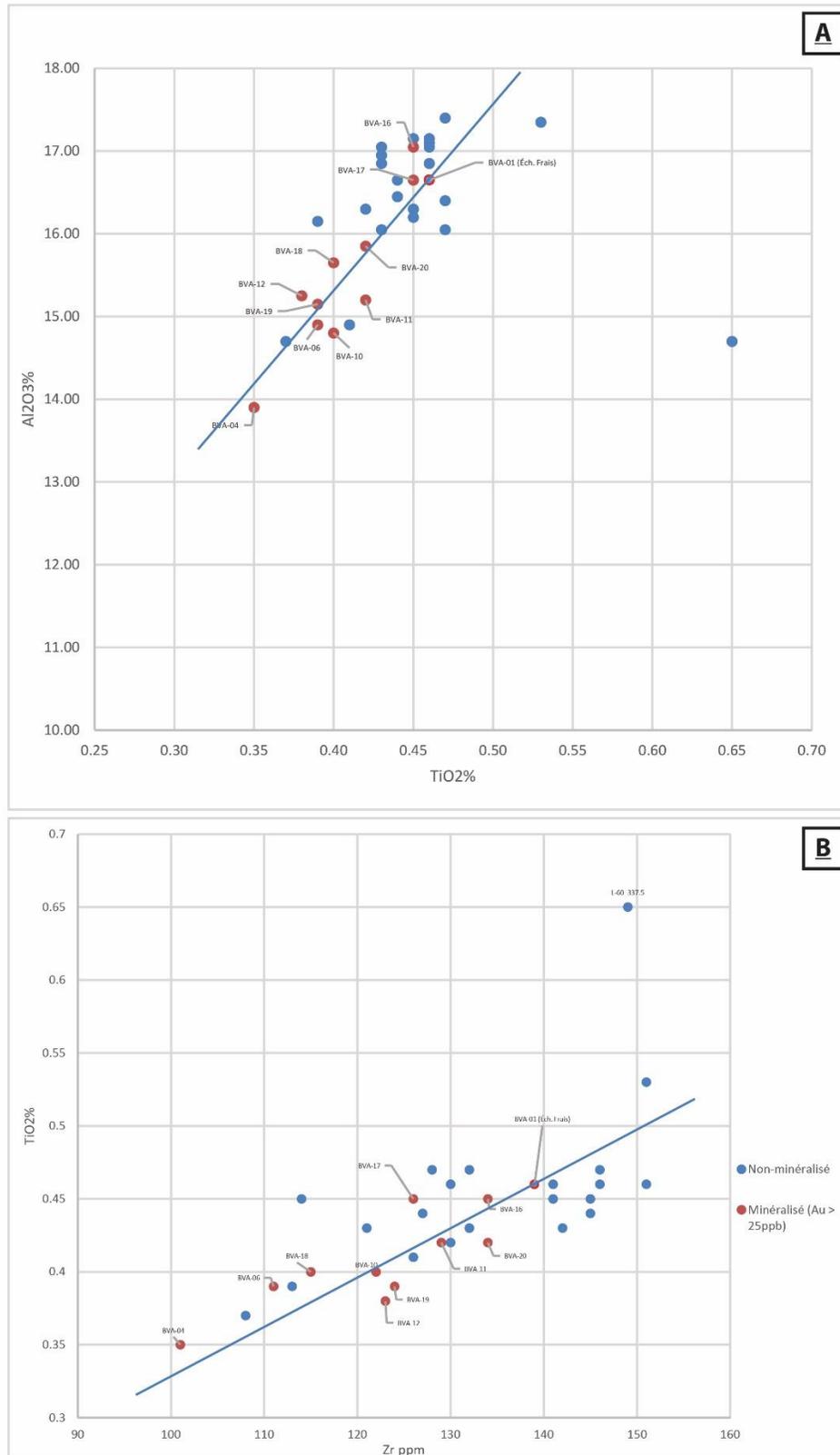


FIGURE 3.5 DIAGRAMMES BINAIRES POUR LES BILANS DE MASSE (GRANT, 1986) DES ÉCHANTILLONS LITHOGÉOCHIMIQUES DE L'INTRUSION (A) Al_2O_3 VS TiO_2 (B) TiO_2 VS ZR

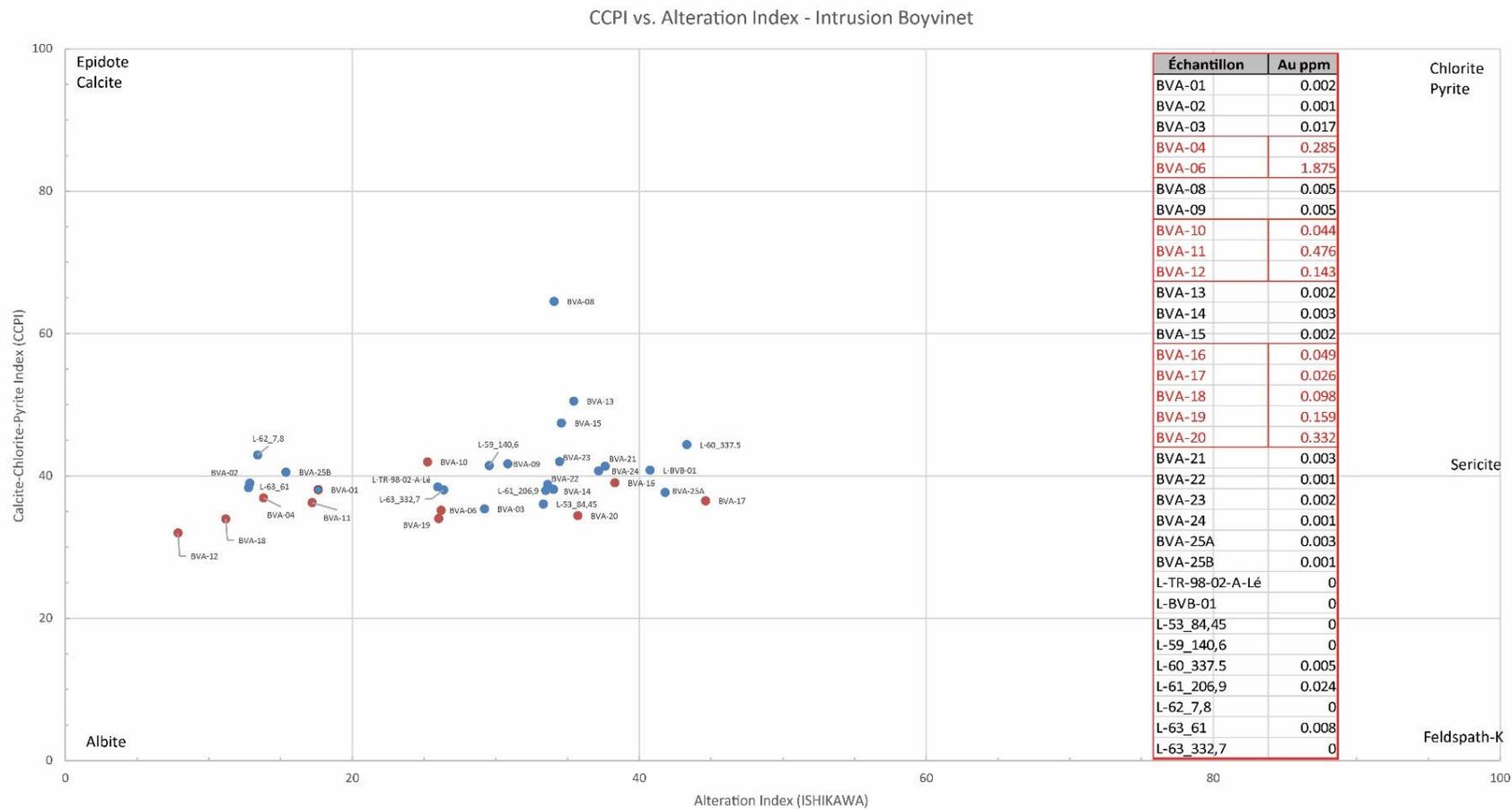


FIGURE 3.6 DIAGRAMME BOXPLOT CCPI VS INDEX ISHIKAWA (MODIFIÉ DE LARGE, 2001)

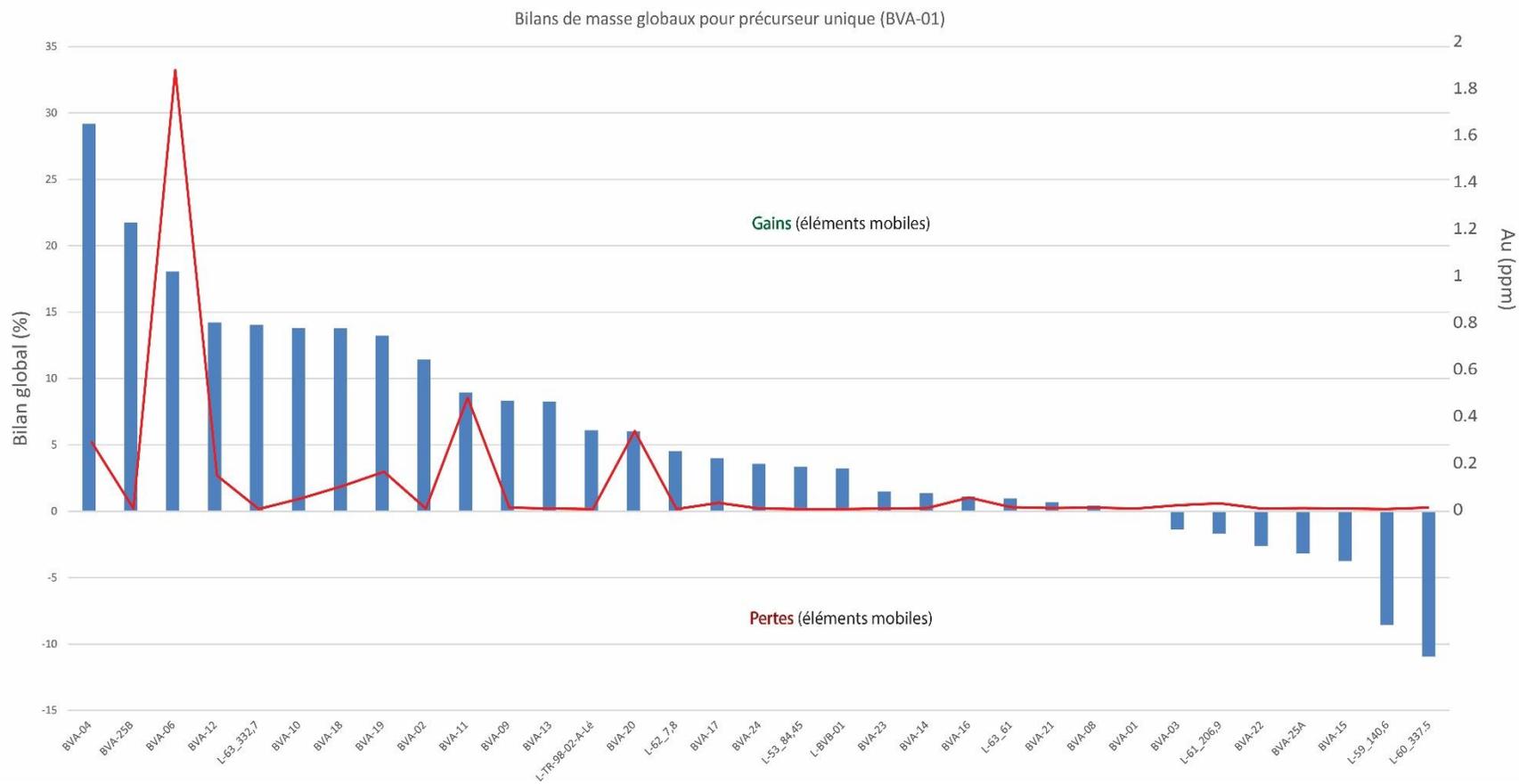


FIGURE 3.7 BILANS DE MASSES GLOBAUX POUR UN PRÉCURSEUR UNIQUE (BVA-01) POUR 33 ÉCHANTILLONS. VALEURS AURIFÈRES SUPERPOSÉES (VALEURS NUMÉRIQUES À LA FIGURE 29C)

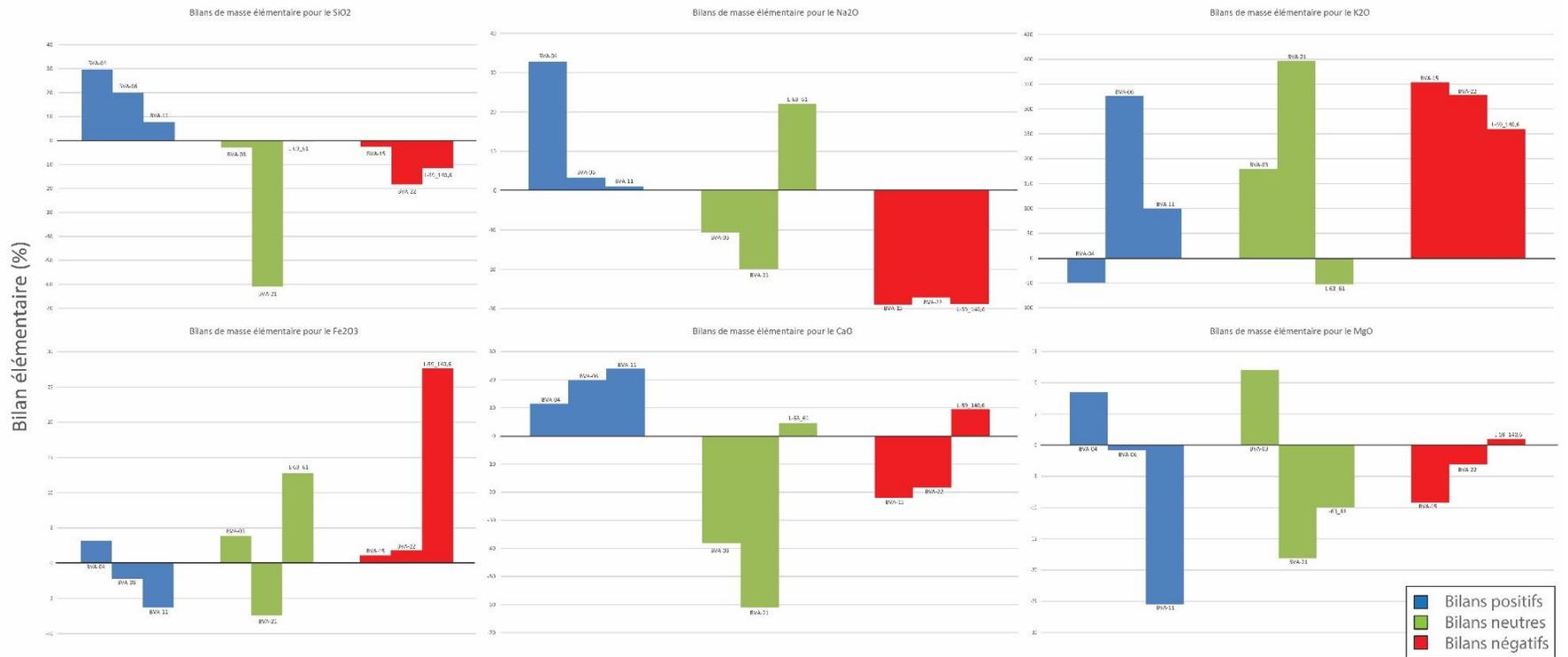


FIGURE 3.8 BILANS DE MASSES ÉLÉMENTAIRES (OXYDES MAJEURS, VARIATIONS EN %) À PARTIR D'UN PRÉCURSEUR UNIQUE (BVA-01)

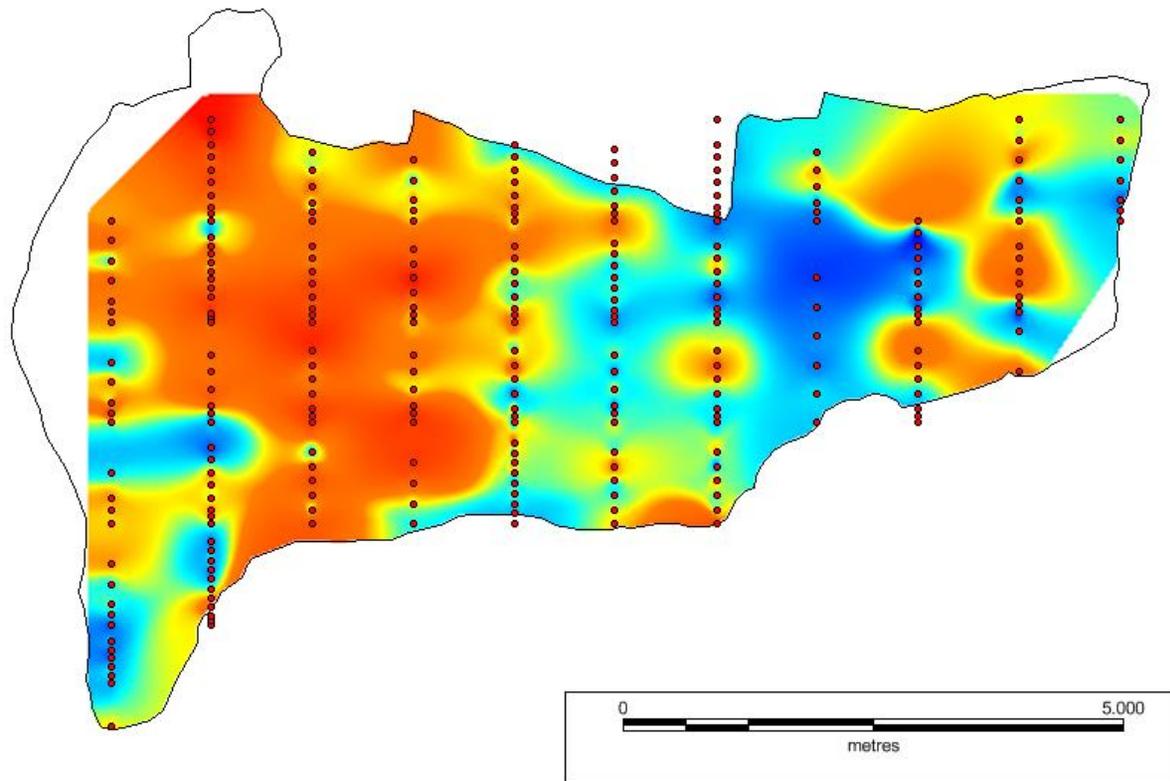


FIGURE 3.9 EXEMPLE DE TRAITEMENT DES DONNÉES DE SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE SUR L'AFFLEUREMENT TR-98-02-A (PARTIE OUEST)

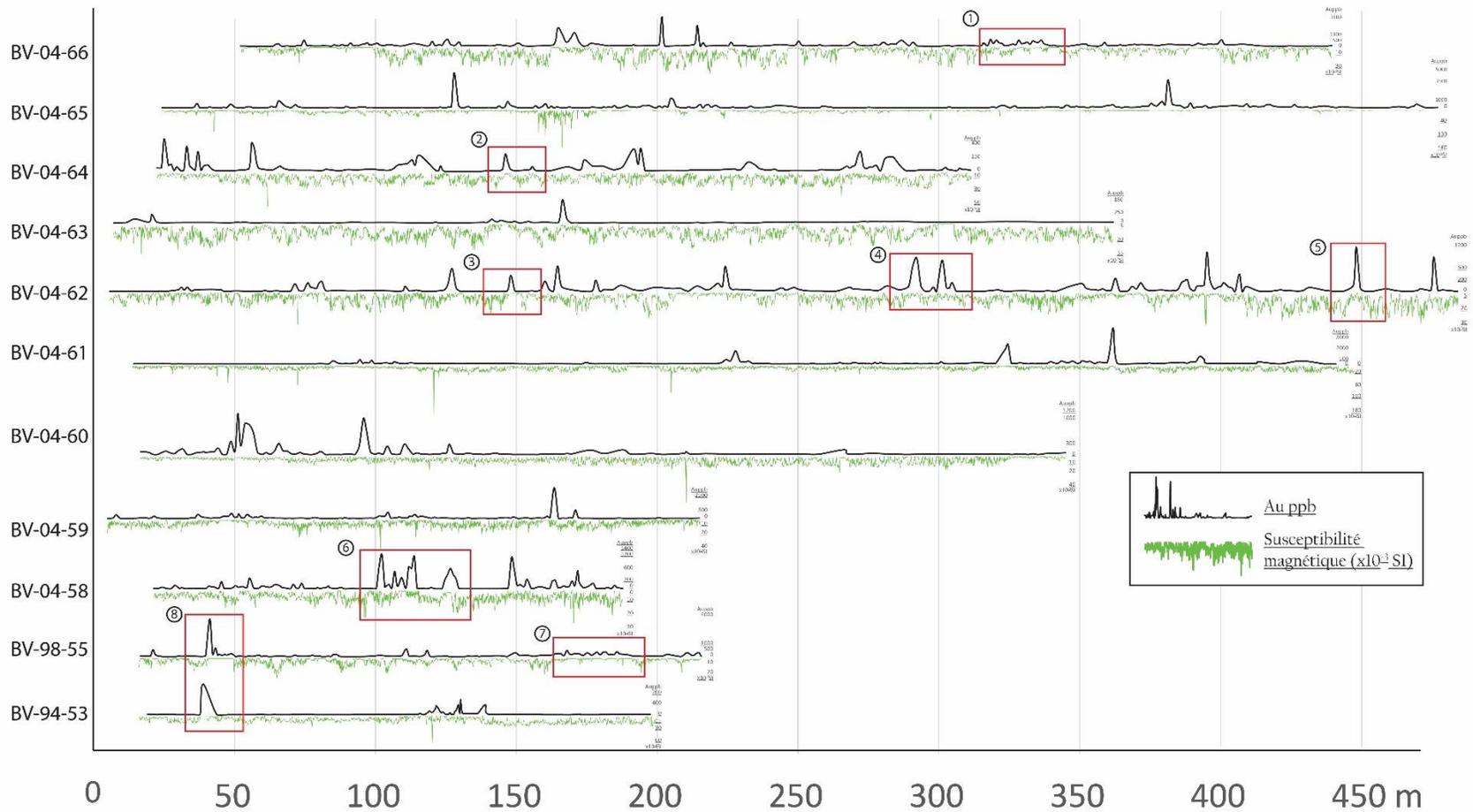


FIGURE 3.10 SECTIONS DE FORAGES AVEC SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE (VERT) ET ANALYSES AURIFÈRES (NOIR) POUR LES 11 FORAGES DÉCRITS. ENCADRÉS NUMÉROTÉS À LA FIGURE 3.11. ÉCHELLES AURIFÈRES ET DE SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE VARIABLES EN FONCTION DES FORAGES

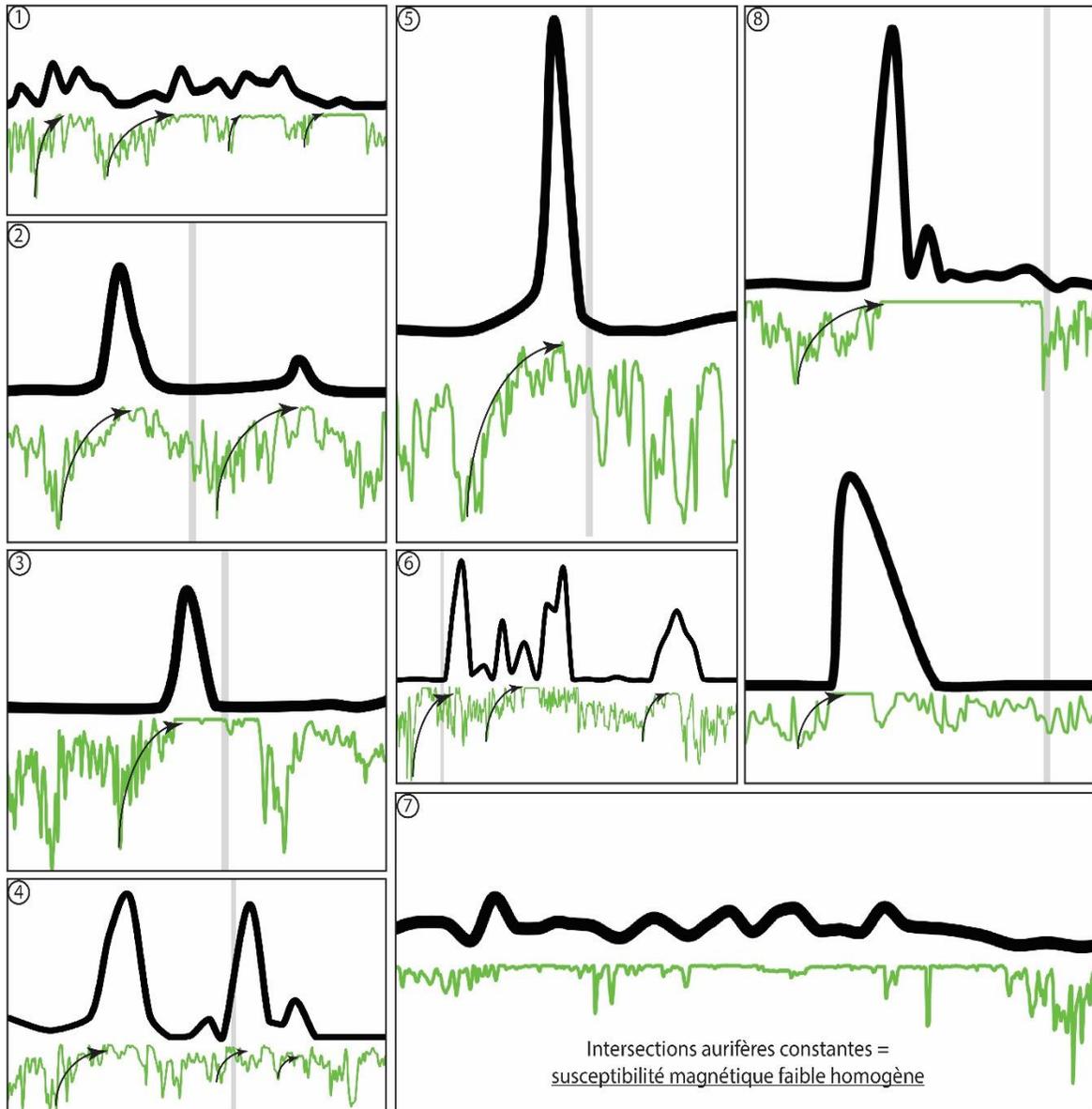


FIGURE 3.11 AGRANDISSEMENTS DES SECTEURS ENCADRÉS À LA FIGURE 3.10 CONCERNANT LA PERTE SIGNIFICATIVE DE LA SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE RELIÉE AUX ZONES MINÉRALISÉES (FLÈCHES NOIRES). ÉCHELLES RELATIVES À LA FIGURE 3.10

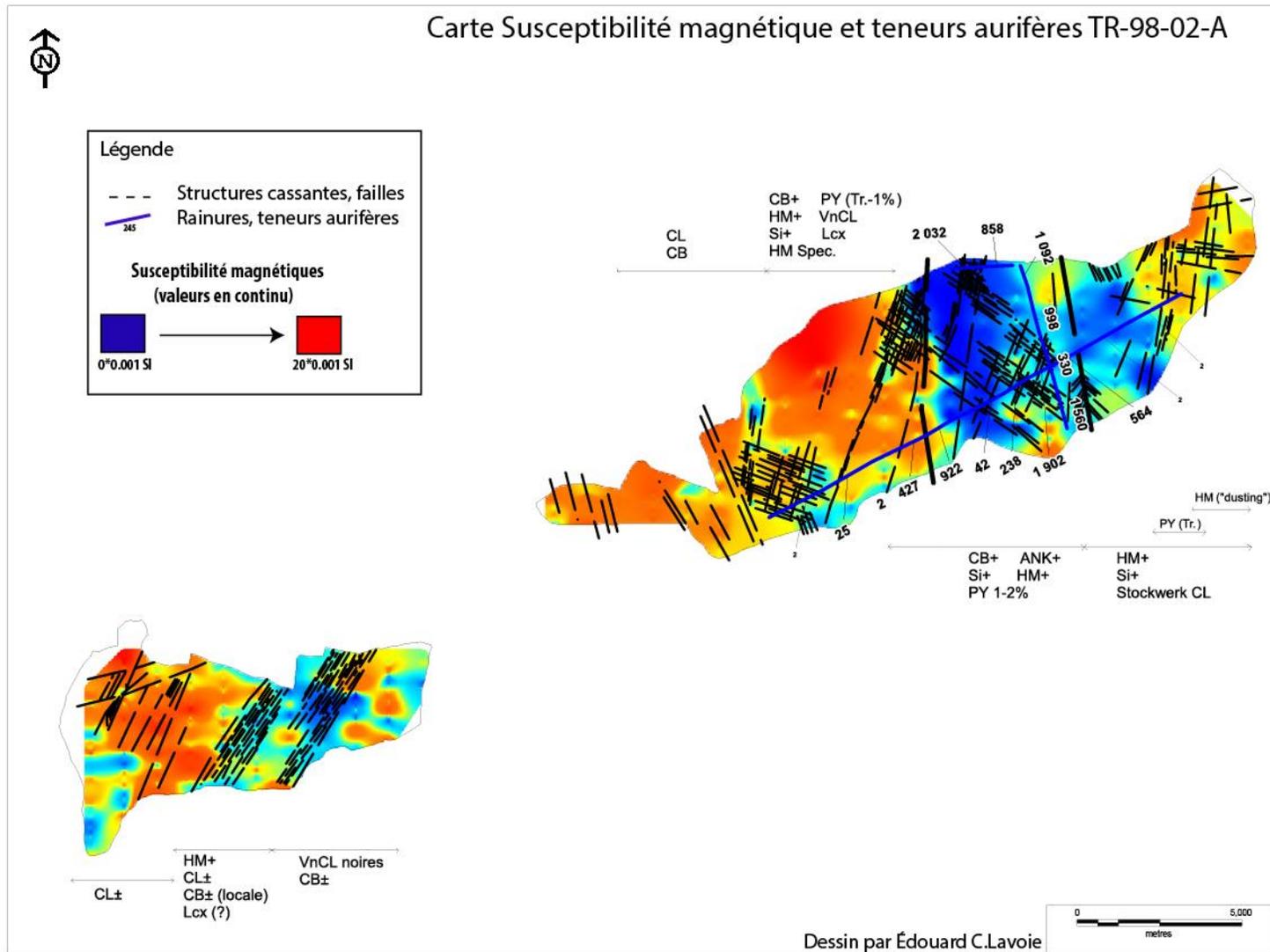


FIGURE 3.12 CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE AVEC STRUCTURES, ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES, RAINURES ET TENEURS AURIFÈRES DE L’AFFLEUREMENT TR-98-02-A

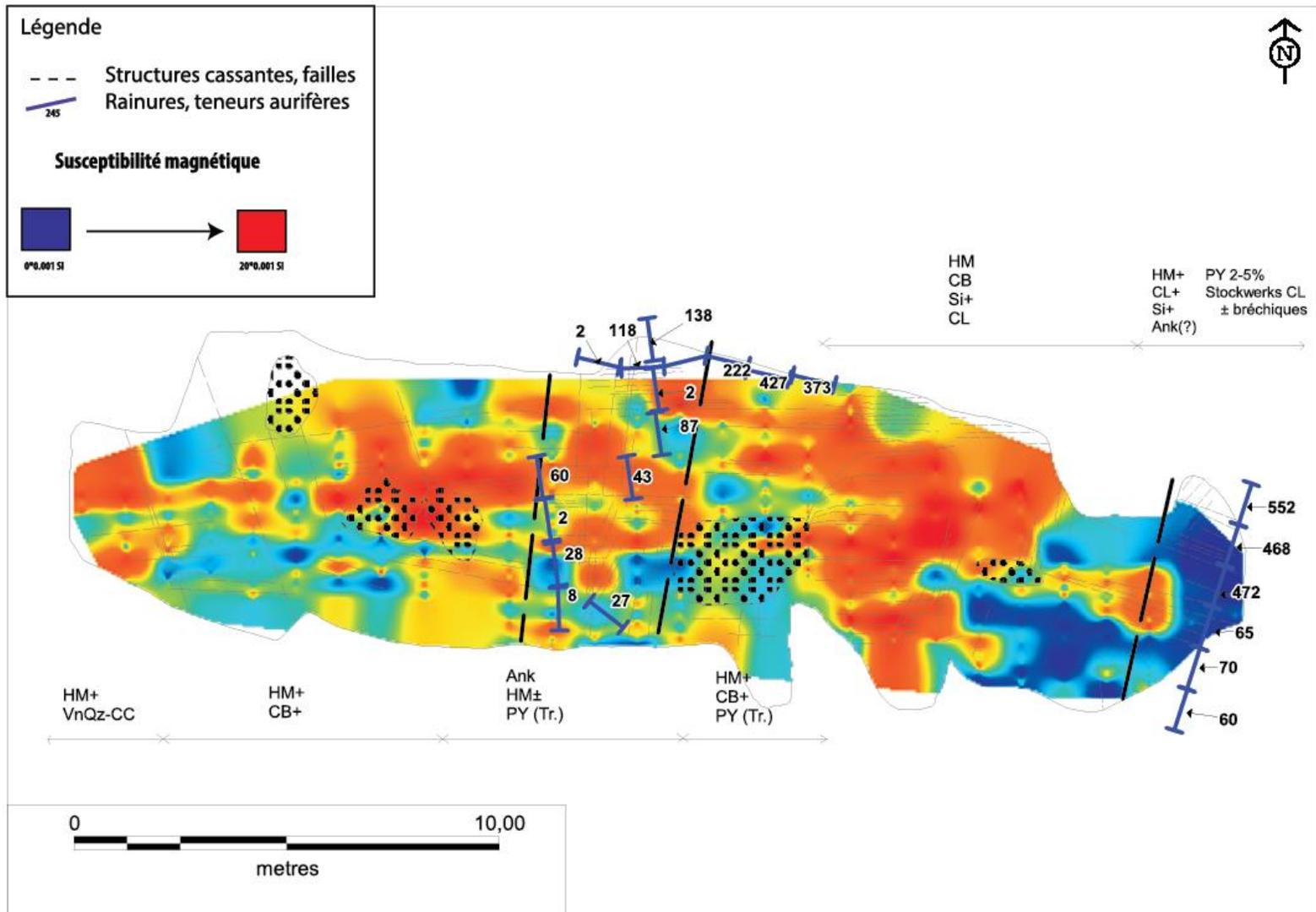


FIGURE 3.13 CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE AVEC STRUCTURES, ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES, RAINURES ET TENEURS AURIFÈRES (PPB) DE L'AFFLEUREMENT TR-98-02-B

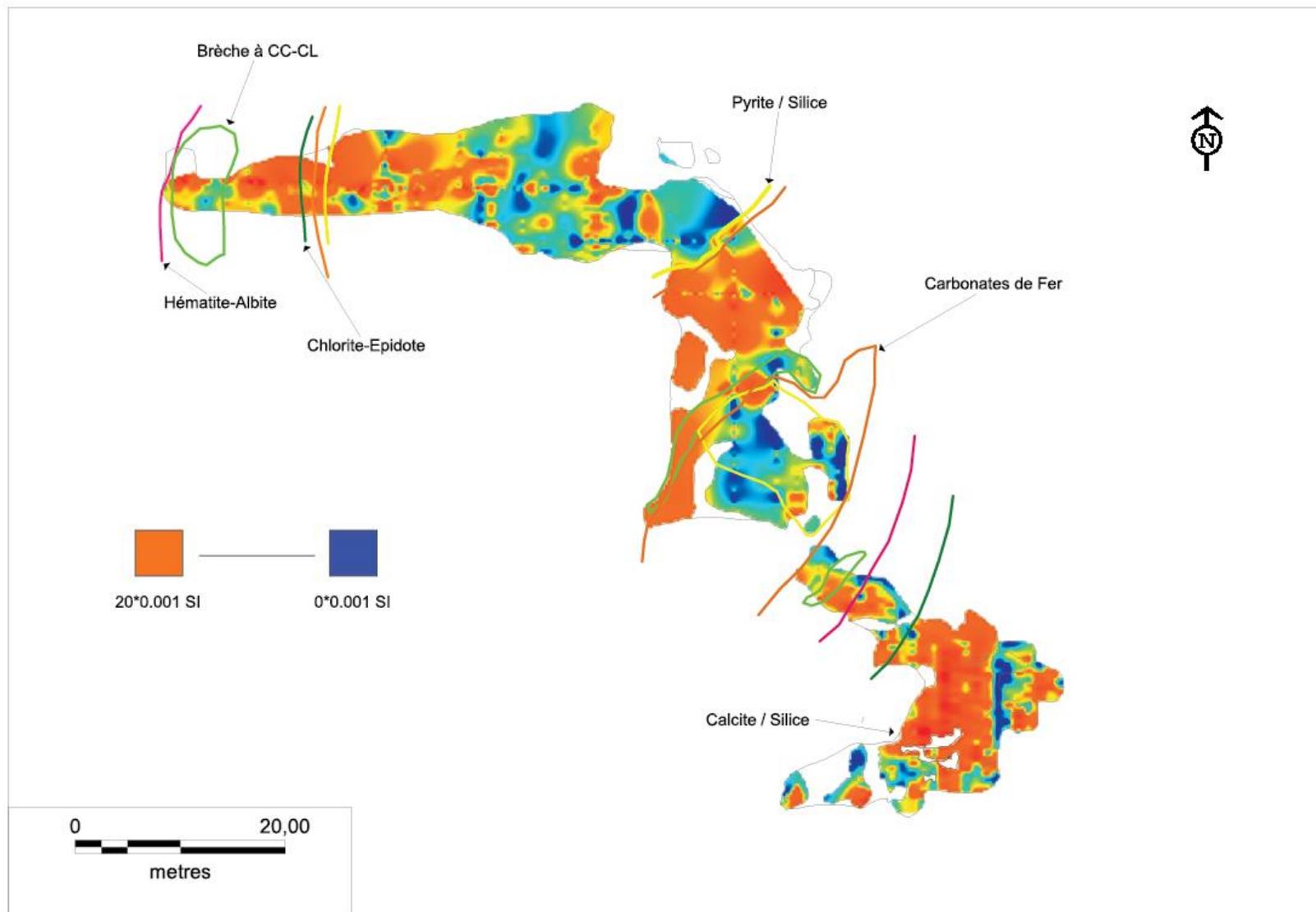


FIGURE 3.14 CARTOGRAPHIE DE LA SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE AVEC ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES DU DÉCAPAGE PRINCIPAL

Chapitre 4

Cortèges métalliques du système minéralisateur

4.1 Introduction

Dans l'optique d'établir un modèle métallogénique à partir de caractéristiques robustes, le cortège métallifère associé à la minéralisation aurifère est discriminant pour certains type gisements, notamment ceux d'origine magmatique-hydrothermale (systèmes porphyriques et IRGS, Tableau 1.2). Ce Chapitre présente les cortèges métalliques associés à la minéralisation aurifère, surtout en lien avec les sulfures (pyrite) et aux oxydes (magnétite, hématite et titanite). Le cortège métallique associé aux sulfures peut donner des informations sur l'évolution du système minéralisateur (Large, 2009; Thomas, 2011; Cook, 2013; Reich et al., 2013; Velásquez, 2014; Genna et Gaboury, 2015). Dans le cas des oxydes, les éléments-traces peuvent permettre de distinguer son origine magmatique ou hydrothermale (Dupuis et Beaudoin, 2012; Dare et al., 2014, Nadoll, 2014). La description de différentes familles de sulfures, selon leurs textures et une quantification chimique, seront présentées dans ce Chapitre. L'analyse au LA-ICP-MS au moyen de lignes, de points (spots) et de cartographies élémentaires dans certains cas ont permis de définir l'assemblage de métaux traces dans les grains de sulfures et d'oxydes. Les relations entre les cortèges métalliques dans la pyrite et les oxydes serviront à définir si la source des fluides minéralisateurs était la même pour les sulfures et les oxydes.

4.2 Familles de pyrites et d'oxydes

4.2.1 Pyrites

L'étude texturale des sulfures permet de définir certaines familles ou ensembles de grains par rapport à leur origine, régime de cristallisation et leurs relations génétiques avec les épisodes hydrothermaux. L'étude en lames minces polies a permis de déterminer quatre types de pyrites à partir d'observations simples. La Figure 4.1 présente quelques exemples typiques de chacun de ces types. Les microphotographies A et B représentent les pyrites de type 1, C et D de type 2, E et F de type 3 et G et H de type 4. Ces types de pyrite sont décrits ci-dessous.

Type 1

Le premier type se compose de grains poreux, riches en inclusions. Il constitue environ 55% de l'ensemble des pyrites observées et se retrouve autant en remplacement au sein de minéraux ferro-magnésiens que finement disséminé dans l'intrusion. Ces grains sont xénomorphes à hypidiomorphes et leurs bordures sont généralement arrondies, voire résorbées. Ces pyrites renferment des inclusions de silicates et de carbonates, mais comportent une grande quantité d'inclusions d'oxydes (magnétite, hématite, ilménite), de sulfures (chalcopryrite, sphalérite) et d'or comme présenté à la Figure 4.2. Les inclusions forment des organisations géométriques différentes dans certains grains : concentriques (Figure 4.1A), résorbés et désordonnés (Figure 4.1B) ou lamellaires (Figure 4.1D). Une observation importante concernant la nature des inclusions, est qu'il existe une zonalité des minéraux piégés au cœur des pyrites poreuses. Le centre est généralement constitué de feldspaths et/ou du quartz. Il est également possible d'observer des cryptocristaux d'albite, semblables à ceux rencontrés dans les grains

originaux de l'encaissant. L'albite est identifiable dans la mesure où les inclusions sont de taille suffisante pour traverser complètement les grains de pyrite en lame mince. La Figure 4.3 permet de mettre en évidence ces relations.

À l'interface des grains de type 1 et 2, les inclusions de carbonates sont plus abondantes alors que celles de feldspaths et de quartz diminuent. Certaines inclusions de dimension suffisante ($> 100 \mu\text{m}$) ont été analysées au LA-ICP-MS pour valider leur composition en éléments majeurs (analyses semi-quantitatives), et ce particulièrement pour les inclusions considérées comme étant albitisées. La Figure 4.4 montre un signal représentatif résultant d'une analyse de l'inclusion à la Figure 4.3C. Les pics notables sont en silice, sodium et aluminium, ils valident ainsi la nature albitisée des inclusions. La quantité de fer élevée dans le spectre (Figure 4.4) est attribuable à la présence d'hématite en micro-inclusions dans l'albite, comparable aux feldspaths altérés en albite dans la masse intrusive. Il s'agit ici d'une observation cruciale quant aux épisodes d'hydrothermalismes, car le piégeage initial de feldspaths déjà altérés au sein des pyrites poreuses implique une albitisation précoce des feldspaths ou contemporaine à la cristallisation de la pyrite. La présence de carbonates et de quartz dans les bordures externes ainsi qu'en inclusions dans les pyrites tardives indiquent un épisode de carbonatation et de silicification postérieur.

Type 2

Les grains de pyrite de type 2 (Figure 4.1C et D) constituent des excroissances des pyrites de type 1, qui en sont le nucléus, et forment un ensemble qui atteint environ 35% des grains observés. Elles sont pauvres en inclusions

(principalement des carbonates, localement du quartz ou feldspaths) et possèdent généralement des bordures cristallines idiomorphes. Elles englobent communément plusieurs grains de type 1 (Figure 4.1D, pyrite centre gauche) et elles sont observées dans les zones riches en carbonates (faciès de bréchification ou de remplacement/métasomatisme).

Type 3

Le troisième type consiste en des pyrites fines, idiomorphes et sans inclusions (Figures 4.1E et F). Il s'agit de pyrites fines, idiomorphes et sans inclusions. Elles possèdent peu de textures caractéristiques mais sont communément associées à la destruction mécanique et la recristallisation de grains plus grossiers, où elles sont observables en traînées. Elles sont présentes en association avec les veinules de pyrite plus grossières alors que dans l'encaissant elles sont plus rares, parfois très fines aux pourtours de pyrites de type 2 ou aux épontes de veinules de quartz-carbonates. Certaines de ces pyrites, surtout dans les forages de la section nord de l'intrusion, sont fracturées. Quand elles sont de granulométrie grossière, elles renferment localement des petits grains d'or à leurs bordures ou au sein des fractures tardives (phénomène discuté dans la section 4.3.1).

Type 4

Les pyrites de type 4 sont considérés comme hybrides entre les types 1 et 3, car elles sont relativement hypidiomorphes et contiennent des inclusions dispersées, sans nécessairement présenter des géométries de croissance particulières. Elles sont souvent fracturées et, à l'image des grains de type 3, sont associées à des veinules de pyrite plus grossières. Certaines pyrites de type 3 sont d'ailleurs communément accolées à ce type de pyrite. Elles contiennent parfois de

fines inclusions d'or au cœur de leurs fractures (Figure 4.1B) ou des inclusions de silicates et dans certains cas d'oxydes (Figure 4.1C).

4.2.2 Oxydes

Les oxydes observés en lames minces se divisent en deux groupes génétiques hypothétiques : magmatique et hydrothermal. Ainsi, une partie des oxydes observés peut être classifiée en tant qu'oxydes hydrothermaux sur la base de leur affiliation avec des assemblages minéralogiques liés aux altérations hydrothermales. À l'inverse, les oxydes qui se retrouvent dans des paragenèses dites « distales » par rapport à la minéralisation et dans des échantillons peu déformés ou bréchifiés sont considérés comme « magmatique ». À l'image des grains de pyrite de type 1, certains cristaux possèdent des inclusions pouvant parfois former des patrons de croissance (orientations préférentielles). Pour la plupart, ces inclusions sont difficiles à identifier (taille micrométrique), mais leur nature s'est précisée grâce aux analyses au LA-ICP-MS.

La Figure 4.5 présente des exemples de grains d'oxydes considérés comme magmatiques et hydrothermaux à priori. Les oxydes d'affinité magmatique sont généralement présent dans l'encaissant, disséminés et hypidiomorphes (Figure 4.5A, C et E) et consistent en de fins amas de grains de magnétite parfois recristallisés. Cependant, ces grains sont partiellement hématisés ou altérés; la Figure 4.5A est un excellent exemple du phénomène observé. Dans les zones altérées, on reconnaît les oxydes d'origine magmatique par leur contours antérieurement idiomorphes maintenant résorbés ainsi que leur remplacement par

de l'hématite ou de l'ilménite. Ils sont aussi rencontrés en remplacement dans les amphiboles ou dans la chlorite rétrograde (Figure 3.1G).

Les oxydes hydrothermaux se caractérisent par le remplacement de magnétite par l'hématite (Figure 4.5B), processus qui est décrit comme de la martitisation (Thompson, 1996) et la présence d'ilménite idiomorphe en forme de bâtonnets (Figure 4.5F) ou en remplacement des grains de titanite (Figure 2.20B). Une caractéristique importante des observations effectuées pour la distinction des oxydes hydrothermaux est la quantité d'hématite en remplacement au sein d'un grain de magnétite, ou le remplacement de la pyrite par de la magnétite (Figure 4.5D). La famille des oxydes hydrothermaux est majoritairement associée aux zones ayant subi un métasomatisme alcalin (albite-hématite-séricite), fortement carbonatées et silicifiées en périphérie de veinules de quartz-carbonates. Dans certains cas, dans les veines de quartz-carbonates, des grains centimétriques d'hématite spéculaire furent observés, autant en forages qu'en affleurement (Figure 4.6).

L'hypothèse proposée ici de plusieurs générations d'oxydes (magmatique, hydrothermale précoce ou hydrothermale tardive) reste à confirmer sur des bases chimiques (LA-ICP-MS). Néanmoins, la différenciation par l'assemble de minéraux environnants (altérations hydrothermales ou minéraux magmatiques) constitue certainement l'approche la plus logique pour individualiser de possibles générations.

4.3 Méthodologie analytique : LA-ICP-MS

Les analyses au LA-ICP-MS (*Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*) ont été préparées et réalisées à l'UQAC au LabMater, avec

trois standards internes pour les pyrites et trois autres standards différents pour les oxydes. L'analyse s'effectue à partir de points, de lignes ou de cartes interpolées avec un faisceau laser en continu. Il s'agit donc d'une analyse quantitative en fonction du temps. Dans tous les cas, un intervalle de trente secondes « tampon » a été effectué pour purger le système, obtenir le bruit de fond et pour éviter une contamination entre les analyses.

Calibration : pyrites

Le fer et le soufre ont été utilisés pour la calibration interne des analyses de pyrite. Le contrôle de qualité du signal s'effectuait aux 25 lignes d'analyse à l'aide de trois standards internes, soient le MASS-1, le GSE et le GSD, utilisés pour l'analyse des sulfures. En ce qui concerne les cartographies élémentaires, les standards étaient analysés en début et fin de la cartographie. La largeur du faisceau laser pour les lignes d'analyse était de 33 microns et de 26 microns pour les cartographies. L'énergie du laser était de 5 millijoules, la fréquence de 15 Hz et la vitesse de 5 microns par seconde pour les lignes et les cartographies. Le Tableau 4.1 résume les standards utilisés pour la calibration de chaque élément.

Calibration : oxydes

Le fer était le principal élément utilisé pour la calibration interne des analyses de grains d'oxydes. Le contrôle de qualité du signal s'effectuait aux 20 analyses à l'aide de trois standards internes pour analyses d'oxydes, soient le BC-28, le GSE et le GSD. Pour les cartographies de pyrite, les standards étaient placés au début et à la fin de chaque cartographie.

Dans le cas des oxydes, la dimension de certains grains ne permettait pas l'analyse par ligne (temps d'analyse trop court), mais seulement par points. Donc pour les points et les lignes, les dimensions de faisceau variaient entre 33, 44 et 58 microns (selon le diamètre des grains analysés) pour une énergie constante au laser de 5 millijoules à la fréquence de 15 Hz. La vitesse pour les lignes était de 4,5 microns par seconde, tandis que pour les cartographies, de 4 microns par secondes. La vitesse réduite permettait d'obtenir de meilleurs résultats analytiques étant donné la petite taille des oxydes sélectionnés pour les manipulations. Les fréquences utilisées pour les points et cartographies étaient de 14 Hz, alors que pour les lignes elle était de 15 Hz. Le Tableau 4.1 résume les standards utilisés pour la calibration de chaque élément lors de l'analyse des oxydes.

4.3.1 Traitement des données

Pour les grains de pyrite, l'intégration des données comprends une ligne du grain complet, incluant le cœur et/ou ses bordures (lorsque possible). Ces trois plages (total-cœur-bordures) permettront de différencier la quantité de métaux traces inclus dans les différents types de pyrite. Au final, 53 analyses en lignes totales, 50 cœurs et 40 bordures de grains de pyrite furent retenues après la validation des données d'analyses ($\pm 10\%$ du contenu en fer attendu). Un exemple de signal au LA-ICP-MS d'un grain de pyrite avec les limites des plages d'intégration des données est présenté à la Figure 4.7.

Pour les oxydes, le traitement a été plus complexe en raison de l'incertitude compositionnelle des grains analysés, à savoir magnétite, hématite et ilménite. Ainsi, un tri a été opéré en fonction des compositions non-représentatives de la

magnétite et de l'hématite. Les ilménites ont été classées à partir des fortes valeurs en Ti (ppm) et retirées de l'étude. De même, les analyses avec de fortes valeurs en Zr ont été retirées car représentative de petits zircons. Pour l'ensemble des données restantes, les valeurs ayant des sommations des oxydes majeurs (transformées de ppm en pourcentages) en dehors des limites fixées de la magnétite et de l'hématite (entre 90 et 110%) furent aussi éliminées. Cette dernière étape a été rendu nécessaire en raison de l'instabilité du LA-ICP-MS lors de la journée d'analyses des oxydes (S. Mehdi, communication personnelle, janvier 2015). Au final 60 analyses de lignes totales (sur les 93 initiales) et 49 cœurs de grains d'oxydes ont été conservées.

4.4 Résultats

Afin de bien visualiser les assemblages métallifères pour chaque type de pyrites et d'oxydes, des cartes chimiques ont été réalisées à l'aide d'analyses au LA-ICP-MS pour un grain de chaque type de pyrite rencontré en lames minces (total de 4). Les résultats du traitement des données pour les pyrites de types 1 à 4 sont représentés sur les Figures 4.7 à 4.10. Une schématisation des assemblages de métaux (magmatique, métamorphique et/ou hydrothermal) au sein des grains de pyrite, réalisée à partir des résultats de cartographies élémentaires, est présentée à la Figure 4.12. On y reconnaît les pyrites de type 4 (4.11A), 1 et 2 (Figure B et C) qui ont été introduites dans les Figures 4.7 à 4.10. Concernant les cartes élémentaires d'oxydes, la dimension des grains cartographiés est un facteur limitant pour la qualité des images. Malgré la moindre qualité des résultats, les cartographies

chimiques des grains d'oxydes réalisées sont présentées sur les Figures 4.12 et 4.13.

Pyrites

Les pyrites de *type 1* (Figures 4.8 et 4.9), soient celles qui sont poreuses et aux bordures peu cristallines, voir arrondies et résorbées, se distinguent particulièrement par l'assemblage à Bi-Te-Au-Cu-Ag-Sb et leur porosité élevée. Les inclusions varient entre composition feldspathique et quartzifère, rarement carbonatée. En rouge sur la Figure 4.12, la pyrite de type 1 est tracée par rapport à la dispersion du cortège métallique, telle que révélée par la cartographie élémentaire. Les bordures du grain sont en fait une pyrite de type 2 qui remplacent partiellement les pyrites poreuses de type 1.

Les pyrites de *type 2* (Figures 4.7 et 4.8) recèlent un cortège métallique à As-Ni-Co-Se et sont hypidiomorphes à idiomorphes. Selon les travaux de Large (2007; 2009) et Genna et Gaboury (2015), les pyrites d'origine métamorphique ont tendance à s'enrichir en ces éléments-traces et à former des grains idiomorphes. Tracées en jaune sur la Figure 4.12, elles forment des couronnes où elles englobent les pyrites de type 1. Elles contiennent très peu d'inclusions, sinon de calcite ou de quartz, et semblent remplacer en partie les portions de pyrites poreuses.

Les pyrites de *type 3* sont définitivement similaires à celles de type 2 en termes de bagage métallifère, sauf qu'elles ne se retrouvent pas sous la forme d'une couronne autour d'une pyrite de type 1 (Figure 4.10). Elles sont plus idiomorphes et comportent généralement plus de fractures (Figures 4.1E et F). Très peu, voire aucune, minéralisation aurifère *in situ* n'est associée à ce type de grains.

Les pyrites de *type 4* sont celles qui étaient assujetties à une définition « hybride » entre les pyrites poreuses et idiomorphes de type 1 et 3. Au final, les grains présentent des cortèges relativement similaires aux pyrites primaires (type 1) dans leur cœur à Au-Cu-Ag-Bi-Te-Sb, avec de fines bordures métamorphiques à As-Ni-Co-Se. Sur la cartographie élémentaire (Figure 4.11), des anneaux arsenifères sont très bien développés, ce qui en fait la principale caractéristique. Ces portions arsenifères sont aussi enrichies en or, et la corrélation sur la carte est aussi vraie dans les bordures extérieures que dans les parties en remplacement dans le cœur poreux. Leur porosité est toutefois bien moins développée que celle des pyrites primaires. Associées aux pyrites métamorphiques, il est fort probable qu'elles soient contemporaines à celles-ci. Le contenu en arsenic étant réparti de façon hétérogène dans la pyrite (cœur et bordure), cela peut expliquer pourquoi l'or qui y est incorporé l'est autant dans les bordures que dans les cœurs, contrairement aux pyrites de type 1 ou de type 2, qui ont des comportements inverses quant à la dispersion de l'or.

4.4.1 Habitus de la minéralisation aurifère

La minéralisation aurifère, comme détaillée ci-haut, se définit généralement comme des micro-inclusions dans le cœur des pyrites primaires (Figures 4.1A et C, 4.2, 4.6 4.7, 4.8), localement en substitution dans les portions plus riches en As (Figure 4.15) et associée à des métaux comme Cu et Ag. Ces relations sont les mêmes pour presque pour toutes les analyses provenant des différents secteurs étudiés de l'intrusion. Toutefois, dans la partie nord, près du couloir de déformation du Lac Shortt (faille du Lac Shortt; Figure 2.9), on retrouve des grains d'or libre dans les fractures, ou en périphérie de veinules de pyrite de type 3 et 4 (Figures 4.14 à

4.16). Ces pyrites, généralement idiomorphes et localement fracturées, sont communément associées à des veinules de quartz-calcite. La présence d'or libre directement associé à ces pyrites d'origine métamorphique, les veinules à quartz-carbonates et la proximité de la faille suggèrent une remobilisation de la minéralisation disséminée au sein des pyrites primaires causée par la déformation ductile et le passage de fluides hydrothermaux tardifs. La portion nord, proximale à la faille du Lac Shortt, peut donc s'avérer un secteur d'intérêt pour une remobilisation et une re-concentration efficace de la minéralisation initialement à faible teneur. Les valeurs aurifères les plus intéressantes ont d'ailleurs été interceptées dans ces zones, ce qui appuie la validité d'une telle hypothèse (Martel et Folco, 2004).

Oxydes

La substitution du fer dans la magnétite ou l'hématite par certains éléments peut indiquer des sources ou environnements potentiels de formation des oxydes (Dupuis et Beaudoin, 2012; Dare et al., 2014; Nadoll, 2014). Ces substitutions ont le potentiel d'être utilisées pour déterminer des associations génétiques. Par exemple, les analyses LA-ICP-MS devraient permettre de valider si les éléments chimiques qui remplacent le Fe^{2+} , comme Co et Ni, se retrouvent en proportion similaire ou non dans les pyrites et oxydes de fer hydrothermaux. Le cas échéant, un lien génétique peut être établi entre les deux minéraux.

Il fut possible de dégager certaines observations mais peu de résultats convaincants sont ressortis des cartographies ou lignes d'analyses au LA-ICP-MS. On retrouve notamment des grains d'apatite, de zircons, d'ilménite et rarement des silicates en inclusions. La Figure 4.18 montre bien un exemple d'inclusion d'apatite,

représentée par un pic en phosphore bien développé. Ce qui semble être la principale caractéristique des oxydes de nature hydrothermale est le remplacement de la magnétite en hématite. L'hématite est donc directement reliée à l'hydrothermalisme, car elle se présente dans des veinules et veines de quartz-carbonates (Figure 4.6). Elle remplace la magnétite et la proportion du remplacement augmente dans les zones d'altération hydrothermale les plus développées (Figure 4.5). Cependant, les quantifications géochimiques n'ont pas permis de définir des tendances d'enrichissement ou d'appauvrissement en métaux traces causées par le remplacement de la magnétite par l'hématite. La magnétite semble aussi dans certains cas associée à des épisodes d'hydrothermalisme, notamment dans les assemblages à pyrite-magnétite dans les zones de brèches carbonatées ou dans les zones silicifiées (Figure 4.1D).

Les cartes élémentaires n'ont pas vraiment donné de résultats convaincants sur les zonalités métallifères. On note quelques enrichissements en V et Cr dans les cœurs de certains grains (Figure 4.13), des remobilisations intergranulaires pour le Zn et le Ti. L'enrichissement Ti est directement relié à des grains d'ilménite. Les concentrations en Ni, Co et Mn sont relativement homogènes dans les grains, laissant croire que cette carte est celle d'un oxyde d'origine hydrothermale, selon les critères de Nadoll (2014). La seconde cartographie, provenant de l'échantillon 66_286 (Figure 4.14), n'a pas apporté d'informations pertinentes sur la nature de l'oxyde. En fait, il est fort possible que ce ne soit ni de la magnétite ou de l'hématite. Des cœurs riches en Sn, W, Nb et Ta peuvent dénoter une affinité magmatique des grains, mais ils sont très appauvris en Fe et enrichis en Ti (homogène de faible

intensité). Cela pourrait se comparer aux ilménites de certains complexes lités (Dare et al. (2014), d'après Méric (2011)). Cependant, une remobilisation du V est observée dans les bordures des oxydes, et ce en concentration plus faibles que dans les cœurs des grains d'oxydes présentés à la Figure 4.13 (200 à 300 ppm vs 600 à 900 ppm respectivement).

4.4.2 Quantifications géochimiques

La quantification géochimique en fonction de certains éléments-traces permet de définir des tendances importantes entre les cœurs et les bordures des différents grains de pyrite et d'oxydes analysés (Large, 2009; Dare, 2014). Dans le cas des grains de pyrite, la comparaison de certains éléments tels le Bi et le Te, d'affinité magmatique (modèle IRGS; Tableau 1.2) et le Ni, Co et l'As d'affinité hydrothermale peuvent montrer des variations ou des concentrations variables dans les grains de pyrite (Large, 2007; 2009). Pour les oxydes, les éléments tels le Ti, Ni et Cr (Dare, 2014) ou des éléments tels le Sn et le Ga ainsi que le rapport Al+Mn (% poids) / Ti+V (% poids) (Nadoll, 2014) peuvent apporter des informations sur la genèse et l'association génétique des oxydes.

4.4.2.1 Pyrites

La Figure 4.19 présente un sommaire des valeurs minimales, maximales et médianes sous forme de diagrammes de boîtes à moustache des cœurs, bordures et lignes totales pour les grains de pyrite analysés au LA-ICP-MS. Cette figure permet de bien définir les métaux traces qui sont en concentrations différentes entre les cœurs et les bordures. La Figure 4.20, quant à elle, introduit quatre graphiques de corrélation chimique : Au/As (A); Au/Ag (B); Au/Cu (C) et Au/Bi+Te (D) selon les

3 plages d'intégration des données de la Figure 4.19 (lignes totales, cœurs et bordures des grains de pyrite). Ces diagrammes permettent d'observer une différence compositionnelle marquée pour certains métaux traces selon les cœurs et les bordures et ce principalement pour Au.

Pour simplifier, présumons que les cœurs sont l'équivalent des pyrites de type 1 et 4 (précoces) et que les bordures sont l'équivalent des types 2 et 3 (tardives). Il est clair que de façon générale, les cœurs des grains (pyrites précoces) sont enrichies en Au par rapport aux pyrites tardives. On perçoit également une excellente corrélation entre le contenu en Au, Cu et Ag dans les cœurs (Fig. 4.19).

Une autre observation d'intérêt est le rapport Au/Ag qui se rapproche de 1. Cette observation a son importance car dans les gisements orogéniques, le rapport Au/Ag est >5 alors que dans les gisements aurifères d'affiliation magmatique il est autour de 1 et moins (Groves et al., 2003).

De plus, la Figure 4.18D, qui met en relation Bi+Te avec Au, révèle que les teneurs aurifères élevées coïncident avec des valeurs élevées de Bi et Te en accord avec les observations précédentes. L'affinité magmatique de ces éléments (Bi-Te : Thompson et al, 1999) supporte l'interprétation d'une source magmatique des fluides pour expliquer la formation des pyrites poreuses (type 1). À l'opposé, les pyrites de type 2 et 3 sont riches en Ni, Co, Se, As et peu enrichies en Au. La suite de métaux Ni, Co, As est typiquement associé à une signature de fluides métamorphiques (Large et al., 2007; 2009). On peut donc percevoir, à partir de ces résultats, une contribution de deux sources de fluides pour la formation des pyrites,

soit une source magmatique, à l'origine des pyrites 1 et une source métamorphique à l'origine des pyrites de type 2 et 4.

Le Tableau 4.2 présente les valeurs moyennes et médianes des éléments discriminants pour les cœurs, bordures et lignes totales. À des fins de caractérisation chimique, une sélection de 8 analyses comportant des ratios $As+Ni+Co+Se_{(bordures)}/As+Ni+Co+Se_{(cœurs)} > 1$ pour les plages d'analyses de cœurs, de bordures et de lignes totales a été retenues pour déterminer les valeurs en métaux représentatives. Cette sélection vise à isoler les cas extrêmes pour rehausser les signatures en métaux.

En accord avec les cartes chimiques présentées aux Figures 4.7 à 4.10, les plus fortes concentrations en métaux dans le Tableau 4.2 comme le Bi, Te et Sb indiquent une origine liée à des fluides magmatiques pour les pyrites de type 1, représentées par les polygones rouges sur la Figure 4.12. Des valeurs en Au moyennes de 3,81 ppm, jusqu'à un maximum analysé de 95,5 ppm dans les cœurs, par rapport à 0,32 ppm (maximum analysé de 1,32 ppm) dans les bordures permettent de proposer une relation directe entre les pyrites formées à partir de fluides magmatiques et la minéralisation aurifère.

Pour les bordures, comme représentées par les polygones jaunes sur les schémas de la Figure 4.12, elles forment généralement des couronnes autour des pyrites primaires, mais semblent aussi remplacer des portions de grains primaires. L'enrichissement en As, Ni, Co et Se dans les cœurs peut alors s'expliquer par le remplacement de la pyrite magmatique par celle de nature métamorphique. Le

remplacement des pyrites primaires peut alors être facilité par une porosité bien développée. En effet, les cartographies montrent communément des marques de remplacement plus marqués au contact des inclusions dans le cœur des pyrites poreuses. Selon Large (2009) et Gregory et al. (2015), ces éléments sont généralement associés à la remobilisation par des fluides métamorphiques à partir de pyrites sédimentaires ou diagénétiques, interprétées comme la source des minéralisations orogéniques. Enfin, il faut souligner que sur la Figure 4.19, les valeurs moyennes des lignes totales sont souvent plus similaires aux cœurs qu'aux bordures. Cela s'explique par le pourcentage relatif plus important des cœurs (~70%) par rapport aux bordures sur une ligne totale.

4.4.2.2 Oxydes

Pour les quantifications géochimiques des oxydes, les corrélations de certains éléments d'affinité magmatique ayant des coefficients de partage élevés dans la magnétite (Cr, Ni, V et Ti; Dare, 2014) ont été représentées. La Figure 4.21 présente certains graphiques mettant en relation ces éléments pour tenter de percevoir une évolution de la composition primaire des oxydes, et ce à partir des lignes d'analyses totales. Les diagrammes $Ti/(Ti/Ni)$ (A), $Ni/(Ni/Cr)$ (B) ont été utilisés pour tester la signature magmatique des grains d'oxydes. Les rapports Ti/Ni élevés soulignent une composition moins primaire, tout comme les rapports élevés Ni/Cr , car le Cr et le V s'incorporent de façon magmatique dans les oxydes et sont remplacé par le Ti et le Ni lors d'épisodes d'hydrothermalisme (Dare et al., 2014). Le diagramme Ni/Co sert à évaluer les variations causées par l'hydrothermalisme, et ultimement, à comparer la signature en Ni et Co entre oxydes et pyrites. Le

diagramme Sn vs. Ga de Nadoll (2014 : Figure 4.21C) permet d'associer les signatures magmatiques et hydrothermales des oxydes à différents types de gisements. La ligne de partage entre oxydes hydrothermaux et magmatiques est définie par les champs des gisements de type filons Pb-Zn-Ag et porphyrique igné. Dans le cas présent, les points d'analyses tombent dans des champs d'affinité hydrothermale (filons à Pb-Zn-Ag). La Figure 4.21E, un autre diagramme proposé par Nadoll (2014), toujours à partir des mêmes types de gisements introduits à la Figure 4.21C, présente les plages de températures de mise en place des oxydes à partir d'un rapport Al+Mn (% poids) / Ti+V (% poids). La Figure 4.21F expose les plages de valeurs analysées pour chaque élément (lignes totales). Sur le diagramme 4.20E, les échantillons de lignes totales se distribuent dans la zone de superposition des fluides de moyennes à hautes températures (300 à > 500 °C), associées à des fluides magmatiques. À partir des diagrammes A, B et D de la Figure 4.21, on perçoit une certaine évolution de la composition des oxydes, avec des concentrations variables en Ti et Ni, dénotant des compositions plus hydrothermales que magmatiques.

Au final, les diagrammes ne permettent pas de confirmer une origine unique pour les oxydes de fer. D'une part, les données Sn et Ga indiquent une origine hydrothermale-métamorphique (Figure 4.21C) mais avec des températures fortes plus cohérentes avec des phénomènes magmatiques (Fig. 4.20D). De plus, les diagrammes utilisant les métaux Cr, Ti, Ni, Co (Figure 4.21) font ressortir des variations importantes de composition. Ces incohérences pourraient témoigner

également de la superposition de phénomènes magmatiques et hydrothermaux à l'image des pyrites.

4.4.3 Comparaisons pyrites – oxydes

Les compositions en Ni et Co pour les pyrites (cœurs, bordures et lignes totales) et des oxydes (cœurs et lignes totales) ont été comparées (Figure 4.22) afin de tester un possible lien génétique. Le digramme Co vs Ni fait clairement ressortir deux trajectoires évolutives contrastées, illustrées par des flèches noires, soit un enrichissement en Ni et un enrichissement en Co et Ni. Les pyrites suivent essentiellement l'enrichissement en Co-Ni, alors que les oxydes de fer suivent les deux tendances. Selon Dare et al. (2014) et Nadoll, (2014), le Co est communément inclus dans la structure des magnétites magmatiques, alors que le Ni est plutôt d'origine hydrothermale, apporté par substitution avec les fluides hydrothermaux. Pour les oxydes, on peut donc déduire de leur distribution selon deux tendances évolutives est liée à deux origines, soit magmatique et hydrothermale.

Il faut souligner que le long de la tendance d'enrichissement Co-Ni, les pyrites se superposent aux oxydes de fer (Figure 4.22). Ils partagent donc une composition similaire en Co et Ni, ce qui suggère un lien génétique hydrothermal pour la formation des oxydes de fer et pyrites, car Ni et Co sont en remplacement du Fe^{2+} . Enfin, il faut souligner qu'une partie importante des données d'oxydes de fer se distribuent à la jonction des deux tendances, en superposition sur les pyrites. Cette distribution renforce l'interprétation que des oxydes soient d'origine magmatique et que d'autres soient d'origine hydrothermale ou modifiés par l'hydrothermalisme, en

lien avec les fluides à l'origine des pyrites. Toutefois, la nature magmatique ou métamorphique des fluides ne peut être spécifiée.

4.5 Conclusions

En fonction des cortèges métallifères observés sur les cartographies élémentaires et leur pétrographie, 2 grands types de pyrites ressortent : 1) poreuses et résorbées d'affinité magmatique et 2) métamorphique/hydrothermale, plus tardive qui forment des bordures cristallines et des grains idiomorphes. Les quantifications géochimiques ont permis de confirmer les grandes tendances présentées à partir des cartographies en métaux traces. Ainsi, Bi, Te, Sb et Au associés aux cœurs des pyrites traduisent la signature de fluides magmatiques. À l'inverse, Ni, Co, Se et As, qui sont caractéristiques des bordures de pyrite, traduisent une formation des pyrites à partir de fluides métamorphiques tardifs.

Pour les oxydes, la principale caractéristique semble être le ratio de remplacement hématite-magnétite et la paragenèse environnante. La présence de V et Cr au cœur des grains est un indice que les fluides magmatiques sont la source des oxydes. Mais globalement, les différents diagrammes de composition chimique ne permettent pas de déterminer une origine uniquement magmatique. Le diagramme Ni vs Co confirme la dualité d'origine avec la distribution claire des oxydes de fer le long de deux tendances compositionnelles. De plus certains oxydes partagent les mêmes ratios Co-Ni que les pyrites, ce qui supporte une origine hydrothermale liée à la formation des pyrites pour certains oxydes. Au final, il existe donc 1) des oxydes de fer magmatiques, 2) des pyrites primaires formées par des fluides magmatiques, 3) des pyrites secondaires formées par des fluides

métamorphiques, et 4) des oxydes de fer dont l'origine est liée aux fluides hydrothermaux (magmatiques ou métamorphiques).

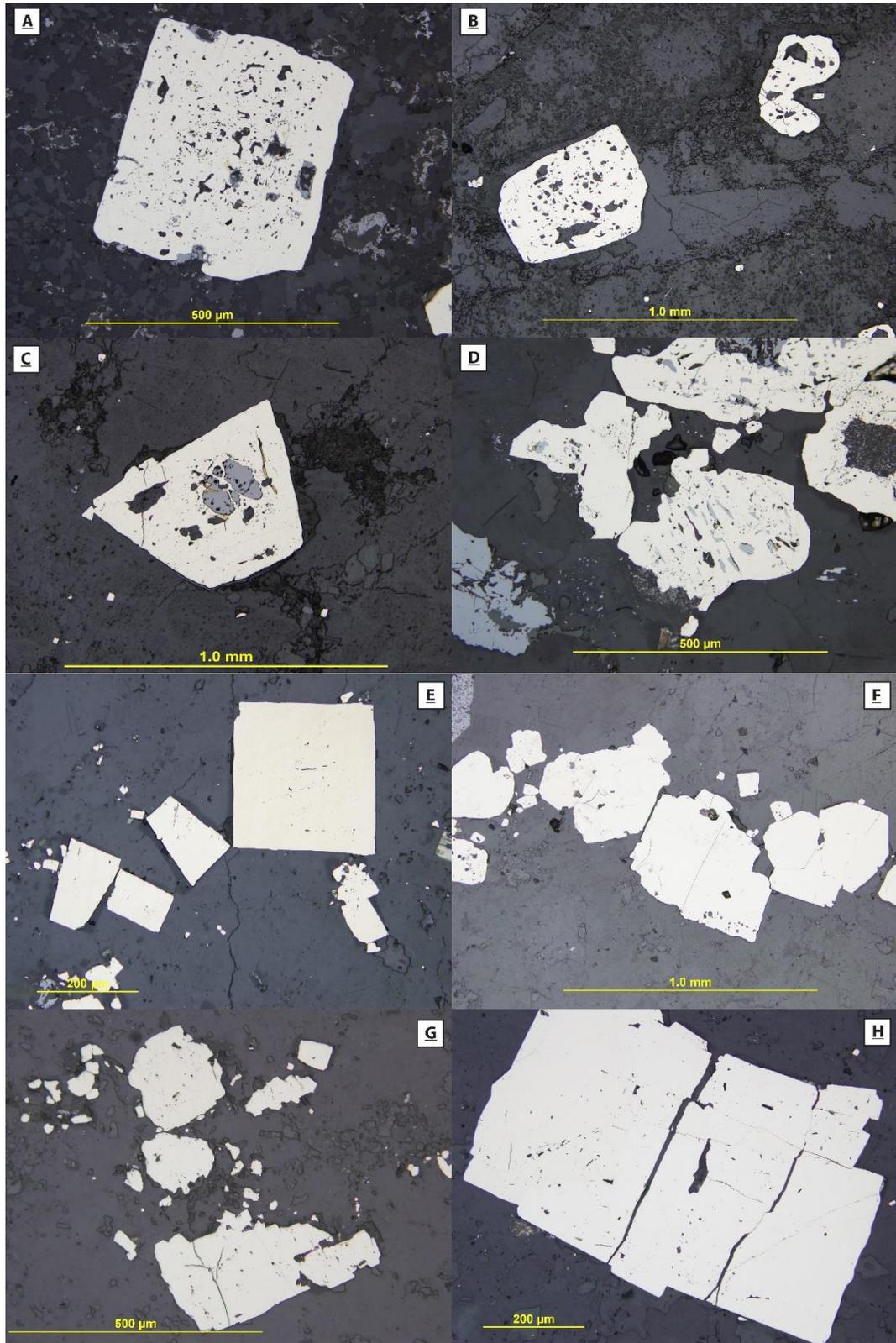


FIGURE 4.1 FAMILLES DE PYRITES RENCONTRÉES DANS L'ÉTUDE DE LA MINÉRALISATION : (A) ET (B) TYPE 1; (B) ET (C) TYPE 2; (D) ET (E) TYPE 3; (G ET H) TYPE 4. ÉCHANTILLONS 55_43.5 (A), 59_37.9 (B), 58_101 (C), 66_210.8 (D), 58_113.5 (E), 66_210.8 (F), 65_205.5 (G), 58_113.5 (H).

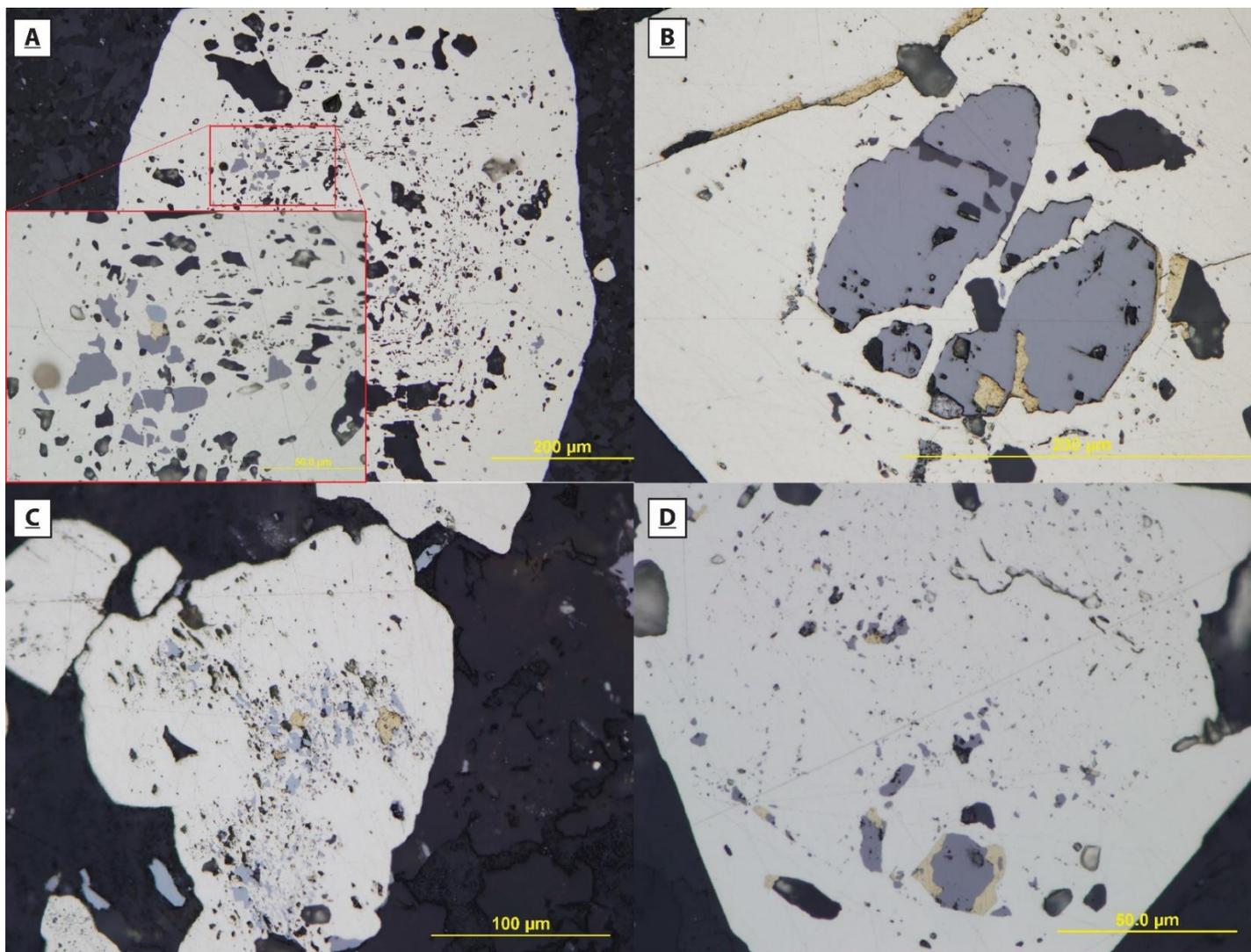


FIGURE 4.2 RELATIONS ENTRE INCLUSIONS (OXYDES, SULFURES ET SILICATES) ET INCLUSIONS AURIFÈRES AU SEIN DE DIFFÉRENTS TYPES DE PYRITE (TYPES 1 ET 2). ÉCHANTILLON 55_43.5 (A); 58_101 (B), 66_318.2 (C), 59_171 (D).

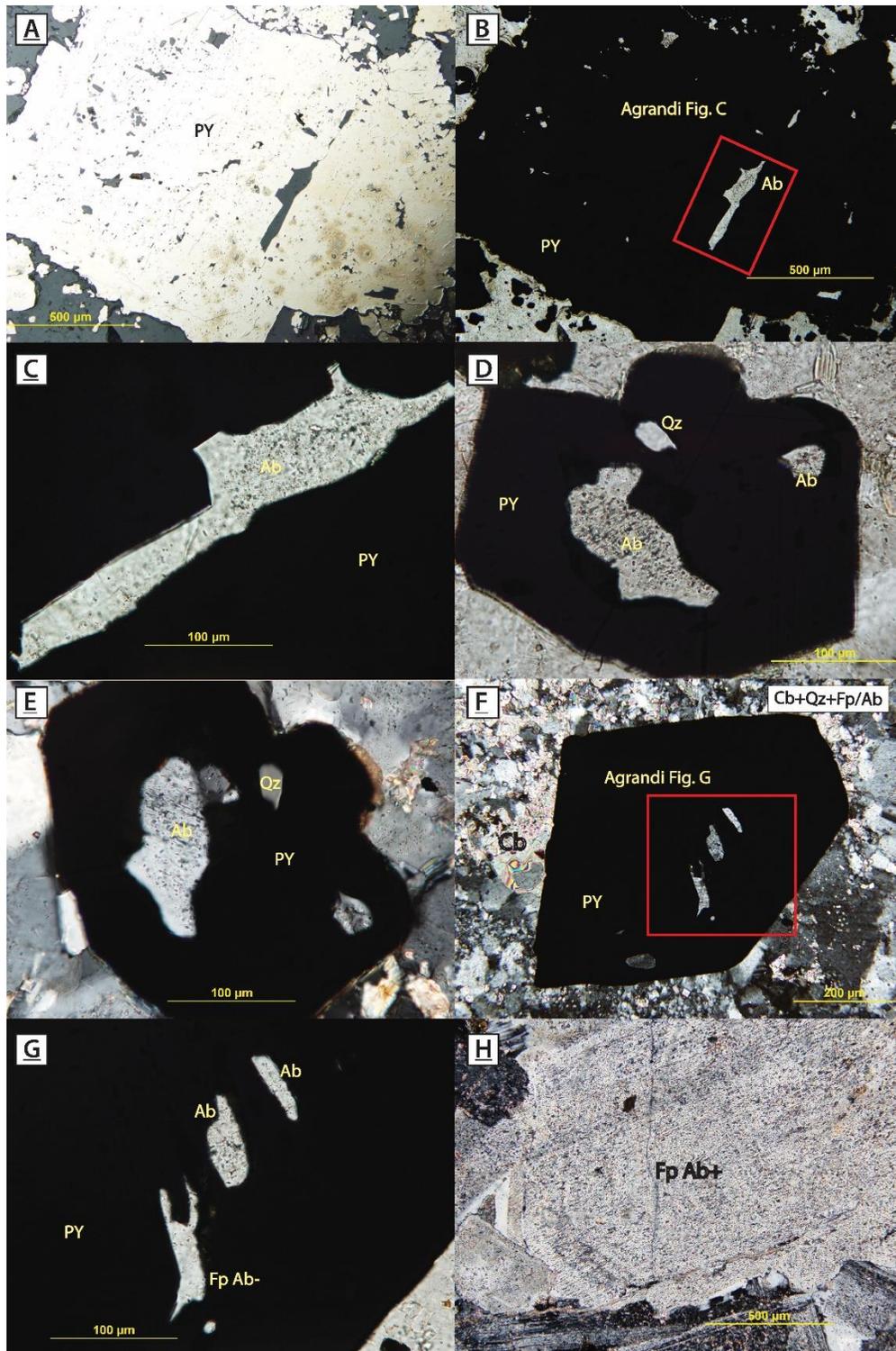


FIGURE 4.3 INCLUSIONS AU COEUR DES PYRITES DE TYPE 1 : (A) ÉCHANTILLON 58_113.5, LUMIÈRE RÉFLÉCHIE; (B) LUMIÈRE DOUBLE POLARISÉE; (C) AGRANDI FIGURE B, SIMPLE POLARISÉ; (D) ÉCHANTILLON 58_184.9, LUMIÈRE SIMPLE POLARISÉE; (E) DOUBLE POLARISÉE; (F) ÉCHANTILLON 53_129.8, LUMIÈRE DOUBLE POLARISÉE; (G) AGRANDI FIGURE F, LUMIÈRE SIMPLE POLARISÉE ET (H) EXEMPLE DE GRAIN DE FELDSPATH FORTEMENT ALBITISÉ POUR COMPARAISONS AVEC LA TEXTURE RETROUVÉE DANS LES INCLUSIONS OBSERVÉES.

Signal représentatif - Échantillon B4-2-2

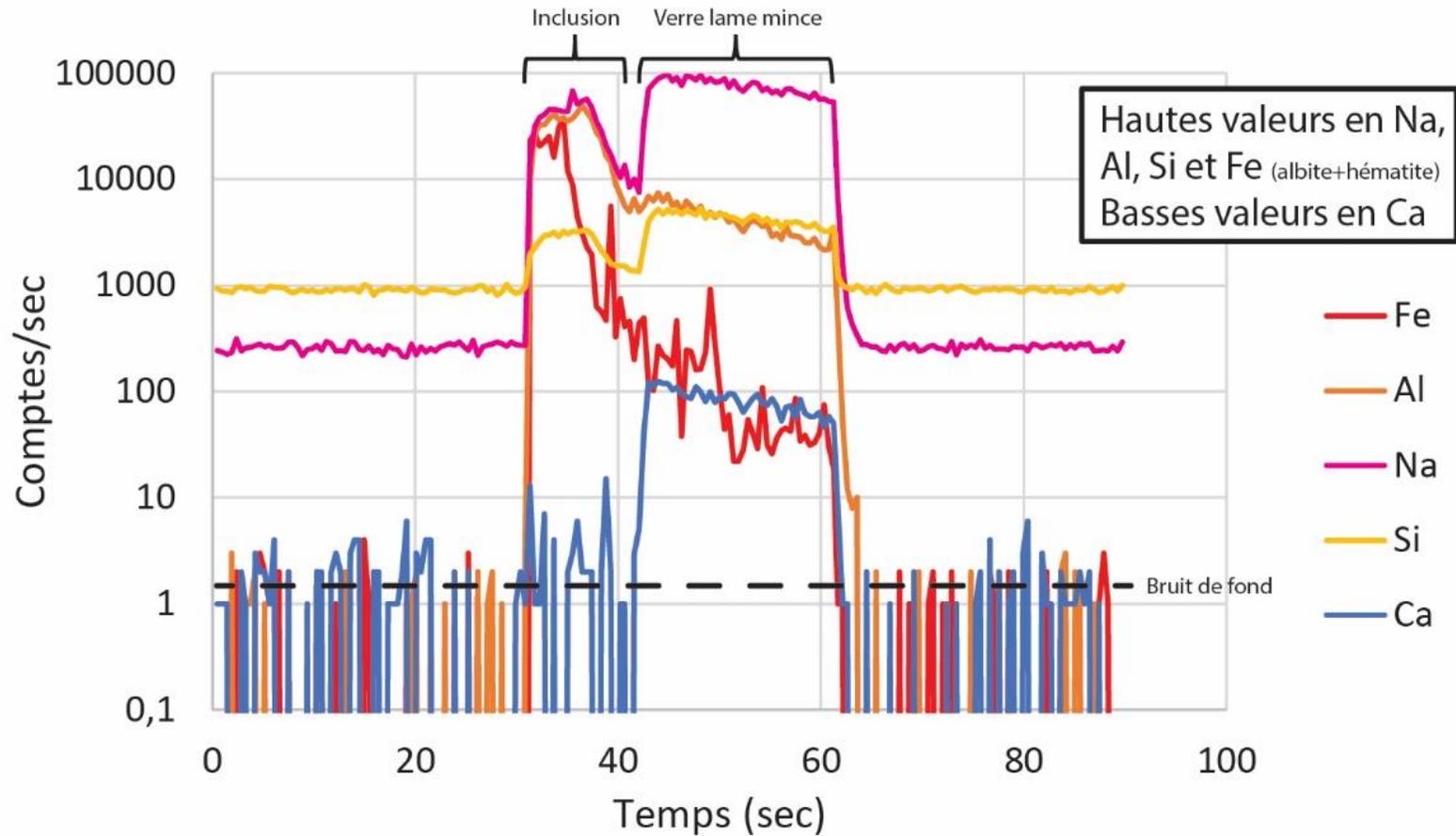


FIGURE 4.4 SIGNAL REPRÉSENTATIF DES INCLUSIONS DE FELDSPATHS ANALYSÉS AU LA-ICP-MS. LE SIGNAL (SEMI-QUANTITATIF) DE L'INCLUSION DE LA FIGURE 3.3C DÉMONTRE LA NATURE ALBITISÉE DU SILICATE, RICHE EN NA, AL, SI ET FE. LE FE INDIQUE ÉGALEMENT LA PRÉSENCE D'HÉMATITE DANS L'INCLUSION.

Magmatique

Hydrothermal

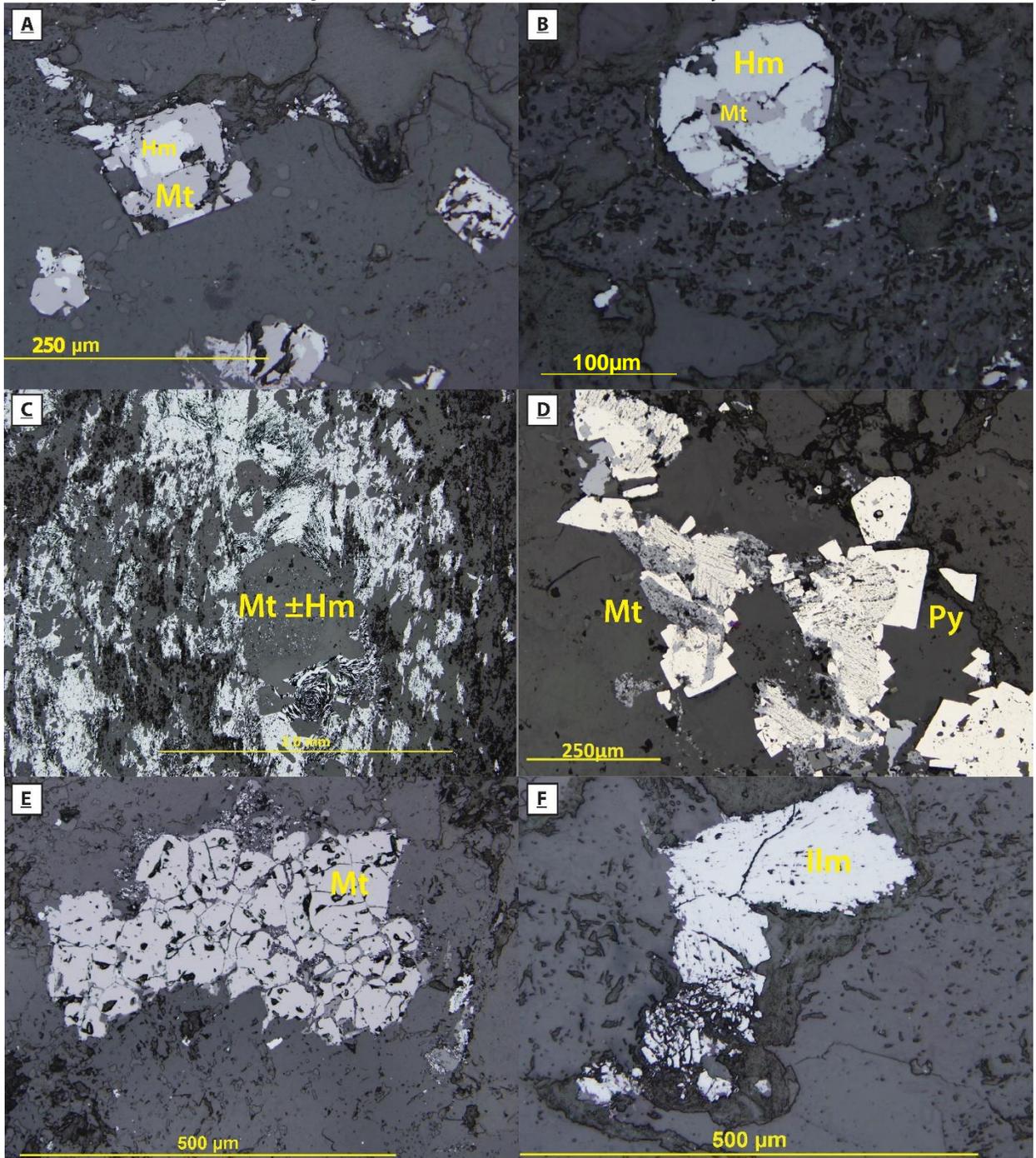


FIGURE 4.5 EXEMPLES D'OXYDES DE FER DÉCRITS COMME "MAGMATIQUES" (A, C, E) ET "HYDROTHERMAUX" (B, D, F). ÉCHANTILLONS BVA02 (A), BVA24 (B), BVA18 (C), BVA11A (D), BVA26 (E) ET BVA03 (F).

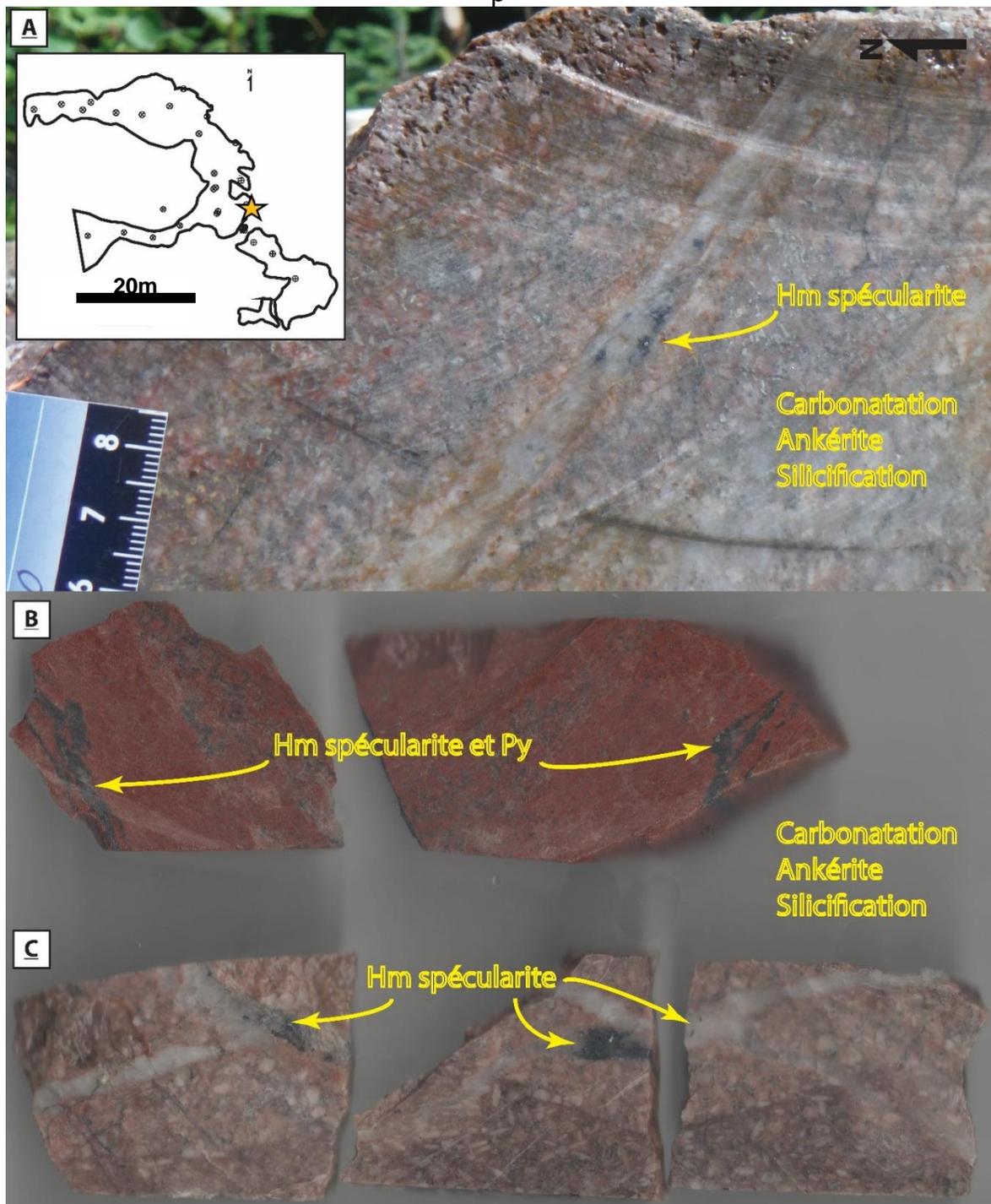


FIGURE 4.6 PRÉSENCE D'HÉMATITE SPÉCULARITE AU SEIN DE VEINES À QUARTZ-CARBONATES: EN AFFLEUREMENT (DÉCAPAGE PRINCIPAL – ÉTOILE POUR EMPLACEMENT (A) ET EN FORAGES (ÉCHANTILON 58_30.2 (B) ET 58_117.5 (C)). LE FORMAT DES CAROTTES DE FORAGE EST BQ (36,5 MM DE DIAMÈTRE).

TABLEAU 4.1 ÉLÉMENTS ET STANDARDS INTERNES UTILISÉS POUR LES ANALYSES DES PYRITES (A) ET DES OXYDES (B) AU LA-ICP-MS.

A. Pyrites				B. Oxydes					
Élément	STD	Élément	STD	Élément	STD	Élément	STD	Élément	STD
S	LAF	Co	GSE	Mg	GSE	Cu	GSE	W	GSE
Fe	LAF	Cr	GSE	Al	GSD	Zn	GSE	Pb	GSE
Au	MASS1	Ga	GSE	Si	GSD	Ga	GSE		
Cu	MASS1	Ge	GSE	P	GSD	Ge	GSE		
Hg	MASS1	In	GSE	Ca	GSD	As	GSE		
Se	MASS1	Mn	GSE	Sc	GSE	Y	GSE		
Te	MASS1	Mo	GSE	Ti	GSD	Zr	GSE		
Tl	MASS1	Ni	GSE	V	GSE	Nb	GSE		
Zn	MASS1	Pb	GSE	Cr	GSE	Mo	GSE		
Ag	GSE	Sb	GSE	Mn	GSE	Sn	GSE		
As	GSE	Sn	GSE	Fe	Bc-28	Sb	GSE		
Bi	GSE	V	GSE	Co	GSE	Hf	GSE		
Cd	GSE	W	GSE	Ni	GSE	Ta	GSE		

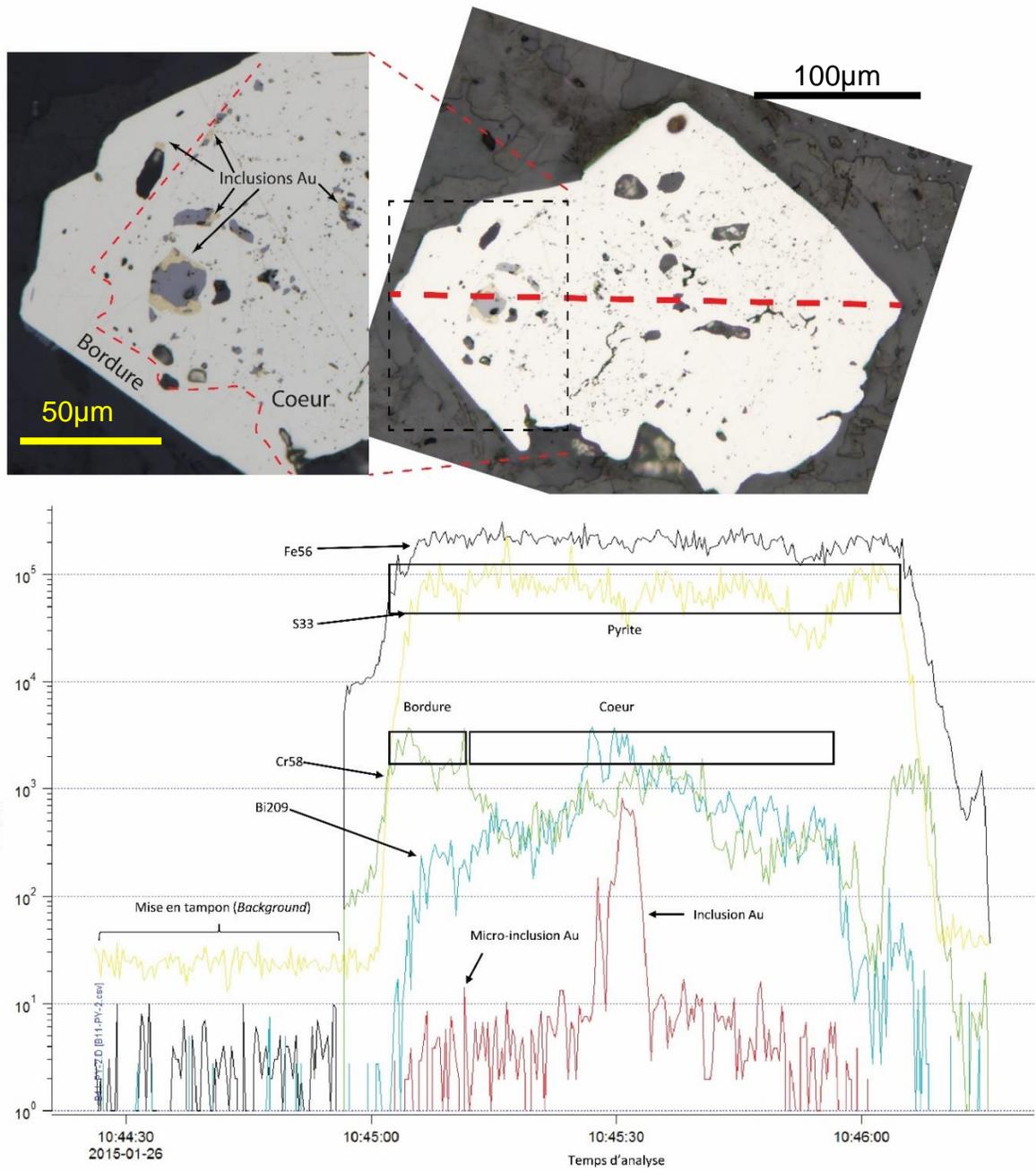


FIGURE 4.7 EXEMPLE DE SIGNAL D'ANALYSE D'UN GRAIN DE PYRITE AU LA-ICP-MS AVEC EXEMPLES DE BÔTES D'INTÉGRATION DU SIGNAL POUR L'ÉCHANTILLON B11PY2.

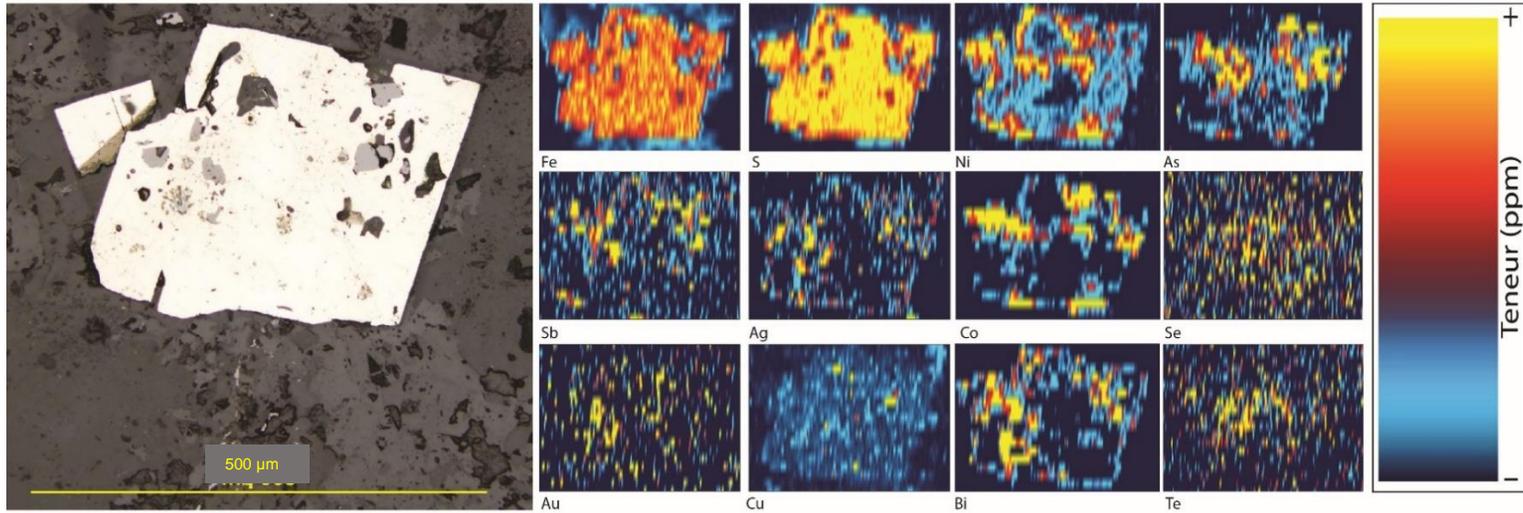


FIGURE 4.8 CARTOGRAPHIE ÉLÉMENTAIRE D'UNE PYRITE DE TYPE 1 ET 2 (BVA-06).

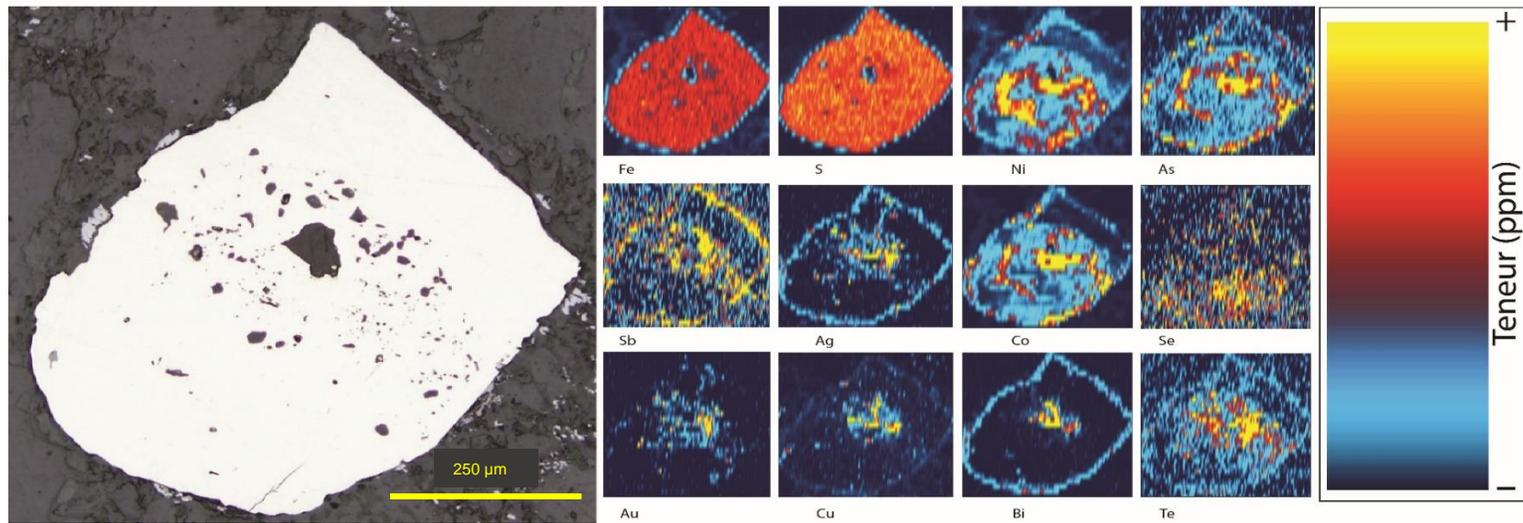


FIGURE 4.9 CARTOGRAPHIE ÉLÉMENTAIRE D'UNE PYRITE DE TYPE 1 ET 2 (62_448)

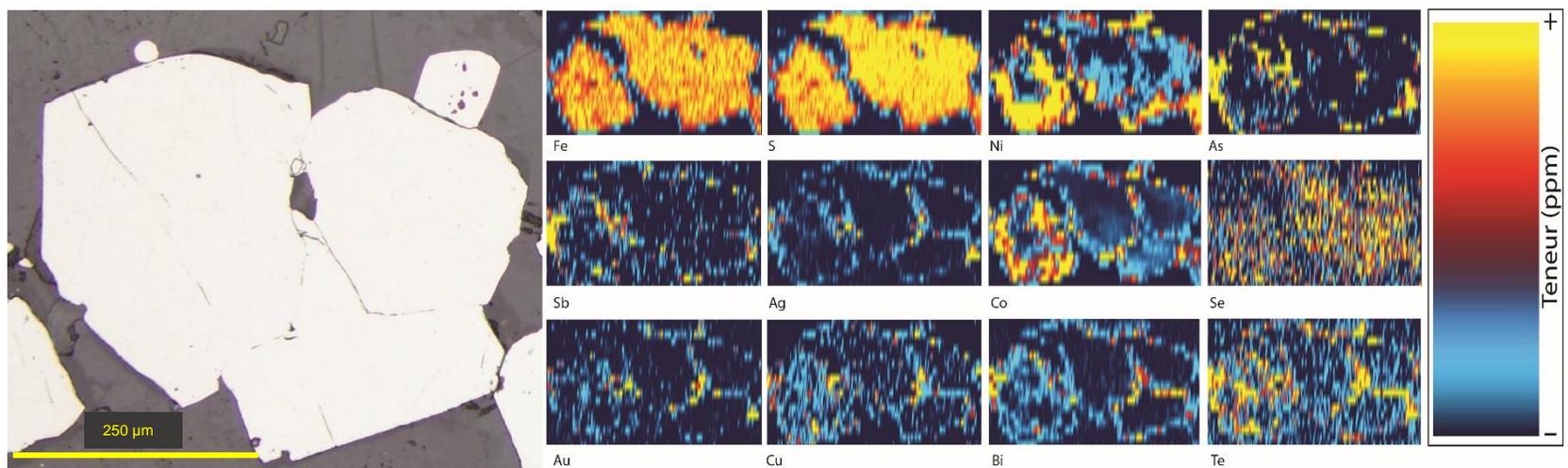


FIGURE 4.10 CARTOGRAPHIE ÉLÉMENTAIRE D'UNE PYRITE DE TYPE 3 (66_210.8).

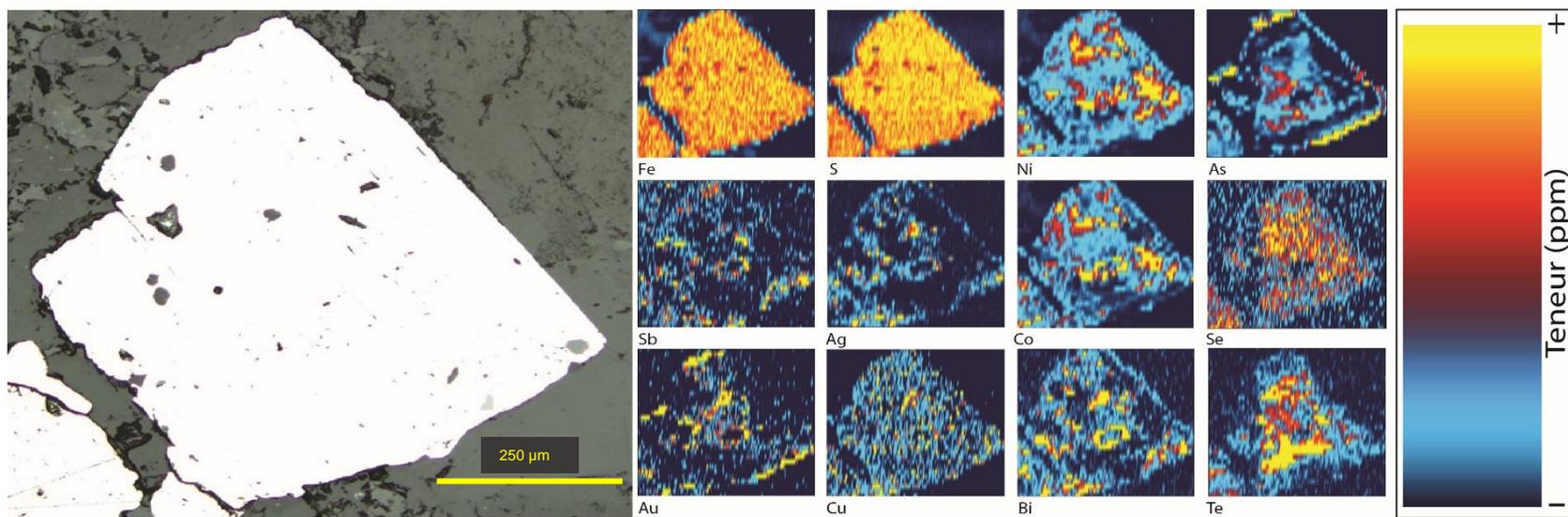


FIGURE 4.11 CARTOGRAPHIE ÉLÉMENTAIRE D'UNE PYRITE DE TYPE 4 (BVA-04).

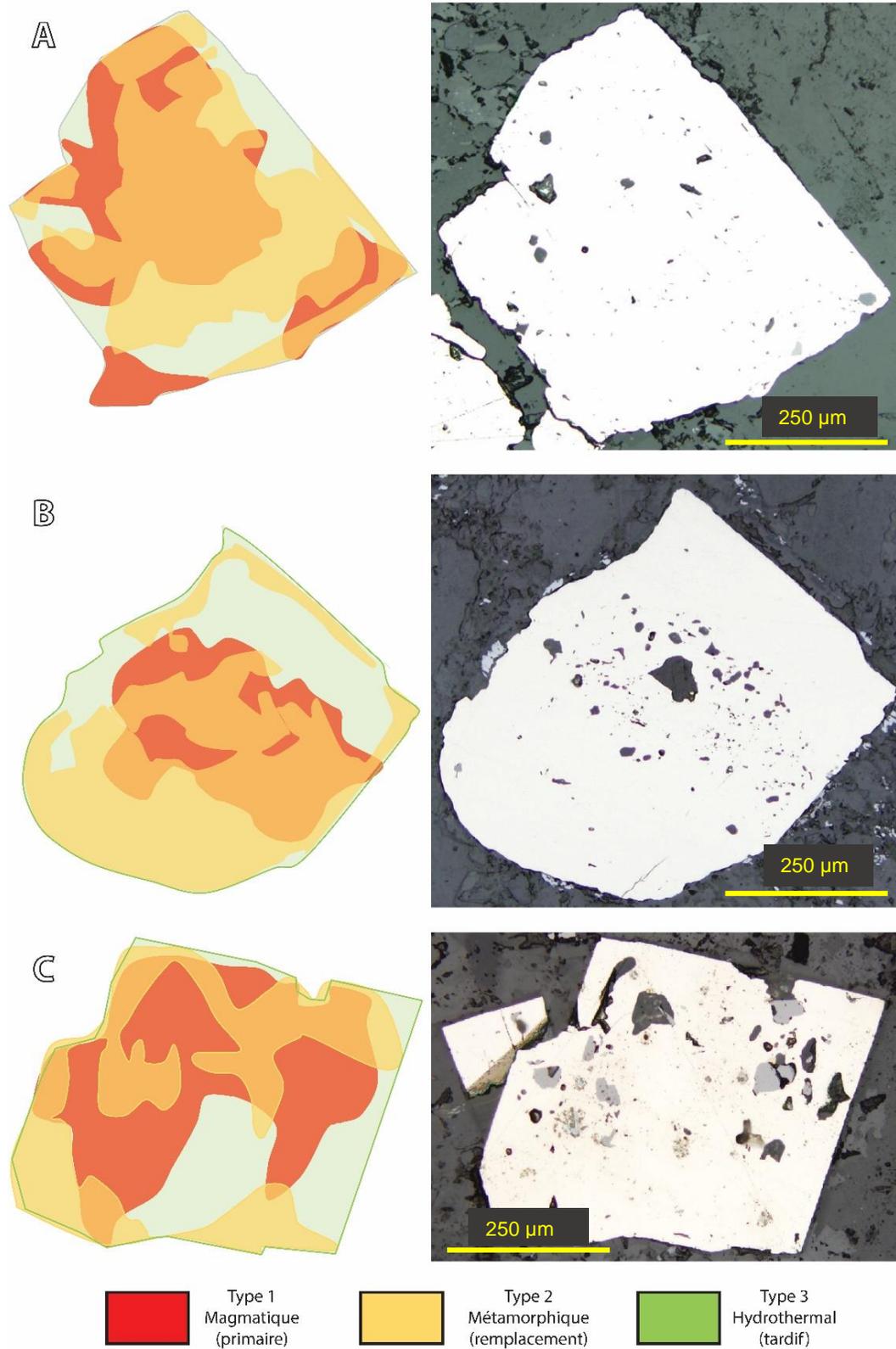


FIGURE 4.12 ZONALITÉS MÉTALLIFÈRES ET SUPERPOSITION DES GÉNÉRATIONS DE PYRITES PRIMAIRES (ROUGE) MÉTAMORPHIQUES (JAUNE) ET HYDROTHERMALE TARDIVE (VERT) PROVENANT DES CARTES ÉLÉMENTAIRES DES FIGURES 4.7, 4.8 ET 4.10.

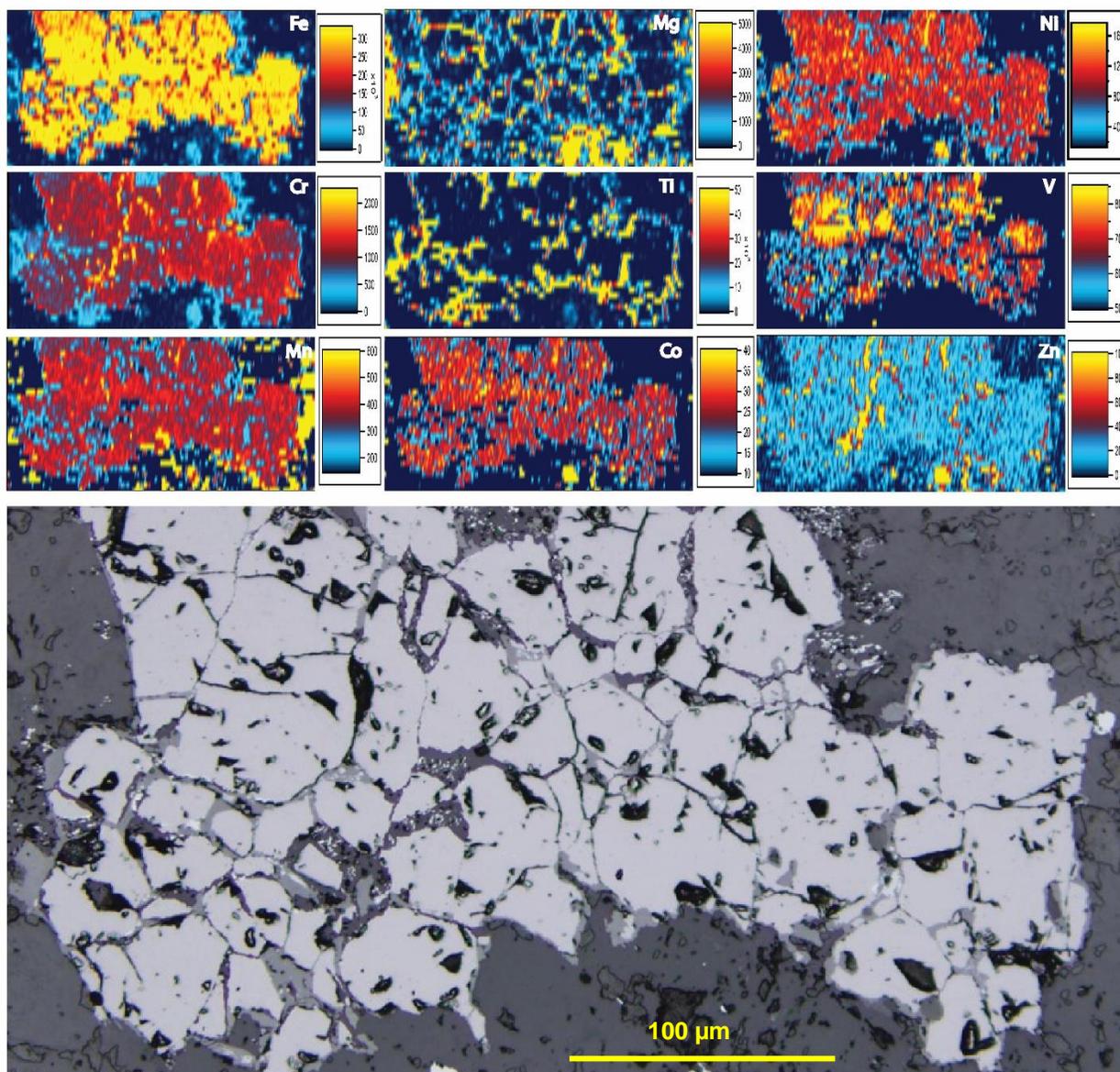


FIGURE 4.13 CARTOGRAPHIE ÉLÉMENTAIRE D'UN GRAIN D'OXYDE (ÉCH. BVA-26) VALEURS EN PPM.

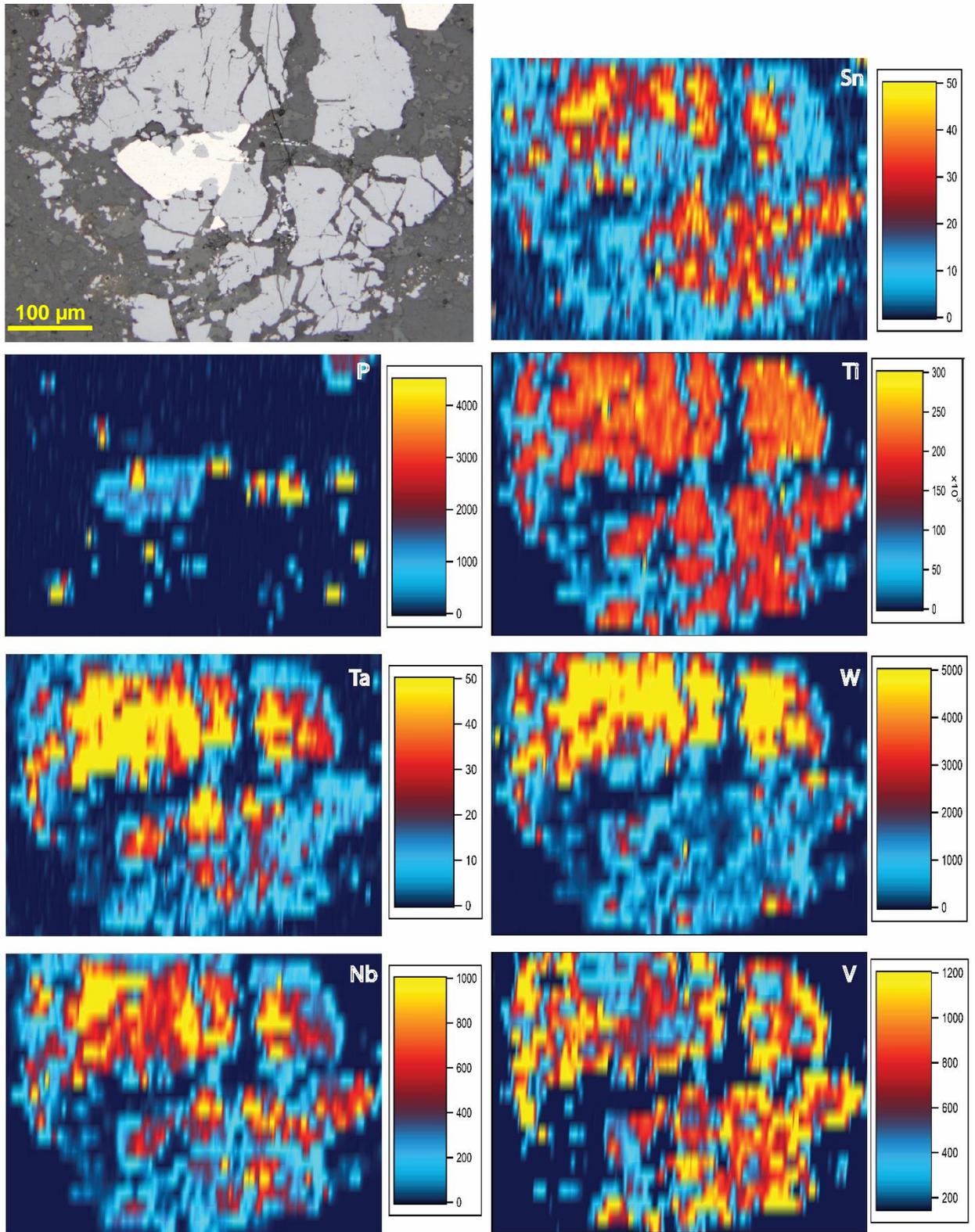


FIGURE 4.14 CARTOGRAPHIE ÉLÉMENTAIRE D'UN OXYDE (ÉCH. 66_286). VALEURS EN PPM.

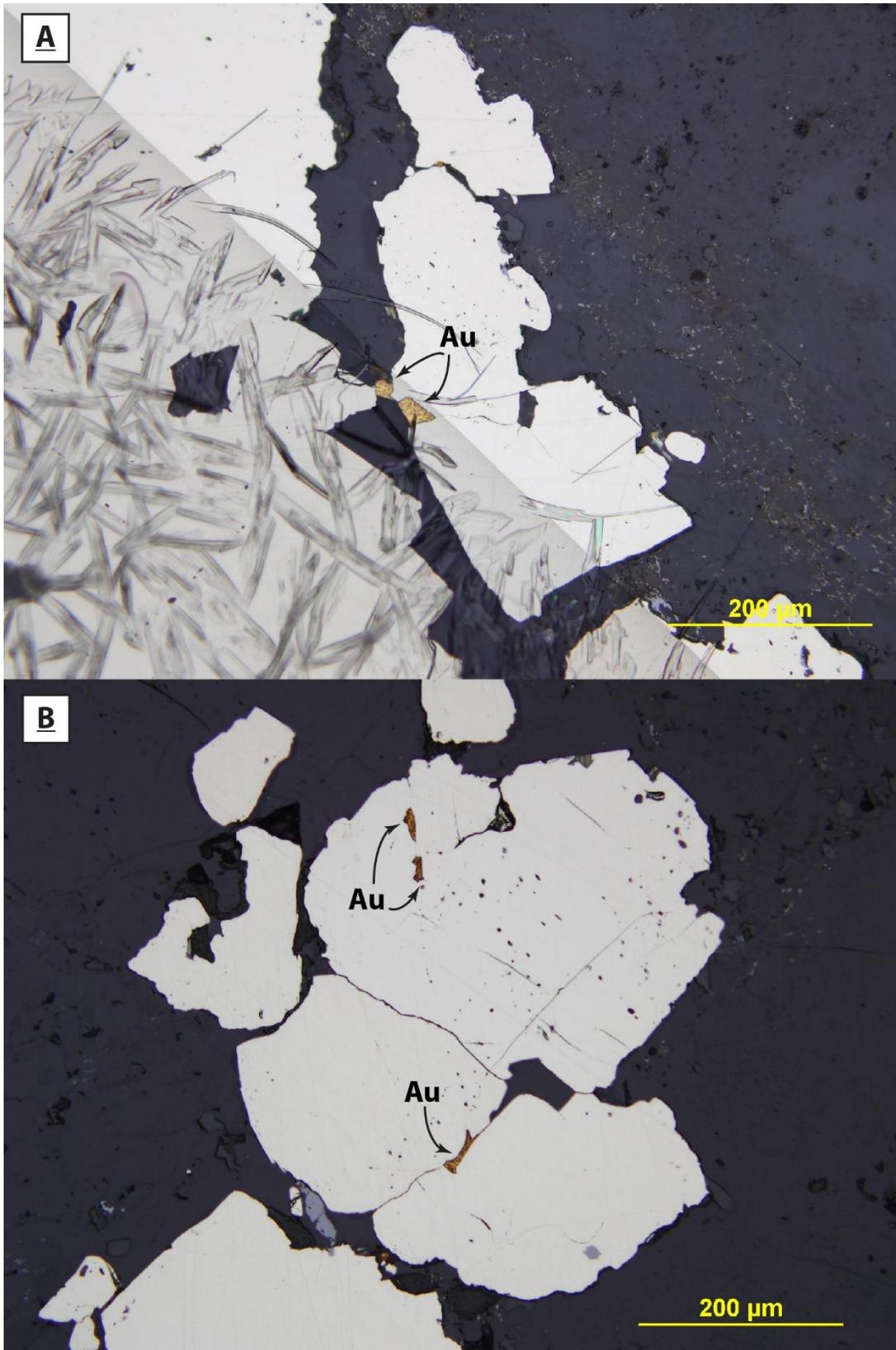


FIGURE 4.15 GRAINS D'OR LIBRE ASSOCIÉ À DES PYRITES DE TYPE 3 ET 4 DANS LA PARTIE NORD DE L'INTRUSION. (A) ET (B) ÉCHANTILLON 66_210.8. LUMIÈRE RÉFLÉCHIE.

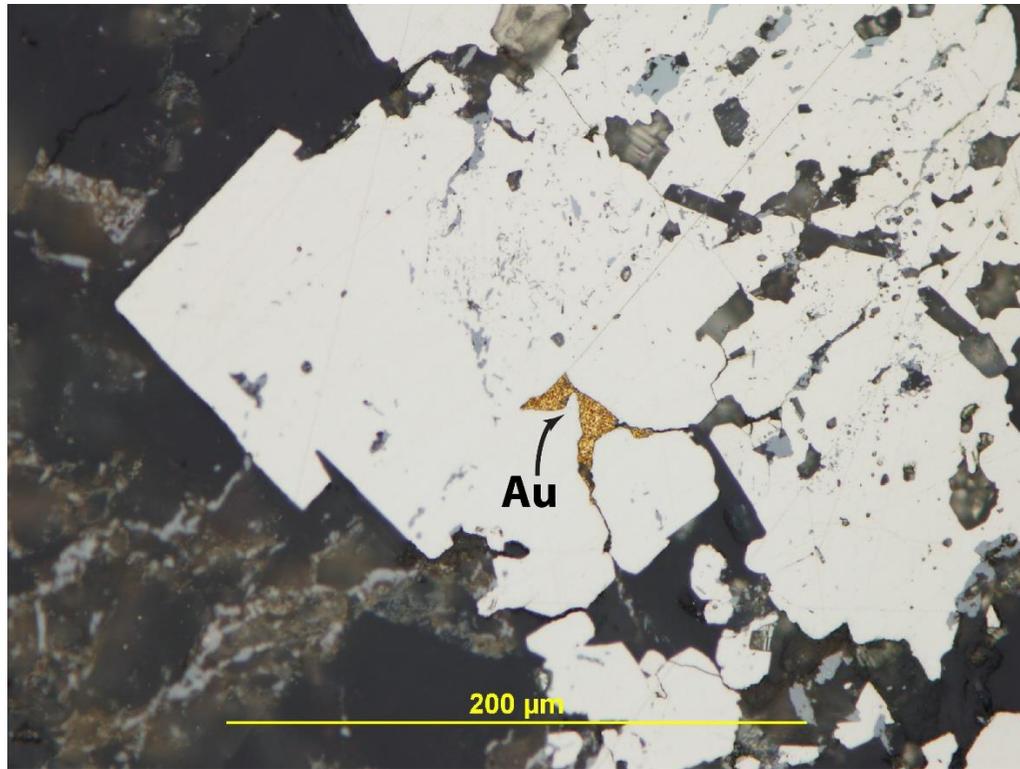


FIGURE 4.16 AUTRE EXEMPLE DE GRAINS D'OR LIBRE AU SEIN D'UNE FRACTURE D'UN PYRITE MÉTAMORPHIQUE. ÉCHANTILLON 66_210.8, LUMIÈRE RÉFLÉCHIE.

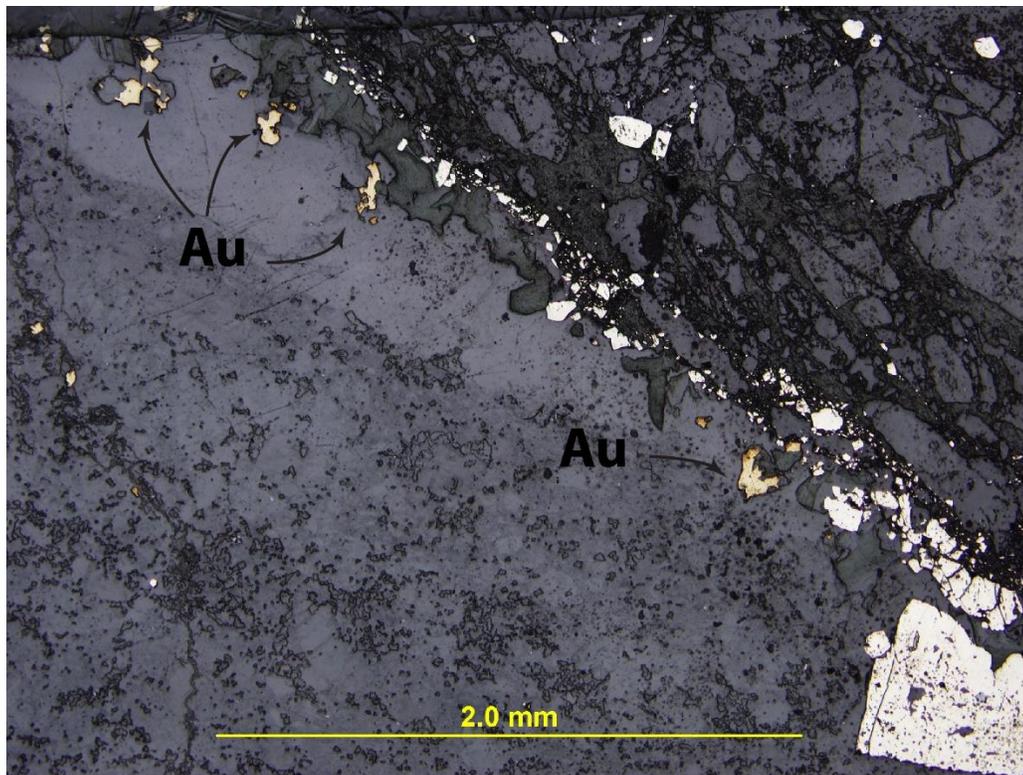


FIGURE 4.17 OR LIBRE DANS UNE VEINULE DE QUARTZ-CALCITE-PYRITE, ÉCHANTILLON 65_205.5. LUMIÈRE RÉFLÉCHIE.

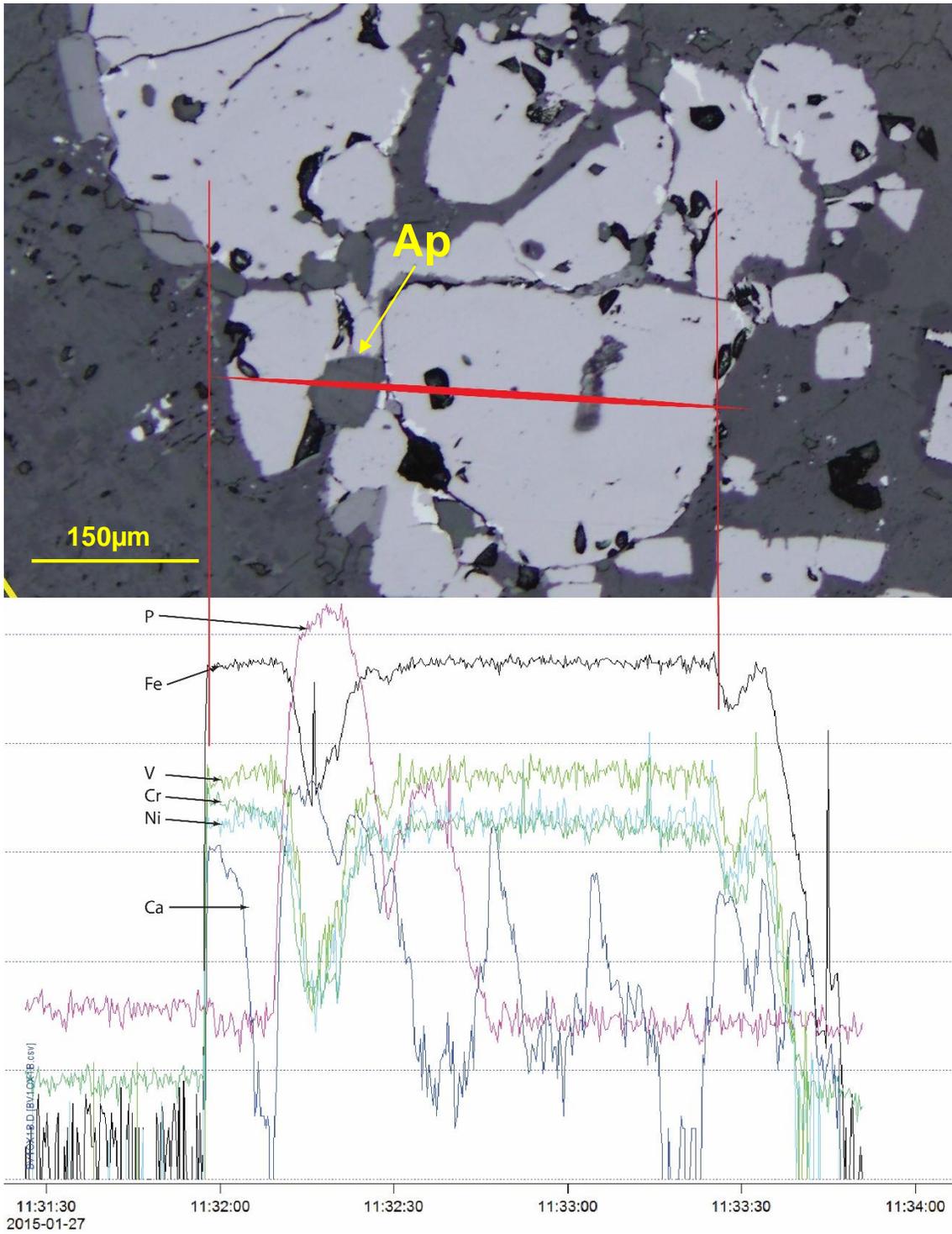


FIGURE 4.18 SIGNAL D'ANALYSE D'UN GRAIN D'OXYDE AVEC TRACE DU LASER; ÉCHANTILLON BVA10X1B. INTENSITÉ DU SIGNAL EN CPS (COMPTES PAR SECONDE) EN FONCTION DU TEMPS.

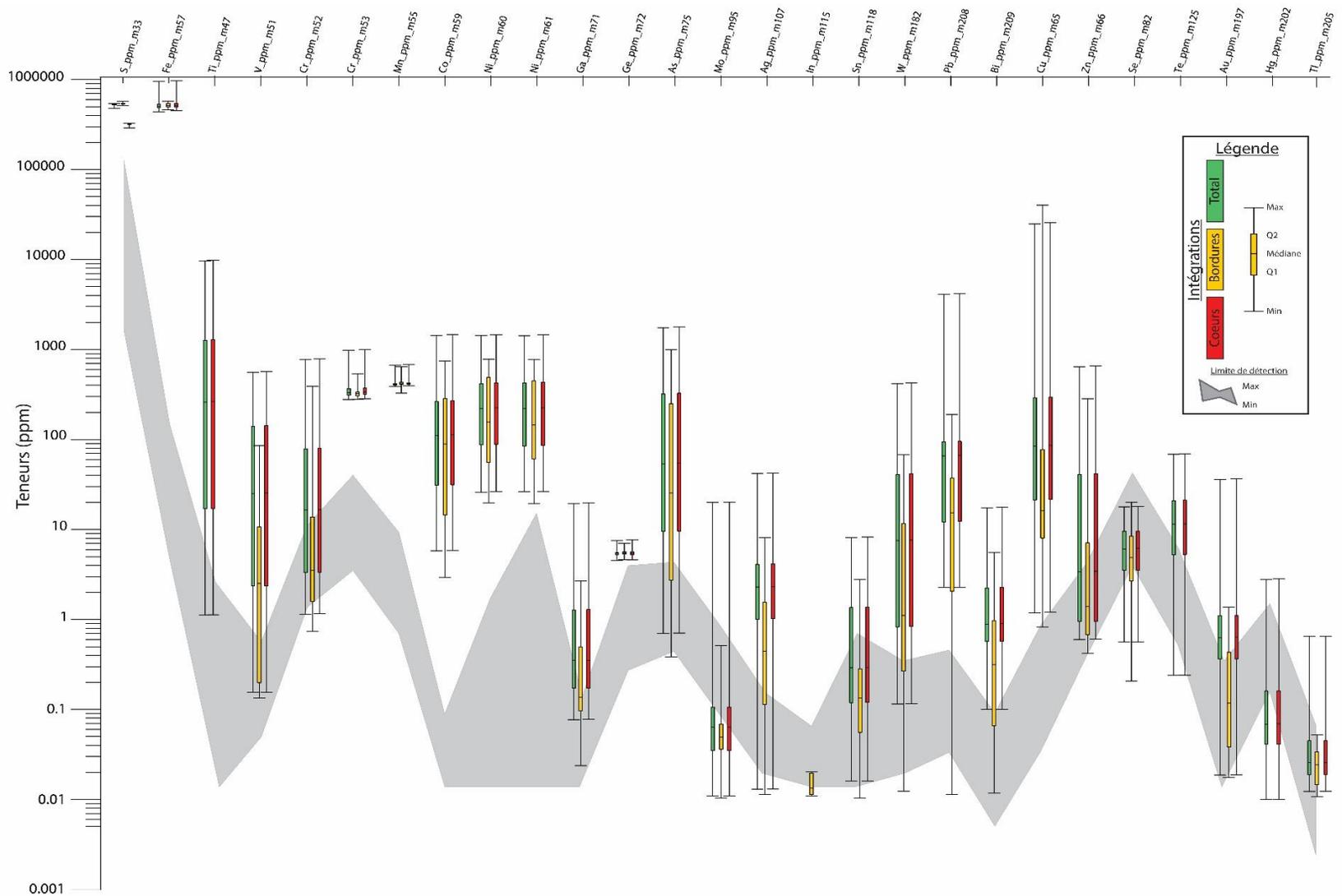


FIGURE 4.19 DIAGRAMMES EN BOÎTES À MOUSTACHES DES VALEURS D'ANALYSE POUR LES GRAINS DE PYRITE (LIGNES TOTALES, COEURS ET BORDURES) AVEC LES LIMITES DE DÉTECTION (MINIMALES ET MAXIMALES).

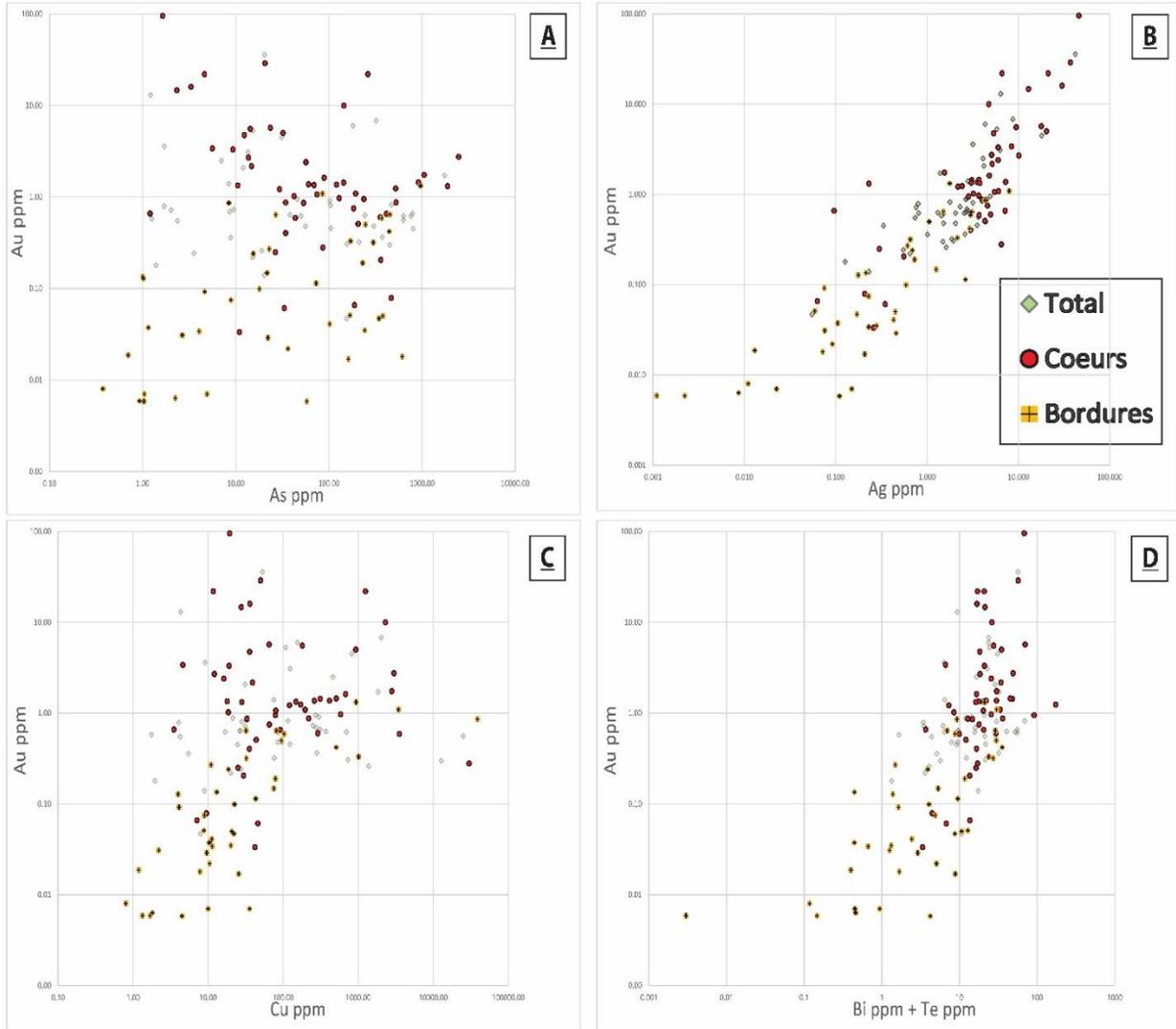


FIGURE 4.20 GRAPHIQUES AU VS AS (A); AU VS AG (B); AU VS CU (C); AU VS BI+TE (D) POUR LES LIGNES TOTALES, LES COEURS ET LES BORDURES DES GRAINS DE PYRITE ANALYSÉS AU LA-ICP-MS.

TABLEAU 4.2 VALEUR MOYENNES ET MÉDIANES D'ÉLÉMENTS DISCRIMINANTS AU SEIN DES COEURS, BORDURES ET LIGNES TOTALES DANS LES GRAINS DE PYRITE (N=8).

		Éléments (valeurs en ppm)									
		Au	Ag	Cu	Bi	Te	Sb	As	Ni	Co	Se
Cœurs (types 1 et 4) n=8	Moyenne	3,81	8,03	4093,6	2,08	15,47	10,67	71,6	140,0	130,9	4,34
	Médiane	0,87	5,44	230,50	1,79	14,05	13,55	43,9	107,8	43,7	4,45
Bordures (types 2 et 3) n=8	Moyenne	0,32	2,11	638,4	0,96	11,87	1,63	147,9	327,5	146,0	7,58
	Médiane	0,19	1,29	57,18	0,59	4,15	0,80	93,6	282,0	122,8	4,23
Lignes totales n=8	Moyenne	1,24	2,97	573,3	1,44	15,13	6,10	163,4	368,6	200,3	6,50
	Médiane	0,42	2,33	182,50	1,06	14,65	3,32	130,0	217,5	91,2	4,91

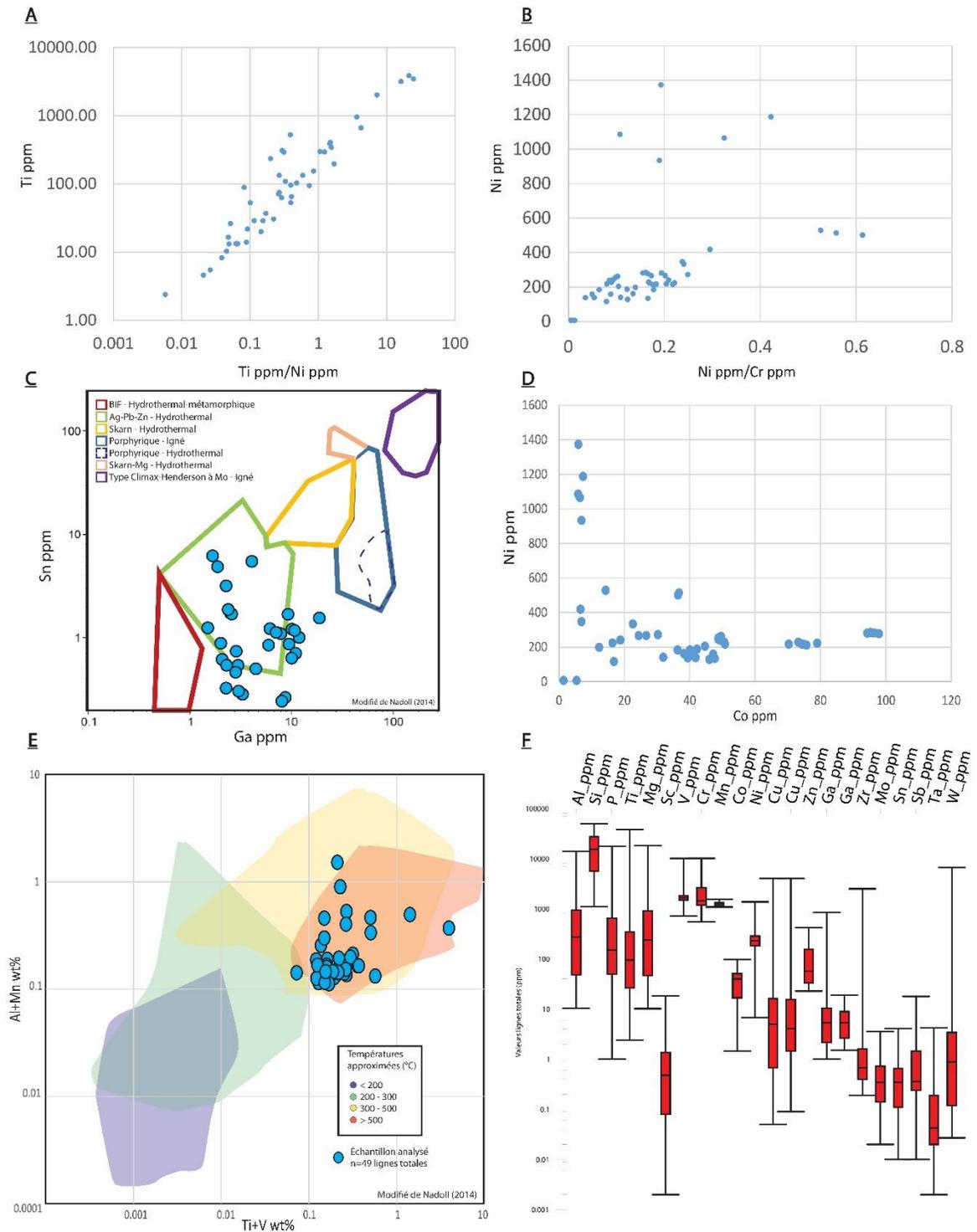


FIGURE 4.21 DIAGRAMMES DE QUANTIFICATION CHIMIQUE POUR LES OXYDES (LIGNES TOTALES). (A) TI / (TI/NI); (B) NI / (NI/CR); (C) SN VS GA (MODIFIÉ DE NADOLL, 2014); (D) NI / CO (E) AL+MN (% POIDS) / TI+V (% POIDS) (MODIFIÉ DE NADOLL, 2014); ET (F) DIAGRAMME DE BOÎTES À MOUSTACHES POUR LES VALEURS D'ANALYSES ÉLÉMENTAIRES DES OXYDES.

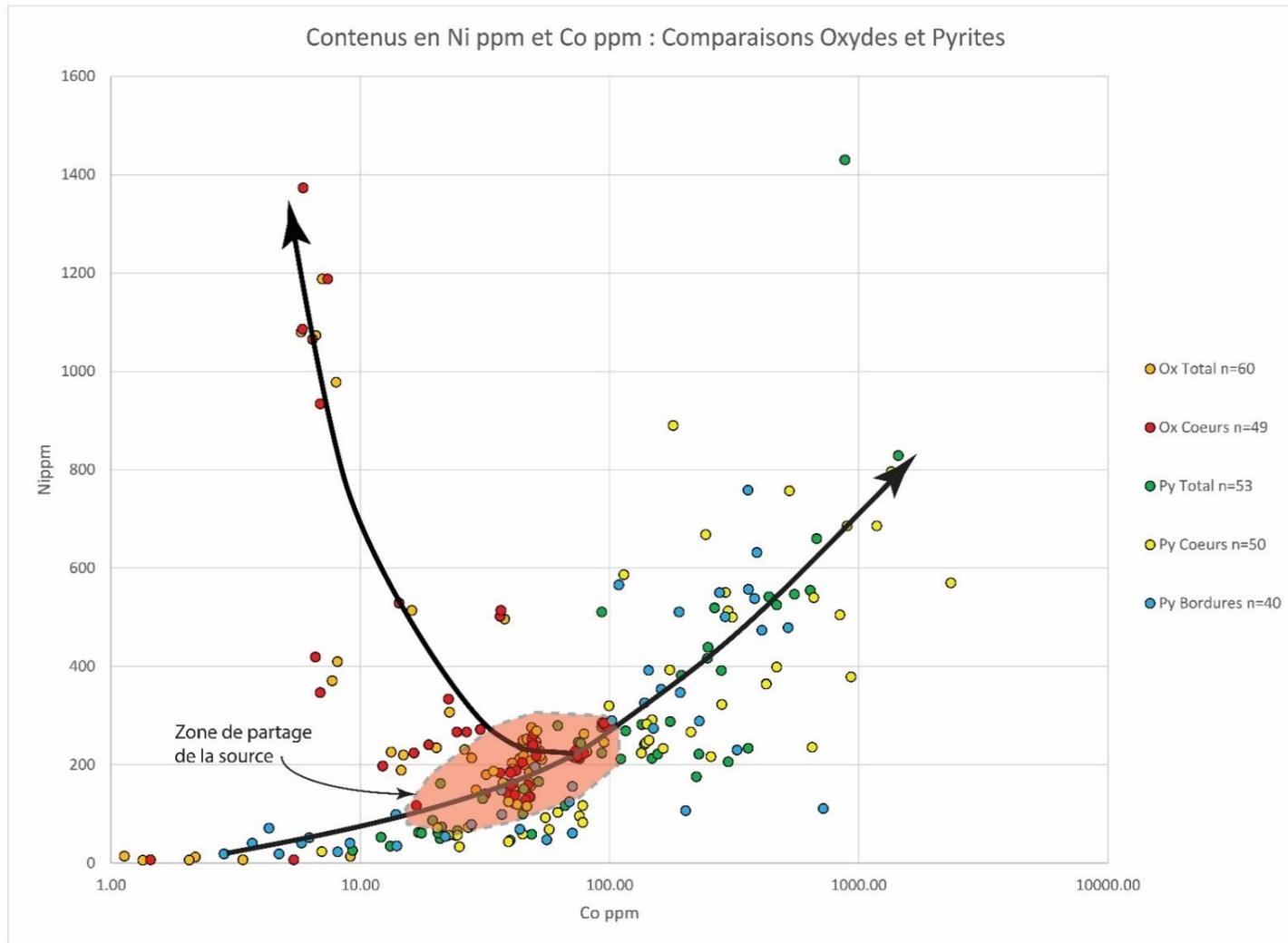


FIGURE 4.22 COMPARAISON DES COMPOSITIONS EN NI ET CO ENTRE PYRITES ET OXYDES. IL EXISTE UNE ZONE DE SUPERPOSITION, SIGNIFIANT UNE POSSIBLE SOURCE SIMILAIRE DES FLUIDES. LES FLÈCHES NOIRES REPRÉSENTENT L'ÉVOLUTION DES COMPOSITIONS CHIMIQUES DES PYRITES ET OXYDES.

Chapitre 5

Analyse des inclusions fluides

5.1 Introduction

La composition en gaz des inclusions fluides dans les grains de quartz peut nous renseigner sur la source des fluides, en particulier dans le cas des gisements orogéniques (Ridley et Diamond, 2000; Gaboury, 2013; Tomkins, 2013). C'est aussi le cas pour les gisements porphyriques où les grains d'halite (NaCl) ou de sylvite (KCl) dans les inclusions fluides constituent une évidence de fluides à forte salinité (Richards, 2006; Wanhainen et al., 2012; Richards et Mumin, 2013; Batkhishig et al., 2014; Sun et al., 2015). Dans ce Chapitre, les caractéristiques pétrographiques des veines échantillonnées et de leurs inclusions fluides sont décrites. Par la suite, les analyses par spectrométrie de masses à sonde solide de la composition en gaz sont également présentées. Les relations entre compositions en gaz des fluides et minéralisation sont discutées, afin d'établir s'il existe une évolution ou des liens génétiques entre les épisodes d'hydrothermalisme, les fluides minéralisateurs et leur chronologie respective de la mise en place de la minéralisation aurifère. Dans ce Chapitre, il est démontré, à partir d'une série de 24 échantillons provenant de veines stériles (n=10) et de zones minéralisées (n=14) qu'un assemblage complexe de gaz est enregistré par les veines, manifestant plusieurs épisodes minéralisateurs hydrothermaux.

5.2 Objectifs de l'étude

L'analyse des inclusions fluides permet de déterminer la composition des fluides hydrothermaux (Roeder, 1979). À partir d'échantillons provenant de forages et d'affleurements, une description mégascopique des veines échantillonnées, une analyse pétrographique des inclusions fluides ainsi qu'une analyse des gaz permettront de définir les relations entre la composition des fluides et l'aspect physique des veines. Les résultats seront incorporés dans un modèle d'évolution des fluides. La Figure 5.1 présente l'emplacement des échantillons utilisés. La sélection des échantillons a été faite en fonction de la représentativité à l'échelle de la propriété et en fonction des zones aurifères et stériles. Il faut noter que les échantillons varient en tailles relatives entre de micro-veinules et des veines de largeur décimétrique.

La description des veines à l'échelle mégascopique est réalisée à partir de critères visuels (couleur, nombre de phases, granulométrie apparente, altérations hydrothermales) et la teneur aurifère. Des sections de chaque échantillon ont été préparées à des fins de concassage pour l'analyse des inclusions fluides. Une certaine quantité des échantillons étudiés a une lame mince associée afin d'en faire l'étude pétrographique, en plus des autres lames minces disponibles contenant des veines ou veinules de quartz. Il est donc possible d'effectuer les observations nécessaires et d'obtenir des relations entre la composition en gaz des fluides, l'apparence des inclusions fluides et la teneur en or.

5.3 Description des échantillons

La Figure 5.2 présente des exemples d'échantillon, en blocs ou en tranches centimétriques. Les échantillons sont visuellement très différents, et ce même s'ils sont spatialement rapprochés à l'échelle d'un affleurement. Il existe clairement plusieurs familles de veines de quartz dans l'intrusion. L'aspect visuel varie entre blanc grisâtre ou laiteux à grains grossiers avec la présence de fragments de l'encaissant, jusqu'à beige/brunâtre. Cette dernière catégorie se rattache de façon générale à la minéralisation et aux altérations de type carbonates-silice-pyrite, avec des halos de silicification d'intensité plus élevée. Plusieurs générations de veines sont visibles à l'échelle des blocs échantillonnés, en affleurement autant qu'en forages. Par exemple, sur la Figure 5.2A, une première veine de quartz fumé légèrement bleuté (tracé en bleu) est recoupée par des veines de couleur beige à brunâtre (tracé en rouge). Sur certains échantillons, des veines blanches aux contacts francs recoupent toutes les autres générations (Figure 5.2F). Sur l'affleurement principal, les familles de veines gris laiteux à blanc laiteux sont stériles et à pendage abrupt (70° à 90°). En forages, des relations similaires sont observées, quoique localement les teneurs aurifères grimpent jusqu'à une centaine de ppb dans les veines d'aspect stérile. Ces veines sont communément plus significatives en termes de quantité et d'épaisseur. Elles se rattachent majoritairement aux altérations hydrothermales de type albite±hématite. L'échantillon BVAVn9 (Figure 5.2C) est un bon exemple du genre de veines à quartz blanc laiteux associées aux zones stériles, comportant des fragments d'encaissant faiblement altérés en albite±hématite et des traces de pyrite disséminée idiomorphe et fine (millimétrique).

Les veines qui sont associées aux zones minéralisées sont celles qui sont soit gris bleuté (Vn1, Figure 5.2A et E) ou brunâtres (Vn2, Figure 5.2A, B, E et F). Elles sont directement reliées aux zones d'altération en carbonates-silice-pyrite avec l'encaissant plus fortement albitisé et hématisé. Dans plusieurs cas, on y retrouve de l'albite cristalline au sein des veines, notamment lorsqu'elles sont polyphasées (BVAVn27, Figure 5.2B et BVAVn22, Figure 5.2F). Ces veines comportent également des fragments de la roche encaissante fortement altérée et pyritisés ($\pm 2\%$, parfois $< 5\%$; Figure 5.2B). Ces fragments semblent en cours de digestion par les transformations métasomatiques. L'altération en carbonates se retrouve aux épontes de ces veines, principalement composée de calcite ou de carbonates de fer.

Dans certains cas, les veines et les altérations hydrothermales sont présentes, mais il n'y a pas de valeurs aurifères qui y sont associées. La Figure 5.3 présente un exemple de veine à quartz-carbonate polyphasée et stérile dans la partie sud (échantillon BVC). Dans ce cas, l'encaissant n'est que faiblement albitisé et très peu hématisé, fortement carbonaté et silicifié mais ne comporte pas de pyrite. La présence d'hématite spéculaire en proportions mineures ($< 2\%$) dans la veine est comparable à plusieurs veines observées dans la portion nord (Figure 4.5), laissant croire que les fluides de ce type sont les mêmes dans les différentes portions de l'intrusion. Ces observations impliquent des évidences physiques de superposition d'événements hydrothermaux, manifestées par les injections multiples de veines de quartz et l'intensité de l'altération hydrothermale des fragments d'encaissant au sein des veines.

5.4 Pétrographie des inclusions fluides

Les fondements de la description et de la classification des inclusions fluides reposent sur les travaux Roedder (1979; 1984) et de Bodnar (2003). Dans le cas présent, il s'agit principalement d'inclusions à dominance de phases liquides et gazeuses, ou un mélange des deux. La Figure 5.4 présente les typologies d'inclusions fluides communément observées en lames minces, soient « primaires » en A et « secondaires/pseudo-secondaires » en B. Dans le cas présent, rares sont les inclusions d'origine primaire. La Figure 5.4A présente une microphotographie d'un grain de quartz dans une veine où des inclusions primaires ont été répertoriées, mais leur étude a été impossible étant donné leur taille micrométrique. On voit néanmoins les figures de croissance, recoupés par des traînées d'inclusions tardives (Fig. 5.4A en rouge) mises en place dans les fractures du grain de quartz. Ces inclusions sont observées au sein de grains de quartz hydrothermaux, idiomorphes et de taille millimétrique. Seules quelques lames minces en comportaient. Les inclusions secondaires (ou pseudosecondaires) sont néanmoins plus faciles à retrouver de manière générale dans n'importe quel contexte. La quasi-totalité des lames minces associées à des zones altérées et minéralisées en comportaient, soient dans les grains de quartz au sein des veines de quartz ou dans les grains interstitiels de l'encaissant associé à des zones de silicification pervasive. Ces traînées se distinguent par leur alignement le long de plans de fractures parallèles qui recoupent soit des cristaux unique de quartz ou soit plusieurs cristaux (Figure 5.4B).

Les inclusions répertoriées dans tous les échantillons se regroupent en trois familles. La Figure 5.5 présente une interprétation des types d'inclusions fluides (IF) dans l'échantillon 59_171. Il faut souligner ici que cet échantillon est représentatif des inclusions observées en général dans toutes les lames minces étudiées. Celles de type « IF1 » sont à dominance liquide, les « IF2 » à dominance gazeuse et les « IF3 » sont un entre-deux, comprenant un mélange de liquide et de gaz. Aucune inclusion comportant des cristaux de sel ou autres minéraux n'a été observée. La forme des inclusions varie de globuleuses à anguleuse. Les inclusions de type IF1 sont communément arrondies ou globuleuses et translucides, tandis que celles à dominance gazeuse (IF2) sont plus anguleuses, allongées et irrégulières avec une teinte brunâtre ou très foncée. Celles de type IF3 sont hybrides, parfois avec une forme prismatique. L'abondance des inclusions fluides varie d'un échantillon à l'autre. Néanmoins, au sein d'un même échantillon, l'abondance est relativement homogène, dépendamment de la proportion de grains de quartz et de fractures observées. Il est possible d'associer la quantité d'inclusions secondaires ou pseudosecondaires à l'intensité de l'altération en silice et en carbonates, relatant du même fait le passage d'une plus grande quantité de fluides ayant interagi dans le système.

5.5 Analyse de la composition en gaz par spectrométrie de masses

L'analyse de la composition en gaz des inclusions fluides a été réalisée au LAMEQ de l'UQAC. Chaque échantillon est manuellement concassé jusqu'à une granulométrie d'environ 2-3 millimètres. Sous un binoculaire, une sélection des grains est effectuée. Les grains sont sélectionnés un à un pour l'analyse. Seul les

grains n'ayant pas de peinture, de face polie lors de la coupe ou encore d'impureté visible dans le quartz (pyrite) sont sélectionnés afin de ne pas induire d'impureté dans l'analyse. L'échantillon est pulvérisé dans un petit mortier et introduit dans un tube de silice de 10 mm de longueur. Par la suite, l'échantillon est chauffé à 110°C durant la nuit pour éliminer l'humidité résiduelle. Enfin l'échantillon est inséré dans la sonde-solide pour analyse. Le fonctionnement de l'appareil est expliqué en détail par Gaboury et al. (2008) et Gaboury (2013).

Un exemple des résultats d'analyses d'un échantillon est présenté à la Figure 5.6. Il s'agit d'un diagramme binaire de la pression partielle des gaz (mbar) en fonction de la température de décrépitation des inclusions. Ce diagramme présente les pressions après la soustraction du bruit de fond de l'appareil. Chaque pic équivaut à une ou des décrépitations d'inclusions fluides analysées par le spectromètre de masses. La sommation de tous les pics pour chaque gaz permet de calculer la pression totale de chaque gaz libéré. Pour des fins de représentation, les 10 gaz analysés sont recalculés en pourcentages, ce qui permet une représentation graphique de l'ensemble des données (Figure 5.7A). Sur ce graphique, les échantillons sont triés en valeurs décroissantes de la pression totale. Il faut souligner que la pression totale est directement proportionnelle à la quantité de gaz libéré et donc fonction de l'abondance des inclusions fluides dans l'échantillon analysé. Ainsi, plus la pression totale est forte, plus la précision est grande sur les gaz présents en faible concentration, d'où l'importance de trier les échantillons selon la valeur de la pression totale.

La Figure 5.7B fait le lien entre la composition en gaz, la teneur aurifère (ppb) et la pression totale calculée qui varient entre 6.69E-06 mbar et 7.2E-08 mbar. Un total de 6 gaz sur les 10 analysés ont été décelés dans les échantillons, soient le CO₂, H₂O comme constituant majeur, et N₂, H₂, CH₄ (méthane) et le C₂H₆ (éthane) comme constituants en traces. La Figure 5.7B illustre aussi un point important à l'égard des teneurs aurifères et de la composition en gaz : les assemblages complexes et simples renferment des valeurs aurifères. La relation n'est pas dichotomique, c'est-à-dire que la présence de minéralisation n'est pas liée qu'à une seule signature, ou un type de fluide spécifique.

Le Tableau 5.1 relate les pourcentages de gaz relatifs des échantillons (n=24), et leur valeur en Au (ppb) divisés en deux ensembles : minéralisés (en jaune; n=14) et stériles (n=10). Cette division des ensembles a été définie en fonction des altérations hydrothermales décrites sur le terrain et de la présence de pyrite en proportion importante ($\geq 2\%$). Les échantillons sont composés majoritairement de H₂O (50 - 100%; moy. 84,5%) et CO₂ (<50%; moy. 12,6%) avec, pour certains, des proportions plus importantes de H₂ (<2,1%; moy. 0,44%) et de N₂ (<5,7%; moy. 2,1%). La pression totale (quantité de gaz analysé) ne semble pas nécessairement se corrélérer directement avec la complexité de l'assemblage de gaz, ce qui est généralement observé dans ce type d'analyses (D. Gaboury, 2015, communication personnelle). Il faut souligner, que cette composition complexe des fluides pour certains échantillons, avec N₂, CH₄ et C₂H₆, est typique des fluides métamorphiques (Gaboury, 2013) alors que les assemblages simples à dominance de H₂O sont communément magmatiques (D.

Gaboury, 2015, communication personnelle). Enfin, un constat s'impose, il s'agit de la présence de C_2H_6 dans une dizaine d'échantillons, avec des valeurs variant de 0,2 à 3,2% et ce, tant pour des échantillons aurifères que stériles. L'importance de ces relations avec C_2H_6 est discutée ci-dessous.

5.6. Interprétation

L'étude pétrographique des inclusions fluides a permis de déterminer plusieurs types d'inclusions : à dominance liquide (IF1), gazeuse (IF2) et un type hybride (IF3). Les trois types d'inclusions fluides sont retrouvés dans tous les échantillons étudiés. Les inclusions se concentrent principalement dans des plans de fractures et peuvent être associées à des fluides secondaires (ultérieurs à la formation de la veine). Quatre constituants majeurs ont été décelés : CO_2 , H_2O , N_2 et H_2 , avec des traces de CH_4 et de C_2H_6 (Tableau 5.1).

Pour cette étude, 24 échantillons furent analysés. Dix étaient à priori non-minéralisés (sans sulfures ou altérations hydrothermales associées) et 14 associés à des zones d'altérations et minéralisées en or. Selon la Figure 5.7 la composition en gaz des fluides n'est pas directement liée à la présence d'or dans les échantillons. De plus, les altérations typiques des gisements orogéniques (carbonates de fer) sont présents autant aux épontes de veines minéralisées que stérile. Le seul paramètre qui semble jouer sur la relation entre la composition des fluides et la minéralisation est la présence de pyrite. De plus, on retrouve une composition complexe de gaz dans une majorité des échantillons, tous associés pétrographiquement à des inclusions de type secondaire ou pseudosecondaires à plusieurs phases (liquide, gaz et liquide+gaz). Au final, la grande variabilité des

compositions de fluides en lien ou non avec l'or, suggère la venue de différents fluides et une histoire complexe de minéralisation.

5.7. Discussion

Avec 24 échantillons ayant des aspects visuels différents et plusieurs phases de veines et veinules ainsi que des teneurs aurifères variables, il est normal de s'attendre à obtenir des variations importantes de la composition en gaz des fluides. Trois hypothèses peuvent expliquer ces variations à l'échelle de la propriété: (1) chaque famille de veines possède sa propre signature en fluides minéralisateurs, (2) toutes les veines ont été influencées par les mêmes fluides, et seule la quantité d'inclusions fluides trappées peut faire varier les compositions, et (3) les veines font partie d'un même événement et c'est les inclusions secondaires qui causent la variation de l'aspect de certaines veines, tout en contrôlant également la présence de minéralisation aurifère.

Selon l'abondance des traînées d'inclusions fluides tardives dans tous les échantillons, il apparaît clair que les veines ont subi le passage d'un même fluide tardif, malgré leur aspect différent. Ce fluide est vraisemblablement d'origine métamorphique, car les traînées renferment les inclusions fluides gazeuses (IF2 : Figure 5.5) et que C_2H_6 est un constituant trace. En effet, la présence de C_2H_6 , même en très faibles quantités, renforce cette origine, étant un traceur ultime dans la composition complexe en gaz des fluides de type orogénique selon Gaboury (2013) et Tomkins (2013). Effectivement, la formation de C_2H_6 nécessite une transformation thermogénique de la matière organique en profondeur. La genèse de cette molécule est donc lié à la matière organique contenue dans les sédiments

marins de type shales noirs (Pitcairn, 2006; Gaboury, 2013; Tomkins 2013; Gregory et al., 2015; Steadman et al., 2015). Spatialement, les échantillons ayant du C_2H_6 sont présents partout au sein de l'intrusion (Figures 5.1, 5.7 et Tableau 5.1), renforçant le concept de la superposition tardive de fluides métamorphiques.

Si l'apport de fluide métamorphique tardif explique les signatures complexes en gaz des inclusions fluides, le lien direct avec l'or n'est pas démontré. En effet, ce ne sont pas tous les échantillons renfermant du C_2H_6 qui sont minéralisés, alors que d'autres, composés uniquement de fluide aqua-carbonique sont aurifères (Figure 5.7). La superposition d'événements hydrothermaux pourrait expliquer cette dichotomie. Ainsi, un premier événement, essentiellement à fluides aqua-carboniques pourrait avoir amené de la minéralisation aurifère. Un deuxième, métamorphique, a superposé les veines et oblitéré, dans la plupart des cas, les inclusions précoces ou primaires. Si l'on considère les échantillons minéralisés, la présence de pyrite est absolument nécessaire à l'enrichissement aurifère des échantillons étudiés et cela concorde avec l'évolution hydrothermale des grains de pyrite discutée au Chapitre 4. L'apport direct de minéralisation aurifère par les fluides métamorphiques reste donc encore à démontrer, mais la présence de grains d'or libre en périphérie des grains de pyrite dans les portions fortement altérées par la carbonatation (altération tardive dans la paragenèse) appuie l'hypothèse de la remobilisation efficace de la minéralisation par ces mêmes fluides.

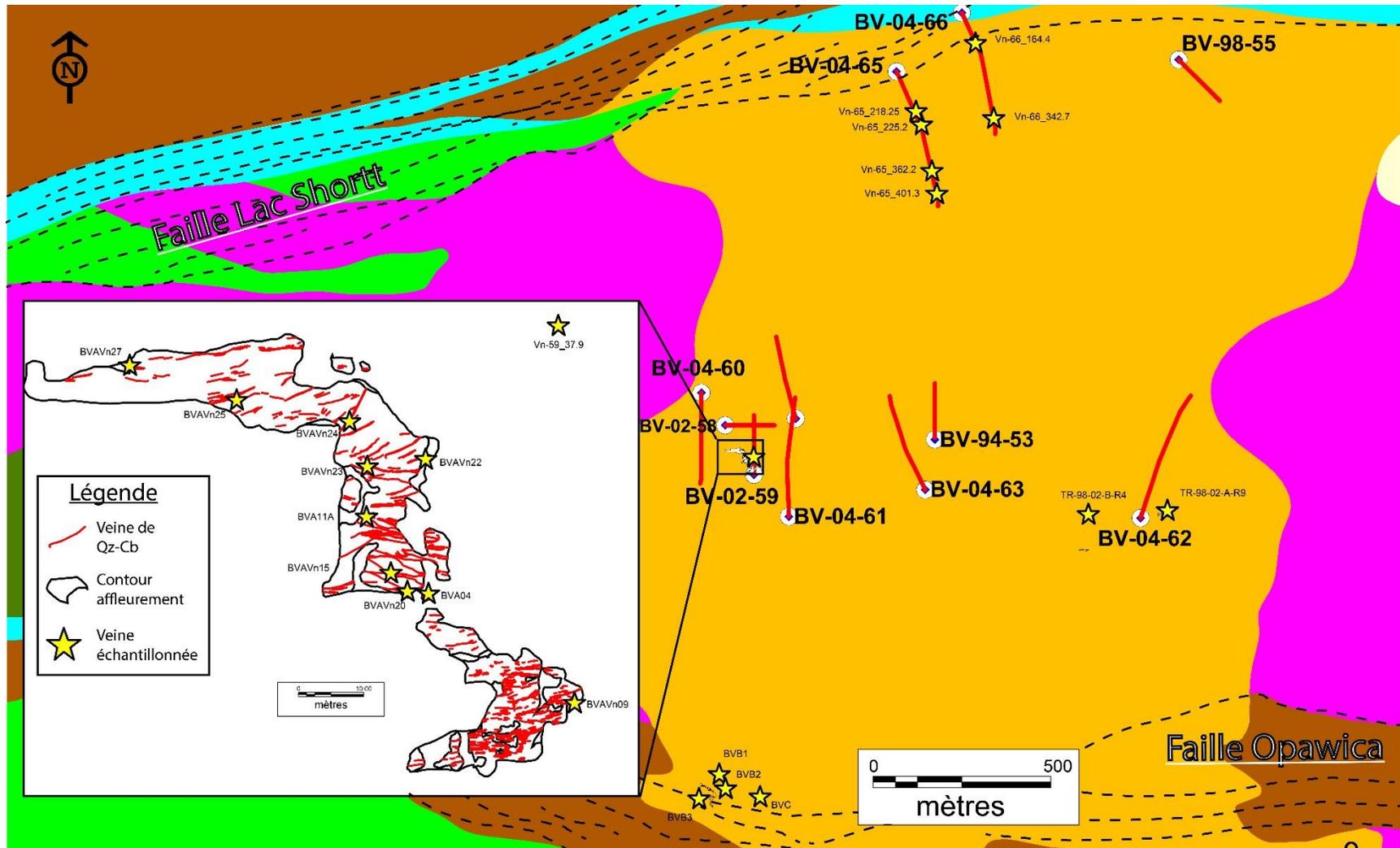


FIGURE 5.1 LOCALISATION DES FORAGES ET DES ÉCHANTILLONS DE VEINES DE QUARTZ À L'ÉCHELLE DE LA PROPRIÉTÉ.

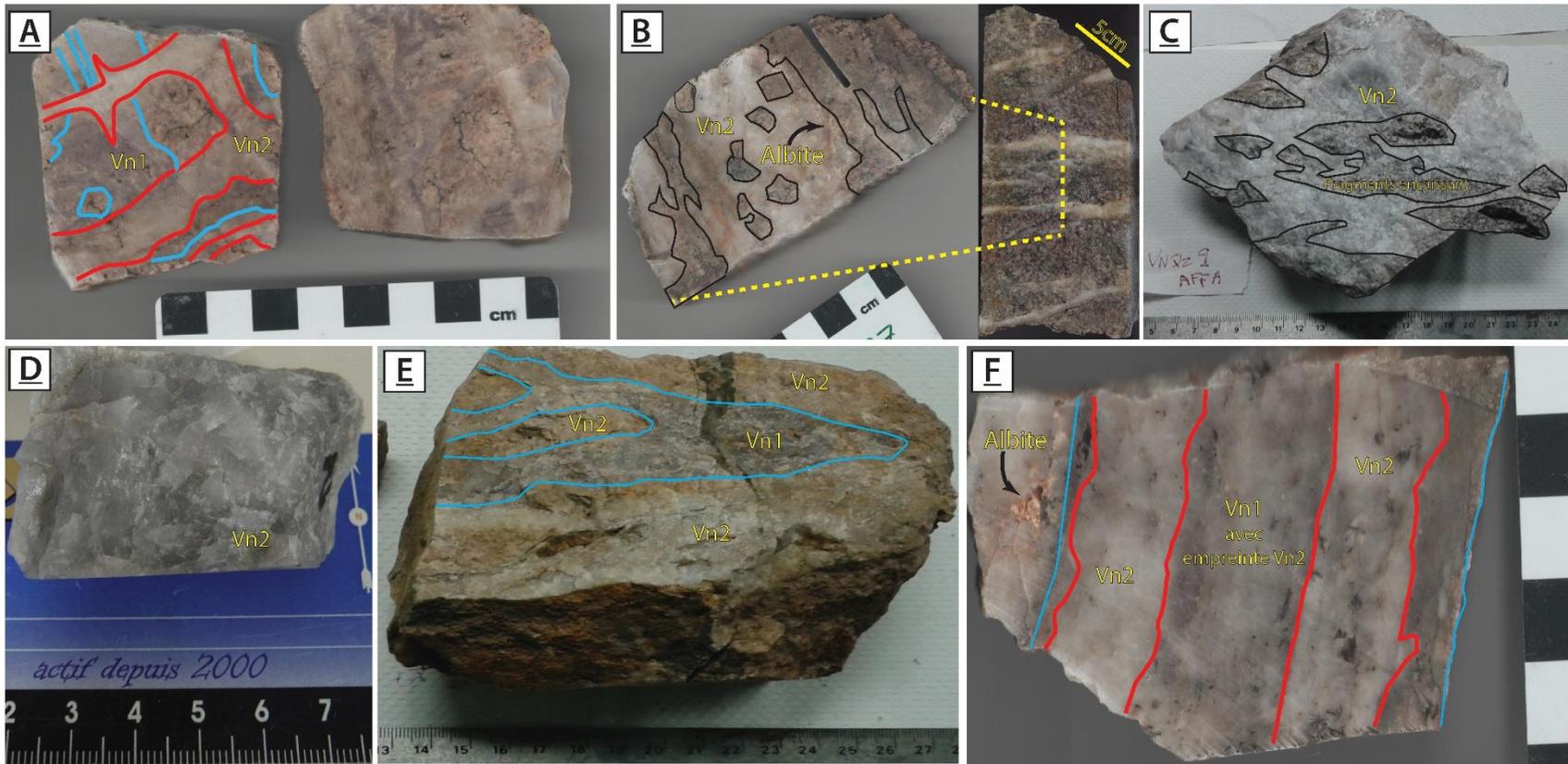


FIGURE 5.2 ASPECT DE DIFFÉRENTS BLOCS DE VEINES DE QUARTZ ÉCHANTILLONNÉS (A) BVAVN15 (EN COUPE); (B) BVAVN27; (C) BVAVN9; (D) 65_227; (E) BVAVN15 (EN PLAN) ET (F) BVAVN22. NOTEZ LA PRÉSENCE DE PLUSIEURS GÉNÉRATIONS DE VEINES ET D'ALBITE AU SEIN DES VEINES PRINCIPALES.

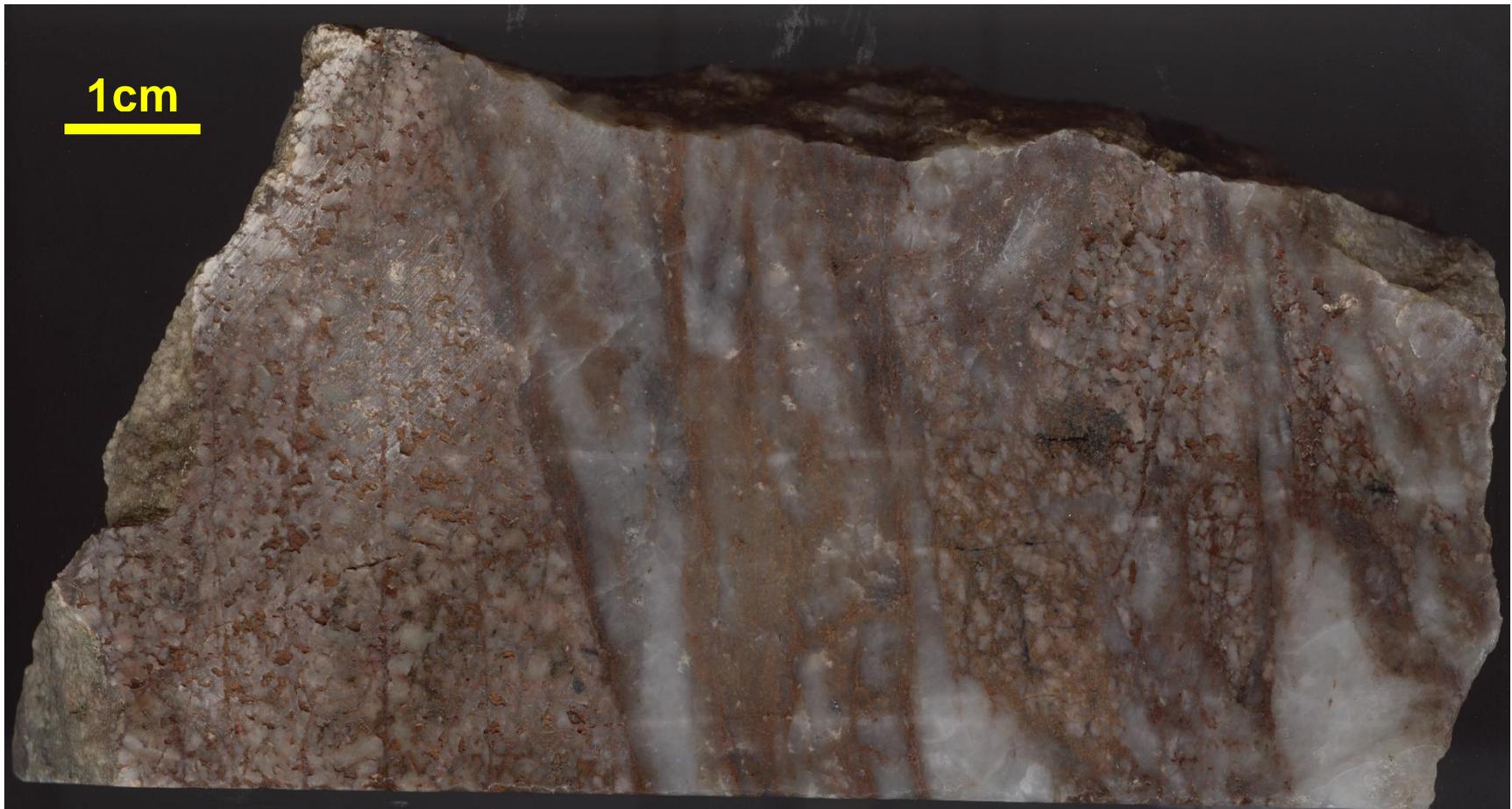


FIGURE 5.3 VEINE DE QUARTZ-CARBONATES (ÉCHANTILLON BVC - SECTEUR SUD DU PLUTON) AVEC ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES CARACTÉRISTIQUES DE LA MINÉRALISATION AU SEIN DU PLUTON, MAIS QUI NE PORTE PAS DE VALEUR AURIFÈRE.

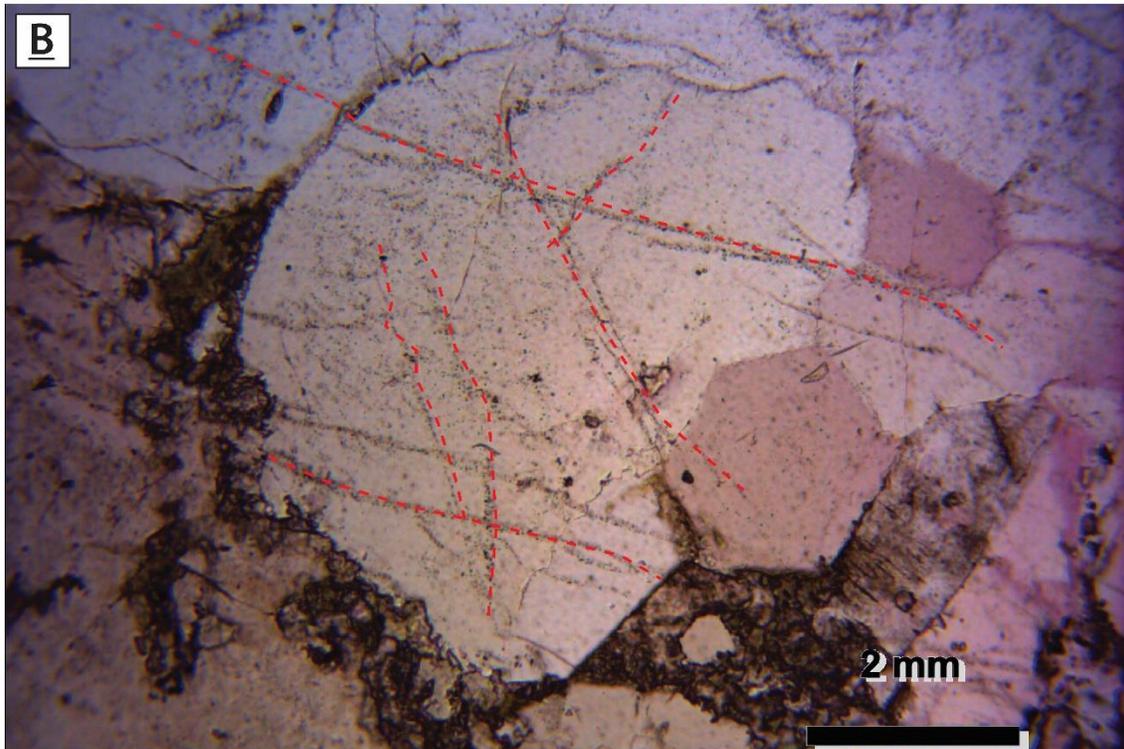
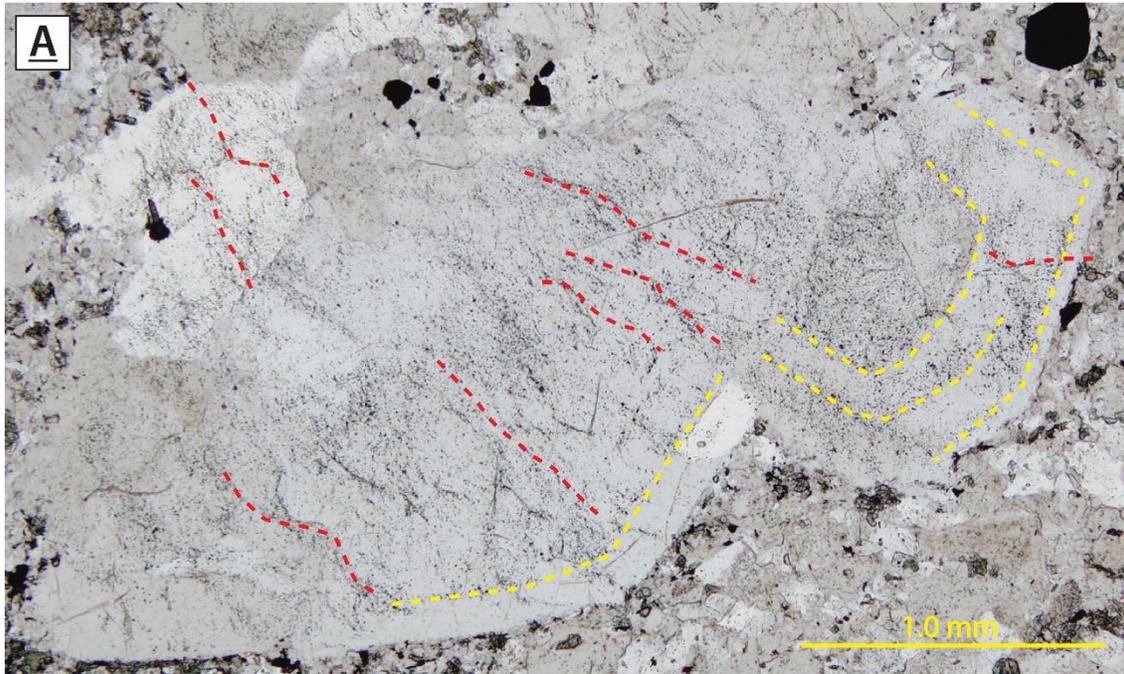


FIGURE 5.4 TYPOLOGIE DES INCLUSIONS FLUIDES SELON ROEDDER (1979) : (A) PRIMAIRES EN JAUNE ET PSEUDOSECONDAIRES/SECONDAIRES EN ROUGE (ÉCHANTILLON 59_55.9). (B) INCLUSIONS SECONDAIRES (SÉCANTES À PLUSIEURS GRAINS) ET PSEUDOSECONDAIRES (DANS UN SEUL GRAIN) EN ROUGE (ÉCHANTILLON BVA20).

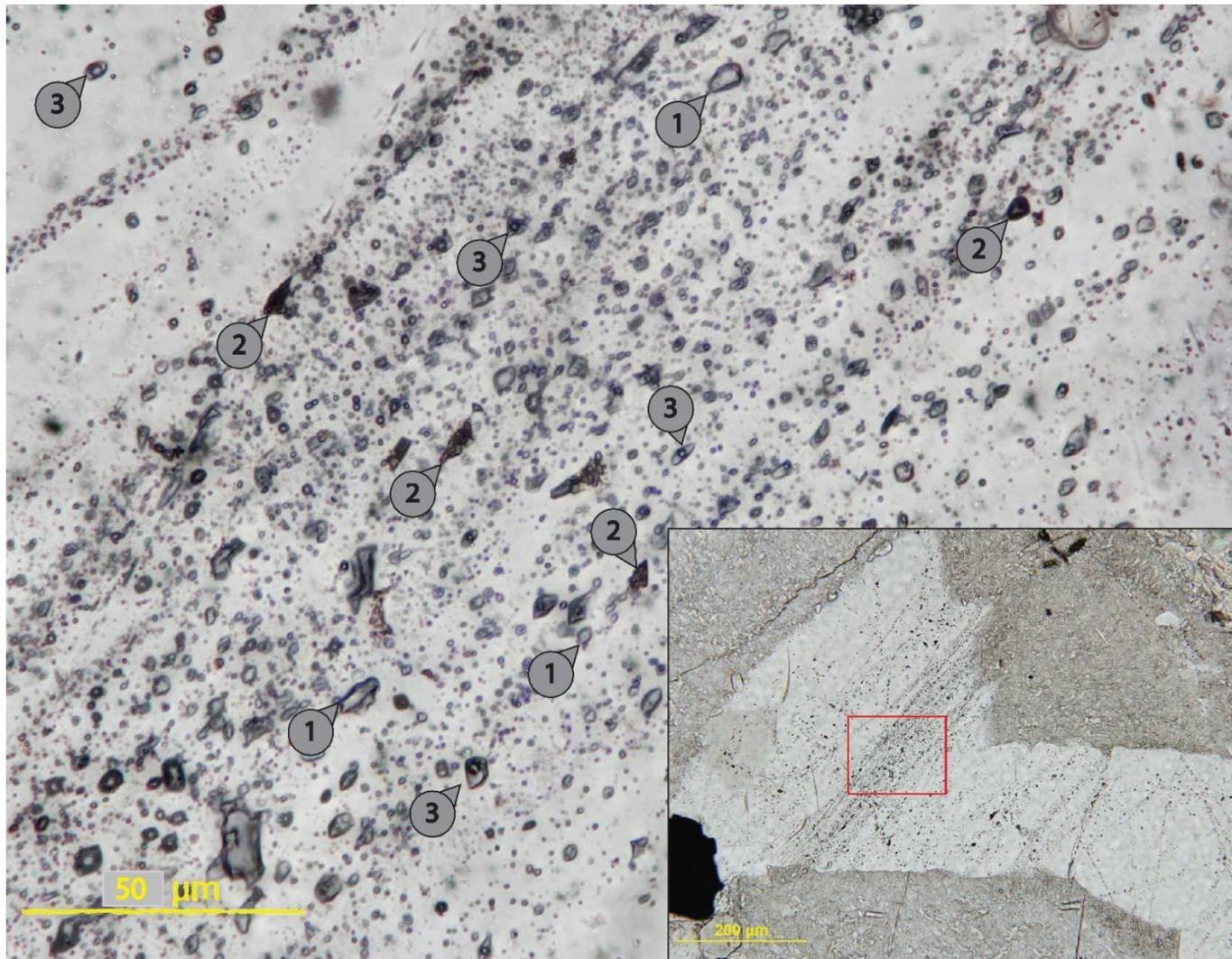


FIGURE 5.5 EXEMPLE COMMUN DES TYPES D'INCLUSIONS FLUIDES RENCONTRÉES DANS LES GRAINS DE QUARTZ AU SEIN DU STOCK DE BOYVINET : IF1 (DOMINANCE LIQUIDE); IF2 (DOMINANCE GAZEUSE) ET IF3 (LIQUIDE+GAZ). ÉCHANTILLON 59_171.

Composition en volatiles de l'échantillon BVA-11A-2

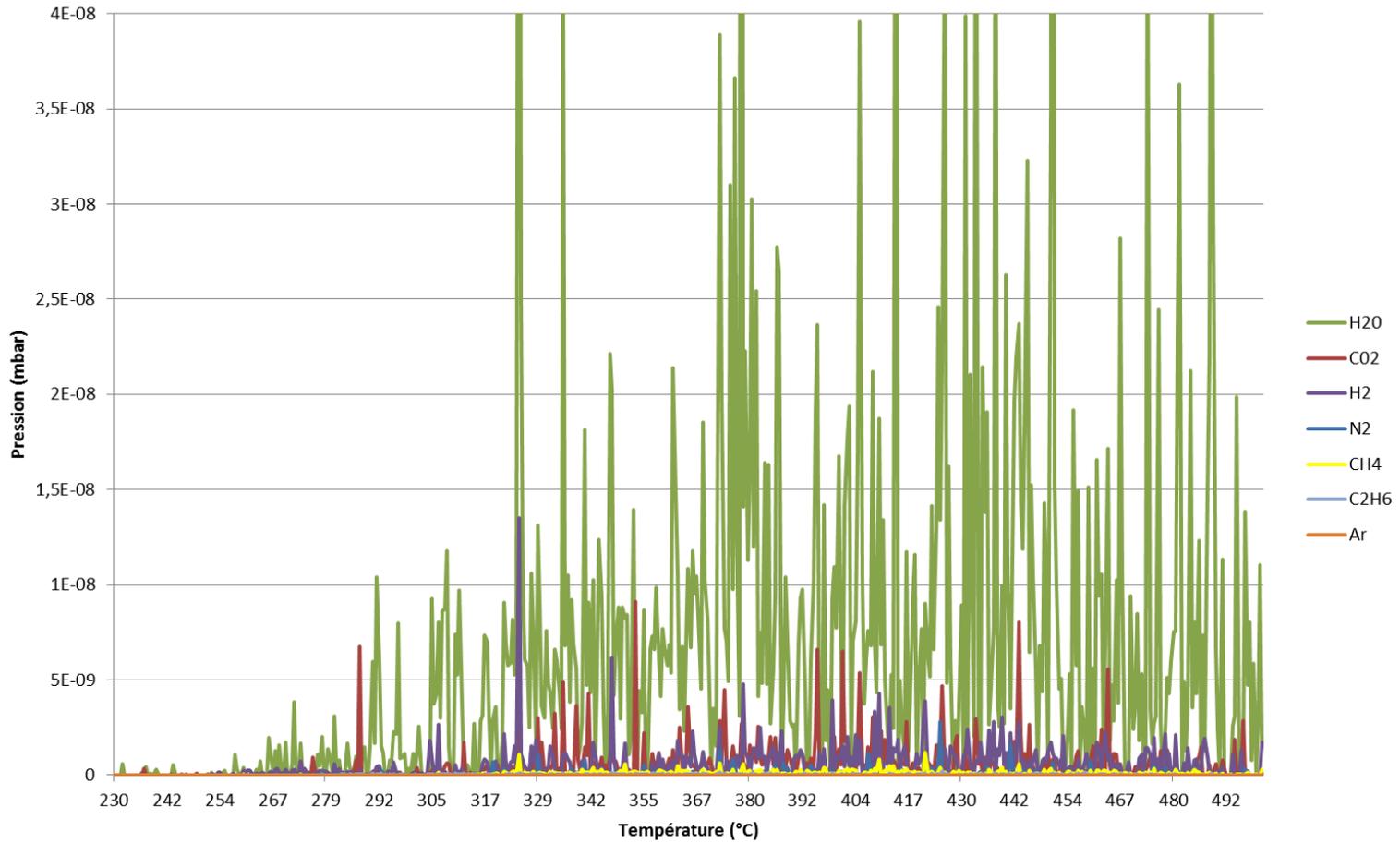


FIGURE 5.6 GRAPHIQUE DES DONNÉES D'ANALYSE PAR SPECTROMÉTRIE DE MASSES À SONDE SOLIDE (PRESSION (MBAR) EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE) AVEC LA RÉDUCTION DU BRUIT DE FOND. UNE INCRÉMENTATION DE 6 DEGRÉS PAR MINUTE EST UTILISÉE (SELON GABOURY ET AL., 2008). CHAQUE PIC OBSERVÉ ÉQUIVAUT À LA DÉCRÉPITATION D'INCLUSIONS FLUIDES, ET LA SOMMATION DE TOUS CES PICS CORRESPOND À LA PRESSION PARTIELLE DES GAZ DANS L'ANALYSE.

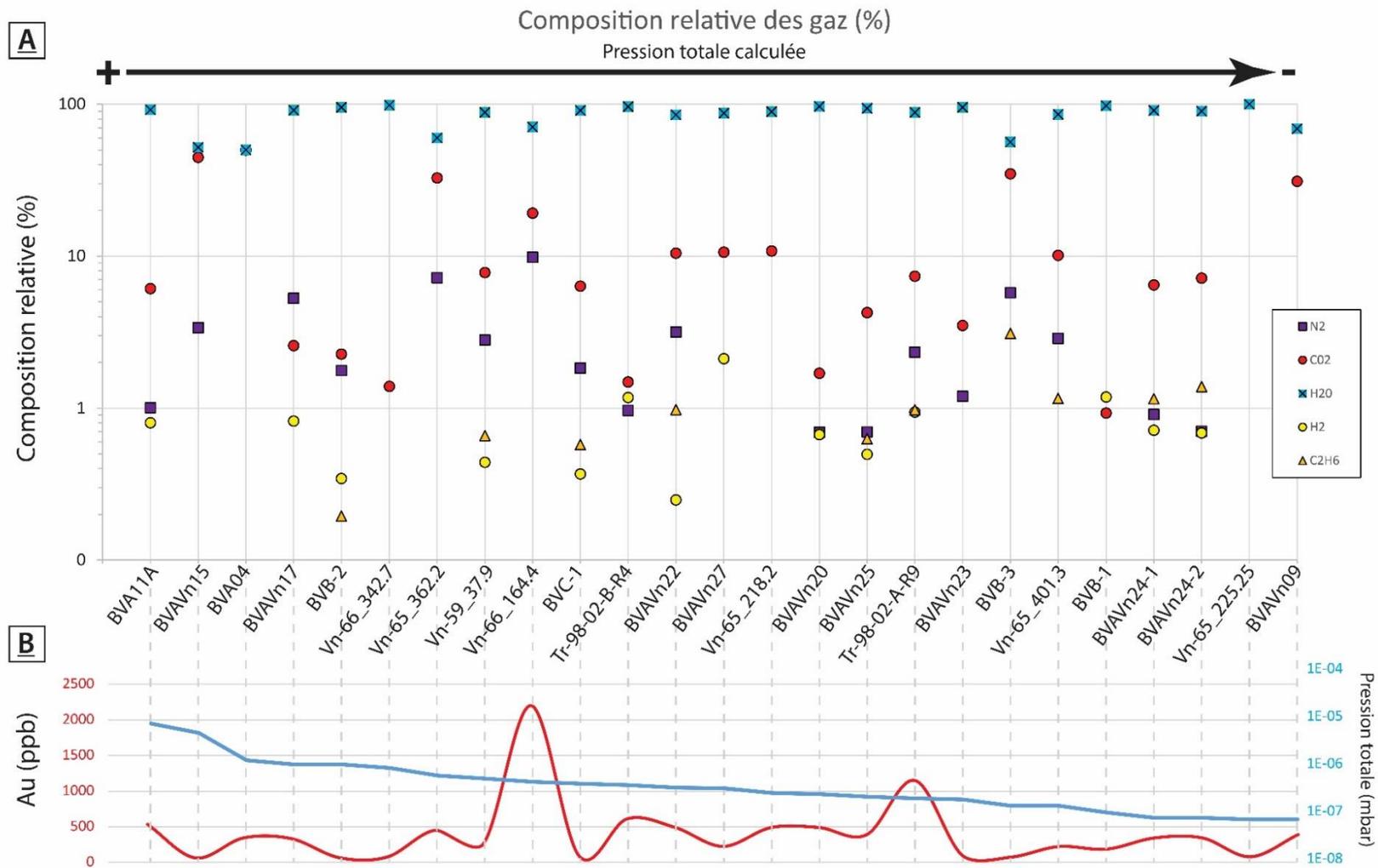


FIGURE 5.7 (A) GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION EN GAZ DES 24 ÉCHANTILLONS PLACÉS EN ORDRE DÉCROISSANT DE PRESSION TOTALE (MBAR) DES GAZ CALCULÉE. (B) TENEURS AURIFÈRES (AU PPB) RELIÉES À CHAQUE ÉCHANTILLON, AVEC LA PRESSION TOTALE (MBAR).

TABLEAU 5.1 LISTE DES ÉCHANTILLONS, LEUR COMPOSITION EN GAZ (%), PRESSION TOTALE CALCULÉE (MBar) ET LEUR TENEUR AURIFÈRE (AU PPB). LES ÉCHANTILLONS EN JAUNES ÉTAIENT CEUX CONSIDÉRÉS COMME MINÉRALISÉS À PARTIR DES TRAVAUX DE TERRAIN ET DESCRIPTION DE CAROTTES DE FORAGE.

Échantillon	Au (ppb)	N2%	CO2%	H2O%	H2%	C2H6%	Ptotale(mbar)
ED-11A-1	476	1,008	6,118	92,07	0,802	0	6,6929E-06
ED-07A-1	5	3,381	44,706	51,91	0	0	4,3061E-06
ED-04-1	285	0	49,856	50,14	0	0	1,1802E-06
ED-17A-2	275	5,290	2,581	91,31	0,822	0	9,7065E-07
ED-B2-2	8	1,768	2,270	95,42	0,344	0,195	9,6994E-07
ED-VN-66-342.7-2	18	0	1,389	98,61	0	0	8,1862E-07
ED-VN-65-362.2-2	393	7,222	32,688	60,09	0	0	5,7081E-07
ED-59-37.9-1	199	2,812	7,801	88,29	0,441	0,659	4,9628E-07
ED-66-164.4-1	2142	9,850	19,231	70,92	0	0	4,2281E-07
ED-BVC-1	33	1,833	6,344	90,88	0,369	0,576	3,8842E-07
ED-VN-TR98B-2	552	0,967	1,485	96,37	1,176	0	3,628E-07
ED-A22-2	433	3,169	10,467	85,14	0,249	0,978	3,2241E-07
ED-27A-2	167	0	10,616	87,27	2,115	0	3,1139E-07
ED-VN-65-218.2-1	430	0	10,823	89,18	0	0	2,4995E-07
ED-20A-2	432	0,696	1,694	96,94	0,669	0	2,3731E-07
ED-A25-2	332	0,697	4,250	93,93	0,497	0,630	2,1033E-07
ED-TR-98A-1	1092	2,335	7,375	88,37	0,944	0,973	1,9547E-07
ED-A23-2	37	1,198	3,501	95,30	0	0	1,8443E-07
ED-B3-1	15	5,748	34,882	56,27	0	3,097	1,3718E-07
ED-65-401.3-2	164	2,885	10,109	85,85	0	1,156	1,368E-07
ED-B1-1	128	0	0,928	97,89	1,184	0	1,0016E-07
ED-A24-1A	285	0,907	6,471	90,76	0,716	1,151	7,7439E-08
ED-A24-1B	285	0,706	7,162	90,06	0,686	1,388	7,7372E-08
ED-65-225.2-1	21	0	0	100,0	0	0	7,1966E-08
ED-A9-1	333	0	31,097	68,90	0	0	7,1966E-08
Moyenne	342	2,09880496	12,5536799	84,4748849	0,44054868	0,43208	7,8255E-07
Moyenne minéralisé	490	2,39	14,19	82,51	0,591	0,320	1,0908E-06
Moyenne non-min.	119	1,66	10,10	87,43	0,215	0,600	3,2019E-07

Chapitre 6

Synthèse et Conclusions

Dans ce Chapitre de synthèse, un retour sur le test des caractéristiques discriminantes est présenté afin d'introduire les résultats finaux des travaux de terrain et laboratoire. Selon la structure du mémoire, chaque caractéristique était définie par un test dans un des Chapitres : Chapitre 2- Composition minéralogique et géochimique de l'intrusion; Chapitre 3- Altérations hydrothermales; Chapitre 4- Cortège métallifère associé à la minéralisation et Chapitre 5- Composition-Salinité des fluides minéralisateurs. De cette synthèse, un modèle métallogénique est proposé pour la mise en place et le contrôle de la minéralisation au sein du Stock de Boyvinet. Les processus minéralisateurs seront décrits en fonction des observations et des résultats du test des caractéristiques discriminantes pour finalement établir un guide d'exploration. Un retour sur les mesures de susceptibilité magnétique, corrélés avec le levé magnétique aéroporté permettra de délimiter des zones (cibles) potentielles pour l'exploration sur la propriété. Finalement, une courte discussion sur l'implication pratique et économique d'une telle méthode sera développée pour évaluer le potentiel au sein de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi.

6.1 Lithologies

À partir des objectifs définis dans le premier Chapitre, cette étude devait entre autres servir à déterminer la minéralogie de l'intrusion et à définir son affinité géochimique. Les observations effectuées en lames minces (n=88) et par les analyses lithogéochimiques (n=33 pour le Stock de Boyvinet) devaient permettre d'atteindre ces objectifs. La Figure 6.1 résume la compilation de la minéralogie de ce stock réalisée en lames minces.

L'étude pétrographique a permis d'établir que l'on retrouve principalement des feldspaths (albite, $\pm 40\%$) et des amphiboles (hornblende; $\pm 10\%$) sous forme de phénocristaux avec en phases interstitielles des plagioclases, feldspaths potassiques avec des exolutions d'albite (perthitiques), du quartz, des carbonates ($\pm 10\%$) des minéraux opaques ainsi que de la titanite ($\pm 5\%$). Des phases comme l'épidote, la chlorite, la pyrite, l'ilménite, l'hématite et la magnétite ($\pm 1-5\%$) sont considérées comme accessoires (Figure 2.2). Côté-Lavoie (2013) avait proposé la migration des pôles minéralogiques (Figure 6.1D) pour expliquer l'apparente composition alcaline, causée par l'altération hydrothermale en albite des plagioclases et des feldspaths. Cette conclusion s'applique également à l'ensemble de ce stock, comme illustrée sur la Figure 6.1. Dans le cas des échantillons de l'affleurement principal, l'échantillon le moins altéré est représenté par un point rouge (BVA-01, Figure 6.1A). Les échantillons de lithologies considérées comme « fraîches » (Figure 6.1C) indiquent une composition non-altérée plutôt typique de monzodiorite ou de granodiorite, ce qui implique qu'il s'agit de la composition initiale de l'intrusion. Les échantillons contenant de la

minéralisation (Figure 6.1B) se répartissent de façon aléatoire dans le diagramme de Streckeisen (1976). Cette variation minéralogique est associée à l'altération en albite et la silicification pervasive observée dans certaines lames minces et en affleurement. Ces altérations hydrothermales ont pour effet de disperser les compositions minéralogiques dans le diagramme (Figure 6.1D).

Il semble qu'il y ait une différence importante entre deux portions de l'intrusion. Une séparation NE et SO est manifestée par une variation dans les textures ignées (Figure 2.4). L'assemblage minéral reste toutefois le même. La différence réside dans la présence de phénocristaux d'hornblende à l'ouest et de microcristaux en matrice à l'est. Cette limite paraît matérialisée par une faille d'orientation NNE interprétée par géophysique (Brisson, 1998; Martel et Folco, 2004). Cette variation pourrait indiquer un mouvement à dominance verticale, où une partie de la base de l'intrusion et de la portion supérieure sont ramenées à la même élévation.

Concernant l'affinité géochimique de ce stock, les diagrammes utilisés (Figures 2.11 et 2.12) indiquent une affinité géochimique calco-alcaline et un contexte tectonique de mise en place de granitoïde d'arc volcanique (Figure 2.13; Pearce, 1984). Ces conditions et les compositions en éléments-traces sont les mêmes pour le corps dioritique avoisinant (Poitras, 1993), les basaltes proximaux (Côté-Lavoie, 2013) et ce stock proprement dit, ce qui suggère un lien génétique entre l'intrusion et les roches environnantes. L'interprétation retenue est que ces corps intrusifs soient d'origine syn-tectonique.

Un exercice de comparaison entre le pluton d'O'Brien (Fayol, Ph.D en cours), la syénite du Lac Shortt (Prud'homme, 1990) et celle de Beattie (Bigot et Jébrak, 2015) a été réalisé afin de valider que l'intrusion n'est pas une syénite. Les spectres d'éléments-traces sont différents et plus enrichies pour les syénites alors que la composition du pluton d'O'Brien est très similaire et mais légèrement appauvri par rapport à la signature du Stock de Boyvinet. Des contextes tardi-tectoniques de granitoïdes intraplaques s'appliquent aux syénites alors que le granitoïde d'O'Brien tombe dans le champ des granitoïdes d'arcs volcaniques. Les compositions en éléments-traces, les affinités géochimiques et le contexte tectonique du Stock de Boyvinet sont similaires au pluton d'O'Brien, confirmant que l'intrusion n'est pas une syénite, mais bien une intrusion syn-tectonique.

6.2 Altérations hydrothermales

Les relations spatiales entre la minéralisation et les altérations hydrothermales sont définies sur la Figure 6.2. La paragenèse complète associée à la minéralisation décrite sur le terrain et en forage est albite-hématite-chlorite-carbonates-silice-pyrite-magnétite. À partir des observations en lames minces, la séricite et la chalcopryrite sont aussi associées à la minéralisation. La Figure 6.2 fait état des relations spatiales entre la minéralisation et l'intensité de chaque altération hydrothermale. À proximité des zones minéralisées, l'hématite, la pyrite, les carbonates et une silicification illustrent la signature du système minéralisateur (Côté-Lavoie, 2013). La magnétite se retrouve aux pourtours des zones minéralisées, tout comme la chlorite et la séricite.

Suite à la synthèse des observations en forages avec les teneurs aurifères (Figure 3.4), il apparaît clair que 2 pôles de paragénèses distinctes contrôlent la présence de minéralisation aurifère : i) albite-hématite-pyrite, et ii) carbonates-silice-chlorite-pyrite (séricite mineure). Dans la majorité des cas, les 2 pôles se chevauchent, notamment le pôle (ii) qui se superpose au pôle (i). De plus, les zones à carbonates-silice-chlorite sont généralement incluses au cœur des zones fortement altérées en albite-hématite. Aux épontes des zones carbonatées, plusieurs intervalles de filonets de chlorite ou des veines millimétriques de chlorite-pyrite ainsi que des veines de quartz-carbonates pyriteuses décimétriques recourent les altérations en albite-hématite.

L'altération en albite-hématite se retrouve partout au sein de l'intrusion avec une intensité variable. Celle-ci augmente significativement aux épontes des veines de quartz et quartz-carbonates d'orientation E-O. Cette enveloppe à faible intensité est très répandue, même dans les roches plus « fraîches » utilisées pour les bilans de masses. Ces enveloppes constituent un très grand volume de roche (variant de zones plurimétriques à plusieurs dizaines de mètres de largeur) altérée au sein du Stock de Boyvinet.

Pour quantifier les altérations hydrothermales, des diagrammes binaires d'éléments immobiles ont été construits pour déterminer si les variations géochimiques coïncidaient avec les observations de terrain et la minéralogie décrite en lames minces. En effet, les diagrammes binaires d'éléments immobiles (Figures 3.5 et 3.6) indiquaient clairement des gains de masses en association avec les valeurs aurifères. Par contre, dans le diagramme Boxplot (modifié de

Large, 2009), des variations entre les pôles albite et séricite-pyrite-chlorite caractérisent les échantillons aurifères. Pour préciser les altérations hydrothermales, un calcul par précurseur unique a été réalisé.

Des gains en SiO_2 (<30%), Na_2O (<33%), K_2O (<200%) et CaO (<25%) ainsi que des pertes en FeO (<8%) et MgO (5%) sont typiques des zones minéralisées. Ces résultats sont cohérents avec la minéralogie des altérations hydrothermales reconnues sur le terrain, en forages et lames minces, expliquant ainsi la création d'une minéralogie alcaline « apparente » (Na et K). Les épontes des zones minéralisées comportent des gains en FeO causés par l'hématite par rapport aux roches « fraîches » peu hématisées utilisées pour le calcul de bilan de masses.

Les caractéristiques géochimiques de cette suite d'altération, surtout celle à albite-hématite sont typiques d'un phénomène de métasomatisme alcalin répertorié comme de la fénitisation (Brögger, 1921; Kresten, 1988). Dans la littérature, ce phénomène est plus particulièrement lié aux complexes carbonatitiques et alcalins. Ce phénomène a d'ailleurs été décrit à la mine du Lac Shortt (Prud'homme, 1990; Nadeau et al., 2014) et a déjà été proposé comme possible métallotecte aurifère régional par Brisson (1998). La fénitisation se produit en quatre étapes, selon Brögger (1921) : 1) transformation de la biotite en amphiboles alcaline et feldspaths alcalins; 2) désilicification de la roche hôte; 3) destruction du feldspath potassique et formation de micro-perthites et d'albite maclée, et 4) remplacement de l'oligoclase pré-existant par l'albite. Après le stade 4, la désilicification est complète dans la roche hôte. Les températures maximales

du système magmatique-hydrothermal lors de la fénitisation sont évaluées à $\pm 700^{\circ}\text{C}$ (Kresten, 1988).

Au sein du Stock de Boyvinet, des amphiboles sont présentes, certes, mais ne semble pas résulter de la transformation de la biotite. Cependant, un très minime pourcentage de quartz « magmatique » a été observé et la présence de micro-perthites subophitiques et l'albitisation (en damiers) des plagioclases est discriminante (Figures 2.5 et 3.1C respectivement). Il est donc possible que la fénitisation ne soit pas aussi intense qu'aux épontes d'une intrusion carbonatitique ou alcaline. Il pourrait s'agir ici d'une variante de plus faible intensité et distale au système. Les évidences de source magmatique-hydrothermale seront précisées dans la synthèse sur les sulfures et les oxydes de fer.

6.3 Structures et déformations

L'étude structurale sur les affleurements faisait partie des éléments clés de la cartographie de détail. Deux familles de failles furent répertoriées : 1) une famille d'orientation N-S variant entre 345° et 030°N à fort pendage, et 2) et une famille généralement E-O variant entre 255° et 290°N , avec un pendage vers le nord entre 45° et 70° . Les mouvements observés sur ces deux familles de failles sont dextres pour les structures N-S et senestres pour les E-O.

En plus des 2 familles de failles, des faciès de brèches tardives non-minéralisées recoupent les structures majeures. Ces brèches sont observées en affleurements et en forages (Figure 2.9).

Au niveau structural, la question à répondre se résume à quelle est la chronologie des événements de déformation par rapport à l'introduction de l'or ?

Les déductions provenant des observations de terrain sont à l'effet qu'il y a formation de fractures orientées E-O, qui sont l'hôte des veines de quartz précoces, et que certaines fractures N-S rejoignent et permettent la circulation des fluides tardifs. Des mouvements tardifs le long des structures N-S ont aussi localement causé le démembrement des zones minéralisées.

La densité de fracturation est très forte dans les zones fortement altérées en albite-hématite, alors que les zones plus faiblement altérées semblent mieux résister à la déformation fragile. Ces relations suggèrent que l'altération en albite-hématite et la minéralisation aurifères sont précoces au passage des fluides ayant favorisé la carbonatation. Enfin, après l'événement de formation des fractures E-O remplies de veines de quartz, les brèches tardives et stériles (faciès de brèche à chlorite-calcite) ont été formées, car elles sont recoupées par des fractures NNE-SSO associées aux fractures d'orientation N-S (Figure 2.17).

6.4 Minéralisation

L'étude de la minéralisation est basée sur les observations de terrain, les lames minces, et la géochimie des métaux traces dans les sulfures et oxydes. Le test de la caractéristique discriminante repose sur l'assemblage des métaux traces dans les pyrites. Quatre types de pyrites ont été individualisés et sont présentés à la Figure 6.3.

Le premier type correspond à des pyrites poreuses, irrégulières d'affinité magmatique (première génération). Ce type se compose d'un assemblage métallifère à Au-Ag-Cu-Bi-Te-Sb et comprend des inclusions de silicates, de sulfures et d'oxydes tels des feldspaths martitisés (albitisés et hématisés), de la magnétite et des micro-grains d'or.

Le deuxième type de pyrites, plus idiomorphe et pauvre en inclusions est composé d'un assemblage métallifère à Ni-Co-As-Se. Ces pyrites de seconde génération ont une origine métamorphique-hydrothermale et créent généralement des bordures autour des pyrites de type 1. Elles se composent d'inclusions de feldspath, mais principalement de carbonates et de silice. Elles englobent dans certains cas plus d'une pyrite de type 1 (Figure 4.1D). La minéralisation aurifère n'y est pas associée, mais il est possible de retrouver des grains d'or libre en périphérie de ces pyrites ou au sein de leurs fractures (Figure 6.3B)

Les pyrites de type 3 sont celles qui sont les plus idiomorphes, majoritairement cubiques sans inclusions mais fracturées. Elles sont soit reliées à la destruction mécanique des pyrites de type 2 (en traînées) ou en veinules en association avec les pyrites de type 4. Elles contiennent également un assemblage

de métaux métamorphiques (Ni-Co-As-Se) et ne contrôlent pas la présence de la minéralisation aurifère. Elles sont observées en périphérie de zones minéralisées, surtout en présence des filonets de chlorite.

Les pyrites de type 4, quant à elles, sont un hybride entre les pyrites poreuses et celles hypidiomorphes de type 3. Cependant, comme représenté sur la Figure 4.11, elles contiennent des anneaux arsenifères enrichis en Au (jusqu'à 2 ppm), et un assemblage similaire aux pyrites de type 1 (Au-Ag-Cu-Bi-Te-Sb) mais aussi des pourtours métamorphiques à Ni-Co-As-Se. Ce sont donc ces pyrites qui contrôlent la présence de minéralisation dans les veinules tardives avec les pyrites de type 3.

Ces résultats font ressortir deux pôles de composition des pyrites, matérialisant deux stades de minéralisation interprétés comme: 1) magmatique-hydrothermal et 2) métamorphique-hydrothermal. Il s'agit donc d'une superposition de phénomènes, où le phénomène primaire (fluides de source magmatique) serait le principal apport du bagage aurifère des pyrites. Le phénomène secondaire (fluides d'origine métamorphique) apparaît plutôt lié à une remobilisation de l'or, manifestée par la recristallisation de la pyrite et le remplacement du soufre par le sélénium lors de processus post-magmatiques (Queffurus et Barnes, 2015), causant ainsi l'expulsion de l'or sous forme libre (Cook et al., 2013). Cette interprétation est confirmée par l'observation de grains d'or libres en périphérie de pyrites métamorphiques de type 2 formant des excroissances autour des pyrites de type 1, ou de type 3 (Figure 4.8, 4.9, 4.12 et 6.3B).

Un autre paramètre important pour la compréhension de l'évolution du système hydrothermal réside dans la zonalité et dans la nature des inclusions au sein des pyrites de type 1 et 2. Dans les pyrites d'affinité magmatique (type 1), qui constituent généralement les cœurs poreux, on retrouve des inclusions de feldspaths altérés en albite et hématite (martitisation), accompagnées d'inclusions de sulfures (sphalérite, chalcopyrite) et d'oxydes, et localement de quartz (Figure 6.3A). Vers les bordures externes des pyrites de type 1 et dans celle de type 2, les inclusions de carbonates et de silice dominent l'assemblage d'inclusions. Ces changements clairs de la composition des minéraux hydrothermaux en inclusions manifestent l'évolution du système hydrothermal et ce en lien avec les deux assemblages d'altérations : i) albite-hématite-pyrite et ii) carbonates-silice-chlorite-pyrite (séricite mineure) (Figure 6.3B). L'orientation préférentielle concentrique des inclusions au sein des pyrites de type 1 représente les reliquats des bordures des grains de pyrites antérieurs (Figure 4.2A, B et 6.3A). Cette suite d'anneaux riches en oxydes en alternance avec la pyrite illustre une variation régulière dans les conditions de fugacité d'oxygène et de soufre. Ces alternances sont donc une empreinte des multiples pulsations d'origine magmatique-hydrothermale qui ont formé les pyrites primaires. Le fait que les inclusions de feldspaths soient déjà altérées signifie également que le pôle d'altération hydrothermale à albite-hématite est soit précoce ou contemporain à la cristallisation des pyrites aurifères d'origine magmatique-hydrothermale, confirmant ainsi l'origine magmatique de l'altération hydrothermale en albite-hématite.

Cette évolution hydrothermale séquentielle indique que plusieurs processus se sont superposés pour former ce type de minéralisation. Il s'agit d'un processus magmatique-hydrothermal alcalin oxydant (féritisation) superposé par un phénomène d'origine métamorphique carbonaté (orogénique?), dont la source est confirmée par l'étude de la composition des fluides tardifs. Cependant, une transition des conditions redox, à savoir d'oxydant vers réducteur, doit être considéré dans l'histoire hydrothermale pour expliquer l'évolution des altérations et la présence précoce d'hématite vers une alternance pyrite-magnétite plus tardive.

Pour les oxydes, malgré un traitement par assemblage minéralogique, les données au LA-ICP-MS n'ont pas générées de résultats concluants. Certains diagrammes (Figure 4.21) indiquent qu'une proportion des oxydes est d'origine magmatique alors que d'autres sont d'origine hydrothermale. Ces résultats mitigés sont néanmoins cohérents avec les pyrites, traduisant deux composantes : magmatique et hydrothermale. Il faut souligner selon la figure (Figure 4.21E) que certains grains d'oxydes de fer auraient été formés sous des températures variant entre 300-500°C. Cette plage est similaires aux températures (190-310°C, 510°C max.) déterminées au gisement du Lac Shortt dans les zones aurifères métasomatisées et de la carbonatite (See, 1994; Nadeau et al., 2015). Le rapport Ni / Co (Figure 4.22) a été utilisé pour tester le lien entre oxydes de fer et sulfures. Deux tendances évolutives sont clairement manifestées par les oxydes de fer, mais une partie des oxydes de fer partage les mêmes rapports de Ni-Co que les pyrites, suggérant un lien génétique. Il apparait donc clair, basé sur les relations

avec les inclusions dans les pyrites et sur les rapports Ni/Co, qu'une partie des oxydes de fer est intimement liée au système hydrothermale. Toutefois, la distinction entre fluide magmatique et métamorphique demeure à préciser.

6.5 Fluides minéralisateurs

L'étude des fluides minéralisateurs, selon les caractéristiques discriminantes du Tableau 1.2, visait à définir la composition en gaz et la salinité dans les inclusions fluides. L'étude macroscopique des veines a permis de déterminer qu'il y a deux générations de veines : 1) précoce à quartz uniquement, et 2) tardive à quartz-carbonates. L'étude pétrographique des inclusions fluides en lames minces a permis de déterminer la nature des inclusions fluides et leur aspect physique. Trois types d'inclusions ont été répertoriées : 1) monophasée liquide (IF1); 2) monophasée gazeuse (IF2), et 3) biphasée liquide+gaz (IF3). Les inclusions observées sont pseudo-secondaires ou secondaires, sous forme de traînées dans les fractures des grains de quartz (Roedder, 1979), ou très rarement primaires dans les bordures de croissance des grains de quartz. La quantité d'inclusions observées apparaît être directement proportionnelle à l'intensité des altérations hydrothermales en silice et carbonates. Pour la salinité, les grains de sels (halite ou sylvite) dans les inclusions fluides ont été recherchés comme témoin d'une composition hypersaline. Dans notre cas, aucun grain de sel n'a été observé. Il est donc interprété que la salinité des fluides est faible (typiques des systèmes orogéniques; Tableau 1.1 et références incluses).

Les analyses de 24 échantillons, dont 14 associés à des zones minéralisées et 10 à priori stériles, ont permis de définir un assemblage complexe de gaz. L'assemblage est principalement composé de H₂O et CO₂, avec en composantes mineures du H₂, N₂, C₂H₆ et CH₄. Les échantillons minéralisés, comme ceux stériles se composaient des mêmes assemblages de gaz, représentatifs des derniers fluides ayant percolés dans le système hydrothermal. En effet, tous les échantillons présentent des inclusions tardives, de type IF1, IF2 ou IF3, sans égard aux teneurs aurifères de l'échantillon, expliquant pourquoi ils partagent des compositions similaires. Un point important à souligner consiste en la présence d'éthane (C₂H₆) dans les échantillons. Selon les plus récents travaux concernant l'origine des minéralisations de type orogénique, l'éthane serait l'ultime traceur des fluides métamorphiques provenant de la déshydratation en profondeur de roches sédimentaires, notamment des shales pyriteux riches en matière organique (*black shales*; Phillips et Powell, 2009; 2015; Gaboury, 2013; Tomkins, 2013). Ce traceur implique un apport de fluides de type métamorphique-hydrothermal tardif associés à la minéralisation (relation déduite de la présence des inclusions pseudo-secondaires). De plus, l'association avec les altérations en silice et carbonates de fer sont classiques des systèmes minéralisés de type orogénique (Eilu et al., 1999; Pirajno, 2009; Phillips et Powell, 2015; White et al., 2015). Enfin, les compositions de ces fluides sont également cohérentes avec les données géochimiques des pyrites de type métamorphique situées dans les veines de quartz-carbonates et zones fortement carbonatées.

Néanmoins, il faut souligner que des signatures à H₂O-CO₂ seulement sont aussi associées à des échantillons minéralisés. Il est donc possible d'interpréter qu'une signature primaire de fluides magmatique-hydrothermal (masquée par les fluides tardifs) contrôle également la présence de minéralisation. En conclusion, la signature des fluides est dominée par ceux tardifs, d'origine métamorphique, quoique l'héritage de fluides précoces magmatiques soit localement conservé.

6.6 Modèle(s) envisagé(s)

À la suite des travaux effectués et les tests de caractéristiques discriminantes, un modèle évolutif est proposé (Figure 6.4). Divisé en trois étapes simplifiées, ce modèle reprend et synthétise les conclusions finales de chaque Chapitre, soit la superposition de 2 systèmes minéralisateurs : le premier d'affiliation magmatique (*intrusion-related*) et le second de type orogénique.

La première étape correspond à l'ouverture des fractures E-O hôtes des veines de quartz précoces. Les mouvements inverses le long des failles environnantes, notamment celle du Lac Shortt (Prud'homme, 1990; Brisson, 1998), seraient responsables de la création de ces fractures à pendage moyen vers le nord (Figure 6.4A).

La seconde étape (Figure 6.4B) implique la percolation de fluides magmatiques-hydrothermaux alcalins et oxydants (*intrusion-related gold system, IRGS*), créant ainsi l'altération précoce en albite-hématite au sein des ouvertures créées (Figure 6.4A). Il a été démontré que cette altération est précoce ou contemporaine à la cristallisation des pyrites aurifères (Figure 4.3) qui possèdent un cortège métallifère typiquement magmatique (Figures 4.7, 4.8 et 6.3A).

Considérant que le Stock de Boyvinet est une intrusion syn-tectonique et altérée par des fluides alcalins, on peut interpréter que celui-ci fait partie d'un système d'envergure régionale. Cela est cohérent avec la présence de plusieurs corps alcalins dans l'architecture géologique régionale, dont une carbonatite (Lac Shortt; Prud'homme, 1990), des lamprophyres (Folco, 2002; Martel et Folco, 2004), une kimberlite (Lafrance, 2006), ainsi que des intrusions de type syénitique (Faure, 2011). Ces intrusions pourraient donc correspondre à des manifestations ponctuelles d'un système intrusif de plus grande envergure en profondeur, sous la forme d'un batholithe. La présence d'une perméabilité favorable à la remontée de fluides alcalins profonds est suggérée par l'architecture structurale de la région qui est définie par de nombreux couloirs de déformation comme la Faille Wedding-Lamarck, Opawica ou Lac Shortt (Faure, 2011). Cette hypothèse est démontrée par des évidences géologiques, minéralogiques et géochimiques au sein du Stock de Boyvinet. L'altération hydrothermale par les fluides alcalins d'origine magmatique-hydrothermale (la fénitisation) est considéré comme un phénomène lié aux processus minéralisateurs à la mine du Lac Shortt (Prud'homme, 1990; See, 1994; Brisson, 1998; Nadeau et al, 2014), et même possiblement à l'échelle régionale le long de la faille du Lac Shortt (Brisson, 1998). Les évidences de ces phénomènes sont clairement enregistrées dans la minéralogie et la minéralisation du Stock de Boyvinet, démontrant ainsi l'étendue de ce phénomène et son potentiel minéralisateur.

Le dernier stage (Figure 6.4C) est lié à la déformation fragile postérieure induite par des mouvements en décrochement senestre le long des failles à

proximité du corps intrusif (Brisson, 1998). La déformation fragile de l'intrusion crée les structures d'attitude N-S qui démembreront les structures E-O précoces. Hypothétiquement, de façon contemporaine, des fluides hydrothermaux d'origine métamorphique (Figure 6.4D) empruntent ces structures et s'épandent à l'intersection des zones rendues perméables par l'albitisation (Figure 3.1C). Ces fluides sont responsables du pôle d'altération en carbonates-silice-chlorite-pyrite et de la remobilisation de la minéralisation aurifère précoce d'origine magmatique-hydrothermale. L'origine métamorphique des fluides tardifs est appuyée par des évidences comme le cortège métallifère des pyrites idiomorphes (types 2, 3 et 4), des altérations hydrothermales typiques de systèmes orogéniques et par la présence d'éthane dans la composition des inclusions fluides rattachées aux veines de quartz-carbonates altérées en carbonates de fer. L'apport direct de minéralisation par ces fluides n'a pas été démontré, mais il n'est pas impossible qu'un apport secondaire de minéralisation orogénique existe au sein de l'intrusion.

6.7 Proposition de cibles

Le nouveau modèle évolutif et métallogénique proposé pour le Stock de Boyvinet implique un changement de stratégie pour l'exploration. À l'échelle de la propriété, le modèle proposé permet de justifier de nouveaux critères de ciblage pour l'exploration. Ainsi, l'altération hydrothermale plus développée à proximité des corps minéralisés se traduit par la destruction du magnétisme (plus élevé dans l'encaissant). La Figure 6.5 présente un levé aéromagnétique de précision effectué sur la propriété (Martel et Folco, 2004), avec les zones maintenant ciblées pour des travaux futurs d'exploration. Les zones cibles ont été déterminées à partir des

relations évidentes entre les zones minéralisées et leur plus faible susceptibilité magnétique. La baisse de la réponse magnétique permet de cibler des zones où le magnétisme semble se détériorer et d'interpréter des structures potentiellement minéralisées. Ces structures possèdent les mêmes orientations que les failles et systèmes de veines cartographiées sur les décapages. En accord avec les valeurs de susceptibilité magnétique à l'échelle des affleurements et forages présentés précédemment (Figures 3.10 à 3.14), il semble que ces démarcations illustrent la réponse géophysique à la présence d'un volume important d'altération hydrothermale localisée à l'intersection des structures d'orientation E-O et N-S. Pour appuyer ces hypothèses, la Figure 6.6 présente la vue en plan de l'affleurement principal superposé au champ magnétique du levé. La perte de la réponse magnétique se superpose au mètre près avec l'apparition de l'altération hydrothermale associée à la minéralisation sur l'affleurement (développée dans le Chapitre 3). De plus, les intersections minéralisées en forages (Figure 6.6) sont continues dans la portion de faible susceptibilité magnétique, alors qu'elles sont très irrégulières dans les hauts magnétiques.

Une solution à proposer, avant d'effectuer de nouveaux travaux, serait de filtrer les données du levé magnétique aéroporté pour y soustraire le bruit de fond et rehausser les basses valeurs associées à la minéralisation. Il a été démontré que les hautes valeurs magnétiques sont situées en fait en périphérie des zones minéralisées, ce pourquoi elles doivent être minimisées pour mieux définir les couloirs minéralisés. Certaines structures pourraient en effet ressortir dans la partie centrale de l'intrusion, et non seulement dans l'auréole magnétique. Peu de

forages ont ciblé la portion faiblement magnétique au centre de l'intrusion. Il est donc possible que la continuité des zones déjà connues en bordure d'intrusion soit cachée sous le signal du bruit de fond. Il serait également important de réévaluer les anciens levés de polarisation provoquée, ou d'en effectuer un nouveau sur la partie ONO de l'intrusion (secteur mis en évidence sur la Figure 6.5).

6.8 Implications de la méthode de classification à l'échelle de l'Abitibi

À partir des caractéristiques discriminantes définies dans les Tableaux 1.1 et 1.2, un modèle métallogénique impliquant l'origine, les contrôles structuraux et l'évolution de la mise en place de la minéralisation au sein du Stock de Boyvinet a été proposé. Il ne s'agit pas d'un modèle métallogénique contrôlé par un seul système minéralisateur, mais bien d'une superposition de plusieurs phénomènes.

Les minéralisations aurifères cryptiques au sein d'intrusions, surtout celles nommées comme « syénites », devraient notamment être ciblées. La réévaluation de leur nature est importante car des phénomènes d'altérations hydrothermales peuvent induire de mauvaises interprétations de terrain. Tout comme pour le Stock de Boyvinet, ces minéralisations à caractère cryptique passent souvent inaperçues, mais peuvent être sub-économiques ou même économiques dans certains cas. Si l'on se réfère aux caractéristiques dégagées dans ce mémoire, les plutons calco-alcalins (1) d'origine syn-tectonique (2) à proximité de failles régionales ou de couloirs de déformation importants (3) sont des hôtes favorables pour agir à titre de réceptacle pour les minéralisations aurifères (par exemple la Mine Sigma; Robert et Brown, 1986a). Ces intrusions exercent un contrôle rhéologique passif pour la mise en place de minéralisations aurifères, ou même

passif à titre de piège mécanique ou chimique (Robert, 2001). Enfin, la présence de plusieurs corps intrusifs tardifs, voire alcalins au niveau régional (4) peut suggérer un bon potentiel génétique pour les minéralisations « *intrusion-related* ».

Gaboury (2006) liste un certain nombre d'intrusions synvolcaniques, de petite ou de grande taille, qui peuvent être associées à des gisements de sulfures massifs. Cependant, sur la base des présents travaux, il est possible que des minéralisations aurifères à basse teneur s'y retrouvent également. Ces intrusions sont donc des cibles potentielles. Faure et al. (2009) ainsi que Faure (2011) ont interprété des secteurs à fort potentiel de minéralisations orogéniques, en fonction des paléopressions en Abitibi (Figure 6.8A), mais également en lien avec les plutons felsiques intermédiaires (synvolcaniques ou syn-tectoniques) et/ou syénitiques (Figure 6.8B). Le secteur du Lac Shortt, ainsi que plusieurs autres secteurs renferment une multitude d'intrusions et de couloirs de déformation qui sont considérés comme potentiels. En outre, le Stock de Boyvinet (Figure 6.8B) est indiqué comme une syénite. Il faut alors repenser à cette nomenclature et évidemment réévaluer le potentiel de ces plutons.

L'évaluation des signatures magnétiques des intrusions est la première étape. Des signatures en auréoles (*donut-like*), ou de type pic (*peak*) sont favorables à la découverte de minéralisations aurifères (Fayol, Ph.D. en cours). Il a été démontré que les signatures magnétiques de certaines intrusions tardives (p. ex. Beattie; Bigot et Jébrak, 2015; O'Brien : Fayol et Jébrak, soumis) sont discriminantes pour le potentiel aurifère. Une des contributions de cette étude réside dans la reconnaissance que l'or n'est pas uniquement associé aux

intrusions syénitiques. En effet, le Stock de Boyvinet est vraisemblablement calco-alcalin et syn-tectonique, mais minéralisé par des phénomènes hydrothermaux d'origine magmatique et métamorphique qui régissent le lien entre minéralisation aurifère et signature magnétique.

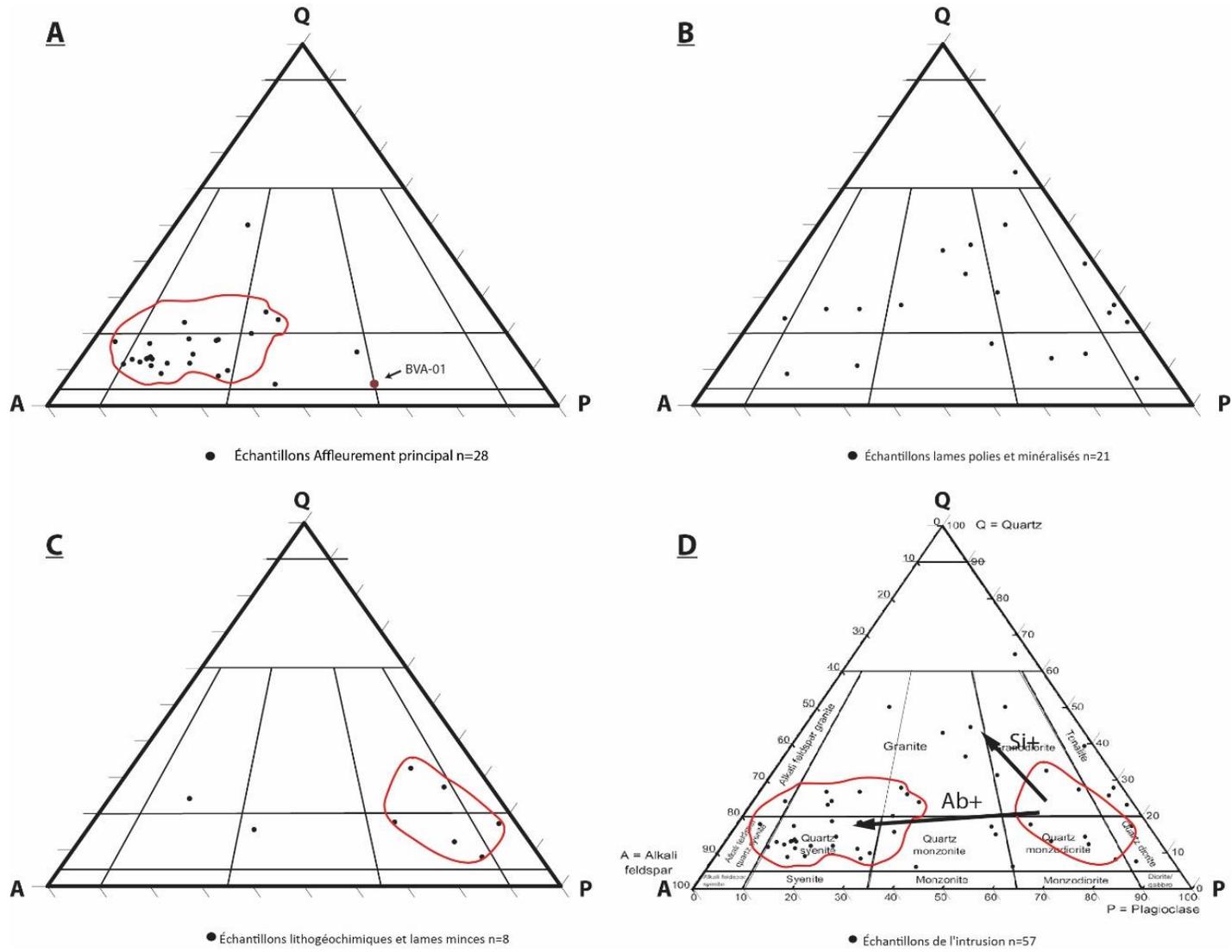


FIGURE 6.1 INTERPRÉTATION DE LA MIGRATION DES PÔLES MINÉRALOGIQUES PRODUITS PAR L'ALTÉRATION HYDROTHERMALE.

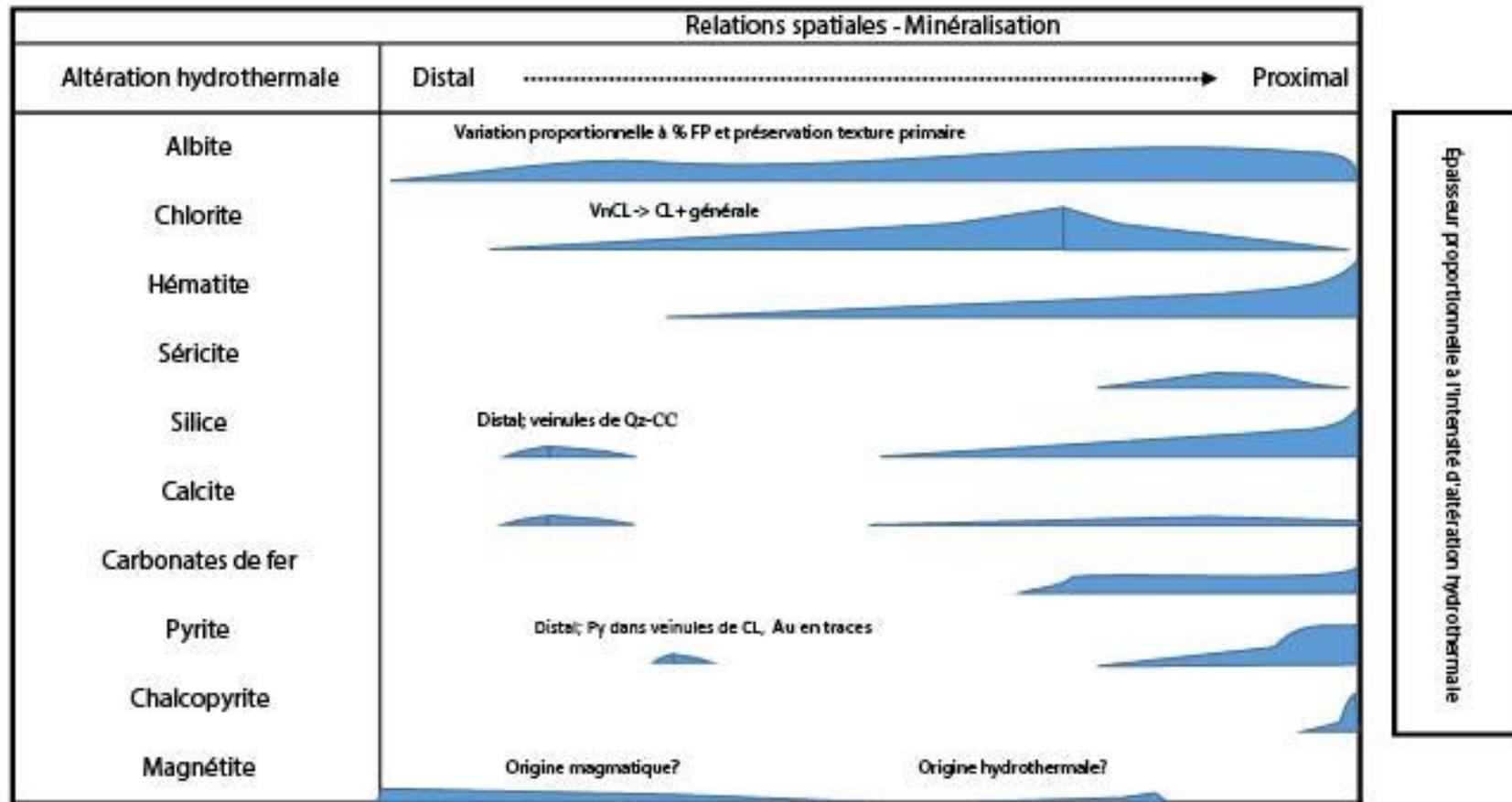


FIGURE 6.2 PARAGÉNÈSE, RELATIONS SPATIALES ET INTENSITÉ DES ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES EN FONCTION DE LA MINÉRALISATION.

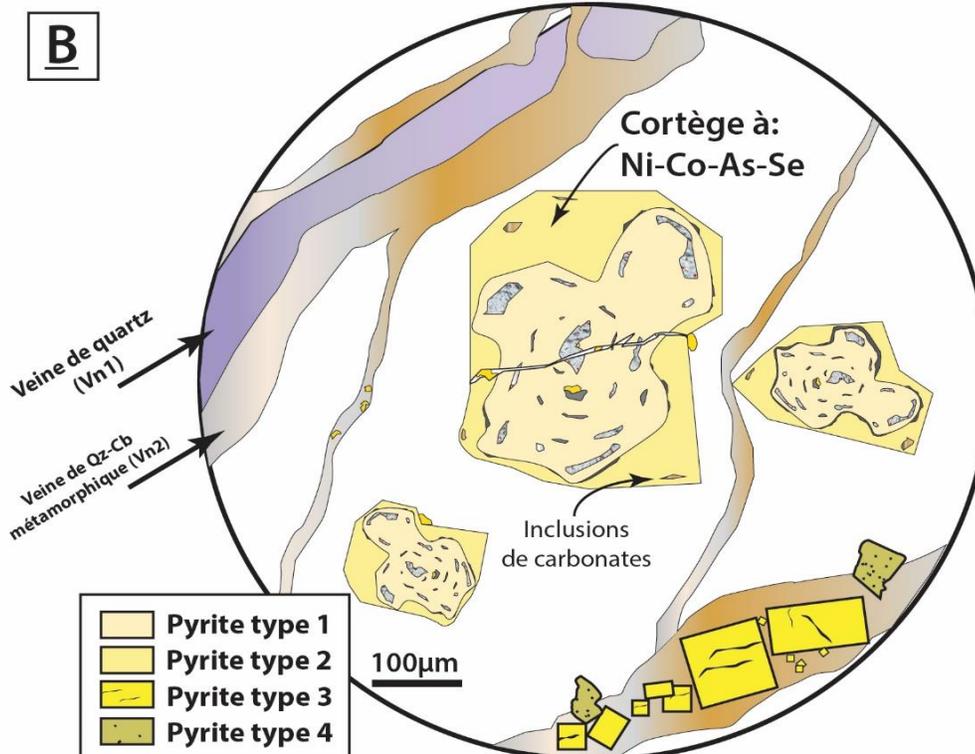
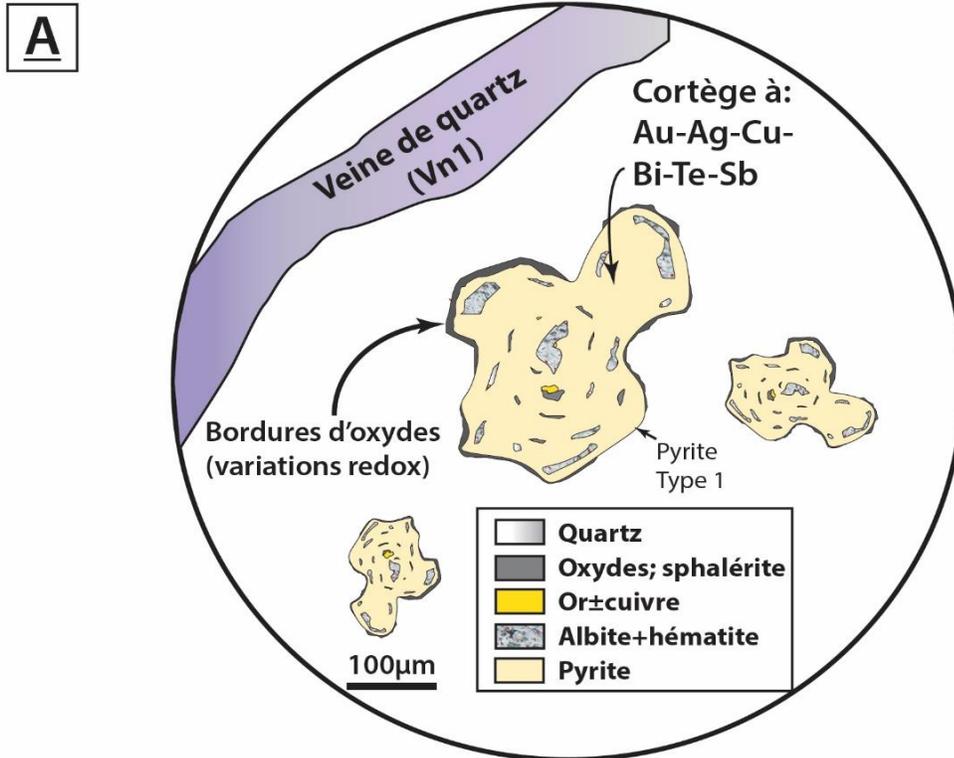
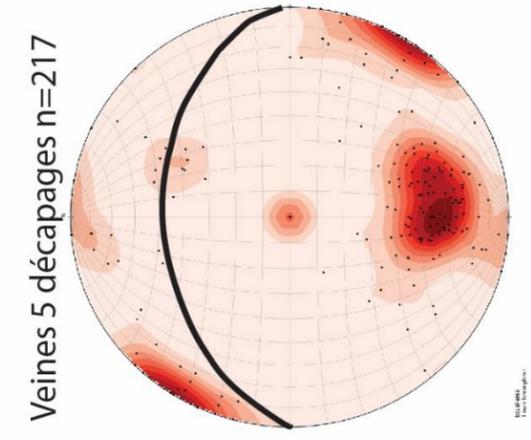
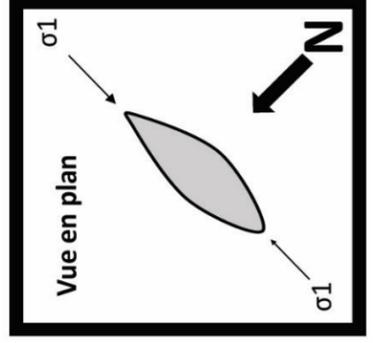
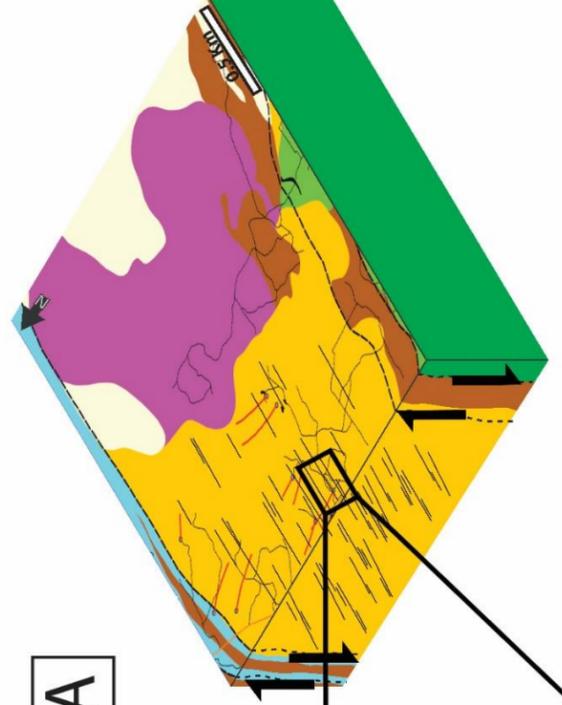


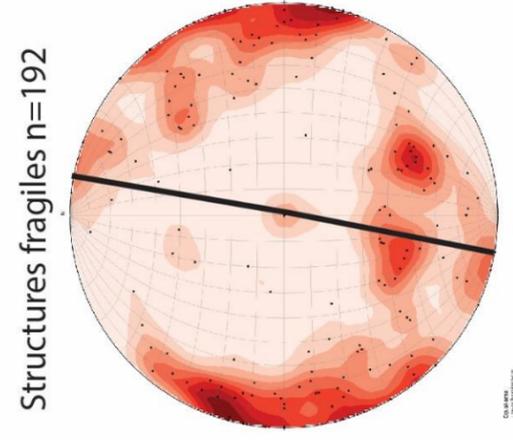
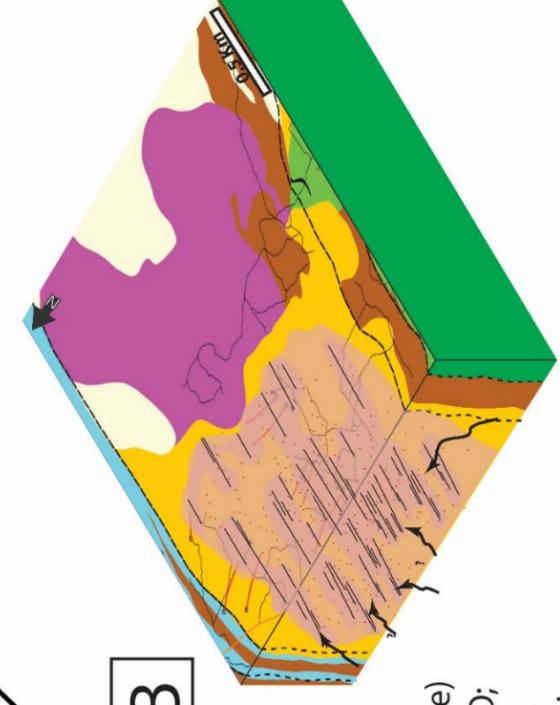
FIGURE 6.3 FIGURE SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION DES PYRITES ET DES INCLUSIONS DE SILICATES-SULFURES-OXYDES: (A) POUR LES PYRITES D'ORIGINE MAGMATIQUE-HYDROTHERMALE ET (B) D'ORIGINE MÉTAMORPHIQUE-HYDROTHERMALE ET LEURS RELATIONS AVEC LES TYPES DE VEINES.



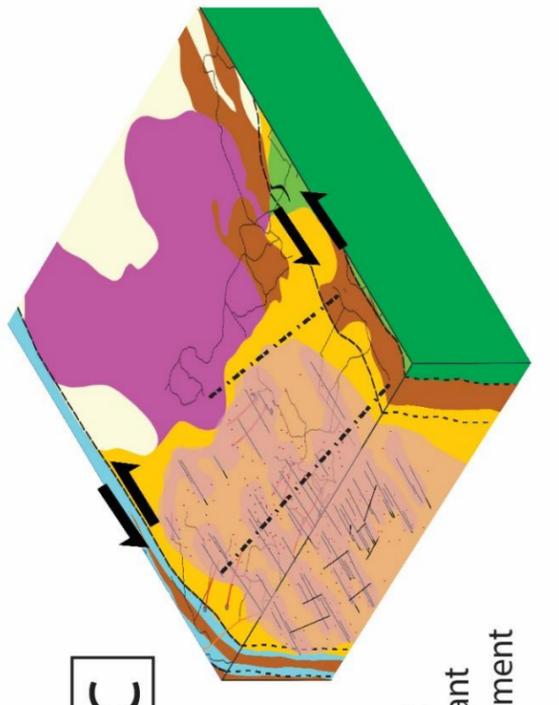
Formation des fractures E-O



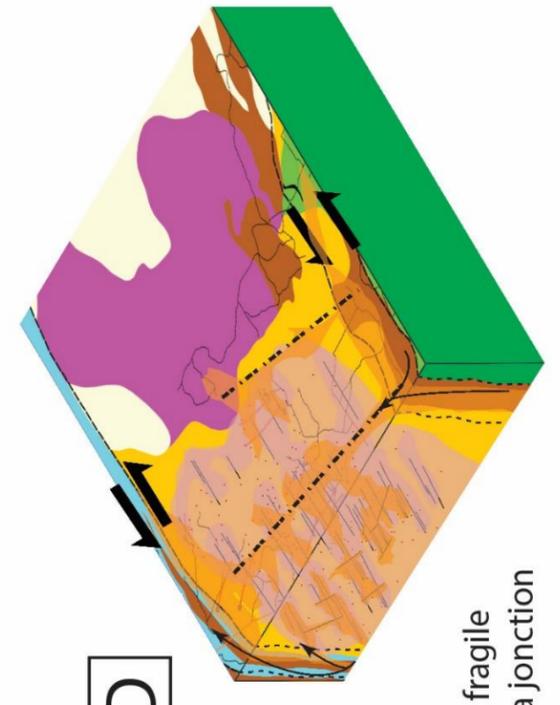
Fluides alcalins oxydants (source potentielle sous-jacente) percolant dans les fractures E-O; Altération pervasive en Ab-Hm concentrée aux épontes des veines



Formation des fractures N-S



Mouvements en décrochement tardifs: déformation fragile créant les structures N-S avec déplacement senestre



Passage de fluides métamorphiques lors de la déformation fragile et altération/remobilisation à la jonction de fractures E-O et N-S

FIGURE 6.4 MODÈLE ÉVOLUTIF DE LA MINÉRALISATION PROPOSÉ: A) MOUVEMENT INVERSE DES FAILLES BORDANT LE STOCK ET FORMATION DES VEINES EN TENSION D'ORIENTATION E-O; B) PERCOLATION DE FLUIDES MAGMATIQUES-HYDROTHERMAUX ALCALINS ET OXYDANT. C'EST À CETTE ÉTAPE QU'EST ASSOCIÉ LE PÔLE D'ALTÉRATION HYDROTHERMALE AB-HM-PY AVEC LA CRISTALLISATION DES PYRITES PRIMAIRES (FIGURE 6.3A); C) DÉFORMATION FRAGILE QUI FORME LES STRUCTURES N-S AVEC UN DÉPLACEMENT SENESTRE; D) PASSAGE DE FLUIDES MÉTAMORPHIQUES-HYDROTHERMAUX DE TYPE OROGÉNIQUE. ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES EN CB-SI-CHL-PY AVEC REMOBILISATION DE LA MINÉRALISATION AURIFÈRE PRÉCOCE (ÉTAPE B).

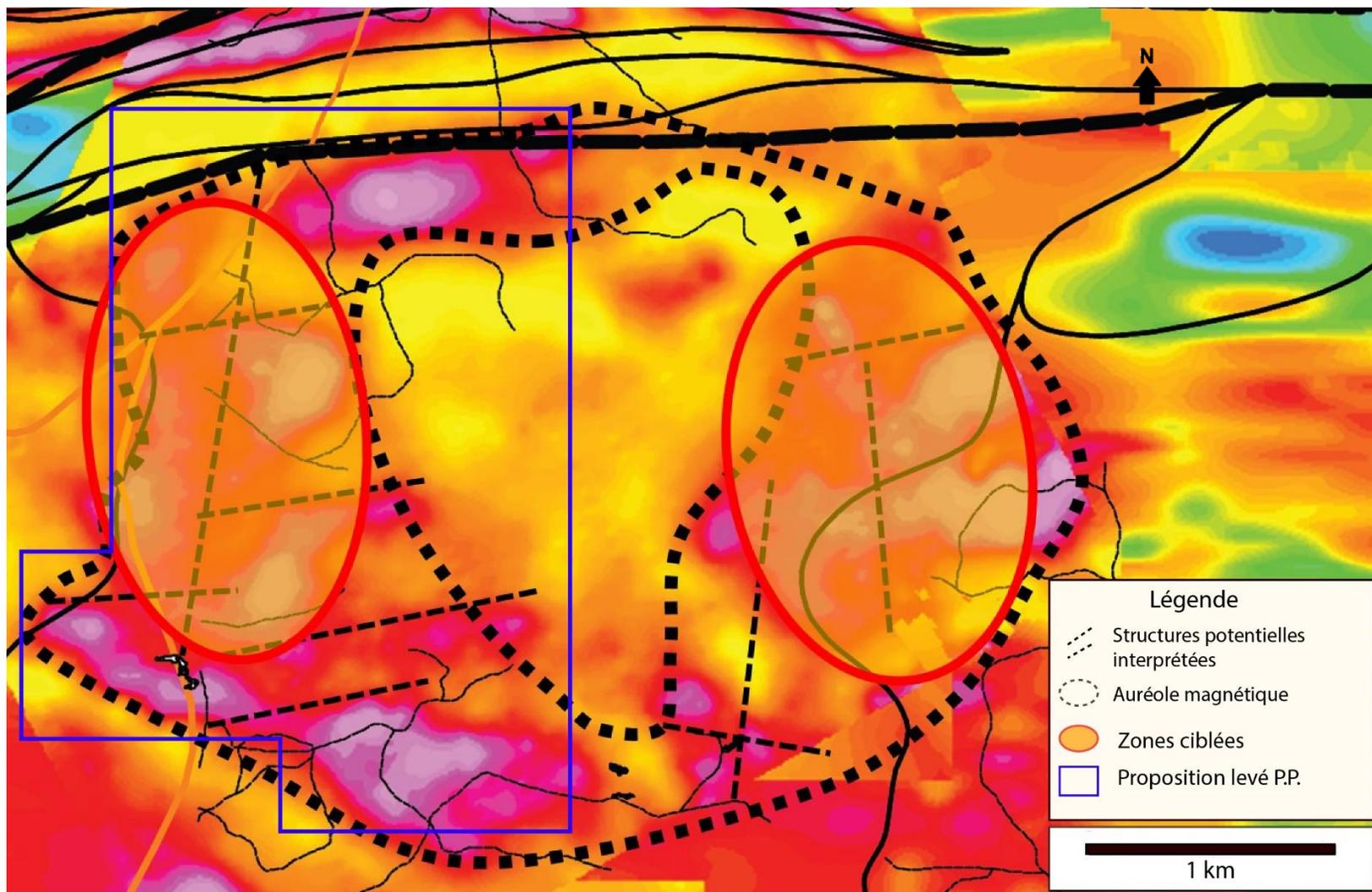


FIGURE 6.5 LEVÉ AÉROMAGNÉTIQUE DE LA PROPRIÉTÉ LAC SHORTT (SOQUEM INC., 2004) AVEC CONTACTS GÉOLOGIQUES (FAURE, 2012), DÉCAPAGES, STRUCTURES MINÉRALISÉES INTERPRÉTÉES, AURÉOLE MAGNÉTIQUE INTERPRÉTÉE, CIBLES D'EXPLORATION ET PROPOSITION DE LEVÉ P.P. TEINTE DE BLEU = BAS MAGNÉTISME; ROSE = HAUT MAGNÉTISME.

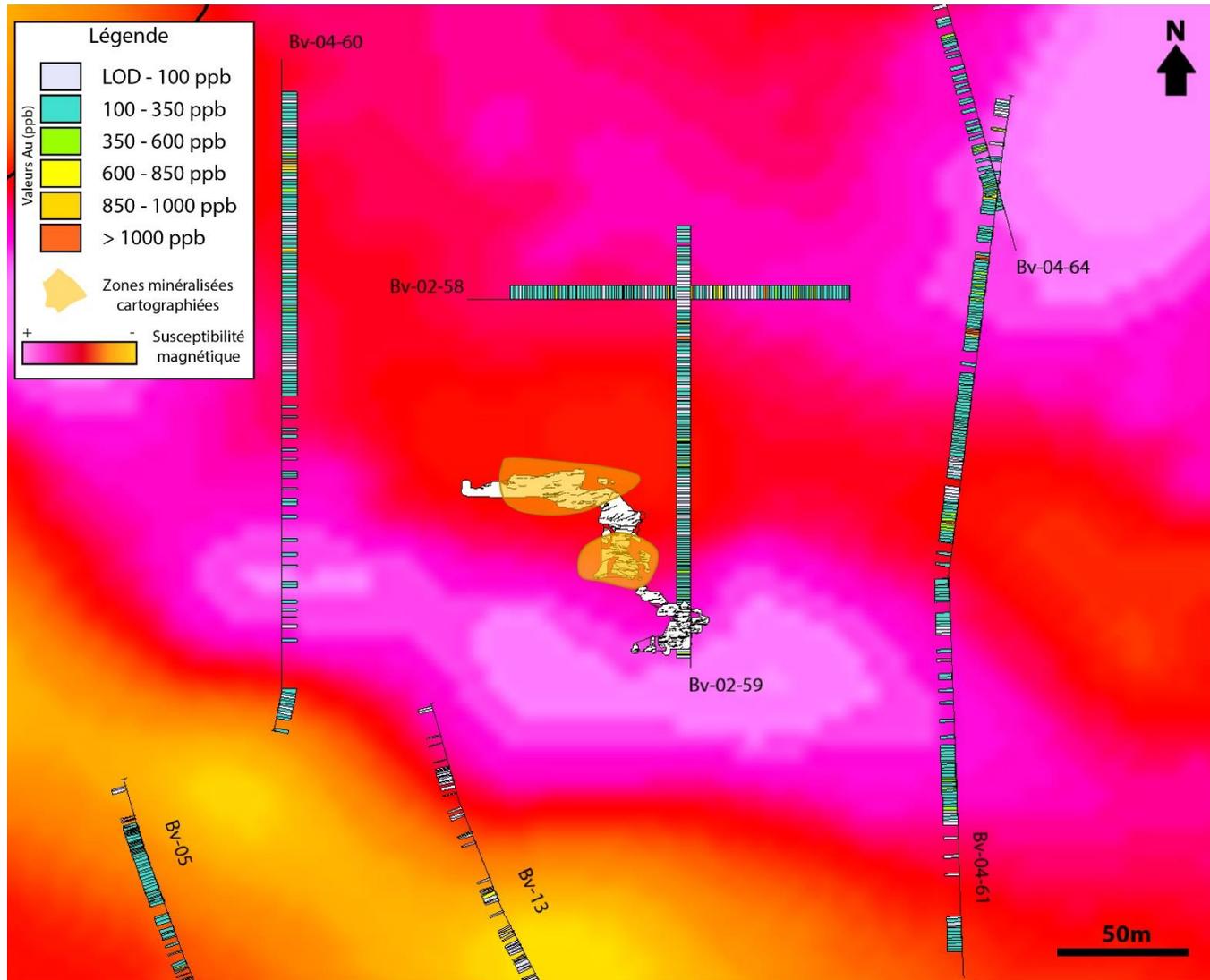


FIGURE 6.6 ASSOCIATION ENTRE LES ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES À L'ÉCHELLE DU DÉCAPAGE PRINCIPAL ET LE LEVÉ MAGNÉTIQUE AÉROPORTÉ DE LA PROPRIÉTÉ. LA BAISSÉ SIGNIFICATIVE DE SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE EST OBSERVÉE DÈS L'APPARITION D'ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES PROXIMALES À LA MINÉRALISATION. LES VALEURS AURIFÈRES SONT CONTINUES DANS LA BASSE SUSCEPTIBILITÉ MAGNÉTIQUE PAR RAPPORT AUX HAUTS MAGNÉTIQUES.

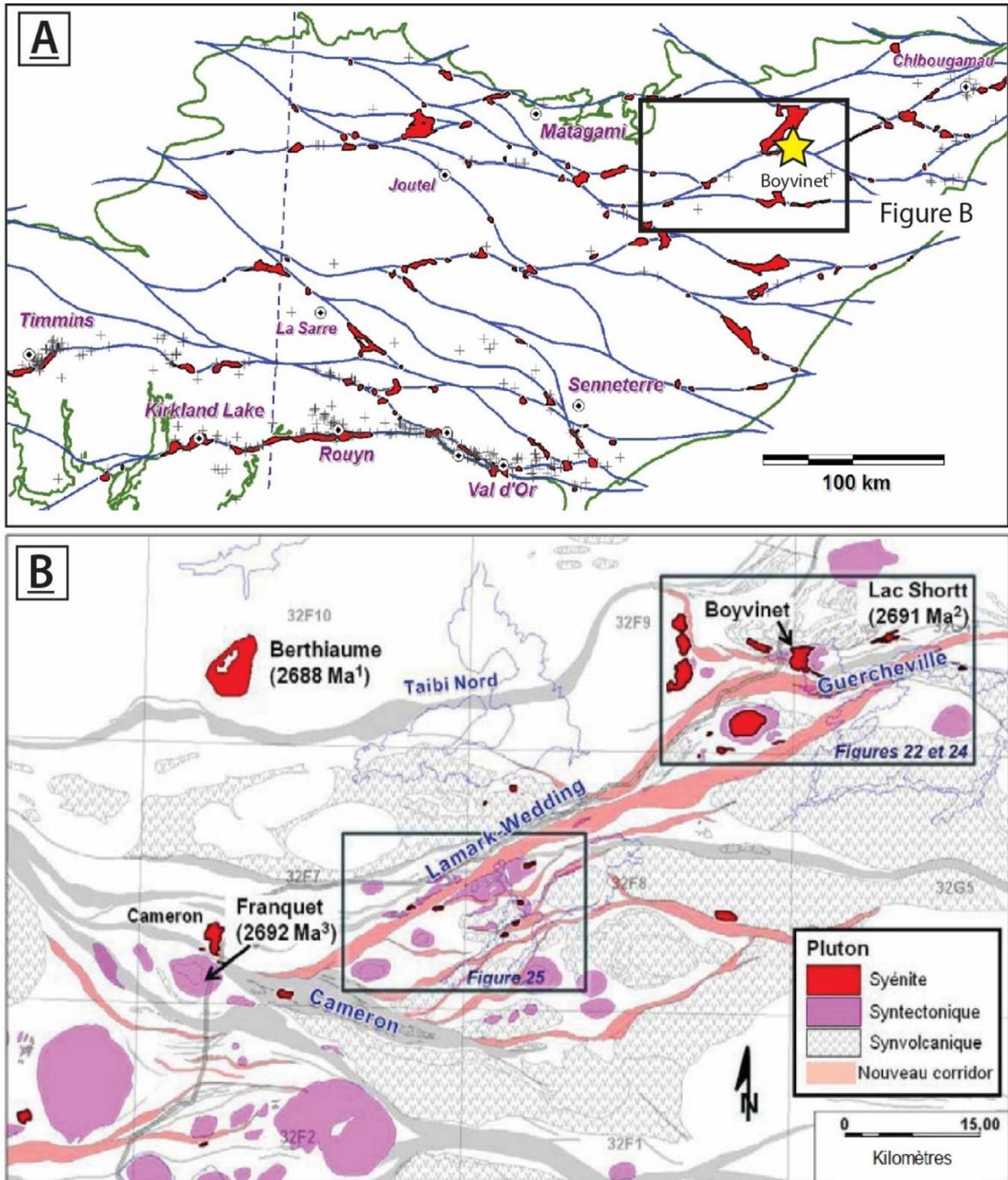


FIGURE 6.7 (A) ZONES CIBLÉES POUR LES MINÉRALISATIONS DE TYPE OROGÉNIQUE PAR FAURE ET AL. (2008). EN ROUGE LES ZONES CIBLÉES, LES CROIX ÉTANT DES GÎTES AURIFÈRES CONNUS. (B) TYPOLOGIES DES INTRUSIONS DANS LE SECTEUR DE LABEL-SUR-QUÉVILLON / LAC SHORTT DÉFINIS PAR FAURE (2011). NOTEZ LA PRÉSENCE DE NOMBREUX PLUTONS SYNVOLCANIQUES ET SYÉNITIQUES. LE STOCK DE BOYVINET Y EST PRÉSENTÉ COMME UNE SYÉNITE

Références

- Allard, G., Gobeil, A. (1984). "General geology of the Chibougamau region. Chibougamau, stratigraphy and mineralization". Edited by J. Guha and E.H. Chown. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Vol. 34: 5-19.
- Allard, G. O. (1979). "Stratigraphie et métallogénie de la région de Chibougamau". Association géologique du Canada – Association Minérale du Canada, Congrès de 1979, Québec, livret-guide de l'excursion B-1, 95 pages.
- Augustin, J., Gaboury, D., Crevier, M. (2015). "The world-class Wona-Kona gold deposit, Burkina Faso". Ore Geology Reviews: disponible en ligne: doi:10.1016/j.oregeorev.2015.10.017.
- Batkishig, B., Noriyoshi, T., Bignall, G. (2014). "Magmatic-hydrothermal activity in the Shuteen area, South Mongolia". Economic Geology 109(7): 1929-1942.
- Bigot, L., Jébrak, M. (2015). "Gold Mineralization at the Syenite-Hosted Beattie Gold Deposit, Duparquet, Neoproterozoic Abitibi Belt, Canada". Economic Geology 110(2): 315-335.
- Bodnar, R. J. (2003). "Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions". Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation, Mineralogical Association of Canada Special Issue 32: 81-100.
- Bourne, J.H., Bossé, J. (1991). "Geochemistry of ultramafic and calc-alkaline lamprophyres from the lac Shortt area, Quebec". Mineralogy and Petrology, 45: 85-103.
- Brisson, H. (1998). "Caractéristiques, chronologie et typologie des minéralisations aurifères de la région du Lac Shortt (Québec), sous-province archéenne de l'Abitibi". Thèse de Doctorat, Université du Québec à Chicoutimi, 296 pages.
- Brögger, W.C. (1921). "Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes, IV". Das Fengebiet in Telemark, Norwegen. Vidensk. Skr., I Mat.-Nat. Kl. 1920, Kristiana, No.9: 408

- 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* 29(10): 2211-2225.
- Cook, N. J., Ciobanu, C. L., Meria, D., Silcock, D., Wade, B. (2013). "Arsenopyrite-pyrite association in an orogenic gold ore: tracing mineralization history from textures and trace elements". *Economic Geology* 108(6): 1273-1283.
- Côté-Lavoie, É. (2013). "Analyse pétrographique et géochimique de l'indice principal du Stock de Boyvinet, Desmaraisville". *Projet de fins d'études, Université du Québec à Chicoutimi*: 56. pages
- Côté-Mantha, O., Daigneault, R., Gaboury, D., Chartrand, F., Pilote, P. (2012). "Geology, Alteration, and Origin of Archean Au-Ag-Cu Mineralization Associated with the Synvolcanic Chibougamau Pluton: The Brosman Prospect, Abitibi Greenstone Belt, Canada". *Economic Geology* 107(5): 909-934.
- 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* 115(1): 261-290.
- Daigneault, R., Mueller, W.U., Chown, E.H. (2004). "Abitibi greenstone belt plate tectonics: the diachronous history of arc development, accretion and collision". *Developments in Precambrian Geology* 12: 88-103.
- Dare, S. A., Barnes, S. J., Beaudoin, G., Méric, J., Boutroy, E., Potvin-Doucet, C. (2014). "Trace elements in magnetite as petrogenetic indicators". *Mineralium Deposita*, 49(7), 785-796.
- Deer, W. A., Howie, R.A., Zussman, J. (1966). "An introduction to the rock-forming minerals": 696 pages
- Dupuis, C., Beaudoin G. (2011). "Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types". *Mineralium Deposita* 46(4): 319-335.

- Eilu, P. K. (1999). "Atlas of alteration assemblages, styles and zoning in orogenic lode-gold deposits in a variety of host rock and metamorphic settings". Geology Publications, UWA Extension, University of Western Australia: 64
- Faure, S. (2011). "Le corridor métallogénique du Lebel-sur-Quévillon / Lac Shortt (Abitibi) réévalué". Projet CONSOREM 2010-03: 26 pages.
- Faure, S., Rafini, S., Trépanier, S. (2009). "Paléopressions, perméabilité crustale et hydrothermalisme : implications pour les minéralisations aurifères orogéniques en Abitibi". Rapport du CONSOREM 2008-01 : 26 pages
- Fayol, N., (en cours) "Les minéralisations aurifères associées aux intrusions alcalines néoarchéennes de la sous-province de l'Abitibi, Canada : exemple de la mine d'or Lac Bachelor, Abitibi, modèle génétique et guides d'exploration". Thèse de Doctorat non-publiée, Université du Québec à Montréal
- Folco, P., Schmitt L. (2000). "Rapport d'exploration 1999, District de Chibougamau, Secteur Lac Shortt, Projet Lac Shortt (1123), SNRC 32F/09 et 32 G/12", GM 56598. SOQUEM Inc.: 174 pages.
- Folco, P. (2003). "Rapport d'exploration, forages novembre 2002, District de Chibougamau, secteur Lac Shortt, propriété Lac Shortt (11231), SNRC 32 F/09 ET 32 G/12, GM 59961". SOQUEM INC.: 40 pages
- Franklin, J. M. (1997). "Lithogeochemical and mineralogical methods for base metal and gold exploration". In Proceedings of Exploration 97: 191-208.
- Fraser, R. J. (1993). "The Lac Troilus gold-copper deposit, northwestern Quebec; a possible Archean porphyry system". Economic Geology 88(6): 1685-1699.
- Gaboury, D. (2006). "Geochemical approaches in the discrimination of synvolcanic intrusions as a guide for volcanogenic base metal exploration: an example from the Abitibi belt, Canada". Applied Earth Science: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section B 115(2): 71-79.

- Gaboury, D. (2013). "Does gold in orogenic deposits come from pyrite in deeply buried carbon-rich sediments?: Insight from volatiles in fluid inclusions". *Geology* 41(12): 1207-1210.
- Gaboury, D., Carrier, A., Crevier, M., Pelletier, C., Sketchley, D.A. (2001). "Predictive distribution of fault-fill and extensional veins: example from the Sigma Gold Mine, Abitibi Subprovince, Canada". *Economic Geology* 96(6): 1397-1405.
- Gaboury, D., Keita, M., Guha, J., Lu, H.Z. (2008). "Mass spectrometric analysis of volatiles in fluid inclusions decrepitated by controlled heating under vacuum". *Economic Geology* 103(2): 439-443.
- Genna, D., Gaboury, D. (2015). "Deciphering the Hydrothermal Evolution of a VMS System by LA-ICP-MS Using Trace Elements in Pyrite: An Example from the Bracemac-McLeod Deposits, Abitibi, Canada, and Implications for Exploration". *Economic Geology*, 110(8), 2087-2108.
- Goldfarb, R. J., Baker, T., Dube, B., Groves, D.I., Hart, C.J., Gosselin, P. (2005). "Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes". *Economic Geology* 100th Anniversary Volume: 407-450.
- Goodman, S., Williams-Jones, A.E., Carles, P. (2005). "Structural Controls on the Archean Troilus Gold-Copper Deposit, Quebec, Canada". *Economic Geology* 100(3): 577-582.
- Grant, J. A. (1986). "The isocon diagram; a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration". *Economic Geology*, 81(8), 1976-1982.
- Gregory, D. D., Large, R.R., Halpin, J.A., Baturina, E.L. Lyons, T.W., Wu, S., Danyushevsky, L., Sack, P.J., Chappaz, A., Maslennikov, V.V. (2015). "Trace element content of sedimentary pyrite in black shales". *Economic Geology* 110(6): 1389-1410.
- Groves, D. I., Bierlein, F.P., Meinert, L.D., Hitzman, M.W. (2010). "Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through Earth history: Implications for origin, lithospheric

- setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits". *Economic Geology* 105(3): 641-654.
- Groves, D. I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., (1998). "Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types". *Ore Geology Reviews* 13(1): 7-27.
- Groves, D. I., Goldfarb, R.J., Robert, F., Hart, C.J. (2003). "Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance". *Economic Geology* 98(1): 1-29
- Harker, A. (2011). "The natural history of igneous rocks". Cambridge University Press; 40 pages.
- Hart, C. (2005). "Classifying, distinguishing and exploring for intrusion-related gold systems". *The Gange*: 85: 5 pages.
- Hart, C., Goldfarb, R. (2005). "Distinguishing intrusion-related from orogenic gold systems". *AusIMM New Zealand Branch Annual Conference 2005 - Realising New Zealand's Mineral Potential*..
- Hart, C.J.R., Mair, J.L., Goldfarb, R.J., Groves, D.I. (2004). "Source and redox controls on metallogenic variations in intrusion-related ore systems, Tombstone-Tungsten Belt, Yukon Territory, Canada". *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences* 95: 339-356.
- Helt, K. M., Williams-Jones, A.E., Clark, J.R., Wing, B.A., Wares, R.P. (2014). "Constraints on the Genesis of the Archean Oxidized, Intrusion-Related Canadian Malartic Gold Deposit, Quebec, Canada". *Economic Geology* 109(3): 713-735.
- Hitzman, M. W., Valenta, R. K. (2005). "Uranium in iron oxide-copper-gold (IOCG) systems". *Economic Geology* 100(8): 1657-1661.

- Jébrak, M. (1997). "Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: a review of mechanisms, morphology and size distribution". *Ore Geology Reviews* 12(3): 111-134.
- Jébrak, M., arcoux, É. (2008). "Géologie des ressources minérales". Ministère des ressources naturelles et de la faune, Québec : 667 pages.
- Joanisse, A. (1994). Datation de la carbonatite du lac Shortt. Thèse de B.Sc. non publiée, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, 16 pages.
- Klein, C., Dutrow B. (2008). "The 23rd edition of the manual of mineral science (after James D. Dana) ". Wiley, 716.
- Kovalenko, V. I., Naumov, V. B., Girnis, A. V., Dorofeeva, V. A., Yarmolyuk, V. V. (2007). "Average compositions of magmas and mantle sources of mid-ocean ridges and intraplate oceanic and continental settings estimated from the data on melt inclusions and quenched glasses of basalts". *Petrology*, 15(4), 335-368.
- Kresten, P., Morogan V. (1986). "Fenitization at the Fen complex, southern Norway". *Lithos* 19(1): 27-42.
- Lafrance, N. (2006). "Caractérisation des intrusions d'affinité kimberlitique des secteurs Le Tac et Lac Shortt, Abitibi, Québec". Mémoire de maîtrise, Université Laval: 213 pages.
- Lameyre, J., Bowden P. (1982). "Plutonic rock types series: discrimination of various granitoid series and related rocks". *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 14(1): 169-186.
- Lamothe, D. (1987). "Géologie de la région du lac Relique". Ministère des Ressources naturelles du Québec, MB 87-20,46 pages.
- Lang, J. R., Baker, T. (2001). "Intrusion-related gold systems: the present level of understanding". *Mineralium Deposita* 36(6): 477-489.

- Large, R. R., Bull, S.W., Maslennikov, V.V. (2011). "A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits". *Economic Geology* 106(3): 331-358.
- Large, R. R., Danyushevsky, L., Hollit, C., Maslennikov, V.V., Meffre, S., Gilbert, S., Bull, S.W., Scott, R., Emsbo, P., Thomas, H. (2009). "Gold and trace element zonation in pyrite using a laser imaging technique: implications for the timing of gold in orogenic and Carlin-style sediment-hosted deposits". *Economic Geology* 104(5): 635-668.
- Large, R. R., Gemmell, J.B., Paulick, H., Huston, D.L. (2001). "The alteration box plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and lithogeochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits". *Economic Geology* 96(5): 957-971.
- Large, R. R., Maslennikov, V.V., Robert, F., Danyushevsky, L., Chang, Z. (2007). "Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena Gold Province, Russia". *Economic Geology* 102(7): 1233-1267.
- Lauzière, K. (1989). "Environnement géologique et minéralisation aurifère à la mine Bachelor, Desmaraisville, Québec". Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi : 82 pages.
- Leclerc, F., Harris, L. B., Bédard, J. H., van Breemen, O., & Goulet, N. (2012). Structural and Stratigraphic Controls on Magmatic, Volcanogenic, and Shear Zone-Hosted Mineralization in the Chapais-Chibougamau Mining Camp, Northeastern Abitibi, Canada (). *Economic Geology*, 107(5), 963-989.
- Lowell, J. D., & Guilbert, J. M. (1970). Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Economic Geology*, 65(4), 373-408.
- MacLean, W., Barrett T. (1993). "Lithogeochemical techniques using immobile elements». *Journal of Geochemical Exploration* 48(2): 109-133.

- Martel, C., Folco, P. (2004). "Rapport d'exploration, forages été 2004, District de Chibougamau, secteur Lac Shortt, propriété Lac Shortt (11231), SNRC 32 F/09 ET 32 G/12, GM 61739". SOQUEM Inc; 286 pages.
- Méric J. (2011). "Caractérisation géochimiques des magnétites de la zone critique de l'intrusion magmatique de Sept-Iles (Québec, Canada) et intégration a une base de données utilisant la signature géochimique des oxydes de fer comme outil d'exploration". Thèse de B.Sc. non-publiée, Université du Québec à Chicoutimi - Université Montpellier 2 : 48 pages
- Mikucki, E. J. (1998). "Hydrothermal transport and depositional processes in Archean lode-gold systems: a review". *Ore Geology Reviews* 13(1): 307-321.
- Monteiro, L. V., Xavier, R.P., de Carvalho, E.R., Hitzman, M.W., Johnson, C.A., de Souza Filho, C.R., Torresi, I. (2008). "Spatial and temporal zoning of hydrothermal alteration and mineralization in the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil: paragenesis and stable isotope constraints". *Mineralium Deposita*; 43(2): 129-159.
- Nadeau, O., Stevenson, R., Jébrak, M. (2014). "The Archean magmatic-hydrothermal system of Lac Shortt (Au-REE), Abitibi, Canada: Insights from carbonate fingerprinting". *Chemical Geology*; 387: 144-156.
- Nadoll, P., Angerer, T., Mauk, J.L., French, D., Walshe, J. (2014). "The chemistry of hydrothermal magnetite: A review". *Ore Geology Reviews*; 61: 1-32.
- 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*; 25(4): 956-983.
- Phillips, G. N., Powell R. (2010). "Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model". *Journal of Metamorphic Geology*; 28(6): 689-718.
- Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*, Springer: 1273.
- Pitcairn, I. K., Teagle, D.A.H., Craw, D., Olivo, G.R., Kerrich, R., Brewer, T.S., (2006). "Sources of metals and fluids in orogenic gold deposits: insights from

- the Otago and Alpine Schists, New Zealand". *Economic Geology*; 101(8): 1525-1546.
- Poitras, S. (1993). "Étude pétrographique et géochimique du pluton alcalin Opawica, Canton de Boyvinet, Secteur Lac Shortt". Mémoire de maîtrise, Université Laval: 37 pages.
- Prud'homme, N. (1990). "Caractérisation pétrographique et géochimique de la carbonatite et de la syénite de la mine Lac Shortt". Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi; 78 pages.
- Pollard, P. J. (2001). "Sodic (–calcic) alteration in Fe-oxide–Cu–Au districts: an origin via unmixing of magmatic H₂O–CO₂–NaCl±CaCl₂–KCl fluids". *Mineralium Deposita*; 36(1): 93-100.
- Pollard, P. J. (2006). "An intrusion-related origin for Cu–Au mineralization in iron oxide–copper–gold (IOCG) provinces". *Mineralium Deposita* 41(2): 179-187.
- Queffurus, M., Barnes S.-J. (2015). "A review of sulfur to selenium ratios in magmatic nickel–copper and platinum-group element deposits". *Ore Geology Reviews* 69: 301-324.
- Racicot, D., Chown, E.H., Hanel, T. (1984). "Plutons of the Chibougamau-Desmaraisville belt: a preliminary survey". *Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 34*: 178-197.
- Reich, M., Deditius, A., Chryssoulis, S., Li, J.W., Ma, C.Q., Parada, M.A., Barra, F., Mittermayr, F., (2013). "Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study". *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 104: 42-62.
- Requia, K., Stein, H., Fontboté, L., Chiaradia, M. (2003). "Re–Os and Pb–Pb geochronology of the Archean Salobo iron oxide copper–gold deposit, Carajás mineral province, northern Brazil". *Mineralium Deposita* 38(6): 727-738.

- Richards, J. P. (2009). "Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere". *Geology* 37(3): 247-250.
- Richards, J. P., Mumin, A.H. (2013). "Magmatic-hydrothermal processes within an evolving Earth: Iron oxide-copper-gold and porphyry Cu±Mo±Au deposits». *Geology* 41(7): 767-770.
- Ridley, J. R., Diamond L.W. (2000). "Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models". *SEG Reviews* (13): 141-162.
- Ridolfi, F., Renzulli, A., Puerini, M. (2010). "Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes". *Contributions to Mineralogy and Petrology* 160(1): 45-66.
- Robert, F., Poulsen, K. (1997). "World-class Archaean gold deposits in Canada: An overview". *Australian Journal of Earth Sciences* 44(3): 329-351.
- Robert, F. (2001). "Syenite-associated disseminated gold deposits in the Abitibi greenstone belt, Canada". *Mineralium Deposita* 36(6): 503-516.
- Roedder, E. (1979). "Origin and significance of magmatic inclusions". *Bull. Mineral.* 102: 487-510.
- Roedder, E. (1984). "Fluid inclusions: an introduction to studies of all types of fluid inclusions, gas, liquid, or melt, trapped in materials from earth and space, and their application to the understanding of geologic processes". *Reviews in mineralogy. Mineralogical Society of America* (ISSN 0275-0279): 12.
- Roedder, E. (1984). "Fluid inclusions". *Mineralogical Society of America* Washington, DC; 643.
- Ross, P.-S., Bédard, J.H. (2009). "Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams". *Canadian Journal of Earth Sciences* 46(11): 823-839.

- Roubault, M., Fabriès, J. (1982). "Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant". Éditions Lamarre-Poinat, Paris: 384 pages.
- See, J. (1994). "Analyse des inclusions fluides et magmatiques des dépôts aurifères dans la région du Lac Shortt, Abitibi, Québec: l'interprétation thermodynamique et métallogénétique du rôle des fluides minéralisants à l'Archéen". Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi : 281.
- Sillitoe, R.H. (2002). "Some metallogenic features of gold and copper deposits related to alkaline rocks and consequences for exploration". *Mineralium Deposita* 37(1): 4-13.
- Sillitoe, R.H. (2003). "Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view". *Mineralium Deposita* 38(7): 787-812.
- Sillitoe, R.H. (2010). "Porphyry copper systems". *Economic Geology* 105(1): 3-41.
- Sillitoe, R.H. and J. F. Thompson (1998). "Intrusion-Related Vein Gold Deposits: Types, Tectono-Magmatic Settings and Difficulties of Distinction from Orogenic Gold Deposits". *Resource Geology* 48(4): 237-250.
- Sharma, K.N.M., Lacoste, P. (1981). "Gand (SW) et Lespérance (NW)". Ministère des Ressources naturelles du Québec, carte annotée, DP-852.
- Sharma, K.N.M., Lauzière, K. (1983). "Géologie de la région de Desmaraisville". Ministère des Ressources naturelles du Québec, carte annotée, DP 84-10.
- Sharma, K.N.M., Gobeil, A. (1987). "Potentiel aurifère de la zone de cisaillement d'Opawica". Ministère des Ressources naturelles du Québec, carte non-publiée, séminaire d'information 1987.
- Steadman, J. A., Large, R.R., Meffre, S., Olin, P.H., Danyushevsky, L., Gregory, D.D., Belousov, I., Lounejeva, E., Ireland, T.R., Holden, P. (2015). "Synsedimentary to early diagenetic gold in black shale-hosted pyrite nodules at the Golden Mile Deposit, Kalgoorlie, Western Australia". *Economic Geology* 110(5): 1157-1191.

- Streckeisen, A. (1976). "To each plutonic rock its proper name". *Earth-Science Reviews* 12(1): 1-33.
- Sun, S.-S., McDonough, W.F. (1989). "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes". Geological Society, London, Special Publications 42(1): 313-345.
- Sun, W.F., Huang, R.F., Li, H., Hu, Y.B., Zhang, C.C., Sun, S.J., Zhang, L.P., Ding, X., Li, C.Y., Zartman, R. E. (2015). "Porphyry deposits and oxidized magmas". *Ore Geology Reviews* 65: 97-131.
- Taylor, R. (2000). "Ore Textures: Recognition and Interpretation". Springer Berlin Heidelberg: 57
- Thomas, H. V., Large, R.R., Bull, S.W., Maslennikov, V.V., Berry, R.F., Fraser, R, Froud, S., Moye, R. (2011). "Pyrite and pyrrhotite textures and composition in sediments, laminated quartz veins, and reefs at Bendigo gold mine, Australia: insights for ore genesis". *Economic Geology* 106(1): 1-31.
- Thompson, A.J.B., Thompson, J.F.H., Dunne, K.P.E. (1996). "Atlas of alteration: a field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals". Geological Association of Canada, Mineral Deposit Division, 120 pages.
- Thompson, J.F.H., Sillitoe, R.H., Baker, T., Lang, J.R., Mortensen, J.K. (1999). "Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces". *Mineralium Deposita* 34(4): 323-334.
- Tomkins, A. G. (2013). "A Biogeochemical Influence on the Secular Distribution of Orogenic Gold". *Economic Geology* 108(2): 193-197.
- Tomkins, A. G. (2013). "On the source of orogenic gold". *Geology* 41(12): 1255-1256.
- Trépanier, S., Mathieu, L., Daigneault, R., Faure, S. (2016). "Precursors predicted by artificial neural networks for mass balance calculations: Quantifying hydrothermal alteration in volcanic rocks". *Computers & Geosciences* 89: 32-43.

- Velásquez, G., Béziat, D., Salvi, S., Siebenaller, L., Borisova, A.Y., Pokrovski, G.S., de Parseval, P. (2014). "Formation and deformation of pyrite and implications for gold mineralization in the El Callao District, Venezuela". *Economic Geology* 109(2): 457-486.
- Wanhainen, C., Broman, C., Martinsson, O., Magnor, B. (2012). "Modification of a Palaeoproterozoic porphyry-like system: Integration of structural, geochemical, petrographic, and fluid inclusion data from the Aitik Cu–Au–Ag deposit, northern Sweden". *Ore Geology Reviews* 48: 306-331.
- White, A. J., Waters, D.J., Robb, L.J. (2015). "Exhumation-driven devolatilization as a fluid source for orogenic gold mineralization at the Damang deposit, Ghana". *Economic Geology* 110(4): 1009-1025.
- Winter, J. D. (2010). "Principles of igneous and metamorphic petrology". Prentice Hall: 702.

Annexes

Annexe A – Descriptions des lames minces
et notes personnelles

LM	Trou_Prof	% AB	%QZ	%PG	%FP-K	%CHL	%EP	%PY	%MAG	%OP	%SPH	%PX	%AMP	%CB	%TOTA L	Au (ppm)	%Alt. AB	Minéralisation	Déformation?
A1	53_84,45	50	20	13	0	5	0	0	0	5	2	0	5	Tr.	100	--	Fort / Très fort	Non	Non
A2	55_204	1	5	23	0	Tr.	0	0	0	1	0	0	0	70	100	--	Faible	Non	Oui
A3	59_201	0	0	0	0	5	30	0	0	15	0	5	0	45	100	--	Nulle	Non	Non
A4	60_194	7	5	50	0	10	0	0	0	3	2	0	3	20	100	--	Moyen	Non	Non
A5	64_300	13	69	15	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	100	--	Moyen / fort	Non	
A6	65_39,3	20	5	10	0	5	4	0	0	1	0	0	50	5	100	--	Fort / Très fort	Non	Non
A7	66_97,5	10	8	10	0	0	0	2	0	15	0	0	0	55	100	--	Fort / Très fort	Non	Très
A8	L-TR-98-02-A_Lé	12	10	60	0	6	0	0	0	3	1	0	8	0	100	--	Fort / Très fort	Non	Non

A9	L-TR-98-02-A_R2Dyke	10	45	35	0	2	0	0	0	3	0	0	0	5	100	--	Faible / Moyenne	Non	Oui
A10	L-53_84,45	50	20	13	0	5	0	0	0	5	2	0	5	Tr.	100	--	Fort / Très fort	Non	Non
A11	L-59_141	10	25	42	0	5	5	0	0	3	Tr.	2	8	0	100	--	Moyenne	Non	Non
A12	L-60_338	50	30	0	0	8	0	0	0	1	0	0	8	3	100	--	Très fort	Non	Non
A13	L-61_207	55	15	0	Tr.	5	Tr.	0	0	2	3	0	20	0	100	--	Fort / Très fort	Non	Non
A14	L-62_7,8	20	15	50	0	2	0	0	0	2	2	0	4	5	100	--	Fort	Non	Non
A15	L-63_61	5	15	35	Tr.	Tr.	10	0	0	Tr.	1	0	20	14	100	--	Moyenne	Non	Non
A16	L-63_333	40	12	25	Tr.	2	Tr.	0	0	2	1	0	10	8	100	--	Moyenne / Forte	Non	Faible

LM	Trou_Prof	Structure	Remarques
A1	53_84,45	Texture lépidoblastique (trachytoïdale): FP AB+ modérément enlignés qui sont entourés par des cristaux d'AMP+CL+OX+SPH. La présence de CL est le résultat de l'altération des AMP. Granulométrie assez fine des minéraux interstitiels; FP porphyriques.	Belle zonation des FP avec cœur plus altéré en AB (cœur sodique versus calcique en bordure?) Beaucoup d'HM cristalline en inclusions dans les FP (couleur rosée)
A2	55_204	BX Cb±Qz qui détruit complètement la texture d'origine. Texture très similaire à la LMP C6 (66_286)	Beaucoup d'HM dans la matrice à CB; probablement la majeure partie des OX est de l'HM.
A3	59_201	Texture porphyrique avec porphyres de BT, matrice de ???(CB±EP?) trop fin pour le dire. Beaucoup d'OX (Mag)	5%CHL = 5% BT; Lamprophyre ou carbonatite? XRF?
A4	60_194	BX hydraulique à matrice de CB-CL-Qz±PG; granulométrie très fine pour la matrice; sauf pour certains grains de carbonates bien mâclés (CC). Fragments d'encaissant non déformés, avec monéralogie usuelle (FPab+, AMP; SPH; Qz et OX). De plus petits fragments de l'encaissant peuvent se retrouver dans la matrice, en proportions mineures.	30%matrice/ 70% Encaissant; granulo ultra fine de la matrice = difficile d'assurer que c'est CL-CB. Couleur verte de la matrice sur le bloc porte à croire que oui.
A5	64_300	Pour un rare cas, il semble que la présence de FPK soit plus importante. Les phénocritaux ne sont pas déformés, mais baignent dans une matrice de Qz à grains idiomorphes fins. Altération (AB/SR) plus importante au cœur des phénocristaux de FP/PG alcalins	Forte proportion d'hématite cristalline dans la matrice et en inclusions dans les phénocritaux.
A6	65_39,3	Matrice à PG/Qz et grains equigranulaires, parfois quelques phénocritaux d'AMP verte, probablement le résultat d'une altération de PX (reliques d'EP encore visibles dans les phénocristaux). Quelques veinules de CB //AC et une autre, majeure à angle. Contient majoritairement des CB, un peu de Qz et des fragments de l'encaissant, associé à un peu d'OX	Gabbro on dirait, amphibolitisé et PG très altérés en AB : couleur rosée des PG sur le bloc. Reliques de PX AMP++. Pas de déformation, sinon une légère CB/Bréchification en bordure le la Vnprincipale.
A7	66_97,5	Déformation intense, avec matrice (brèche?) à Cb-CL-OX qui détruit l'encaissant. Quelques zones avec porphyroblastes (schisto contournant). Associé à la zone de déformation du Lac Shortt. Vérifier emplacement en plan. Domaine très déformé, à gtf, sans PG, avec des veinules de Qz-CC transposées/boudinées. L'angle de la déformation recoupe la foliation du domaine principal	Opaques le long des horizons de déformation. Matrice trop fine, mais allure de CB-QZ très HM+. FP qui restent très AB et HM+, avec quelques reliques de mâcles dans les PG.
A8	L-TR-98-02-A_Lé	Texture porphyrique avec matrice "interstitielle" d'AMP+Qz+OP+SPH. Les AMP sont parfois chloritisées, et les FP sont zonés et altérés.	PG/FP tous zonés par une altération au cœur (AB+HM cristalline). Reliques de Ferro-Mag en phénocristaux détruits par altération : CL-OX-CB(?)

A9	R-98-02-A_R2Dy	Orientation préférentielle des phénocritaux de PG/FP. Quelques veinules de Qz mineures. C'est la matrice à Qz qui donne la couleur rosâtre; grosseur des inclusions ne permettent pas de dire si c'est de l'HM ou non.	Cassures dans certains feldspaths. CB+AB en inclusions dans les FP plus altérés. 0% FPK mais pas sûr...peut-être quelques grains À VÉRIFIER . SPH remplacés par OX±CB. Petite fracture qui cause une recristallisation de grains de Qz hypidiomorphes fins.
A10	L-53_84,45	Texture lépidoblastique (trachytoïdale): FP AB+ modérément enlignés qui sont entourés par des cristaux d'AMP+CL+OX+SPH. La présence de CL est le résultat de l'altération des AMP. Granulométrie assez fine des minéraux interstitiels; FP porphyriques.	Belle zonation des FP avec cœur plus altéré en AB (cœur sodique versus calcique en bordure?); parfois un peu d'HM cristalline.
A11	L-59_141	Zone d'altération linéaire des FP grisâtre, associée à Mx qui ressemblent à des OPX? À haute réfringence/bi-réfringence de couleur brun léger et très fracturé. Texture porphyrique à matrice de Qz-AMP-CL-OP	Très similaire à A9, sauf avec +EP dans les phénocristaux de ferro-mag. Superbes zonations dans les FP/PG
A12	L-60_338	Texture porphyrique avec matrice "interstitielle" à Qz-AMP/CL. Les AMP sont parfois chloritisés, et les FP sont extrêmement altérés en AB.	Qz idiomorphe recristallisé fin; FP tellement altérés qu'on ne voit ni les cristaux d'AB, ni les reliques de mâcles.
A13	L-61_207	Texture sub-ophitique avec Qz interstitiel, phénocritaux de PG avec orientation préférentielle et d'AMP peu altérées. Certains grains de Qz sub-ophitiques en cours de recristallisation/légèrement déformés.	Belle zonation dans certains FP. Hématite cristalline dans les FP altérés, surtout au cœur et quelques rims de croissance. Généralement fortement albitisés. Deux altérations dans les FP; une grise tachetée et une gris rosé. Quelques zones à EP associée aux bordures d'AMP...belle texture de manteau d'Arlequin
A14	L-62_7,8	Matrice de FP zonés fortement altérés avec un enlignement préférentiel. Le matériel interstitiel est composé de CB+AMP+OP+Qz très fins, enlignée entre les phénocritaux. (texture magmatique primaire)	Peu de CL, bcp d'AMP et matériel interstitiel bourré de CB (couleur gris mauve du bloc)
A15	L-63_61	VnQz-CB-EP-AMP-EP, qui emporte des fragments d'encaissant. Epidote en phénocritaux (Vn) et dans la matrice à grains fins interstitiels. AMP en phénocristaux dans la Vn et en matériel interstitiel dans la matrice de l'encaissant, aux côtés de l'AMP.	Minéral pléochroïque bleu-vert pomme qui est associé à Épidote et CL....Pumpellyite ou crossite/riebeckite? Très peu d'HM en inclusions; parfois des CB et Ab dans les FP, mais pas complètement altéré. MINERALOGIE prend en compte TOUTE la lame. Encaissant non-séparé - voir pôles streckeisen pour encaissant
A16	L-63_333	Certains PG avec des kinkbands. Petite VnCB au centre, mais pas d'altération pervasive, parfois des CB en inclusions au travers de l'AB dans les PG	Hm cristalline en inclusions donne une couleur rosée aux PG/FP sur le bloc. Les PG/FP sont tous plus altérés au centre par rapport au bordures. FPK dans certains cas? À VÉRIFIER . Encore des % de'AMP/Minéral bleauté associé à AMP (contenu dans le % AMP)

Série	LMP	% AB	%QZ	%PG	%FP-K	%CHL	%EP	%PY	%MAG	%HM	%OP	%SPH	%AMP	%CB	%TOTAL	Au (ppb)	%Alt, AB	Minéralisation	Déformation?
B1	53-129,8	40	20	10	5	0	0	3	2	5	5	0	0	15	100	130	moyenne	oui	non
B2	55-43,5	5	3	15	Tr.	0	0	8	1	3	12	0	0	65	100	158	faible	oui	non
B3	58-101	10	40	30	0	2	0	5	1	2	8	0	0	10	100	840	moyenne	oui	non
B4	58-113,5	20	30	20	0	5	0	8	1	1	10	0	0	15	100	1197	moyenne	oui	faible
B5	58-125,5	15	20	20	0	16	0	6	1	1	8	1	0	20	100	527	moyenne / forte	oui	faible
B6	58-184,9	15	20	29	0	8	0	5	1	1	7	1	0	20	100	120	faible / moyenne	oui	non
B7	59-37,9	5	5	57	0	8	0	8	Tr.	Tr.	9	1	0	15	100	199	faible	oui	non
B8	59-52,7	53	6	10	0	8	0	1	Tr.	1	2	1	0	20	100	70	très forte	oui	non
B9	59-55,9	55	19	5	0	3	0	3	1	1	5	2	0	11	100	77	forte / très forte	oui	non
B10	59-103,5	45	8	20	0	5	0	3	1	Tr.	4	3	0	15	100	626	très forte	oui	oui

Série	LMP	Structure	Remarques
B1	53-129,8	BX / pseudo-BX à QZ-CB. VnQz-CB	Altération étrange a la bordure de la VnQz (cristalline brun-rouge, prismatique...HM???)
B2	55-43,5	Zone 1- Brèche à CB (CC) avec PY dedans. FP essentiellement orientés dans la même direction. Zone 2 - Matrice de CB (fragments?) avec la majeure partie des grains de Pyau contact de la zone 1. Contact net qui se poursuit légèrement en offset dans la zone 1 (PY dans offset aussi). Corrélation nette entre PY et CC.	Zapper PG au xrf...pour être sûr.Très légèrement albitisés,Hématisation faible aussi avec martitisation. Bcp d'HM en remplacement de la Mag au sein de la matrice et aux bordures des grains de PY. BX à CC presque uniquement, très peu de QZ. Énormément de traînées d'IF secondaires dans les FP perpendiculairement à l'allongement du grain (bréchification en CC qui les forme???)
B3	58-101	Zone 1 - Encaissant constitué de FP qui se fait bréchifier et emporter (sans destruction des FP). Zone 2 - BX à Qz-CC, avec un peu de CL et la PY. PY en veinules et partiellement disséminée dans la zone 1.	Z1: FP albitisés de façon pseudo-BX....avec VnCC qui recoupent clairement les grains qui sont encore soudés ensembles. Z2 :FP dans la matrice intacts.BX à CC mais pas à QZ dans les amas de FP. Matrice de BX à QZ, granulo très fine, équi-granulaire. SR dans la matrice? Micro-XRF?
B4	58-113,5	BX à Qz-CC avec PY qui semble primaire. VnCC qui recoupe le tout à angle la BX et/ou bréchifie les frag. d'encaissant au passage. La brèche emporte des fragments d'encaissant légèrement AB et HM, en déformant légèrement les mâcles des PG. Les sulfures s'agglomèrent généralement dans les bordures des BX primaires.	PY en remplacement des ferro-mag, complètement CB et CL+. Histoire de la PY primaire poreuse en sulfuration (?) des ferro-mag avec rim clair. PY dans la BX et dans les ferro-mag semblables texturalement, quand même, mais PY3 très fine dans les BX, sans inclusions. Jeu de recristallisation ou un apport tardif sans importance?
B5	58-125,5	1- BX à Qz-CB (orientation //AC -N/S); 2 - VnQz perp. BX recoupé par micro-vnCB.3- VnCC à angle de la BX qui bréchifie l'encaissant et recoupe la BX. 4- VnCL noir qui recoupe perpendiculairement à la BX à environ 90°AC (orientation N/S). Sulfures disséminés et ass. VnCB+CL (texture BX).	Bloc ressemble énormément à texture de LM-BVA-06. Carbonates mâclés, grossiers dans les VnCB 3, sinon CB+CL±QZ pervasif dans matrice encaissante. Il semble y avoir une différence de texture et de granulométrie dans les CB: une génération pervasive associée à BX minéralisatrice (?) et une à VnCB3 tardive, qui recoupe à GG. Texture pseudo à -béchique dans l'ensemble de la lame mince. Sulfures associés à HM/Ilm majoritairement. Peu de magnétite aperçue.
B6	58-184,9	VnQz-CB-CL; quartz majoritaire; CL et CB mineurs. CB et CL pervasifs dans la matrice. Remplacement par CB-CL-OX total des ferro-mag. Veines de QZ : partie centrale grossière; bordures = matrice gtf à Qz-Fp-OX. Sulfures en bordure des Vn et remplacement des ferro-mag.	Veinne de quartz centrale : SUPERBES inclusions fluides secondaires ; certaines avec cristaux à l'intérieur+gaz+liq. Type FI!, 2 et 3.FAIRE UN PHOTO-STACKING! Dans certaines zones, allongées dans un autre sens, une famille d'IF gazeuses majoritairement. CB intersitiels aux grains et sous forme de veinules qui recoupe tout l'encaissant, mais pas les VnQz. (Timing difficile à établir car CB dans VnQZ).
B7	59-37,9	Veines de Qz-CB ou CB-CL±Qz avec PY; fracturation/bréchification par CB. CL en remplacement des ferromagnésiens dans la matrice et en bordure des VnCC-Qz.	Belles mâcles non-déformées dans les FP grossiers. Couronnes de CL autour de la PY dans la Vn CC-Qz-CL. Minéral semi-réflétant de couleur bronze/rougâtre en LP et gris mât en réfléchi (? Titanite ?): associé à PY dans veine et encaissant. Zapper au laser?
B8	59-52,7	Beaucoup de VnQz-CC recoupées par de micro-vnCC perpendiculaires aux principales. On voit bien le sens de cristallisation (fibre) dans la CC des veinules primaires. Les carbonates et la silice d=ont intergranulaires, pervasives partout.	Phlogopite aperçue. Beaucoup d'OX sont de la titanite (mâcles visibles en LP). Belle albitisation avec hématisation générale des OX et reliques de ferro-magnésiens très CL-CC avec opaques (majoritairement HM qui a remplacé MAG). CL associée à CB et altération pervasive en CB-Si.
B9	59-55,9	VnQz-CC dominantes. Granulo très fine dans VnQz. VnQz tardive plus grossière. Texture semi-lépidoblastique, parfois quartz sub-ophitique. CB-QZ pervasifs, mais pas au stade de brèche.	Remplacement total des ferro-magnésiens par CB-CL-PY±OX. Sulfuration des ferro-mag avec PY2. Bcp d'incl. Fluides secondaires dans les VnQz-CC. Certains grains de Qz grossiers présentent des rims de croissance riches en incl. Fluides (trop petites). Photo-stacking!
B10	59-103,5	CC avec mâcles déformées dans VnCL. CL aussi déformée dans la Vn, en cours de parallélisation. Veinules à CB recoupée par celles à CL perpendiculairement qui semblent arriver tardivement p.r. à la carbonatation.	Bcp de titanites (remplacées par OX) dans la lame. Encore idio à hypidiomorphes. Inclusions fluides secondaires dans le QZ. Zones d'altérations en AB+HM plus forte, de couleur brunâtre.

Série	LMP	% AB	%QZ	%PG	%FP-K	%CHL	%EP	%PY	%MAG	%HM	%OP	%SPH	%AMP	%CB	%TOTAL	Au (ppb)	%Alt, AB	Minéralisation	Déformation?
B11	59-171	40	20	15	Tr.	5	0	3	1	Tr.	4	1	0	15	100	833	très forte	oui	non
B12	62-448	32	20	20	0	8	0	2	1	2	5	Tr.	0	15	100	1143	faible / très forte	oui	non
B13	BVA-01	25	5	50	1	2	1	0	1	2	3	2	10	1	100	2	forte / très forte	oui	non
B14	BVA-02	44	5	32	0	2	5	0	2	3	5	2	2	3	100	1	forte / très forte	oui	non
B15	BVA-03	51	7	25	0	2	5	1	1	3	5	1	1	3	100	17	très forte	oui	non
B16	BVA-24	45	10	15	0	7	13	Tr.	2	6	8	Tr.	0	2	100	1	très forte	oui	non
B17	BVA-26	45	8	15	0	10	4	0	8	4	12	1	0	5	100	1	très faible	oui	non
B18	TR-98-02-A-R8	20	40	30	0	3	0	1	2	Tr.	3	0	0	4	100	--	faible / moyenne	oui	non
B19	TR-98-02-A-R10	25	14	42	1	3	0	1	3	1	5	Tr.	0	10	99	--	faible / moyenne	oui	non

Série	LMP	Structure	Remarques
B11	59-171	Texture de brèche hydraulique, sinon veinules de CB-CL dans l'encaissant. Destruction mécanique seulement, fragments de PG avec macles dans matrice à Qz-PG-FP-CB.	Bcp de CB+PY+CL±OX en remplacement des ferro-mag dans la matrice. Sulfures généralement très fins (sulfuration?).
B12	62-448	VnCB-CL±Qz qui bréchifie l'encaissant. Sulfures associés à cet événement. Zone sans PY riche en OX : pas de BX/VnCB-CL. Juste en remplacement des masses de ferro-mag. 2 zones principales; 1-PY et 2-OX...à l'image de la lame BVA-06 : effets red-oxxy aux épontes des veines. Micro-VnCB qui recourent le tour, plus ou moins éparses dans les VnCC-CL-Qz.	Bonne proportion d'Ilm inclus dans le 3% d'HM. Même observée en bâtonnets, libres dans la matrice. Couleur gris clair entre la magnétite et l'hématite. PY peu riche en inclusions potentiellement Au...CL remplacé par BT ou SR (??); comme un entre-deux. CB et OX+++ en remplacement dans les ferro-mag; perte totale du protocristal. Albitisation très forte dans la partie à oxydes et moyenne à faible dans la zone à PY. peu d'HM dust.
B13	BVA-01	Englobement du fragment mafique par la matrice feldspathoïde. Minéraux opaques associés aux grains d'augite amphibolisés. Pas de déformation observée, Amphibole magmatique? Probablement car retrouvée de façon intergranulaire au FP et non-déformée. Possiblement de l'Hornblende verte ou de l'actinote (produit du métamorphisme)	Lame mince supposée être fraîche, sans altération rosâtre, mais présence dans les grains d'albite. Beaucoup de titanites fraîches observées et amphiboles en cours de CL. Inclusions fluides en faibles proportions dans la VnQZ; comparé à très riches dans les zones minéralisées. Seulement quelques traînées ou inclusions primaires visibles au 50x.
B14	BVA-02	Apparition d'une forte proportion de Veinules de CB qui traversent toute la lame mince, jumelées à des carbonates à grains fins en matrice. Les veinules forment un réseau de CB et de chloritisation entre les grains d'amphibole (maintenant plus altérées en CL, OX et en cours de BT?). Des micro-VnCL recourent les VnCB, et ce dans tous les sens (pas d'orientation générale). Pas de déformation générale, orientation préférentielle des phénocristaux mineure.	Beaux grains de FP sans macles, mais albitisés fortement. Grains de PG présentent de belles macles et une zonation généralement développée. La plupart des grains de PG ont des bordures grugées/arrondies avec des grains interstitiels de QZ/FP xénomorphes, parfois recristallisés finement. On observe également des grains de sphène idio à subidiomorphes non-déformés, associés grains d'épidote chloritisés. Il semble y avoir un début de biotisation dans certains grains plus chloritisés. Bonne proportion d'ILM (1%)
B15	BVA-03	Zone à PY: Veinules de Chlorite qui traversent toute la lame mince, jumelées à des carbonates à grains fins, en texture pseudo-BX. Épontes des veinules enrichies en Chlorite, et la fin en carbonates bien injectés dans la matrice de FP. Zone à OX : moins de pseudo-BX à CL, matrice plus entière.	Qz interstitiel qui résorbe les bordures des FP en contact. Parfois perthites interstitielles. Beaucoup d'inclusions opaques dans les grains d'amph fortement CL/CB±. Beaucoup d'oxydes en amas, voir en remplacement de l'amphibole et de certains grains de chlorite. PY associée à VnCL+CB
B16	BVA-24	Pas de déformation. Enlignement préférentiel, ou plutôt faible tendance des FP à se paralléliser. Couronnes de CHL autour des grains d'amph. (aussi CHL+). Plusieurs veinules et microveinules de CHL qui recourent la lame mince et qui développent une chloritisation dans les grains d'EP. Quelques endroits présentent un début de biotisation.	Beaucoup plus de minéraux opaques que dans les autres lames minces. Quelques CB dans la zone plus CHL+. PY dans la zone riche en CL. Masses de SR dans les FP albitisés. Micro-XRF? Inclusions fluides secondaires IF 1-2-3 dans grains de QZ dans la zone à alt. hydrothermale plus prononcée. Corrélation entre SR et Zone plus altérée.
B17	BVA-26	2 zones : Zone1: Encaissant, pas déformé, avec augmentation de la proportion en carbonates vers le domaine 2. PG bien mactés, très légèrement déformés, avec CL qui remplace les ferro-mag. Zone2: Zone bréchique/à granulo très fine, avec CL-QZ-OX (Beaucoup de veinules d'oxydes.) majoritairement. Morceaux de PG non-déformés et non-altérés.	MEGA SPH sur la lame mince à 2 endroits....bon pour datation LA-ICP-MS? -> En plus, la plupart des minéraux opaques semblent remplacer des SPH. Les minéraux opaques sont en remplacement et disposés de manière interstitielle et en micro-veinules. Altération en séricite (vert pomme)? (certain % de CB pourrait être en fait de la séricite dans les bordures de grain d'EP)
B18	TR-98-02-A-R8	VnQz qui recoupe la lame mince; associée à une silicification aux épontes. CB aussi dans les épontes, mais très faible empreinte. VnQz tardives qui recourent la principale: on aperçoit des zones riches en inclusions fluides, résultats du recouplement de la Vn, associée probablement à la silicification des épontes. On voit des PG recouverts par la Vn principale qui pourraient être recollés et ne faire qu'un (événement de fracturation)	Inclusions fluides secondaires dominées par IF type3 (Liq-Gaz). CL en cours de BT.
B19	TR-98-02-A-R10	Bréchification par VnQz-CC-OX. Gtf dans zones plus bréchiques, Vn principale au centre reliée à la présence des sulfures, à proximité dans les zones de silicification. Macles de certains PG très légèrement déformées près de la VnQz.	Beaucoup de CB en inclusion dans les phénocristaux de FP. Très beaux cristaux de CC prismatiques, même en matrice. Quelques masses de CB à gtf associées aux zones à Qz très fin. Inclusions fluides secondaires de type IF 1-2-3.

Série	LMP	% AB	%QZ	%PG	%FP-K	%CHL	%EP	%PY	%MAG	%HM	%OP	%SPH	%AMP	%CB	%TOTAL	Au (ppb)	%Alt, AB	Minéralisation	Déformation?
C1	65-49,5	?	45	?	0	5	0	2	1	2	5	0	35	10	100	495	nulle	oui	non
C2	65-128,2	1	20	30	0	5	0	7	1	1	9	0	0	35	100	4656	faible / moyenne	oui	non
C3	65-205,5	2	40	20	0	1	0	1	Tr.	5	2	0	0	35	100	1275	faible	oui	légère
C4	65-412,5	3	20	55	0	1	0	5	Tr.	Tr.	6	0	0	15	100	237	moyenne	oui	oui
C5	66-210,8	1	15	49	0	10		8	1	1	10	0	0	15	100	2500	faible	oui	légère
C6	66-286	1	15	38	0	2	0	1	0	5	4	0	0	40	100	689	faible	oui	oui
C7	66-318,2	10	10	50	0	3	0	3	1	2	6	0	0	21	100	807	faible / moyenne	oui	non

Série	LMP	Structure	Remarques
C1	65-49,5	VnCC-QZ-PY // AC qui recoupent un protolithe non reconnaissable, à granulométrie ultra-fine, equigranulaire, recristallisée(?).	Amphibole (HB brune???) qui se fait chloritiser dans la matrice. Quartz intersitiel et en masses (veines perpendiculaires à la surface de la lame mince?). VnQZ-CC, avec CC au centre de la veine (tardif?). PY associée aux zones enrichies en Qz-CB. Très peu d'inclusions fluides....primaires, minuscules, très disperses, rares traînées d'inclusions secondaires.
C2	65-128,2	VnQz et VnCC-QZ recoupe des veinules de CL biotitisées. CB pervasive, en veinules ou amas. Même en inclusions dans les FP. Texture à granulométrie très fine, nature des grains varient entre Qz et FP. Critaux prismatiques de CB dans la matrice, en inclusions ou en veinules. Chronologie : 1- veinules de Qz perp. AC 2- VnCL//AC 3-VnQz-CC et VnCC pervasives	Beaucoup d'HM cristalline libre associée au Veines du centre. Riche en inclusions secondaires (très petites). Même si bloc assez rosé, peu d'albite, plus une martitisation dans l'encaissant.. Ce qui semble verdâtre dans le bloc semble être les zones à FP très fins, les zones rosées sont plus riches en phénocristaux de FP AB±CB. Le bleuté est du Qz sur le bloc, pas de la fluorite.
C3	65-205,5	Zone beige : pseudo à BX à CB+Qz±CL. On y aperçoit des grains de Qz à extinction roulante (déformation induite?). Les FP sont recristallisés, mais contiennent toujours des mâcles. VnQz-CL±CB avec PY et Au(?) à texture bréchique; matrice à CL noire/ FP gtf.	HM cristalline cause la couleur très rougâtre des FP; zones plus grisâtres = matricce très fine de Qz-CB+FP non déformés. Beaucoup d'IF secondaires associées à des fractures, mêmeans les FP (associé à forte hématisation).
C4	65-412,5	PG kinkés en majorité, mâcle très bien définies; peu d'altération, sinon moyenne. Bréchification par CB-QZ pervasif qui fracture les phénocristaux de PG.	Altération pervasive pseudo-BX à QZ-CB. Dans ce cas-ci, AB qui rosit plutôt que HM?!?
C5	66-210,8	VnPY avec Au libre(?) ou dans des fractures de PY. Au (?) à aspect un peu poreux, sans forme distincte. Quelques mâcles de PG légèrement déformées.	Altération en séricite brunâtre sur 10% des PG, surtout à proximité des VnPY. Les Vn sont bordées de Si+CB pervasive, qui bréchifie l'encaissant rose pâle (semblable à celle du C4)
C6	66-286	BX à Cb-PG-Qz. Kinks dans les PG. PG très fracturés par CB pervasive. Grains de Qz déformés en train de re-cristalliser dans la brèche. (Fragment de l'encaissant)- forte déformation : Proximité de failles sur les cartes	Fragments de CB à grains fins sur la lame mince. FP et Qz matriciels franchement détruits par déformation intense. Très forte proportion d'hématite en inclusions cristalline et dans la brèche de CB!!!, qui donne la couleur rouge à la roche.
C7	66-318,2	Pseudo-BX à CB-Qz, entre les ferro-Mag complètement remplacés par CB/±CL et OX. Un peu de CL noire accompagne les veinules de BX.	CL en cours de BT+ à certains endroits (mineur). Un faible % de PG séricitisés (altération brunâtre intense); mais l'AB domine l'alt. des FP dans ce cas. Inclusions fluides pseudo-secondaires de type Liq ou Liq-Gaz, rarement gazeuse.

LM_BVA	%AB	%QZ	%PG	%Perth	%CHL	%EP	%PY	%MAG	%OP	%SPH	%PX	%AMP	%CB	%TOTAL	Au (ppm)	%Alt. AB	Minéralisation	Déformation?
1	40	5	15	20	2	1	0	2	3	2	0	11	1	100	0,002	Fort	Non	Non
2	44	9	10	21	2	5	0	0	3	2	0	2	2	100	0,001	Fort	Non	Non
3	53	7	15	10	2	5	0	0	3	1	0	1	3	100	0,017	Très fort	Non	Non
4	48	8	15	11	1	5	3	1	4	0	0	0	8	100	0,285	Fort	Oui	Peu
5	4	15	15	10	0	0	5	1	5	0	0	0	51	100	0,117	Faible	Oui	Non
6	56	10	5	6	0	10	2	1	3	0	0	0	10	100	1,875	Très fort	Oui	Non
8	48	15	10	10	4	8	0	0	2	1	0	0	2	100	0,005	Fort	Non	Peu
9	40	15	7	3	10	2	0	0	3	0	0	0	20	100	0,005	Très fort	Non	Non
10	35	8	1	1	20	3	0	0	2	0	0	0	30	100	0,044	Très fort	Non	Non
11	40	5	5	6	19	1	7	2	9	0	0	0	15	100	0,476	Fort	Oui	Non
11B	40	6	3	5	20	3	6	2	8	0	0	0	15	100	0,476	Moyen	Oui	Non
12	55	10	9	2	3	4	5	2	7	0	0	0	10	100	0,143	Fort	Oui	Peu
13	67	10	6	4	5	3	0	0	2	1	0	0	2	100	0,002	Fort	Oui	Non
14	62	3	15	5	4	5	0	0	3	2	0	0	1	100	0,003	Très fort	Non	Non
15	62	15	8	2	2	1	0	0	2	2	0	5	1	100	0,002	Très fort	Non	Non
16	53	10	8	3	12	3	0	0	2	2	0	0	7	100	0,049	Moyen	Non	Non
17	60	10	5	3	8	3	0	0	3	0	0	0	8	100	0,026	Très fort	Non	Peu
18	30	10	8	2	17	17	0	7	10	0	0	0	6	100	0,098	Moyen	Non	Peu
19	33	35	6	3	12	0	0	0	1	0	0	0	10	100	0,159	Moyen	Non	Peu
20	54	16	7	4	4	0	2	1	3	0	0	0	12	100	0,332	Fort	Oui	Peu
21	47	15	10	10	10	3	0	0	2	1	0	0	2	100	0,003	Fort	Non	Non
22	60	10	12	3	1	1	0	0	2	1	0	10	0	100	0,001	Très fort	Non	Non
23	50	8	6	2	11	15	0	0	3	1	0	0	4	100	0,002	Très fort	Non	Non
24	45	10	13	2	7	13	0	0	8	0	0	0	2	100	0,001	Très fort	Non	Non
25A	25	7	10	5	10	40	0	0	1	1	0	0	1	100	0,003	Très fort	Non	Oui
25B	35	20	20	9	10	1	0	0	2	1	0	0	2	100	0,001	Moyen	Non	Non
26	45	8	13	2	10	4	0	0	12	1	0	0	5	100	0,001	Très fort	Non	Non
27	25	35	10	0	10	7	0	0	7	1	0	0	5	100	0,001	Très fort	Non	Non
28	0	20	10	0	20	0	0	0	15	0	0	34	1	100	0,001	Très fort	Non	Non
V3B	0	10	10	0	15	25	0	0	8	0	0	30	2	100	0,003	Très fort	Non	Peu

LM_BVA	Structure	Remarques
1	Englobement du fragment mafique par la matrice feldspathoïde. Minéraux opaques associés aux grains d'augite amphibolisés. Pas de déformation observée, Amphibole magmatique? Probablement car retrouvée de façon intergranulaire au FP et non-	Lame mince supposée être fraîche, sans altération rosâtre, mais présence de séricitisation bien développée dans les grains d'albite (ou de plagioclases). Le % de PG est associé au fait qu'il est difficile de déterminer si c'est vraiment de l'albite qui est observée. Le
2	Veinules de Chlorite qui traversent toute la lame mince, jumelées à des carbonates à grains fins. Les veinules forment un réseau de chloritisation entre les grains d'épidote. Pas de déformation générale, orientation préférentielle légère mais mineure.	Beaux grains de FP sans mâcles, mais séricitisés fortement. Grains d'albite présentent de belles mâcles et une zonation généralement développée. La plupart des grains d'albite ont des bordures grugées/arrondies avec des grains interstitiels de QZ/FP xénomorphes, parfois recristallisés finement. On observe également des grains de sphène idio à subidiomorphes non-déformés, associés grains d'épidote chloritisés. Il semble y avoir un début de biotisation dans certains grains plus chloritisés.
3	Veinules de Chlorite qui traversent toute la lame mince, jumelées à des carbonates à grains fins. Épointes des veinules enrichies en Chlorite, et la fin en carbonates bien injectés dans la matrice de FP.	Qz interstitiel qui résorbe les bordures des FP en contact. Parfois perthites interstitielles. Beaucoup d'inclusions opaques dans les grains d'épidote. Beaucoup d'oxydes en amas, voir en remplacement de l'épidote/chlorite
4	Zone à Micro/veinules de QZ±CB avec entre elles, concentration de QZ et des FP recristallisés (QZ avec Points triples). Orientation préférentielle légère, mais avec une perte de celle-ci dans la zone à veinules de QZ±CB. Veinules de CB semble être le dernier épisode de recoupement.	Lame mince Polie (Syenite Si+ et CB+). Pas de sphène, mais reliques remplacées par magnétite; pour un total de <1% de SPH. Beaucoup de % de CB en remplacement des EP et dans les micro/veinules reliant les grains d'EP. Plusieurs zones à FP semblent instables (pas de mâcle, bordures sub-arrondies, mais possible de déterminer que ce sont des FP/PG- Biaxes). ALTERATION des FP plus brunâtre.
5	Texture granulaire avec VnQZ millimétriques qui recoupent toute la lame mince, avec des zones à concentration de QZ sous forme d'agglomérations à grains grossiers associé au FP présents dans la lame mince.	Lame mince polie. Bloc de V3B carbonaté+++ (CB invasive). PY très fine idio à hypidiomorphe avec inclusions de MAG(?)/Gangue, et bordures sub-arrondies. La minéralisation est associée à la carbonatation uniquement, sinon entraîné par les VnQZ. Difficile de déterminer si FP ou PG dans matrice, grains très fins.
6	Veines de Qz parallèles au corridor de minéralisation. Injection de CB (réseau) dans la zone moins enrichie en PY. La magnétite est l'oxyde qui est concentré en dehors du corridor de minéralisation, alors que la PY se concentre dans un corridor central à la lame mince. La présence de silicification semble contrôler la présence du sulfure. La PY est idio à hypidiomorphe, et contient des inclusions de MAG et de gangue. Légère orientation préférentielle, qui se dérobe dans la zone à silicification plus développée.	Lame mince polie. Traces de muscovite (?) ou d'amphibole à très haute biréfringence dans un secteur confiné. Inclusions de magnétite dans ces grains. Plus d'EP dans la lame mince, visible directement sur la lame.
8	Veines de CB tardives (recoupant les minéraux magmatiques) associées à des agglomérations de Qz (épointes - interstitiel aux grains). Texture oïcristalline avec phénocristaux de FP dans perthite (zones particulière)...Les phénocristaux de FP sont souvent orientés de façon préférentielle, avec un léger plissement apparent. Certains grains de minéraux opaques sont bréchifiés par la chloritisation qui rejoint les minéraux mafiques. Le QZ présente parfois des jonctions triples, mais seulement en bordure des VnCB.	FP très bien zonés, avec perthites aux bordures ou du QZ. Inclusions de minéraux opaques dans les grains d'épidotes (souvent chloritisés).
9	Contact d'une Brèche à CHL+CB.. Minéral obscure à haute (bi)-réfringence associé aux opaques en remplacement de l'épidote (avec chlorite). VnCB pénétrant la matrice (processus de bréchification en amorce)	Chlorite ferrique (bleutée) en remplacement de l'épidote et constituante principale de la matrice bréchique avec les CB. CB aussi en remplacement dans les grains d'épidote. Ces grains d'EP contiennent aussi des inclusions de minéraux opaques. Brèche non-destructive, elle semble arracher des grains seulement.
10	Dans la brèche à CB+CHL. Bréchification en CB+CHL, mais non-destructif. Minéral brunâtre en réaction avec les FP et la CHL/CB. QZ et/ou FP associés aux bordures de phénocristaux de FP. Qz légèrement fracturé ou recristallisé.	Minéral d'altération brunâtre superposé à la chlorite dans l'EP. Grains de SPH complètement remplacés par des minéraux opaques (MAG?)

11	Brèche à CHL+CB. PY concentrée dans la matrice, mais aussi libre avec la magnétite dans les zones à FP (agglomérations de phénocristaux).	Lame mince polie. PY fine à moyenne idio à subidiomorphe avec inclusions de CPY. MAG en remplacement de la PY parfois, et d'autres où elle est en inclusions. Traces minimes de CPY, en association avec la PY ou libre dans les FP, souvent xénomorphe. La MAG est associée aux sulfures mais aussi libre dans la matrice et dans les zones à FP. Traces de rutile. Pas d'EP (Faible traces)!
11B	Brèche à CHL+CB+SR sous forme de chenaux plus riches en séricite. PY concentrée dans la matrice, mais aussi libre avec la magnétite dans les zones à FP (agglomérations de phénocristaux).	Lame mince polie. PY en veinules et libre dans la matrice de brèche. PY associée à MAG (en remplacement de la PY et du sphène). PY idio à xénomorphe, fine à moyenne. PY en inclusion dans les grains d'EP chloritisés et qui se font remplacer progressivement par les CB. Certains grains de FP semblent recristallisés légèrement, tout comme certains grains de QZ à points triples le long des veinules de CB. Des veinules de CHL parcourent les bordures de grains.
12	Brèche à QZ+CB qui arrache des grains de FP dans la matrice de la roche hôte. QZ et CB à GTF dans la matrice bréchique, avec concentrations de sulfures et de magnétite. VnPY+MAG+CB+QZ qui traversent la lame. Les grains compris dans la partie bréchifiée sont complètement recristallisés (ou en cours de recristallisation). Certaines veinules de chlorite sont perpendiculaires et recourent la matrice de bréchification (événement postérieur).	Py associée à des zones à CB+CHL, mais aussi libre dans la matrice de la roche hôte. Les plus gros grains de PY sont toutefois associés à l'événement de bréchification.
13	Pas de déformation, FP bien maclés et orienté de manière préférentielle. EP remplacée par CHL+CB. Veinules de CB. Par endroits, processus de faible bréchification par veinules de QZ+CB.	Texture Lépidoblastique (comme toutes les autres lames minces). Altération rosâtre des FP...granulométrie très fine de l'altération (SR?). Qz et perthites interstitiels (parfois perthites englobe plusieurs grains). Quelques grains de QZ à extinction roulantes (Déformation locale?)
14	Structure oïkocristalline avec perthite interstitielle et QZ interstitiel. FP plus ou moins orientés parallèlement et extrêmement bien zonés. Quelques microveinules de CB traversent la lame mince, mais elles sont tardives et mineures. Grains d'épidote plus ou moins intacts et d'autres complètement chloritisés. Ceux complètement chloritisés commencent à être altérés en BT.	Inclusions de minéraux opaques récurrentes dans les minéraux mafiques. Sphène aussi associé aux grains d'épidotes et aux minéraux opaques. Quelques traces de rutile, souvent en inclusions minuscules dans les grains de FP
15	Structure oïkocristalline avec perthite interstitielle et QZ interstitiel. FP plus ou moins orientés parallèlement et extrêmement bien zonés. Grains d'amphiboles légèrement à bien chloritisés avec des inclusions de minéraux opaques. Association rapprochée des sphènes avec les minéraux mafiques. Aucune déformation et amphiboles avec mâcles bien développée (magmatique?)	Présence d'un fragment basaltique épidotisé et chloritisé avec une grande concentration de minéraux opaques. Quelques grains de CB aperçus en périphérie des amphiboles (HB). Grains rougeâtre dans presque tous les feldspaths mais très fins...RT ou HEM?
16	Structures de bréchification assez bien développée. Matrice de brèche riche en CB et CHL avec opaques	Hématite développée autour des minéraux opaques et en inclusions dans les FP altérés. Grains plus fréquents que dans les autres lames (à vérifier dans les autres lames minces). CB bien maclés. Minéraux opaques: possiblement de la PY associée à l'événement de brèche et de la MAG en remplacement dans les minéraux mafiques.
17	Déformation seulement autour du fragment mafique. Quelques veinules de CHL+CB qui présente une micro-texture bréchique. Peu de fragments de FP majeurs rencontrés. Minéraux opaques rencontrés de manière interstitielle et concentré dans les zones mafiques de la lame mince.	L'EP est complètement chloritisée et remplacée en CB. Peu de grains d'EP francs, tous dégradés. QZ et PG interstitiels. Encore des inclusions d'HEM dans les FP altérés.
18	Lame mince ayant pour but de caractériser un fragment à concentrations de magnétite concentriques. Beaucoup d'ILM associée à la MAG, et HEM associée à MAG en LPS. Beaucoup moins en inclusions dans les FP. Quelques PG légèrement déformés (mâcles).	Lame mince polie. Uniquement de la magnétite, hors zone à PY. FP englobant le fragment (Syn-Magmatique)
19	Beaucoup de veines de QZ et de QZ interstitiel. Zones à texture oïkocristalline (avec perthite et FP). Réseau de CHL+CB+HEM qui fracture bien la roche. Les veines de QZ recourent la chloritisation/carbonatation.	Beaucoup d'HEM dans les veinules de QZ/CB et peu en inclusions. EP complètement remplacée par CB et CHL±OP
20	Quelques grains de Qz et de PG légèrement déformés. Texture oïkocristalline par domaines avec perthite et FP, mais lépidoblastique en général. CB en veinules avec CHL, mais semble interstitiel plutôt qu'en veinules. Veine de QZ importante qui ne semble pas être reliée directement avec l'épisode de minéralisation car la PY semble se faire arracher et transporter dans la veine.	Lame mince polie. Association directe entre PY et MAG, MAG/ILM+HEM. PY idio avec inclusions de MAG, mais pas d'ILM. Concentrations de MAG avec contacts arrondis avec ILM. Très disséminé, mais PY grossière, peu de fines. CHL associée aux bordures des grains de PY. Beaucoup de CB.

21	Pas de déformation, FP bien mâclés et orienté de manière préférentielle. EP remplacée par CHL+CB. Par endroits, texture oïkocristalline avec perthite et PG. QZ interstitiel sinon, avec extinction roulante.	Minéraux opaques en assemblage avec le SPH et l'HEM. Remplacement de SPH par opaques et remplacement d'EP par CHL/CB -> parfois début de biotisation.
22	Pas de déformation. Enlignement préférentiel des FP sur la lame mince, de même que pour la plupart des amphiboles prismatiques. Texture oïkocristalline générale sur la lame mince (perthite interstitielle et FP zonés et séricitisés). Présence d'AMP mâclées non-déformées et quasi-inaltérées. Quelques zones à QZ interstitiel, mais plus souvent ce sont des PG/perthites qui dominent entre les FP.	HEM en inclusion de façon fréquente et associée aux oxides+SPH. FP très zonés et complètement séricitisés (ALT. Très Forte). Quelques grains moins altérés présentent encore des mâcles, mais sinon il est difficile de les apercevoir comme il faut.
23	Pas de déformation. Seulement un enlignement des FP et variation de cet enlignement au contour du fragment mafique épidotisé et chloritisé. Quelques veinules de CHL parallèles à une veine de CHL majeure. Les veinules de CHL sont tardives, recoupant le fragment et la syénite. Dans le fragment, la veinule de CHL concentre les minéraux opaques Texture à aspect oïkocristalline (perthite et QZ vs. FP)	Minéraux opaques en assemblage avec le SPH et l'HEM. Remplacement de SPH par opaques et remplacement d'EP par CHL
24	Pas de déformation. Enlignement préférentiel, ou plutôt faible tendance des FP à se paralléliser. Couronnes de CHL autour des grains d'EP (aussi CHL+). Plusieurs veinules et microveinules de CHL qui recoupent la lame mince et qui développent un chloritisation dans les grains d'EP. Domaine fortement chloritisé et EP+ qui semble être un fragment de basalte riche en PG/FP. Quelques endroits présentent un début de biotisation.	Beaucoup plus de minéraux opaques que dans les autres lames minces. Quelques CB dans la zone plus CHL+.
25A	Déformation concentrée dans le fragment par des petites shear zones microscopique, mais il y a quand même réalignement (de la chlorite -> structure chloritisée) dans le grain près de la structure. Ces petites zones parallèles de déformation sont transversales à la lame mince, mais ne déforment pas la syénite. Les épontes de ces shear zones sont fortement épidotisées et chloritisées. Quelques-une de ces structures sont reprises par un autre mineure qui vient se connecter à environ 50° pour se paralléliser à l'autre (micro-)structure. FP bien altérés et parfois zonés et bien alignés dans une direction préférentielle. Texture oïkocristalline avec perthite et QZ interstitiel.	Grains d'AMP fortement épidotisés et en partie chloritisés (interne et couronne de CHL externe). Minéraux opaques en remplacement dans les grain (reliques) de SPH et les grains épidotisés. Dans le fragment, les minéraux opaques sont concentrées dans les structures déformantes et dans leurs épontes. Léger début de BT dans certains grains de CHL, surtout aux bordures des grains.
25B	Veines de QZ ou fractures ouvertes multiples sur la lame mince.. Veinules de carbonates, de CHL+OP. Structure oïkocristalline ou glomérophyrique par endroits.	Carbonates en remplacement dans les grains épidotisés avec Chlorite en cours de biotisation.
26	Structure granulaire avec une très forte altération en séricite/chlorite. Beaucoup de veinules d'oxydes.	MEGA SPH sur la lame mince à 2 endroits....bon pour datation LA-ICP-MS? -> En plus, la plupart des minéraux opaques semblent remplacer des SPH. Les minéraux opaques sont en remplacement et disposé de manière interstitielle et en micro-veinules. Altération en séricite (vert pomme)? (certain % de CB pourrait être en fait de la séricite dans les bordures de grain d'EP)
27	Veinules de CB qui freine sporadiquement leur progression au contact du fragment. Concentration importante de Qz au contact et de façon interstitielle partout sur la lame mince.	Fragment chloritisé et épidotisé, complètement recuit (recristallisation du Qz en points triples). Quelques veinules de CB on réussi à traverser de façon timide, avec un enrichissement en CHL...certaines de celles-ci présentent des zones à biotisation légère.
28	Texture granoblastique avec quelques phénocristaux de PG altérés. QZ recristallisé et très forte concentration d'amphiboles en aiguilles. Quelques veinules de Qz/CB.	Très amp+++....Bloc de V3B recristallisé et très altéré. Beaucoup de minéraux opaques interstitiels et en remplacement de SPH.
V3B	Texture granoblastique avec quelques phénocristaux de PG altérés. QZ recristallisé et très forte concentration d'amphiboles en aiguilles. Quelques veinules de Qz/CB.	Très amp+++....Bloc de V3B recristallisé et très altéré. Beaucoup de minéraux opaques interstitiels et en remplacement de SPH. Bloc échantillonné en périphérie (NW de l'affleurement) Si+ et magnétique.

Annexe B – Analyses roche totale

Échantillon	SAMPLE	SiO2%	Al2O3%	Fe2O3%	CaO%	MgO%	Na2O%	K2O%	Cr2O3%	TiO2%	MnO%	P2O5%	SrO\$	BaO%	C%	S%	LOI	Total
BVA-01	0938451	63,1	16,65	4,1	4,23	1,95	7,93	0,65	0,01	0,46	0,08	0,15	0,14	0,1	0,27	0,03	1,56	101,11
BVA-02	0938452	60	14,9	3,66	5,28	1,54	7,81	0,39	0,01	0,41	0,08	0,15	0,11	0,09	1,15	0,03	4,97	99,4
BVA-03	0938453	61,5	17,1	4,27	2,62	2,19	7,1	1,82	0,01	0,46	0,06	0,17	0,05	0,09	0,53	0,09	3,3	100,74
BVA-04	0938454	62,6	13,9	3,24	3,61	1,62	8,06	0,25	0,01	0,35	0,06	0,21	0,09	0,04	1,4	1,36	4,82	98,86
BVA-05	0938455	49,4	10,8	5,52	8,62	4,94	6,5	0,15	0,03	0,48	0,13	0,08	0,15	0,03	3,64	1,92	11,2	98,03
BVA-06	0938456	59,9	14,9	3,36	4,25	1,62	6,86	2,32	0,01	0,39	0,07	0,15	0,04	0,09	1,62	0,77	5,53	99,49
BVA-08	0938457	62	16,45	3,94	3,1	1,85	5,73	2,71	0,01	0,44	0,06	0,15	0,09	0,12	0,53	0,03	3,28	99,93
BVA-09	0938459	58,8	16,05	3,45	4,85	1,84	5,83	2,92	0,01	0,43	0,08	0,16	0,07	0,12	1,03	0,03	4,78	99,39
BVA-10	0938460	57,8	14,8	3,58	7,17	2,03	5,51	2,25	0,01	0,4	0,11	0,15	0,06	0,08	1,58	0,1	6,62	100,57
BVA-11	0938461	61,7	15,2	3,49	4,76	1,32	7,28	1,18	0,01	0,42	0,07	0,15	0,06	0,14	1,04	1,43	4,48	100,26
BVA-12	0938462	60,3	15,25	3,22	5,11	0,86	8,39	0,29	0,01	0,38	0,06	0,15	0,06	0,06	1,13	1,72	4,14	98,28
BVA-13	0938463	63,3	16,2	4,06	2,57	1,94	6,03	2,78	0,01	0,45	0,08	0,17	0,05	0,11	0,49	0,02	3	100,75
BVA-14	0938464	62,6	17,05	4,02	2,94	1,58	5,96	3,01	0,01	0,46	0,07	0,17	0,09	0,11	0,4	0,02	2,64	100,71
BVA-15	0938465	63,2	17,4	4,26	3,39	1,82	5,79	3,03	0,01	0,47	0,07	0,17	0,11	0,11	0,24	0,01	2,04	101,87
BVA-16	0938467	64,2	17,05	3,98	1,82	2,03	6,35	3,04	0,01	0,45	0,04	0,16	0,05	0,12	0,32	0,09	2,27	101,57
BVA-17	0938468	65,4	16,65	3,89	1,29	1,6	5,6	3,95	0,01	0,45	0,06	0,16	0,04	0,09	0,24	0,03	2,16	101,35
BVA-18	0938469	62,8	15,65	3,44	4,35	1,2	8,6	0,43	0,01	0,4	0,06	0,15	0,06	0,09	0,93	0,09	3,81	101,05
BVA-19	0938470	65,8	15,15	3,21	2,13	1,34	6,97	1,86	0,01	0,39	0,04	0,15	0,02	0,09	0,47	0,1	2,55	99,71
BVA-20	0938471	59,3	15,85	3,61	4,21	1,54	5,8	4,02	0,01	0,42	0,07	0,16	0,04	0,09	0,91	0,19	4,08	99,2
BVA-21	0938472	65,3	17,05	3,73	1,62	1,57	6,24	3,17	0,01	0,43	0,05	0,16	0,07	0,13	0,2	0,03	1,93	101,46
BVA-22	0938473	63,2	17,15	4,24	3,51	1,92	5,87	2,83	0,01	0,46	0,08	0,18	0,13	0,11	0,01	0,01	1,08	100,77
BVA-23	0938474	61,4	16,4	4,28	3,04	2,29	5,85	2,38	0,01	0,47	0,07	0,16	0,09	0,1	0,45	0,01	3,11	99,65
BVA-24	0938475	63,1	16,85	3,75	2,1	1,84	6,12	3,02	0,01	0,43	0,05	0,17	0,06	0,09	0,37	0,01	2,91	100,5
BVA-25A	0938476	63,3	16,85	4,21	1,5	2,13	5,52	2,91	0,01	0,46	0,06	0,17	0,07	0,07	0,21	0,02	2,6	99,86
BVA-25B	0938478	65,6	14,7	3,55	2,31	1,54	7,88	0,31	0,01	0,37	0,07	0,14	0,06	0,1	0,46	0,03	2,76	99,4
BVA-26	0938479	62,9	14,05	4,67	5,2	1,82	7,21	0,62	0,01	0,49	0,07	0,12	0,08	0,08	1,07	0,02	4,65	101,97
BVA-27	0938480	68,2	14,55	2,33	3,82	0,48	7,42	1,04	-0,01	0,2	0,03	0,11	0,06	0,13	0,77	0,02	3,35	101,72
BVA-28	0938481	64,5	12,55	4,94	4,31	2,66	7,03	0,45	0,01	0,47	0,07	0,12	0,07	0,03	0,57	-0,01	2,55	99,76
V3B	0938482	62,9	13,45	5,54	3,87	2,98	7,16	0,74	0,01	0,51	0,07	0,12	0,06	0,02	0,42	0,01	2,19	99,62
L-TR-98-02-A-Lé	0938484	62,7	16,3	4,08	4,13	1,66	7,08	2,27	0,01	0,42	0,07	0,14	0,13	0,14	0,36	0,02	1,83	100,96
L-TR-98-02-A-Dyke	0938485	71	14,45	2,65	2,21	0,48	8,19	0,11	-0,01	0,22	0,04	0,05	0,05	0,1	0,47	0,03	2,22	101,77
L-BVB-01	0938487	61,8	16,05	4,93	3,8	3,61	5,55	2,82	0,02	0,47	0,09	0,17	0,11	0,11	0,12	0,01	1,7	101,23
L-BVB-13	0938488	72,1	13,4	3,11	1,87	0,98	3,88	4,69	0,01	0,21	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,01	0,34	100,78
L-BVB-14	0938489	64,2	17,05	3,63	4,69	1,61	4,97	2,3	0,01	0,39	0,06	0,11	0,09	0,1	0,03	0,01	0,97	100,18
L-53_84,45	0938490	63,4	16,95	4,49	2,69	1,72	6,98	3,11	0,01	0,43	0,08	0,14	0,1	0,12	0,09	0,02	1,13	101,35
L-59_140,6	0938491	60,4	17,35	5,66	5,01	2,13	6,11	2,53	0,01	0,53	0,09	0,2	0,17	0,13	0,04	0,01	0,75	101,07
L-60_337,5	0938492	59,9	14,7	7,33	3,84	3,59	3,78	2,23	0,01	0,65	0,09	0,15	0,03	0,04	0,72	0,02	5,31	101,65
L-61_206,9	0938493	63	17,15	4,25	3,96	2,05	5,9	2,91	0,01	0,45	0,08	0,15	0,15	0,11	0,07	0,01	1,26	101,43
L-62_7,8	0938494	62,2	16,65	4,15	3,88	1,69	9,18	0,33	0,01	0,44	0,07	0,15	0,12	0,12	0,48	0,03	2,56	101,55
L-63_61	0938495	61,6	16,3	4,53	4,33	1,72	9,48	0,3	0,01	0,45	0,08	0,16	0,11	0,12	0,47	0,03	2,11	101,3
L-63_332,7	0938496	63,4	16,15	3,95	3,97	1,49	7,37	2,57	0,01	0,39	0,07	0,13	0,09	0,12	0,46	0,03	2,19	101,9
L-66_79,5	0938497	61,9	14,9	7,25	3,92	2,29	3,46	2,15	0,01	0,57	0,08	0,11	0,02	0,05	0,63	0,81	4,4	101,11
L-65_34,85	0938499	61,7	15,45	6,01	6,1	1,49	4,04	2,1	0,01	0,55	0,1	0,13	0,04	0,05	0,46	0,33	3,09	100,86

Échantillon	SAMPLE	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Pr
BVA-01	0938451	899	50,1	70	0,4	1,69	0,88	1,22	25,1	2,84	4	0,34	23,1	0,14	4,9	25,6	6,67
BVA-02	0938452	833	43,3	50	0,88	1,4	0,76	0,96	24,1	2,4	3,6	0,27	21,2	0,13	4,7	22	5,65
BVA-03	0938453	829	49,4	50	1,88	1,57	0,82	1,18	26,3	2,86	3,9	0,31	25,7	0,11	5,5	27,7	6,95
BVA-04	0938454	333	39,8	60	0,32	1,55	0,67	1,01	22,2	2,68	2,9	0,27	18,6	0,08	3,9	21,4	5,33
BVA-05	0938455	239	173,5	220	0,17	3,29	1,4	2,94	17,7	6,89	3,6	0,57	80,8	0,21	8,3	81,2	21,7
BVA-06	0938456	794	42,7	50	0,97	1,38	0,69	0,96	22,4	2,37	3,2	0,26	20	0,1	4,5	22,2	5,64
BVA-08	0938457	1065	50	50	2,35	1,68	0,81	1,19	25,3	2,82	4,1	0,33	23,3	0,13	5,4	25,5	6,6
BVA-09	0938459	1055	49,2	50	3,07	1,67	0,82	1,1	22,7	2,69	3,4	0,28	23	0,11	5,3	25,9	6,55
BVA-10	0938460	705	42,4	50	1,62	1,63	0,88	1,08	21,8	2,47	3,5	0,31	19,7	0,13	4,6	21,3	5,53
BVA-11	0938461	1290	51,1	50	1,4	1,64	0,81	1,15	23,6	2,75	3,7	0,28	24,9	0,12	4,9	25,8	6,65
BVA-12	0938462	554	39,1	50	0,33	1,24	0,63	0,91	24,2	2,14	3,5	0,24	18,8	0,1	4,3	19,5	5,07
BVA-13	0938463	931	50	60	2,06	1,59	0,84	1,08	22	2,69	3,3	0,31	24,2	0,13	4,8	25,9	6,84
BVA-14	0938464	931	50,9	60	2,48	1,58	0,89	1,18	24,7	2,91	3,8	0,33	24,1	0,13	5,6	25,9	6,65
BVA-15	0938465	1000	55,1	50	2,87	1,81	1,03	1,28	25,6	3,23	4	0,37	25,6	0,13	5,5	28,7	7,32
BVA-16	0938467	1040	32,2	50	1,57	1,34	0,81	0,93	24,9	2,1	3,9	0,26	15,8	0,11	5	17,5	4,3
BVA-17	0938468	822	44,4	60	1,86	1,47	0,71	0,99	25,6	2,29	3,8	0,26	22,1	0,11	4,6	23,6	6,11
BVA-18	0938469	786	33,3	50	0,47	1,38	0,72	0,82	29,6	1,92	3,4	0,27	15,8	0,1	3,7	17,9	4,56
BVA-19	0938470	758	41,2	50	0,72	1,2	0,56	0,86	23,2	2,07	3,5	0,22	19,8	0,1	4,4	20,7	5,4
BVA-20	0938471	802	46,3	60	2,38	1,41	0,74	1,08	24,8	2,62	3,9	0,27	22,1	0,1	4,6	24	6,13
BVA-21	0938472	1195	51,7	60	2,6	1,62	0,81	1,28	23,9	2,51	4,1	0,29	25,3	0,12	4,8	25,4	6,72
BVA-22	0938473	988	52,3	50	1,98	1,77	0,9	1,26	25,6	2,84	4,1	0,34	24,7	0,14	5,1	27,3	7,12
BVA-23	0938474	882	53	80	1,92	1,87	0,91	1,35	25,2	3,21	3,9	0,34	24,4	0,13	5,1	27,7	7,23
BVA-24	0938475	797	49,7	60	2,48	1,29	0,58	1	23,6	2,38	3,8	0,24	23,5	0,09	4,5	25,8	6,66
BVA-25A	0938476	678	50,2	70	2,44	1,54	0,87	1,09	25	2,7	4,2	0,29	25,3	0,12	5,1	27	6,77
BVA-25B	0938478	904	42,8	60	0,24	1,41	0,7	1	26,3	2,25	3,2	0,27	20,4	0,1	3,9	21,9	5,57
BVA-26	0938479	707	32,3	70	1,7	1,63	1,01	0,79	19,9	2,21	3,3	0,33	15	0,14	3,9	15,3	4,19
BVA-27	0938480	1150	24	20	0,38	0,57	0,36	0,48	19,4	1,01	3,5	0,12	14,4	0,06	2,1	9,6	2,76
BVA-28	0938481	247	32,6	60	0,37	1,85	1,03	0,76	17	2,27	3,2	0,37	15,1	0,16	3,8	15,9	4,2
V3B	0938482	196	30,5	60	0,48	1,88	0,99	0,82	18,1	2,22	3	0,37	13,7	0,15	3,8	15,2	4,04
L-TR-98-02-A-Lé	0938484	1215	49,6	50	1,3	1,46	0,88	1,02	23,1	2,6	3,5	0,3	23	0,1	4,6	24,6	6,02
L-TR-98-02-A-Dyke	0938485	886	25	20	0,06	0,76	0,48	0,52	23,8	1,21	3,1	0,16	12	0,07	3,1	11,8	2,97
L-BVB-01	0938487	988	55	160	1,66	1,81	0,91	1,26	20,8	3,23	3,4	0,35	27,5	0,1	4,7	28,5	6,98
L-BVB-13	0938488	471	29,5	70	1,42	0,68	0,38	0,47	19	1,16	3,5	0,14	17,2	0,06	4,9	11,1	2,99
L-BVB-14	0938489	904	21,3	90	1,38	1,08	0,59	0,71	22,5	1,64	3,3	0,2	9,3	0,07	2,5	11,9	2,8
L-53_84,45	0938490	1040	51,3	50	0,91	1,48	0,87	1,05	23,5	2,65	3,6	0,31	23,5	0,1	4,8	25	6,3
L-59_140,6	0938491	1155	66,7	50	2,16	1,93	1,05	1,42	24,6	3,41	3,7	0,36	30,4	0,14	5,6	33,3	8,34
L-60_337,5	0938492	314	40,5	70	3,46	2,17	1,25	0,94	16,7	2,87	3,7	0,42	18,5	0,18	4,7	18,8	4,78
L-61_206,9	0938493	1025	53,9	50	1,98	1,64	0,82	1,03	22,2	2,74	3,7	0,33	24,8	0,12	5,1	25,9	6,64
L-62_7,8	0938494	1050	50,8	40	0,4	1,56	0,83	1,1	22,6	2,84	3,4	0,31	22,8	0,11	4,6	25	6,34
L-63_61	0938495	1075	52,2	50	0,1	1,49	0,88	1,08	23,3	2,74	3,8	0,3	23,9	0,11	4,7	25,7	6,47
L-63_332,7	0938496	1065	45,9	40	0,96	1,48	0,79	0,97	22,3	2,4	3,1	0,26	21,4	0,11	4,3	22,2	5,65
L-66_79,5	0938497	410	29,2	40	2,5	2,13	1,36	0,78	15,7	2,14	3,3	0,48	13,8	0,18	3,8	13,4	3,39
L-65_34,85	0938499	408	37,7	50	0,96	1,91	1,25	0,87	18,1	2,41	3,3	0,44	17,7	0,17	5	16,9	4,42

Échantillon	SAMPLE	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr	As	Bi	Hg	Sb	Se	Te
BVA-01	0938451	11,8	4,42	1	1210	0,2	0,36	3,23	-0,5	0,13	0,58	71	2	9,4	0,86	139	1,4	0,07	-0,005	0,13	-0,2	-0,01
BVA-02	0938452	7,2	3,58	-1	901	0,1	0,29	3,08	-0,5	0,09	0,55	67	3	7,6	0,78	126	0,1	0,04	0,005	0,08	-0,2	-0,01
BVA-03	0938453	52,7	4,46	-1	472	0,2	0,29	3,27	-0,5	0,12	0,73	81	14	9,1	0,83	141	0,8	0,05	0,005	0,09	-0,2	0,02
BVA-04	0938454	6,8	3,63	-1	725	0,1	0,3	2,34	-0,5	0,09	0,55	50	44	7,4	0,55	101	18,2	0,08	0,008	0,21	0,4	0,52
BVA-05	0938455	4,2	12,15	-1	1260	0,2	0,73	11,3	-0,5	0,2	2,93	77	79	15,3	1,36	148	28	0,07	0,011	0,26	0,4	0,49
BVA-06	0938456	45,1	3,69	-1	360	0,1	0,27	2,88	-0,5	0,09	0,79	75	30	7,3	0,75	111	2,8	0,07	0,012	0,11	-0,2	0,15
BVA-08	0938457	75,5	4,41	-1	761	0,1	0,34	3,46	-0,5	0,12	0,6	70	1	9	0,82	145	0,3	0,02	0,005	0,07	-0,2	-0,01
BVA-09	0938459	106	4,32	-1	559	0,2	0,32	2,97	-0,5	0,12	0,46	58	8	8,7	0,79	121	0,3	0,01	0,006	0,09	-0,2	-0,01
BVA-10	0938460	58,6	3,79	-1	505	0,1	0,35	2,78	-0,5	0,11	0,63	62	10	9,3	0,88	122	0,7	0,03	0,005	0,06	0,2	0,01
BVA-11	0938461	39,8	4,15	-1	509	0,2	0,33	3,09	-0,5	0,1	0,97	73	52	8,8	0,76	129	19,7	0,07	0,012	0,31	0,2	0,51
BVA-12	0938462	8,6	3,47	-1	463	0,1	0,26	2,79	-0,5	0,1	0,65	62	61	6,6	0,65	123	18,8	0,08	0,015	0,27	0,2	0,6
BVA-13	0938463	82,1	4,31	-1	442	0,1	0,31	2,72	-0,5	0,1	0,51	61	4	8,6	0,79	114	0,4	0,02	-0,005	0,08	-0,2	-0,01
BVA-14	0938464	77,3	4,31	-1	717	0,2	0,35	3,33	-0,5	0,13	0,66	68	3	9,4	0,83	130	0,6	0,11	-0,005	0,09	0,2	0,01
BVA-15	0938465	83,7	4,64	-1	927	0,2	0,35	3,01	-0,5	0,14	0,69	70	1	10,5	0,93	146	1,5	0,06	-0,005	0,13	-0,2	-0,01
BVA-16	0938467	67	3,18	1	404	0,1	0,25	3,11	-0,5	0,1	0,78	72	10	7,5	0,65	134	0,5	0,06	0,007	0,09	0,2	0,06
BVA-17	0938468	84,4	3,68	-1	339	0,1	0,28	2,88	-0,5	0,09	1,12	81	17	7,5	0,65	126	0,5	0,04	0,006	0,08	-0,2	0,01
BVA-18	0938469	8,7	3,39	-1	510	0,1	0,26	3,26	-0,5	0,11	1,37	123	13	7,5	0,72	115	0,3	0,03	0,029	0,07	-0,2	0,29
BVA-19	0938470	36,1	3,39	-1	205	0,1	0,25	3,33	-0,5	0,08	0,84	65	19	6,2	0,61	124	0,8	0,07	0,038	0,11	0,2	0,24
BVA-20	0938471	80,7	4,08	-1	345	0,2	0,3	3,45	-0,5	0,1	1,25	82	14	7,4	0,67	134	0,6	0,14	0,012	0,06	0,2	0,46
BVA-21	0938472	93,2	4,11	-1	618	0,1	0,28	3,32	-0,5	0,1	0,72	63	1	8,3	0,77	142	0,5	0,07	-0,005	0,1	-0,2	0,01
BVA-22	0938473	75,8	4,5	-1	1060	0,2	0,35	3,02	-0,5	0,11	0,54	71	-1	9,9	0,92	146	1	0,04	-0,005	0,09	-0,2	-0,01
BVA-23	0938474	64,2	4,64	1	784	0,2	0,38	3,3	-0,5	0,11	0,55	74	1	9,8	0,94	132	0,5	0,03	-0,005	0,07	0,2	0,01
BVA-24	0938475	98	3,95	-1	527	0,1	0,28	3,3	-0,5	0,08	0,53	54	3	5,9	0,59	132	0,2	0,02	-0,005	0,09	-0,2	-0,01
BVA-25A	0938476	94,1	4,48	1	575	0,1	0,3	3,35	-0,5	0,12	0,75	67	3	8	0,86	151	0,4	0,02	-0,005	0,07	-0,2	-0,01
BVA-25B	0938478	5,3	3,73	-1	526	0,1	0,25	3,39	-0,5	0,08	0,54	67	1	7,6	0,68	108	0,7	0,05	-0,005	0,08	0,2	0,01
BVA-26	0938479	15,6	2,58	-1	645	0,1	0,28	1,82	-0,5	0,12	0,75	84	1	8,8	0,94	119	0,4	0,01	-0,005	0,15	0,2	-0,01
BVA-27	0938480	15,7	1,5	-1	499	-0,1	0,11	4,27	-0,5	0,04	0,85	35	1	3,8	0,37	105	0,5	0,02	-0,005	0,09	-0,2	-0,01
BVA-28	0938481	9,3	2,71	-1	594	0,2	0,32	1,49	-0,5	0,14	0,54	85	1	10,4	1	111	0,6	0,01	-0,005	0,12	-0,2	-0,01
V3B	0938482	14,2	2,74	-1	528	0,2	0,33	1,64	-0,5	0,15	0,53	90	-1	10,4	0,97	106	1,8	0,08	-0,005	0,06	0,2	0,01
L-TR-98-02-A-Lé	0938484	31,6	4,12	1	1080	0,2	0,32	3,37	-0,02	0,13	0,57	81	5	7,9	0,73	130	0,8	0,08	-0,005	0,13	0,3	-0,01
L-TR-98-02-A-Dyke	0938485	1,4	2,23	1	423	0,2	0,14	2,95	-0,02	0,08	0,78	35	8	4,5	0,53	99	0,3	0,05	0,005	0,05	0,2	-0,01
L-BVB-01	0938487	65,9	4,89	1	912	0,2	0,35	3,34	0,03	0,11	0,8	81	1	9,7	0,74	128	0,8	0,02	-0,005	0,12	0,3	0,01
L-BVB-13	0938488	123	1,87	1	502	0,2	0,14	9,45	-0,02	0,07	1,33	40	1	3,9	0,45	93	0,3	0,01	-0,005	-0,05	0,2	-0,01
L-BVB-14	0938489	67,3	2,45	-1	831	0,1	0,19	1,42	0,02	0,09	0,7	67	2	5,8	0,49	121	0,4	0,02	-0,005	-0,05	0,3	-0,01
L-53_84,45	0938490	75,6	4,19	1	849	0,2	0,3	3,16	0,03	0,12	0,5	78	1	8,2	0,74	132	0,5	0,02	-0,005	0,06	0,4	-0,01
L-59_140,6	0938491	55,6	5,76	2	1505	0,3	0,41	3,06	0,02	0,15	0,89	85	2	10,3	0,97	151	1,4	0,06	-0,005	0,24	0,4	0,01
L-60_337,5	0938492	88,5	3,58	1	259	0,3	0,37	1,43	0,1	0,17	0,42	101	2	11,1	1,03	149	0,5	0,02	-0,005	0,08	0,5	0,01
L-61_206,9	0938493	85,7	4,42	1	1260	0,3	0,35	3,48	0,04	0,13	1,51	66	1	8,8	0,76	145	0,6	0,05	-0,005	0,07	0,2	0,01
L-62_7,8	0938494	6,4	4,32	1	1060	0,2	0,35	3,23	-0,02	0,12	0,65	84	-1	8,5	0,77	127	0,5	0,02	-0,005	0,1	0,3	-0,01
L-63_61	0938495	3,7	4,42	1	934	0,2	0,33	3,36	-0,02	0,13	0,6	92	4	8,5	0,8	141	0,5	0,03	-0,005	0,06	0,3	-0,01
L-63_332,7	0938496	42,2	3,78	1	821	0,2	0,28	3,61	-0,02	0,12	0,84	73	4	7,4	0,59	113	0,4	0,04	0,009	0,07	0,3	-0,01
L-66_79,5	0938497	57,7	2,64	1	201	0,3	0,37	1,72	0,07	0,22	0,49	99	3	12,8	1,34	120	2,1	0,1	-0,005	0,08	0,9	0,15
L-65_34,85	0938499	42,7	3,16	2	348	0,4	0,38	2,03	0,02	0,19	0,55	84	7	11,6	1,09	131	1,8	0,01	-0,005	0,08	0,7	0,01

Échantillon	SAMPLE	Au ppb	Ag	Cd	Co	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sc	Zn
BVA-01	0938451	0,002	-0,5	-0,5	11	10	-10	-1	29	7	5	85
BVA-02	0938452	0,001	-0,5	-0,5	9	18	20	-1	21	7	4	66
BVA-03	0938453	0,017	-0,5	-0,5	12	14	40	-1	24	6	5	103
BVA-04	0938454	0,285	-0,5	-0,5	8	6	-10	-1	21	9	4	34
BVA-05	0938455	0,117	-0,5	-0,5	18	13	-10	3	74	12	11	73
BVA-06	0938456	1,875	-0,5	-0,5	9	19	10	-1	20	7	4	55
BVA-08	0938457	0,005	-0,5	-0,5	11	5	20	-1	25	12	5	85
BVA-09	0938459	0,005	-0,5	-0,5	8	18	30	-1	21	3	4	76
BVA-10	0938460	0,044	-0,5	-0,5	9	10	20	-1	20	6	4	86
BVA-11	0938461	0,476	-0,5	-0,5	10	10	20	-1	20	13	4	60
BVA-12	0938462	0,143	-0,5	-0,5	9	9	10	-1	21	11	4	45
BVA-13	0938463	0,002	-0,5	-0,5	10	11	20	-1	26	4	5	76
BVA-14	0938464	0,003	-0,5	-0,5	10	30	20	-1	22	4	5	82
BVA-15	0938465	0,002	-0,5	-0,5	11	7	10	1	22	7	5	84
BVA-16	0938467	0,049	-0,5	-0,5	10	18	30	-1	23	6	5	83
BVA-17	0938468	0,026	-0,5	-0,5	10	14	30	-1	30	6	5	77
BVA-18	0938469	0,098	-0,5	-0,5	8	12	20	-1	22	-2	4	58
BVA-19	0938470	0,159	-0,5	-0,5	8	22	20	-1	20	12	4	61
BVA-20	0938471	0,332	-0,5	-0,5	9	16	20	-1	24	18	4	76
BVA-21	0938472	0,003	-0,5	-0,5	9	12	20	-1	24	10	5	70
BVA-22	0938473	0,001	-0,5	-0,5	11	17	10	-1	19	11	5	84
BVA-23	0938474	0,002	-0,5	-0,5	12	14	30	-1	34	11	5	90
BVA-24	0938475	0,001	-0,5	-0,5	10	11	30	-1	31	5	4	76
BVA-25A	0938476	0,003	-0,5	-0,5	12	16	30	-1	32	12	5	100
BVA-25B	0938478	0,001	-0,5	-0,5	11	13	20	-1	24	5	4	65
BVA-26	0938479	0,001	-0,5	-0,5	12	14	40	-1	38	4	8	60
BVA-27	0938480	0,001	-0,5	-0,5	4	16	10	-1	6	3	1	25
BVA-28	0938481	0,001	-0,5	-0,5	16	11	30	-1	41	2	10	73
V3B	0938482	0,003	-0,5	-0,5	17	42	40	-1	43	34	11	81
L-TR-98-02-A-Lé	0938484	NA	-0,5	-0,5	9	2	-10	-1	19	7	4	66
L-TR-98-02-A-Dyke	0938485	NA	-0,5	-0,5	3	10	-10	-1	12	16	2	35
L-BVB-01	0938487	NA	-0,5	-0,5	15	1	10	-1	71	5	7	63
L-BVB-13	0938488	NA	-0,5	-0,5	6	13	-10	-1	23	11	2	27
L-BVB-14	0938489	NA	-0,5	-0,5	11	6	10	1	33	5	6	32
L-53_84,45	0938490	NA	-0,5	-0,5	10	1	-10	-1	21	8	4	73
L-59_140,6	0938491	NA	-0,5	-0,5	11	10	-10	-1	24	25	5	104
L-60_337,5	0938492	NA	-0,5	-0,5	18	12	30	-1	50	6	13	95
L-61_206,9	0938493	NA	-0,5	-0,5	9	9	-10	-1	28	29	5	79
L-62_7,8	0938494	NA	-0,5	-0,5	8	4	10	-1	20	9	4	66
L-63_61	0938495	NA	-0,5	-0,5	9	5	10	-1	21	2	4	73
L-63_332,7	0938496	NA	-0,5	-0,5	8	-1	-10	-1	20	5	4	65
L-66_79,5	0938497	NA	-0,5	-0,5	21	93	30	6	43	5	12	80
L-65_34,85	0938499	NA	-0,5	-0,5	13	83	10	1	31	5	10	62

Annexe C - Analyses LA-ICP-MS

Pyrites -Totales														Page 1
STD_Used		LAF	LAF	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE
	Duration(s)	S_ppm_m33	Fe_ppm_m57	Ti_ppm_m47	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Cr_ppm_m53	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Ni_ppm_m61	Ga_ppm_m71	Ge_ppm_m72	
BV04PY2	75,94	523000	529000	1090	17,8	16,4	335	415	75	246	240	0,64	5,66	
BV04PY3	74,81	518000	514000	112	1,28	3,08	304	396	93	511	527	0,15	5,19	
BV04PY3	72,72	521000	513000	61	0,94	2,31	310	395	114	587	618	0,17	5,1	
BV6PY3	53,91	536000	529000	57	562	640	793	405	425	365	357	6	5,31	
BV6PY4	48,83	525000	549000	280	164	390	579	404	223	176	178	2,11	5,22	
BV6PY5	44,26	530000	543000	5,1	43	52	346	397	299	206	206	3,1	6,1	
BV6PY6	35,88	522000	512000	16	280	273	540	419	360	234	208	2,8	6,61	
B2PY1	218,35	526300	515000	970	27,4	14,6	332,8	414,2	677	660	668	1,02	5,95	
B2PY2	131,89	520000	514200	1260	76	24,2	327	393,3	639	555	565	1,28	5,85	
B2PY3	25,37	516000	485000	310	10,7	4,8	324	410	468	525	550	0,34	5,49	
B2PY4	138,84	525300	487200	337	37	11,8	335,8	428,7	311	500	505	0,63	5,43	
B2PY5	90,24	538200	509000	7100	110	86	376	512	436	542	552	1,28	5,25	
B2PY6	58,61	524400	505000	7500	81	53,4	355	412	264	519	562	0,38	5,27	
B3PY1	52,79	538000	499000	870	15	8,7	326	409	880	1430	1420	0,76	5,1	
B3PY2	120,9	529100	950000	338	140	56	353	426	247	417	405	2,48	5,05	
B3PY3	62,49	533000	487000	1060	10,8	18,9	333	408	138	242	240	0,31	5,48	
B3PY4	41,92	520000	472000	780	9	14,6	321	405	19,5	87	85	0,25	5,58	
B3PY5	84,91	539000	485000	326	4,6	10,2	325	392	76,6	244	242	0,14	5,28	
B7PY1	106,08	524100	469200	65	0,74	2,59	325,8	501	248	439	459	0,22	5,52	
B7PY2	77,43	523700	479000	7,6	1,82	3,46	315	477	228	222	220	0,57	5,36	
B7PY3	91,79	517200	457000	357	6,9	4,06	320,9	417	194	382	424	0,11	5,55	
B7PY4	130,26	527500	482900	3,09	2,35	4,45	319,4	673	175	288	272	0,16	5,37	
B7PY5	94,03	526100	492000	36	1,46	3,33	321	393	1440	829	836	0,27	5,22	
B11PY1	114,22	523700	482200	8010	271	88,2	389	578	48,7	59	59,3	0,6	5,56	
B11PY2	53,14	530000	519000	20,6	325	473	660	395	21	162	167	3,66	5,42	
B11PY3	48,62	531000	498000	6,8	48	52	375	438	116	269	254	0,69	5,5	
B11PY4	26,32	529000	501000	6,2	100	41	354	411	148	213	211	1,79	5,5	
B11PY4	26,67	525000	497000	8,4	109	45	360	417	156	222	221	1,95	5,42	
B11PY5	95,72	522700	505500	1870	241	661	842	425,7	134	224	220	1,7	5,49	
B11PY6	55,05	520000	494000	45	164	770	980	412	62	280	300	1,64	5,23	
B12PY1	233,14	530500	463200	800	21,5	23,1	338,5	409,5	552	547	535	0,21	5,46	
B12PY3	149,18	522200	480000	43	25	1,69	320,9	405,9	281	392	382	0,08	5,49	
C2PY1	68,5	532000	457000	260	9,7	14,6	317	410	24	57	58	0,43	5,67	
C2PY2	21,07	527000	493000	5800	133	85	370	417	24,5	66,5	61,9	0,19	4,54	
C2PY3	85,62	520400	478000	3800	46	53	345	410	44,9	100	98,8	0,14	5,23	
C2PY4	15,11	528000	480000	8800	174	81	369	428	20,9	50,1	63	0,19	5,8	
C2PY5	64,65	525000	472000	7300	145	173	430	412	52	166	160	0,49	5,51	
C3PY1	106	515800	516000	3,4	2,35	1,4	294,6	416	66,3	117	118	0,43	5,23	
C3PY1	130,84	476000	440000	2100	185	79	350	600	93	224	230	19,5	7,6	
C3PY2	128,95	520400	535600	2800	39,5	58	341	412,8	134,6	282	275	0,24	5,13	
C3PY3	43,19	520000	510000	53	0,69	1,37	307	417	31	131	127	0,11	5,08	
C3PY4	64,53	517000	519000	59	0,77	2,1	292,7	409	111	212	224	0,12	4,98	
C5PY1	64,56	518000	547000	3020	196	52,9	339	411	9,3	26	26,2	0,2	4,98	
C5PY2	61,78	517000	531000	1050	100	22,7	308,7	410	39,9	46,8	44	0,52	5,7	
C5PY3	115,03	523500	484000	17	3,4	10,3	293,8	412	17,1	62,6	61,1	0,49	5,46	
C5PY4	124,91	522900	509700	2,6	0,16	1,74	286,3	401,1	12,1	53	52,1	0,1	5,31	
C5PY5	51,33	519200	539000	3,8	0,16	2,02	284,7	389	5,81	41,5	42,1	0,09	5,36	
C5PY6	112,77	529900	530000	13,2	0,38	2,17	287,6	405	20,5	61,8	63,1	0,08	5,34	
C5PY8	49,23	522000	528000	17,2	1,4	3	294	406	13,2	34,7	33,9	0,11	5,17	
C5PY9	40,06	526000	550000	9600	162	223	442	398	46,2	116	111	0,35	5,6	
C5PY10	96,38	524000	537000	230	3	5,7	289	411	17,6	61,3	58,5	0,17	5,21	
C5PY11	131,32	516600	529000	6,6	0,57	1,51	279,5	407	45,3	151	149	0,08	5,27	
C5PY12	105,8	519700	533000	1,12	0,54	1,15	278	409	21,2	74	70	0,19	5,54	
Average		523725	511994	1484,67	77,58	89,2	376,15	426,14	196,21	277,52	279,53	1,16	5,45	
MAX		539000	950000	9600	562	770	980	673	1440	1430	1420	19,5	7,6	
MIN		476000	440000	1,12	0,16	1,15	278	389	5,81	26	26,2	0,08	4,54	
MEDIAN		523700	505500	260	25	16,4	332,8	411	111	222	220	0,35	5,42	
LOD		S_ppm_m33_LOD	Fe_ppm_m57_LOD	Ti_ppm_m47_LOD	V_ppm_m51_LOD	Cr_ppm_m52_LOD	Cr_ppm_m53_LOD	Mn_ppm_m55_LOD	Co_ppm_m59_LOD	Ni_ppm_m60_LOD	Ni_ppm_m61_LOD	Ga_ppm_m71_LOD	Ge_ppm_m72_LOD	
MAX		18098	46,656	1,32	0,34	4,77	14,8	3,98	0,07	0,92	6,14	0,1	1,9	
MIN		385,16	2,2159	0	0,04	0,74	1,7	0,41	0	0,06	0	0	0,18	
MEDIAN		1192,1	4,1477	0,26	0,09	1,35	3,74	1,03	0,01	0,18	0,71	0,01	0,47	

Pyrites -Totales												Page 2	
	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	MASS1	MASS1
	As_ppm_m75	Mo_ppm_m95	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	In_ppm_m115	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	W_ppm_m182	Pb_ppm_m208	Bi_ppm_m209	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	
BV04PY2	102,3	0,03	2,73	0,02	0,03	0,38	1,48	13,4	64	1,54	300	17,1	
BV04PY3	155	0,09	0,06	0,04	0	0,02	0,23	1,61	3,34	0,31	7,9	0,89	
BV04PY3	188	0,13	0,06	0,05	0	0,03	0,2	1,38	3,15	0,37	7,1	0,86	
BV6PY3	194	0,05	6,09	0,07	0,01	1,19	27,3	3,68	261	17,5	198	386	
BV6PY4	105	0,14	3,53	0,05	0	0,18	10,9	2,84	130	12,6	123	300	
BV6PY5	56	0,04	1,52	0,02	0	0,03	3,6	0,56	122	5,6	96	41	
BV6PY6	181	0,03	4,33	0,03	0	0,21	15,8	1,9	152	12,4	155	237	
B2PY1	469	0,06	1,78	0,02	0,01	0,56	2,73	46	59	0,69	116	5,69	
B2PY2	349	0,01	1,51	0,01	0,01	0,83	4,63	65	151	0,79	86	6,8	
B2PY3	1740	0,03	1,39	0,03	0,04	0,15	2,44	20	26,7	0,33	1840	3,21	
B2PY4	360	0,06	0,56	0,02	0,01	0,15	2,04	7,3	23	0,37	29,7	4,27	
B2PY5	243	0,12	1,31	0,02	0,04	1,53	8,6	71	72	0,7	370	35,3	
B2PY6	630	0,06	3,64	0,08	0,09	1,67	12,1	119	66	0,87	25000	58	
B3PY1	104	0,04	3,17	0	0,01	0,27	1,43	22,2	40,9	3,07	28	2,8	
B3PY2	156	0,04	1,95	0,01	0,02	0,23	0,79	13,7	16,2	0,85	730	46	
B3PY3	202	0,01	4,4	0,03	0	6	3,36	30,4	69	3,87	42,6	0,89	
B3PY4	50,2	0,07	2,05	0,01	0,01	0,21	1,34	19,5	17,8	1,2	16,9	1,21	
B3PY5	53,8	0,03	2,65	0,01	0	0,14	1,47	10,3	35	3,51	21,3	0,68	
B7PY1	632	0,07	0,81	0,26	0,02	0,35	0,57	1,33	80	1,23	700	5,8	
B7PY2	800	0,07	0,33	0,02	0,01	1,54	0,49	0,83	7,6	0,2	24,7	14,8	
B7PY3	450	0,05	1,49	0,01	0,01	1,06	0,56	9,8	7,1	0,8	12800	2,31	
B7PY4	303	0,08	2,05	0,02	0	0,34	1,05	0,68	83	1,89	85	14,4	
B7PY5	20,2	0,06	0,23	0	0	0,06	0,23	0,57	9,9	1,99	8,9	0,95	
B11PY1	31	0,15	18	0,09	0,04	3,63	14,5	277	230	3,93	820	13,8	
B11PY2	321	0,03	8,7	0,01	0	0,08	18	2,29	700	2,88	2030	389	
B11PY3	374	0,48	2,6	0,06	0,28	1,43	7,5	0,95	111	1,24	280	98	
B11PY4	760	0,02	2,55	0,02	0,01	0,04	4,18	0,44	78	0,81	290	78	
B11PY4	790	0,03	2,78	0,03	0,01	0,05	4,56	0,5	87	0,88	310	84	
B11PY5	415	0,09	7,16	0,12	0,02	0,31	11,92	28,3	173	2,59	91	546	
B11PY6	211	0,47	1,86	0,03	0	0,07	8,3	6,4	87	0,97	76	640	
B12PY1	15,25	0,11	5,8	0,05	0	0,46	1,13	41	4100	7,2	108	3,85	
B12PY3	8,8	0,06	1,01	0,04	0	0,12	0,62	2,9	94	1,14	5,46	1,4	
C2PY1	15,2	0,07	0,65	0,01	0,01	0,38	1,26	17,3	13,7	0,1	20	1,38	
C2PY2	45,7	0,01	4,9	0,03	0,01	1,55	9,4	254	80	2,25	270	3,4	
C2PY3	19	0,03	1,62	0,03	0	0,76	5,2	83	34,5	0,5	1380	0,87	
C2PY4	38	0,01	2,69	0,02	0,01	1,85	10,4	420	90	1,61	26,7	2,9	
C2PY5	27	0,07	3,14	0,03	0,01	1,36	14,6	211	82	0,87	26,4	2,92	
C3PY1	3,56	0,13	0,55	0,03	0	0,16	0,2	0,69	10	0,22	27,3	9,2	
C3PY1	8,6	0,20	2,74	0,05	0,11	4	2,6	61	33,7	0,99	277	285	
C3PY2	13,55	0,04	6,3	0,02	0,07	2,37	1,93	28,3	87	1,59	124	18	
C3PY3	8,4	0,07	2,8	0,01	0	0,19	0,39	1,9	8,1	0,55	75	0,95	
C3PY4	9,5	0,23	2,3	0,01	0,01	0,2	0,51	4	12,2	0,89	250	2,5	
C5PY1	12	0,08	4,2	0,02	0,01	2,77	3,8	128	560	1,68	31	2,34	
C5PY2	7	2,1	4,1	0	0,01	0,86	2,39	30,6	78	1,81	460	2,09	
C5PY3	2,02	0,23	0,76	0,02	0	0,13	0,21	0,68	3,4	0,28	31	1,81	
C5PY4	1,71	0,29	3,17	0,01	0	0,04	0,08	0,14	200	0,74	9,1	0,72	
C5PY5	0,7	0,06	0,01	0,01	0	0,06	0	0,12	20	0,16	1,19	0,83	
C5PY6	1,22	0,05	6,4	0,02	0	0,18	0,06	0,27	9,1	0,57	4,3	0,79	
C5PY8	1,39	0,09	0,13	0,01	0,02	0,09	0,05	0,36	10,3	0,28	1,95	3,5	
C5PY9	20,3	0,06	42	0,01	0,04	8,1	7,5	419	76	5,19	53	1,37	
C5PY10	2,37	0,04	0,74	0	0	0,55	0,25	7,8	5,4	0,72	4,23	0,62	
C5PY11	1,7	0,01	0,8	0,01	0	0,08	0,14	0,15	4	0,6	4,05	0,66	
C5PY12	1,26	0,08	1,44	0,02	0	0,01	0,07	0,01	2,27	0,28	1,75	0,73	
Average	202,07	0,5	3,58	0,03	0,02	0,92	4,44	47	161,87	2,19	941,03	63,81	
MAX	1740	20	42	0,26	0,28	8,1	27,3	420	4100	17,5	25000	640	
MIN	0,7	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0,01	2,27	0,1	1,19	0,6	
MEDIAN	53,8	0,06	2,3	0,02	0,01	0,27	1,93	7,3	66	0,89	85	3,4	
LOD	As_ppm_m75_LOD	Mo_ppm_m95_LOD	Ag_ppm_m107_LOD	Cd_ppm_m111_LOD	In_ppm_m115_LOD	Sn_ppm_m118_LOD	Sb_ppm_m121_LOD	W_ppm_m182_LOD	Pb_ppm_m208_LOD	Bi_ppm_m209_LOD	Cu_ppm_m65_LOD	Zn_ppm_m66_LOD	
MAX	2,07	0,5	0,11	0,54	0,05	0,4	0,21	0,22	0,28	0,07	0,5	1,99	
MIN	0,27	0	0	0	0	0,04	0,03	0	0,03	0,01	0,03	0,25	
MEDIAN	0,49	0,06	0,02	0,05	0,01	0,08	0,08	0,06	0,06	0,02	0,14	0,48	

Pyrites -Totales						
Lignes totales	MASS1	MASS1	MASS1	MASS1	MASS1	
	Se_ppm_m82	Te_ppm_m125	Au_ppm_m197	Hg_ppm_m202	Tl_ppm_m205	
BV04PY2	10,9	12,9	0,91	1,59	0,01	
BV04PY3	11,1	10,3	0,05	0,58	0,00	
BV04PY3	12,1	13,2	0,07	0,57	0,00	
BV6PY3	1,8	16,2	1,10	2,79	0,12	
BV6PY4	2,6	9,2	0,46	1,50	0,09	
BV6PY5	4	3,9	0,48	0,55	0,03	
BV6PY6	1,3	11,4	6,00	0,85	0,03	
B2PY1	5,37	68,5	0,82	0,02	0,03	
B2PY2	7,8	54,7	0,61	0,07	0,03	
B2PY3	2,7	31,9	1,72	0,01	0,00	
B2PY4	7,81	13,2	0,21	0,02	0,01	
B2PY5	9,5	39,8	0,63	0,04	0,02	
B2PY6	4,4	20,3	0,56	0,05	0,02	
B3PY1	12,9	26,9	0,81	0,09	0,02	
B3PY2	16,8	20,6	0,31	0,05	0,02	
B3PY3	16	8,5	0,50	0,06	0,02	
B3PY4	17,9	5,18	0,62	0,07	0,00	
B3PY5	16,8	8,5	0,88	0,01	0,00	
B7PY1	3,65	14,5	0,62	0,06	0,01	
B7PY2	2,59	9	0,45	0,16	0,00	
B7PY3	10,4	4,87	0,30	0,09	0,00	
B7PY4	2,44	6,05	0,48	0,14	0,02	
B7PY5	14	15,4	0,14	0,03	0,00	
B11PY1	3,5	27	4,50	0,28	0,05	
B11PY2	3,6	20,9	6,80	0,11	0,13	
B11PY3	2,6	30,7	0,36	0,10	0,05	
B11PY4	2,3	51,3	0,62	0,03	0,02	
B11PY4	2,5	54,6	0,66	0,02	0,02	
B11PY5	3,54	17,9	0,66	0,25	0,06	
B11PY6	3,4	11,3	0,32	0,14	0,02	
B12PY1	10,4	17,2	5,30	0,07	0,65	
B12PY3	5,26	3,98	0,36	0,04	0,02	
C2PY1	0,9	3,5	0,22	0,05	0,01	
C2PY2	7,1	18,6	0,95	0,01	0,02	
C2PY3	0,56	3,56	0,26	0,08	0,01	
C2PY4	1	8,1	0,64	0,06	0,04	
C2PY5	6,9	8,7	0,64	0,01	0,03	
C3PY1	6,22	3,59	0,24	0,06	0,01	
C3PY1	6,1	15	0,69	0,64	0,11	
C3PY2	7,86	21,2	3,10	0,12	0,02	
C3PY3	3,7	5,9	1,40	0,00	0,00	
C3PY4	7,5	5,23	0,73	0,01	0,00	
C5PY1	9,3	27	2,07	0,07	0,07	
C5PY2	5,7	14,7	2,50	0,09	0,02	
C5PY3	6,03	3,2	0,72	0,01	0,00	
C5PY4	8,3	5,6	3,60	0,07	0,03	
C5PY5	4,7	0,24	0,02	0,07	0,00	
C5PY6	7,99	8,8	13,00	0,03	0,00	
C5PY8	7,9	1,06	0,18	0,02	0,00	
C5PY9	10	51,4	36,00	0,64	0,03	
C5PY10	8,5	3,67	0,55	0,09	0,00	
C5PY11	6,5	2,81	0,79	0,07	0,00	
C5PY12	4,61	1,39	0,58	0,03	0,00	
Average	6,78	16,47	2,02	0,24	0,04	
MAX	17,9	68,5	36,00	2,79	0,65	
MIN	0,56	0,24	0,02	0,00	0,00	
MEDIAN	6,1	11,4	0,63	0,07	0,02	
LOD	Se_ppm_m82_LOD	Te_ppm_m125_LOD	Au_ppm_m197_LOD	Hg_ppm_m202_LOD	Tl_ppm_m205_LOD	
MAX	15,59	2,83	0,22	0,8	0,05	
MIN	1,88	0,31	0	0,11	0	
MEDIAN	3,4	0,7	0,03	0,19	0,01	

Pyrites - Coeurs													Page 1
STD_Used		LAF	LAF	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	
	Duration(s)	S_ppm_m33	Fe_ppm_m57	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Cr_ppm_m53	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Ni_ppm_m61	Ga_ppm_m71	Ge_ppm_m72	
BV04PY2	38,23	513000	533000	24,00	22,50	327,00	416,00	79,00	263,00	263,00	0,82	5,45	
BV04PY3	72,72	521000	513000	0,94	2,31	310,00	395,00	114,00	587,00	618,00	0,17	5,10	
BV6PY2	75,68	520500	521000	0,13	1,26	310,70	402,00	282,00	323,00	318,00	0,10	5,22	
BV6PY3	60,36	534000	529000	564,00	640,00	795,00	405,00	425,00	364,00	355,00	6,00	5,29	
BV6PY4	13,86	493500	500500	202,50	421,00	641,00	429,00	255,00	217,00	250,00	2,54	4,39	
BV6PY5	6,41	531000	557000	121,00	145,00	433,00	400,00	468,00	399,00	390,00	8,60	8,90	
BV6PY6	30,84	513000	537000	272,00	396,00	632,00	445,00	299,00	513,00	507,00	10,30	9,40	
B2PY1	53,64	527000	516000	24,70	12,90	328,30	398,00	1180,00	686,00	699,00	0,69	5,89	
B2PY2	20,19	529000	504000	4,00	4,40	318,00	404,00	930,00	379,00	399,00	0,50	5,59	
B2PY3	28,23	528000	480000	18,00	5,50	328,00	425,00	660,00	540,00	592,00	0,46	5,41	
B2PY4	138,84	525300	487200	37,00	11,80	335,80	428,70	311,00	500,00	505,00	0,63	5,43	
B2PY5	19,59	532000	483000	5,90	8,00	320,00	402,00	898,00	686,00	690,00	1,16	4,72	
B2PY6	12,65	512000	499000	139,00	91,00	376,00	406,00	527,00	757,00	767,00	0,75	5,30	
B3PY1	31,05	507000	6500000	1090,00	436,00	651,00	475,00	650,00	236,00	302,00	23,40	9,20	
B3PY2	10,00	572000	5230000	1254,00	430,00	652,00	621,00	75,70	96,00	78,00	15,80	2,63	
B3PY3	45,13	532000	485000	10,50	18,50	332,00	408,00	140,00	245,00	243,00	0,30	5,44	
B3PY4	19,89	514000	481000	10,90	18,00	307,00	402,00	20,40	72,00	70,00	0,12	5,31	
B3PY5	13,09	537500	489000	4,00	4,90	317,00	382,00	99,50	320,00	327,00	0,09	5,27	
B7PY1	14,77	519500	469500	0,85	3,32	320,50	440,00	292,00	550,50	553,00	0,19	5,57	
B7PY2	11,91	519500	460500	2,25	4,40	316,50	541,00	212,00	267,00	260,50	0,64	5,50	
B7PY3	36,16	518500	461000	8,85	5,05	320,50	417,00	174,50	393,00	412,00	0,12	5,54	
B7PY4	29,89	534000	482000	0,21	1,86	312,00	410,00	148,10	292,00	283,00	0,09	5,31	
B7PY5	23,98	525000	476000	0,84	3,30	333,00	384,00	2340,00	570,00	550,00	0,15	6,07	
B11PY2	55,85	529650	513650	307,00	99,70	400,00	599,00	44,80	59,30	60,10	0,66	5,59	
B11PY3	14,57	529000	499000	269,00	740,00	855,00	401,00	34,20	187,00	192,00	3,06	5,32	
B11PY4	6,39	516500	486500	123,00	151,00	459,00	412,00	144,00	250,00	232,00	1,43	5,60	
B11PY5	95,72	522700	505500	61,10	34,50	343,50	402,00	164,00	233,50	226,50	0,84	5,10	
B11PY6	9,36	518000	485000	241,00	661,00	842,00	425,70	134,00	224,00	220,00	1,70	5,49	
B12PY1	42,10	522000	458000	368,00	2710,00	2690,00	429,00	180,00	890,00	970,00	3,60	5,47	
B12PY3	12,95	512000	446000	30,80	64,00	366,00	404,00	1350,00	796,00	825,00	0,14	5,51	
C2PY1	16,74	537000	453333	0,57	1,20	322,00	424,00	840,00	505,00	508,00	0,07	5,62	
C2PY2	16,90	531500	496500	131,87	178,57	446,33	451,00	57,30	68,73	62,33	0,32	5,11	
C2PY3	11,88	518500	469500	160,50	110,00	399,50	413,00	27,10	72,75	63,45	0,22	4,32	
C2PY4	8,24	529000	497000	131,50	147,00	436,00	410,50	55,25	92,50	104,00	0,18	5,57	
C2PY5	15,32	517000	467000	276,00	122,00	388,00	403,00	24,50	57,10	72,00	0,22	5,84	
C3PY1	7,50	525333	611000	189,50	231,00	477,50	417,50	42,55	119,50	119,50	0,58	5,80	
C3PY2	22,54	511500	545000	153,20	96,70	368,33	482,00	94,93	246,03	250,33	18,93	11,33	
C3PY3	9,42	532500	523500	77,15	114,50	377,00	409,50	141,00	283,00	285,00	0,39	4,96	
C3PY4	13,80	527000	537000	0,68	1,37	289,00	421,50	243,00	668,50	728,50	0,09	4,47	
C5PY1	16,64	513000	537000	151,50	51,20	340,50	409,00	7,00	23,90	25,95	0,12	5,15	
C5PY2	27,02	521000	522000	100,00	26,40	309,00	412,00	39,30	43,40	37,20	0,20	5,72	
C5PY3	10,30	522000	503000	21,50	24,70	293,50	401,50	78,00	117,20	130,00	2,49	5,09	
C5PY4	28,12	523000	518000	0,15	2,10	289,00	401,00	25,00	33,40	30,30	0,10	5,03	
C5PY5	8,60	550000	534000	2,60	3,20	286,00	389,00	78,00	83,00	70,00	0,54	5,51	
C5PY6	6,62	525000	513500	1,38	3,25	297,50	436,00	62,08	103,30	107,55	0,09	4,75	
C5PY8	11,63	508000	533000	6,10	13,80	289,00	400,00	22,60	57,00	55,00	0,15	5,23	
C5PY9	17,52	526000	546000	164,00	226,00	447,00	401,00	46,60	116,00	111,00	0,33	5,60	
C5PY10	56,11	538000	541000	6,50	10,90	287,20	404,00	39,30	125,00	115,00	1,00	5,46	
C5PY11	10,77	505000	528667	61,04	44,29	302,33	407,67	37,37	163,67	162,00	8,05	5,29	
C5PY12	17,47	510000	525000	0,13	1,06	268,00	407,00	51,00	269,00	238,00	0,14	5,19	
		S_ppm_m33	Fe_ppm_m57	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Cr_ppm_m53	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Ni_ppm_m61	Ga_ppm_m71	Ge_ppm_m72	
Average		523570	719767	136,6268	171,1286	443,6900	424,1713	292,8617	302,8657	308,6443	2,3850	5,6202	
Median		522850	504750	33,9000	25,5500	332,5000	409,2500	137,0000	248,0167	250,1667	0,4800	5,4350	

Pyrites - Coeurs													Page 2
STD_Used	GSE		GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	
Lignes Coeurs	As_ppm_m75	Mo_ppm_m95	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	In_ppm_m115	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	W_ppm_m182	Pb_ppm_m208	Bi_ppm_m209	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	
BV04PY2	88,70	0,05	4,80	0,03	0,05	0,49	1,91	12,90	123,00	2,34	680,00	34,60	
BV04PY3	188,00	0,13	0,06	0,05	0,00	0,03	0,20	1,38	3,15	0,37	7,10	0,86	
BV6PY2	34,30	0,01	3,00	0,02	0,00	0,05	1,21	0,00	83,00	10,50	35,40	2,64	
BV6PY3	194,00	0,06	6,07	0,07	0,01	1,20	27,40	3,71	262,00	17,40	196,00	389,00	
BV6PY4	129,00	0,25	3,69	0,02	0,00	0,41	13,90	6,78	154,00	13,80	584,50	334,00	
BV6PY5	121,00	0,03	3,54	0,06	0,01	0,09	9,80	1,56	102,80	12,90	260,00	114,00	
BV6PY6	145,00	0,02	4,75	0,08	0,02	0,22	18,90	2,28	183,00	13,20	2300,00	373,00	
B2PY1	521,00	0,12	2,42	0,02	0,01	0,45	3,83	33,00	76,80	0,92	172,00	6,70	
B2PY2	237,00	0,04	2,84	0,00	0,01	0,11	1,97	6,00	730,00	1,70	79,00	3,09	
B2PY3	2470,00	0,03	5,10	0,05	0,07	0,20	3,60	35,00	38,50	0,51	3000,00	4,50	
B2PY4	360,00	0,06	0,56	0,02	0,01	0,15	2,04	7,30	23,00	0,37	29,70	4,27	
B2PY5	144,00	0,10	3,08	0,06	0,02	0,14	2,92	6,00	69,00	1,10	310,00	2,14	
B2PY6	913,00	0,07	3,69	0,17	0,11	3,17	16,30	219,00	138,00	1,80	510,00	220,00	
B3PY1	86,00	0,26	6,50	0,17	0,03	0,60	1,60	18,60	91,00	0,50	30000,00	98,00	
B3PY2	10,90	0,05	0,26	0,10	0,14	0,26	0,31	1,07	13,50	0,13	42,00	410,00	
B3PY3	206,00	0,00	4,30	0,03	0,01	0,41	3,21	29,00	68,00	3,85	43,70	0,79	
B3PY4	42,10	0,05	3,22	0,02	0,00	0,22	1,71	21,50	23,70	1,78	18,60	1,21	
B3PY5	68,90	0,01	3,05	0,01	0,00	0,08	1,37	7,45	56,45	5,12	17,90	0,76	
B7PY1	1052,00	0,04	1,56	0,69	0,06	0,16	0,67	0,89	210,00	2,00	2805,65	3,65	
B7PY2	1880,00	0,12	0,23	0,02	0,02	3,30	0,53	0,63	6,80	0,19	28,15	17,75	
B7PY3	466,50	0,04	0,21	0,01	0,00	0,32	0,48	11,50	5,80	0,38	9,50	1,28	
B7PY4	33,20	0,04	0,35	0,01	0,01	0,37	0,78	0,45	11,00	0,23	46,00	0,56	
B7PY5	26,60	0,02	0,30	0,00	0,01	0,08	0,27	2,50	7,10	1,55	25,00	0,38	
B11PY2	32,10	0,17	20,30	0,10	0,05	4,11	16,30	314,00	260,00	4,41	930,00	15,40	
B11PY3	262,00	0,04	21,20	0,00	0,00	0,11	20,00	3,07	1950,00	4,96	1250,00	573,00	
B11PY4	357,00	0,72	4,97	0,09	0,00	0,07	17,90	2,23	230,00	2,42	290,00	118,00	
B11PY5	524,50	0,04	4,00	0,09	0,01	0,04	6,00	0,94	112,25	1,37	218,00	110,42	
B11PY6	415,00	0,09	7,16	0,12	0,02	0,31	11,92	28,30	173,00	2,59	91,00	546,00	
B12PY1	184,00	1,36	4,60	0,01	0,00	0,17	20,20	23,00	201,00	2,24	65,30	2290,00	
B12PY3	23,50	0,07	17,80	0,12	0,00	0,17	1,37	5,90	20800,00	28,40	65,00	4,17	
C2PY1	56,60	0,48	6,00	0,07	0,01	0,11	5,80	0,43	299,00	6,90	16,10	1,90	
C2PY2	74,33	0,03	5,49	0,07	0,22	1,67	13,07	237,93	97,00	1,16	79,60	3,40	
C2PY3	60,45	0,03	7,25	0,02	0,01	1,93	11,30	320,50	100,50	2,80	415,00	4,60	
C2PY4	43,55	0,01	3,71	0,07	0,01	2,22	14,35	236,50	91,50	1,36	3525,00	1,69	
C2PY5	53,50	0,02	4,03	0,02	0,02	2,86	15,80	690,00	135,00	2,46	32,90	4,00	
C3PY1	34,25	0,08	4,39	0,04	0,02	1,75	19,30	280,50	108,30	1,12	32,85	3,71	
C3PY2	10,50	33,75	3,77	0,13	0,08	2,55	5,53	109,19	60,13	1,36	147,67	173,11	
C3PY3	14,30	0,05	9,45	0,02	0,12	4,09	3,10	59,65	141,65	2,26	180,00	33,11	
C3PY4	29,45	0,92	2,18	0,00	0,00	0,16	0,81	2,45	18,05	1,12	121,50	4,15	
C5PY1	14,75	0,02	5,17	0,02	0,01	2,80	4,05	124,50	1088,25	2,03	39,05	1,14	
C5PY2	9,30	2,50	6,00	0,02	0,01	1,09	3,23	43,00	114,00	1,99	19,00	2,76	
C5PY3	12,35	1,52	5,35	0,06	0,02	0,41	0,74	5,86	34,35	1,43	35,75	6,00	
C5PY4	2,33	1,14	12,90	0,01	0,00	0,04	0,24	0,17	900,00	2,70	27,60	1,30	
C5PY5	3,30	0,12	30,00	0,02	0,01	0,90	0,11	0,62	1180,00	9,50	36,00	1,61	
C5PY6	1,64	0,05	45,95	0,01	0,01	0,11	0,43	0,86	61,00	3,80	19,30	1,43	
C5PY8	1,20	0,07	0,10	0,00	0,12	0,43	0,06	0,13	55,00	0,16	3,50	10,14	
C5PY9	20,60	0,06	37,00	0,01	0,04	8,20	7,60	426,00	77,00	5,24	50,00	1,38	
C5PY10	4,61	0,09	6,60	0,01	0,00	0,88	0,55	9,30	233,00	3,12	11,70	3,80	
C5PY11	13,72	0,19	10,10	0,02	0,02	1,79	1,44	96,74	23,77	3,27	12,13	31,18	
C5PY12	5,61	0,03	8,40	0,05	0,00	0,01	0,18	0,01	5,80	0,73	4,60	0,66	
	As_ppm_m75	Mo_ppm_m95	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	In_ppm_m115	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	W_ppm_m182	Pb_ppm_m208	Bi_ppm_m209	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	
Average	233,6327	0,9048	7,1483	0,0578	0,0277	1,0291	6,3252	69,0053	620,5830	3,8704	978,3750	119,4247	
Median	58,5250	0,0590	4,4925	0,0244	0,0083	0,3465	3,0075	7,0375	98,7500	2,0125	57,5000	4,1600	

Pyrites - Bordures													Page 1
STD_Used		LAF	LAF	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	
	Duration(s)	S_ppm_m33	Fe_ppm_m57	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Cr_ppm_m53	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Ni_ppm_m61	Ga_ppm_m71	Ge_ppm_m72	
BV04PY2	15,79	525000,00	533000,00	13,40	11,40	319,00	407,00	50,30	196,00	192,00	0,11	5,31	
BV04PY3	25,37	518000	519000	1,63	3,76	299,00	390,00	109,00	566,00	587,00	0,14	5,25	
BV6PY4	12,86	527000	561000	7,30	5,80	299,00	389,00	56,00	47,70	45,00	0,20	4,49	
BV6PY5	12,08	523000	533000	0,16	1,36	299,00	396,00	202,00	107,00	110,00	0,12	4,52	
BV6PY6	5,69	506000	508000	56,00	380,00	525,00	413,00	720,00	111,00	124,00	0,60	6,80	
B2PY1	63,42	528000	521000	30,40	16,90	337,35	421,50	390,00	631,50	638,50	0,43	5,60	
B2PY2	40,86	518050	514000	35,40	17,00	318,50	388,50	276,50	550,00	550,50	0,76	5,81	
B2PY3	26,45	517500	498500	6,49	4,25	316,50	399,50	408,50	474,00	485,00	0,24	5,31	
B2PY4	26,19	524000	496000	8,30	13,40	355,00	412,00	190,00	511,00	497,00	0,21	5,10	
B2PY5	38,34	536500	500500	34,55	21,50	326,00	457,00	382,00	538,00	547,50	0,65	4,99	
B2PY6	9,02	530000	502000	2,29	5,70	329,00	427,00	138,00	326,00	317,00	0,14	4,86	
B3PY1	26,58	533250	489250	9,72	11,48	331,00	416,75	359,43	758,75	751,50	0,90	5,40	
B3PY2	45,80	525500	483500	16,96	13,40	318,00	401,00	291,50	501,00	489,50	0,89	5,37	
B3PY5	17,68	542000	491000	2,60	18,00	322,00	394,00	37,00	99,00	100,00	0,14	5,09	
B7PY1	16,42	545000	495000	0,44	1,25	338,00	418,00	161,00	354,00	357,00	0,07	5,33	
B7PY2	26,60	540000	483000	1,41	2,50	320,00	472,00	325,00	230,00	236,00	0,48	5,17	
B7PY3	29,40	516000	451000	6,50	3,00	320,00	408,00	192,00	347,00	436,00	0,11	5,57	
B7PY4	50,41	525500	483500	2,62	4,29	320,00	625,00	150,00	274,00	251,00	0,31	5,49	
B7PY5	18,74	503000	550000	0,50	2,90	273,00	318,00	520,00	479,00	420,00	0,02	5,70	
B11PY1	18,55	515000	452000	0,31	1,50	307,00	428,00	71,00	61,00	59,00	0,11	5,22	
B11PY2	6,24	534000	458000	7,70	2,80	340,00	438,00	13,90	99,00	82,00	1,05	6,26	
B11PY3	14,47	525500	500500	57,29	66,65	381,50	426,00	143,50	392,50	374,00	0,70	5,38	
B11PY4	7,54	520000	550000	0,14	1,40	310,00	375,00	69,00	125,00	102,00	0,07	5,80	
B11PY6	15,13	513000	491000	83,00	41,00	343,00	406,00	27,90	79,00	73,00	0,90	5,17	
B12PY1	37,78	537667	465667	4,97	5,48	329,33	408,67	360,67	556,67	521,00	0,08	5,38	
B12PY3	48,80	519000	481000	1,43	1,80	319,00	406,00	229,00	289,00	289,00	0,07	5,50	
C2PY1	11,24	527500	455500	10,44	16,20	316,50	411,50	21,94	54,30	54,75	0,40	5,66	
C2PY3	22,49	520000	472000	1,95	2,43	301,50	413,50	36,85	148,45	141,60	0,13	5,19	
C2PY4	4,40	524000	489500	53,85	24,00	309,00	426,00	43,70	69,05	79,00	2,60	5,20	
C2PY5	7,64	556000	510000	4,90	3,10	290,00	394,00	102,00	290,00	290,00	0,20	4,49	
C3PY1	19,64	518500	519500	0,13	1,23	297,00	430,00	71,00	156,00	140,00	0,13	5,47	
C3PY3	6,95	519500	528000	0,29	1,38	296,00	417,50	4,72	19,15	19,85	0,10	4,88	
C5PY3	24,00	527500	478000	0,19	7,99	297,00	416,00	4,30	71,60	68,90	0,11	5,53	
C5PY4	25,87	524500	505500	0,16	1,55	282,00	404,00	3,69	40,70	40,20	0,09	5,27	
C5PY5	51,33	519200	539000	0,16	2,02	284,70	389,00	5,81	41,50	42,10	0,09	5,36	
C5PY6	23,01	530333	530000	0,17	1,88	280,33	398,00	6,24	51,80	60,97	0,07	5,36	
C5PY8	30,64	530000	524000	0,16	1,15	299,00	410,00	2,84	19,20	18,80	0,10	5,13	
C5PY10	18,99	516500	514500	0,57	2,40	290,00	412,00	9,10	40,70	38,00	0,11	5,19	
C5PY11	14,14	522333	528000	0,15	0,72	276,33	406,00	8,12	23,37	22,30	0,09	5,35	
C5PY12	7,69	521500	535500	0,16	1,34	277,50	408,00	14,00	35,35	35,40	0,09	5,43	
		S_ppm_m33	Fe_ppm_m57	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Cr_ppm_m53	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Ni_ppm_m61	Ga_ppm_m71	Ge_ppm_m72	
Average		525121	503485	11,62	18,15	317,30	414,41	155,19	244,11	242,16	0,34	5,33	
Median		524250	501250	2,45	3,43	316,50	409,33	86,50	152,23	140,80	0,13	5,34	

Pyrites - Bordures													Page 2
STD_Used	GSE		GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	GSE	
	As_ppm_m75	Mo_ppm_m95	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	In_ppm_m115	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	W_ppm_m182	Pb_ppm_m208	Bi_ppm_m209	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	
BV04PY2	36,20	0,05	0,09	0,03	0,01	0,18	0,74	18,40	36,00	0,82	10,50	3,68	
BV04PY3	168,00	0,13	0,06	0,05	0,00	0,00	0,29	2,08	4,08	0,39	8,80	0,87	
BV6PY4	21,70	0,07	1,26	0,05	0,00	0,08	2,10	1,11	27,80	3,30	75,00	23,00	
BV6PY5	22,10	0,05	0,46	0,00	0,00	0,01	0,13	0,01	134,00	1,70	9,60	1,32	
BV6PY6	72,80	0,01	2,64	0,08	0,00	0,17	3,30	0,58	46,80	5,42	43,00	275,00	
B2PY1	453,50	0,04	1,51	0,02	0,01	0,72	2,47	65,00	56,95	0,52	80,75	5,87	
B2PY2	299,50	0,03	0,66	0,01	0,01	0,83	3,72	66,50	30,25	0,40	32,25	4,85	
B2PY3	964,00	0,05	1,77	0,02	0,02	0,12	1,48	11,30	17,12	0,31	936,45	2,35	
B2PY4	345,00	0,03	0,17	0,02	0,01	0,15	1,42	4,90	14,70	0,12	22,00	5,50	
B2PY5	246,00	0,07	1,06	0,02	0,02	0,37	2,82	15,50	63,15	0,54	95,00	16,45	
B2PY6	614,00	0,00	0,07	0,01	0,01	0,04	0,42	1,10	15,10	0,06	7,80	5,50	
B3PY1	85,25	0,06	7,92	0,00	0,01	0,29	1,28	18,18	112,53	2,34	3438,58	6,89	
B3PY2	170,50	0,05	2,16	0,01	0,00	0,22	0,81	13,85	16,00	0,94	1012,55	4,16	
B3PY5	26,80	0,04	3,06	0,00	0,00	0,11	1,20	9,10	20,30	1,36	32,00	0,66	
B7PY1	242,00	0,05	0,28	0,01	0,00	0,16	0,54	0,26	7,00	0,08	20,00	0,64	
B7PY2	162,00	0,06	0,21	0,04	0,00	0,65	0,64	0,77	8,40	0,22	25,50	10,60	
B7PY3	8,42	0,07	4,30	0,01	0,01	2,70	0,88	7,30	13,30	1,81	39000,00	5,10	
B7PY4	370,00	0,08	3,00	0,04	0,00	0,27	0,80	1,00	184,00	2,65	103,00	17,50	
B7PY5	58,00	0,21	0,11	0,02	0,01	0,18	0,08	0,01	2,00	0,30	4,50	0,70	
B11PY1	22,90	0,01	0,61	0,03	0,00	0,07	0,89	1,06	9,10	0,27	10,90	1,21	
B11PY2	102,00	0,14	0,43	0,03	0,01	0,13	1,08	0,68	18,00	0,23	11,20	28,00	
B11PY3	445,50	0,50	2,92	0,05	0,02	0,08	8,54	1,06	124,00	1,45	510,00	56,00	
B11PY4	380,00	0,03	0,45	0,02	0,01	0,04	0,29	0,00	9,20	0,17	20,60	0,89	
B11PY6	230,00	0,02	0,73	0,04	0,00	0,04	3,20	0,60	40,00	0,50	79,00	36,00	
B12PY1	8,89	0,06	0,23	0,03	0,00	0,21	0,32	12,43	53,63	0,46	8,93	1,18	
B12PY3	4,63	0,03	0,08	0,04	0,00	0,12	0,17	3,70	1,07	0,02	4,08	0,41	
C2PY1	15,40	0,07	0,69	0,01	0,01	0,40	1,43	19,55	15,25	0,10	18,55	1,43	
C2PY3	4,05	0,05	0,23	0,01	0,00	0,03	0,20	4,10	2,10	0,02	11,35	0,64	
C2PY4	17,95	0,41	0,59	0,00	0,01	0,50	2,62	38,50	25,65	0,58	22,45	43,55	
C2PY5	4,90	0,04	0,15	0,01	0,00	0,05	0,34	4,10	7,10	0,04	10,00	0,73	
C3PY1	1,15	0,02	0,11	0,01	0,00	0,03	0,01	0,09	1,31	0,01	10,35	0,51	
C3PY3	1,00	0,07	0,21	0,01	0,00	0,13	0,35	0,47	4,73	0,04	13,00	1,39	
C5PY3	1,04	0,04	0,02	0,02	0,00	0,10	0,04	0,03	0,09	0,00	35,50	1,16	
C5PY4	1,03	0,04	0,18	0,00	0,00	0,05	0,01	0,13	0,71	0,06	3,98	0,61	
C5PY5	0,70	0,06	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,12	20,00	0,16	1,19	0,83	
C5PY6	1,03	0,04	0,00	0,02	0,00	0,05	0,01	0,04	0,11	0,01	1,68	0,57	
C5PY8	0,92	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	1,33	0,51	
C5PY10	2,67	0,05	0,08	0,04	0,00	0,20	0,05	0,98	1,23	0,04	2,20	0,65	
C5PY11	2,24	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,03	0,13	0,41	0,01	1,81	0,48	
C5PY12	0,38	0,05	0,01	0,05	0,00	0,02	0,01	0,01	0,21	0,02	0,80	0,68	
	As_ppm_m75	Mo_ppm_m95	Ag_ppm_m107	Cd_ppm_m111	In_ppm_m115	Sn_ppm_m118	Sb_ppm_m121	W_ppm_m182	Pb_ppm_m208	Bi_ppm_m209	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	
Average	140,35	0,07	0,96	0,02	0,01	0,24	1,12	8,12	28,58	0,69	1143,40	14,20	
Median	24,85	0,05	0,26	0,02	0,00	0,12	0,59	1,06	14,90	0,25	15,78	1,35	

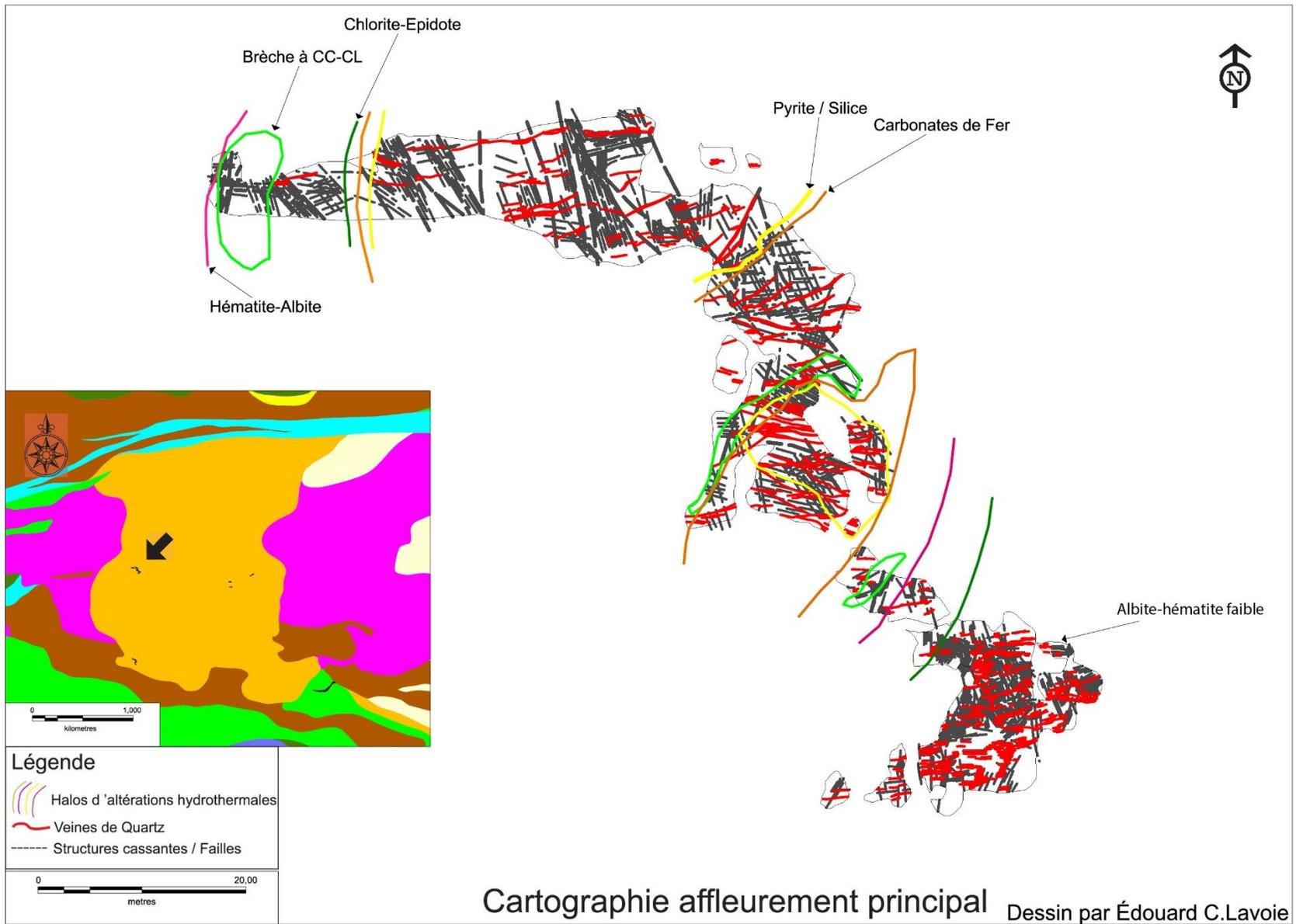
Oxydes - Totales	Al_ppm_m27	Si_ppm_m29	P_ppm_m31	Ca_ppm_m44	Ti_ppm_m47	Source file	Mg_ppm_m24	Sc_ppm_m45	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Page 1
Source file													
B12-OX1.D	450,00	bdl	1640,00	3200,00	156,00	B12-OX1.D	980,00	2,70	1485,00	786,00	1308,00	48,10	
B12-OX2.D	55,00	bdl	3500,00	6600,00	109,00	B12-OX2.D	115,00	5,40	2516,00	860,00	1339,00	37,91	
B12OX3.D	113,00	11000,00	bdl	40,00	31900,00	B12OX3.D	69,00	55,00	9610,00	2784,00	1089,00	1,13	
B12OX4.D	340,00	bdl	bdl	8700,00	57000,00	B12OX4.D	341,00	50,80	8880,00	2820,00	1074,00	2,18	
BV1-OX2.D	220,00	bdl	290,00	710,00	12,10	BV1-OX2.D	300,00	bdl	1544,00	1212,00	1312,00	75,20	
BV1OX2B.D	1360,00	bdl	243,00	3400,00	141,00	BV1OX2B.D	3000,00	2,20	1500,00	1201,00	1444,00	76,90	
BV1OX1A.D	252,00	bdl	bdl	1290,00	2340,00	BV1OX1A.D	420,00	0,63	1668,00	1518,00	1330,00	94,20	
BV1OX1A.D	550,00	bdl	210,00	3900,00	1890,00	BV1OX1A.D	700,00	3,80	1742,00	1782,00	1500,00	96,30	
BV1OX1A.D	305,00	bdl	bdl	4300,00	4100,00	BV1OX1A.D	143,00	1,30	1692,00	1635,00	1300,00	93,10	
BV1OX1B.D	178,00	bdl	bdl	4200,00	1640,00	BV1OX1B.D	49,00	0,36	1631,00	2241,00	1342,00	95,40	
BV1OX1B.D	500,00	bdl	2060,00	4000,00	720,00	BV1OX1B.D	43,40	0,34	1758,00	1783,00	1340,00	93,50	
BV1OX3.D	191,00	bdl	1660,00	3800,00	520,00	BV1OX3.D	71,00	0,13	1647,00	984,00	1345,00	74,10	
BV1OX3B.D	65,00	bdl	0,00	650,00	10,60	BV1OX3B.D	69,00	0,06	1402,00	1085,00	1328,00	73,00	
BV1OX3C.D	84,00	bdl	1990,00	4700,00	1500,00	BV1OX3C.D	27,40	0,30	1591,00	993,00	1343,00	77,10	
BV1OX4.D	107,00	bdl	500,00	580,00	5,60	BV1OX4.D	28,10	bdl	1513,00	1309,00	1370,00	81,00	
BV1OX4.D	380,00	bdl	bdl	28300,00	1690,00	BV1OX4.D	1580,00	1,15	1521,00	1127,00	1600,00	71,70	
BV1OX4.D	830,00	bdl	bdl	21300,00	670,00	BV1OX4.D	310,00	0,30	1487,00	1364,00	1465,00	71,40	
BV2OX1A.D	7000,00	bdl	bdl	205,00	550,00	BV2OX1A.D	10900,00	6,90	1348,00	3590,00	1181,00	48,30	
BV2OX1B.D	4100,00	bdl	5300,00	12400,00	53,70	BV2OX1B.D	5600,00	1,53	1392,00	1299,00	1140,00	41,30	
BV2MOX2.D	2880,00	1700,00	bdl	4160,00	37200,00	BV2MOX2.D	4850,00	22,73	3639,00	467,00	1438,00	9,12	
BV2MOX3.D	3140,00	6700,00	bdl	19200,00	12130,00	BV2MOX3.D	1960,00	16,70	2253,00	342,00	1326,00	3,38	
BV2OX6.D	770,00	bdl	390,00	2190,00	1780,00	BV2OX6.D	420,00	3,70	1775,00	999,00	1160,00	32,00	
BV2OX7.D	1090,00	bdl	bdl	90,00	218,00	BV2OX7.D	660,00	0,74	1409,00	872,00	1134,40	41,40	
BV3MAG1.D	3510,00	bdl	bdl	319,00	14350,00	BV3MAG1.D	2080,00	7,96	4110,00	174,00	1107,00	2,06	
BV3OX2.D	4970,00	7300,00	750,00	4700,00	3700,00	BV3OX2.D	2810,00	2,62	1713,00	1395,00	1199,00	14,60	
BV3OX2.D	840,00	bdl	290,00	3300,00	244,00	BV3OX2.D	420,00	0,67	1823,00	1208,00	1128,00	20,20	
BV3OX3.D	580,00	1500,00	540,00	2280,00	321,00	BV3OX3.D	410,00	0,61	1822,00	983,00	1097,00	14,90	
BV24OX1.D	2800,00	bdl	1100,00	2760,00	580,00	BV24OX1.D	870,00	0,98	1691,00	1444,00	1159,00	22,80	
BV24OX2.D	14000,00	bdl	4200,00	27200,00	650,00	BV24OX2.D	16500,00	3,87	1599,00	1543,00	1353,00	26,20	
BV24OX2.D	9600,00	bdl	7200,00	17300,00	350,00	BV24OX2.D	9900,00	2,20	1171,00	1589,00	1237,00	28,00	
BV24OX2B.D	710,00	bdl	90,00	990,00	528,00	BV24OX2B.D	970,00	0,12	1314,00	1429,00	1086,00	13,30	
BV24OX3.D	17800,00	bdl	bdl	2200,00	9600,00	BV24OX3.D	19300,00	8,70	1348,00	1728,00	1259,00	29,10	
BV26OX2.D	469,00	bdl	bdl	31,30	bdl	BV26OX2.D	48,00	0,30	1162,00	1673,00	1240,00	45,50	
BV26OX2B.D	198,00	bdl	bdl	bdl	26,00	BV26OX2B.D	36,00	0,19	1116,00	1461,00	1326,00	43,70	
BV26OX2C.D	45,00	bdl	350,00	840,00	10,60	BV26OX2C.D	44,60	bdl	1316,00	1558,00	1257,00	44,40	
BV26OX2D.D	46,00	bdl	bdl	bdl	21,60	BV26OX2D.D	83,00	0,34	1288,00	1699,00	1290,00	45,00	
BV26OX3A.D	63,00	bdl	bdl	110,00	6900,00	BV26OX3A.D	119,00	4,10	1246,00	2565,00	1195,00	53,60	
BV26OX3B.D	8,30	bdl	130,00	460,00	9,70	BV26OX3B.D	9,16	0,20	1337,00	2534,00	1238,00	52,40	
BV26OX3D.D	700,00	bdl	bdl	120,00	8,00	BV26OX3D.D	940,00	0,69	1308,00	2502,00	1255,00	50,10	
BV26OX3E.D	54,00	bdl	bdl	bdl	49,60	BV26OX3E.D	78,00	0,05	1353,00	2670,00	1229,00	52,80	
BV26OX4A.D	139,00	bdl	bdl	340,00	430,00	BV26OX4A.D	321,00	0,93	1167,00	1766,00	1265,00	47,70	
BV26OX4B.D	13,40	bdl	bdl	bdl	12,90	BV26OX4B.D	11,00	0,04	1187,00	1958,00	1247,00	45,20	
BV26OX4C.D	25,00	bdl	bdl	bdl	11,90	BV26OX4C.D	25,00	0,17	1257,00	1913,00	1244,00	40,70	
BV26OX4D.D	45,00	bdl	bdl	bdl	8,50	BV26OX4D.D	18,80	0,12	1261,00	1668,00	1280,00	40,90	
BV26OX4E.D	508,00	bdl	bdl	4700,00	10700,00	BV26OX4E.D	790,00	18,20	1057,00	1234,00	1206,00	48,30	
BV26OX5A.D	560,00	6300,00	34,00	100,00	9,60	BV26OX5A.D	113,00	0,16	1227,00	3206,00	1317,00	41,00	
BV26OX5B.D	580,00	bdl	bdl	230,00	4200,00	BV26OX5B.D	720,00	12,30	1010,00	3344,00	1308,00	47,70	
BV26OX5C.D	262,00	bdl	bdl	630,00	5610,00	BV26OX5C.D	120,00	6,20	1706,00	2779,00	1238,00	40,00	
BV26OX6.D	1700,00	bdl	bdl	4400,00	4700,00	BV26OX6.D	2420,00	8,70	1591,00	2890,00	1293,00	50,70	
BV26OX6B.D	191,00	bdl	bdl	87,00	460,00	BV26OX6B.D	63,00	0,37	1790,00	2538,00	1294,00	50,60	
BV26OX6C.D	730,00	bdl	bdl	2870,00	1620,00	BV26OX6C.D	194,00	1,31	1589,00	2516,00	1288,00	48,60	
BV26OX6D.D	147,00	bdl	bdl	2060,00	2760,00	BV26OX6D.D	46,00	1,95	1590,00	2382,00	1262,00	46,60	
BV6OX1.D	2200,00	bdl	bdl	23000,00	48,00	BV6OX1.D	8500,00	1,13	1332,00	993,00	1550,00	16,10	
BV6OX2B.D	600,00	bdl	bdl	270,00	9,80	BV6OX2B.D	130,00	0,11	1386,00	1167,00	1136,00	7,72	
BV6OX2F.D	400,00	bdl	bdl	bdl	2,90	BV6OX2F.D	110,00	0,17	838,00	1279,00	1112,00	8,10	
BV18OX2C.D	3700,00	22500,00	76,00	52,00	4350,00	BV18OX2C.D	230,00	2,04	10130,00	692,00	1116,00	1,34	
C6OX1B.D	4210,00	23800,00	33,00	297,00	83,00	C6OX1B.D	1336,00	5,08	2490,00	9850,00	1092,00	5,79	
C6OX1C.D	824,00	5320,00	36,00	4130,00	307,00	C6OX1C.D	2100,00	1,31	2593,00	3202,00	1199,00	6,64	
C6OX1D.D	5100,00	39400,00	57,00	6700,00	301,00	C6OX1D.D	3760,00	6,85	2382,00	4870,00	1238,00	8,00	
C6OX1E.D	1510,00	41700,00	142,00	3080,00	232,00	C6OX1E.D	2380,00	1,91	2850,00	2851,00	1194,00	7,04	
Average	1746,63	15201,82	1215,22	4873,85	3826,21	#DIV/0!	1844,02	4,90	2035,88	1905,10	1262,37	41,75	
Median	529,00	7300,00	350,00	2815,00	445,00	#NUM!	331,00	1,30	1532,50	1573,50	1258,00	44,05	

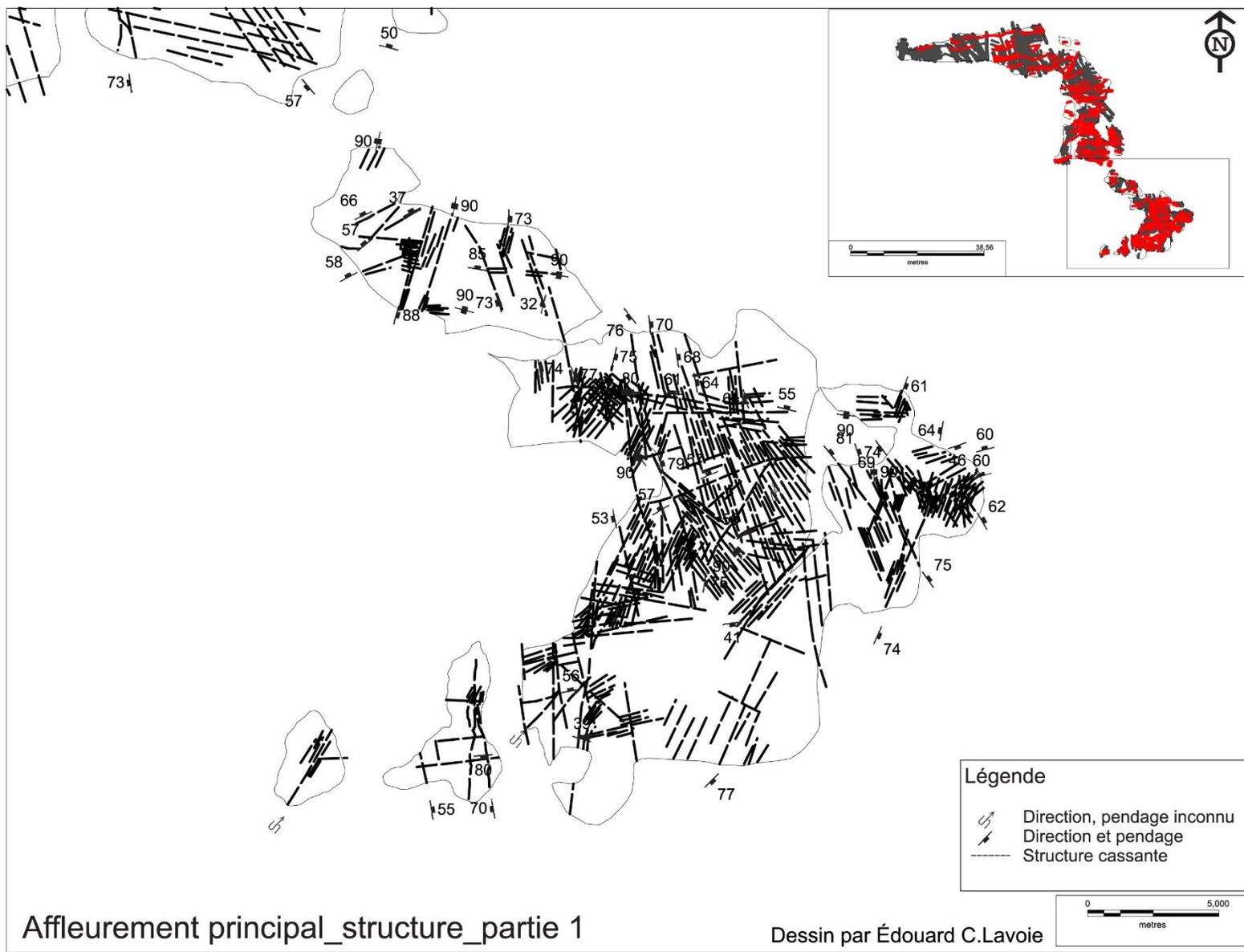
Oxydes - Totales													Page 2
Source file	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	Ga_ppm_m69	Ga_ppm_m71	Ge_ppm_m74	As_ppm_m75	Y_ppm_m89	Zr_ppm_m90	Zr_ppm_m92	Nb_ppm_m93	
B12-OX1.D	135	1,07	1,26	80,00	3,00	3,40	1,03	0,10	3,70	14,00	15,00	0,08	
B12-OX2.D	497	36,00	1,68	90,90	1,92	2,75	0,93	0,37	32,00	7000,00	3700,00	1,83	
B12OX3.D	14	4,20	5,30	27,10	3,60	3,00	bdl	2,79	2,60	1,40	26,50		
B12OX4.D	13	3,00	6,20	31,00	550,00	3,80	bdl	6,70	7,80	26,60	14,30	56,10	
BV1-OX2.D	215	7,00	7,10	163,00	130,00	5,99	1,02	1,60	0,21	0,59	0,46	0,04	
BV1OX2B.D	223	6,20	6,30	195,00	310,00	7,27	1,26	1,90	0,73	1,89	1,22	0,33	
BV1OX1A.D	283	12,30	14,60	190,20	570,00	9,69	1,31	2,40	1,02	2,80	2,06	0,65	
BV1OX1A.D	279	3,70	3,50	207,00	28,00	11,70	1,23	0,50	0,55	3,60	2,50	0,41	
BV1OX1A.D	277	13,40	13,90	170,60	11,40	9,30	1,34	4,00	3,80	8,70	4,90	5,30	
BV1OX1B.D	282	1,43	1,65	166,00	8,74	10,10	0,36	0,80	0,85	10,60	5,50	1,55	
BV1OX1B.D	286	18,10	16,80	178,90	34,00	9,86	0,95	3,60	1,32	18,00	11,10	0,29	
BV1OX3.D	220	3,40	3,80	159,00	10,59	11,37	1,50	2,10	0,69	1,22	1,12	0,50	
BV1OX3B.D	214	4,60	2,50	156,00	9,70	12,60	2,22	1,10	0,03	0,59	0,53	0,04	
BV1OX3C.D	219	6,20	6,60	171,00	11,80	12,50	1,29	1,00	0,88	1,44	1,41	3,31	
BV1OX4.D	227	0,87	0,88	169,30	7,58	8,05	0,74	bdl	0,07	0,08	0,27	0,02	
BV1OX4.D	223	9,00	9,10	167,00	12,20	8,55	1,32	4,60	1,46	50,00	25,00	0,77	
BV1OX4.D	219	7,30	7,40	148,90	10,00	9,60	1,18	1,70	0,92	3,20	1,80	0,40	
BV2OX1A.D	157	14,50	14,30	146,00	15,70	8,20	1,12	bdl	2,40	7,30	4,70	0,96	
BV2OX1B.D	151	9,30	9,20	79,00	11,40	7,60	1,34	0,94	2,40	3,50	2,04	0,03	
BV2MOX2.D	14	19,10	19,30	65,80	6,50	4,93	0,41	2,87	2,81	29,30	15,60	6,44	
BV2MOX3.D	7	26,60	28,20	23,30	300,00	5,30	0,26	11,90	7,00	47,00	25,00	7,60	
BV2OX6.D	180	12,50	12,40	41,70	6,00	5,93	1,69	2,02	28,00	1010,00	530,00	1,25	
BV2OX7.D	122	7,40	7,90	44,20	4,03	4,46	3,86	0,26	1,86	2,80	1,96	0,26	
BV3MAG1.D	7	7,50	8,70	27,20	25,40	3,41	0,31	6,02	2,76	8,40	5,10	14,27	
BV3OX2.D	189	36,00	32,10	55,00	101,00	11,70	0,30	4,20	3,48	8,70	4,50	0,76	
BV3OX2.D	235	6,10	6,40	31,10	470,00	11,50	0,68	1,20	1,37	0,56	0,64	0,11	
BV3OX3.D	220	1,20	2,20	22,20	200,00	6,80	0,88	1,88	1,34	50,00	26,00	0,07	
BV24OX1.D	307	10,80	10,60	33,90	6,60	4,54	1,45	bdl	2,29	6,10	3,50	0,03	
BV24OX2.D	231	212,00	214,00	128,00	122,00	20,20	1,66	5,40	11,80	23,10	13,80	0,82	
BV24OX2.D	214	28,20	21,80	88,00	10,90	14,10	2,80	bdl	7,40	12,00	6,40	0,99	
BV24OX2B.D	226	7,20	5,70	25,50	144,00	8,60	bdl	6,50	2,15	2,48	2,20	0,52	
BV24OX3.D	149	51,00	54,00	141,00	50,00	15,90	1,02	2,80	4,80	5,30	3,00	2,70	
BV26OX2.D	201	18,00	20,00	27,40	2,68	2,86	0,38	bdl	0,01	0,11	0,38	0,04	
BV26OX2B.D	213	160,00	190,00	29,20	2,17	1,92	1,30	bdl	0,03	0,10	0,41	0,03	
BV26OX2C.D	239	53,00	49,00	36,00	2,31	2,22	0,40	bdl	0,04	8,70	4,90	bdl	
BV26OX2D.D	250	42,00	30,00	29,20	1,30	2,05	1,40	bdl	0,02	0,09	0,27	0,09	
BV26OX3A.D	211	7,10	4,50	31,60	1,59	2,54	1,70	bdl	1,43	3,60	2,70	2,36	
BV26OX3B.D	228	1,93	2,10	32,10	1,62	2,18	0,95	bdl	0,09	bdl	0,62	0,01	
BV26OX3D.D	238	27,00	22,20	29,20	2,40	2,80	1,60	bdl	0,73	4,20	2,75	0,02	
BV26OX3E.D	218	23,00	21,00	33,10	1,09	2,49	1,37	bdl	0,03	0,05	0,54	0,03	
BV26OX4A.D	164	2,30	2,80	37,70	1,58	2,11	1,04	bdl	0,89	1,04	0,99	0,40	
BV26OX4B.D	218	13,00	10,00	25,30	1,20	1,63	0,35	0,80	0,00	bdl	0,21	0,01	
BV26OX4C.D	204	2,80	1,50	34,90	1,01	1,80	1,12	0,20	0,02	0,01	0,26	0,01	
BV26OX4D.D	192	1,25	0,62	32,40	1,42	2,20	0,50	bdl	0,02	0,12	0,21	0,01	
BV26OX4E.D	209	16,00	7,20	28,30	1,68	3,60	0,50	2,40	12,70	10,40	7,50	13,30	
BV26OX5A.D	162	160,00	170,00	31,80	3,00	2,13	1,10	0,40	0,03	1,60	1,20	0,06	
BV26OX5B.D	185	24,00	21,00	73,00	3,10	1,89	1,00	2,00	15,30	3,20	2,44	2,86	
BV26OX5C.D	186	13,90	8,80	26,30	1,93	2,41	0,17	1,30	2,93	1,34	1,07	2,83	
BV26OX6.D	247	1920,00	1940,00	55,00	4,24	4,19	1,50	0,10	6,10	2,61	2,67	1,17	
BV26OX6B.D	239	13,40	12,80	39,60	2,13	2,58	1,18	bdl	0,02	0,16	0,97	0,08	
BV26OX6C.D	276	140,00	170,00	40,00	5,90	2,78	1,00	bdl	0,42	1,55	1,70	1,00	
BV26OX6D.D	253	24,00	27,00	31,70	11,10	2,60	2,90	0,90	0,96	3,50	2,50	1,15	
BV6OX1.D	514	1,90	1,56	99,00	7,70	4,35	1,16	bdl	1,70	0,43	0,66	bdl	
BV6OX2B.D	371	3,40	2,50	67,30	2,96	3,46	0,62	0,70	0,04	0,17	0,48	0,01	
BV6OX2F.D	410	3,30	2,10	49,20	1,25	2,79	0,50	1,10	0,00	0,06	0,43	0,03	
BV18OX2C.D	6	0,06	0,35	30,90	2,99	2,72	1,87	2,55	0,38	1,66	1,76	14,76	
C6OX1B.D	1080	2,07	2,80	413,00	11,26	11,80	1,33	1,38	0,27	1,70	2,13	0,04	
C6OX1C.D	1073	2,33	3,00	194,00	6,63	7,49	1,11	2,30	0,45	0,77	0,77	0,27	
C6OX1D.D	978	8,70	9,10	357,00	13,90	14,80	1,03	5,50	1,15	1,58	2,08	0,23	
C6OX1E.D	1188	0,99	0,43	121,00	7,90	8,50	1,05	bdl	0,18	0,45	0,45	0,01	
Average	269,76	54,54	54,80	90,97	54,90	6,29	1,15	2,44	3,11	145,03	74,60	3,03	
Median	219,50	8,85	8,30	52,10	7,11	4,50	1,11	1,89	0,99	2,71	2,05	0,40	

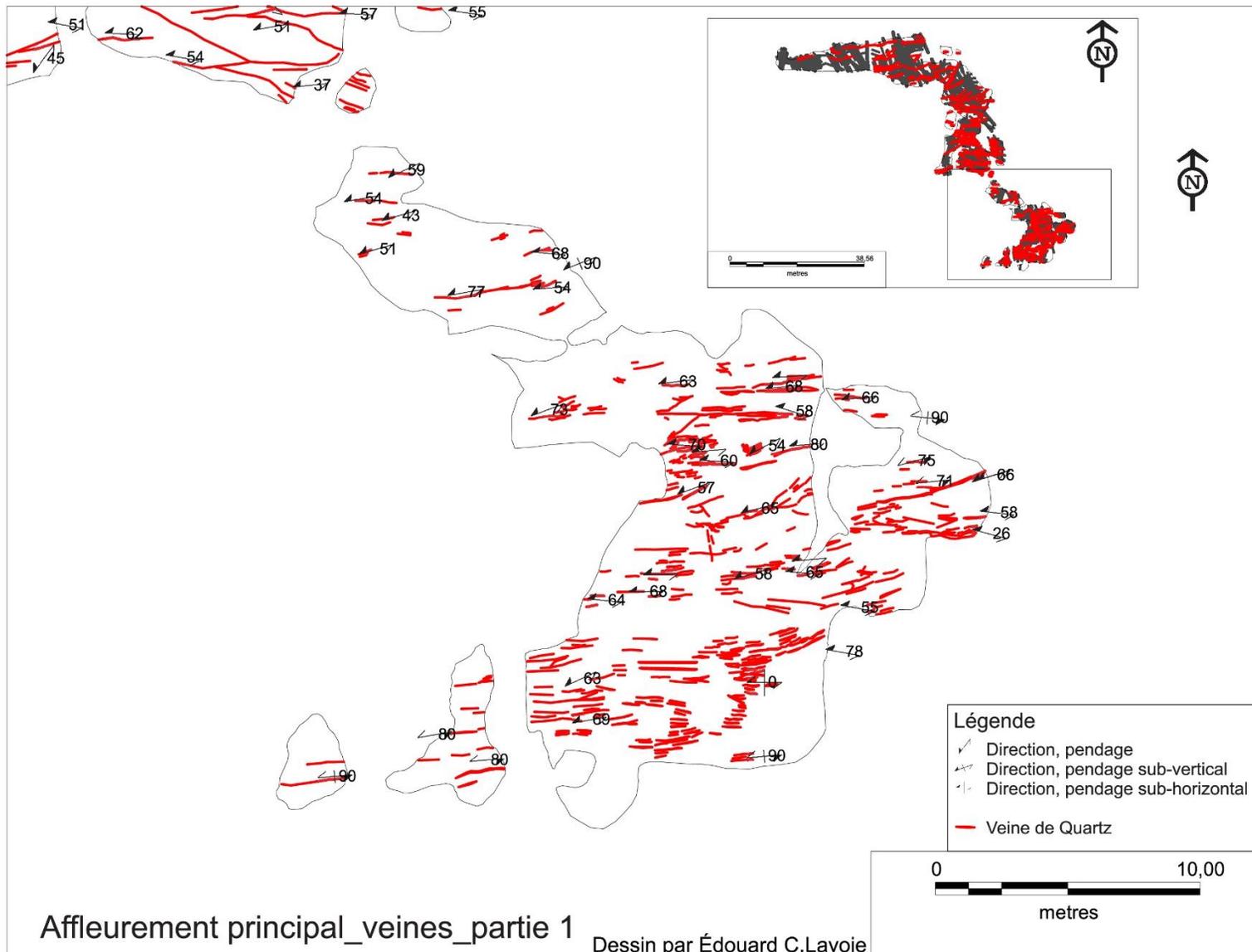
Oxydes - Coeurs														Page 1
Source file	Al_ppm_m27	Si_ppm_m29	P_ppm_m31	Ca_ppm_m44	Ti_ppm_m47	Mg_ppm_m24	Sc_ppm_m45	V_ppm_m51	Cr_ppm_m52	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60		
C6OX1A.D	490,00	49400,00	137,00	2000,00	530,00	910,00	0,73	3060,00	7120,00	1160,00	5,90	1373		
C6OX1B.D	4160,00	21300,00	27,00	331,00	89,00	1323,00	4,96	2585,00	10120,00	1115,00	5,86	1086		
C6OX1D.D	2770,00	27400,00	57,00	6700,00	293,00	3190,00	5,76	2348,00	4930,00	1250,00	6,90	934		
C6OX1E.D	932,00	32100,00	103,00	3590,00	236,00	2420,00	1,36	2933,00	2814,00	1186,00	7,40	1188		
C6OX1C.D	820,00	5300,00	39,00	4430,00	311,00	2180,00	1,33	2666,00	3280,00	1162,00	6,43	1065		
B12-OX2.D	18,30	bdl	3100,00	5500,00	134,00	27,60	0,32	2539,00	819,00	1339,00	36,40	502		
B12OX2B.D	82,00	bdl	400,00	1640,00	26,40	150,00	3,70	2511,00	921,00	1327,00	36,70	514		
BV6OX1.D	580,00	bdl	bdl	58,00	53,00	192,00	0,03	1496,00	1007,00	1102,00	14,30	529		
BV1OX1B.D	38,20	bdl	bdl	bdl	300,00	15,91	0,07	1813,00	1773,00	1341,00	95,30	285		
BV1OX1A.D	316,00	bdl	bdl	600,00	2030,00	600,00	0,53	1665,00	1452,00	1328,00	94,30	282		
BV1OX1A.D	21,70	bdl	630,00	1350,00	75,00	13,00	0,03	1679,00	1819,00	1352,00	96,40	282		
BV1OX1A.D	21,40	bdl	bdl	25,00	72,00	40,00	0,23	1598,00	1678,00	1311,00	97,90	278		
BV6OX2F.D	340,00	bdl	bdl	31,00	2,40	310,00	0,30	721,00	1420,00	1083,00	6,60	419		
BV1OX4.D	32,30	bdl	800,00	820,00	4,60	29,30	0,00	1536,00	1316,00	1377,00	79,00	223		
BV1OX3.D	21,80	bdl	bdl	9,00	8,30	20,10	0,02	1673,00	995,00	1343,00	74,80	216		
BV1OX4.D	425,00	bdl	bdl	21700,00	134,00	350,00	0,01	1478,00	1371,00	1476,00	73,20	229		
BV1OX5.D	123,00	bdl	110,00	320,00	63,00	236,00	0,21	1474,00	1196,00	1374,00	74,20	218		
BV1OX2B.D	220,00	bdl	790,00	2000,00	13,40	360,00	0,06	1529,00	1186,00	1301,00	74,50	217		
BV1OX4.D	129,00	bdl	50,00	20200,00	104,00	256,00	0,05	1492,00	1070,00	1546,00	70,30	218		
BV1-OX2.D	27,40	bdl	bdl	bdl	5,50	14,30	bdl	1511,00	1203,00	1301,00	75,70	212		
BV24OX2.D	14000,00	bdl	bdl	2800,00	393,00	18200,00	2,73	1722,00	1324,00	1243,00	26,70	267		
BV3OX4.D	7800,00	bdl	1,00	97,00	407,00	9000,00	1,09	1861,00	1094,00	1170,00	30,30	272		
BV6OX2A.D	31,00	15200,00	170,00	320,00	16,60	11,50	0,08	1273,00	1461,00	1114,00	6,90	347		
BV24OX1.D	150,00	bdl	92,00	310,00	110,00	35,00	0,23	1815,00	1390,00	1125,00	22,60	334		
BV26OX6C.D	230,00	bdl	bdl	2180,00	960,00	95,00	0,84	1672,00	2562,00	1291,00	49,60	262		
BV24OX2.D	3400,00	bdl	17500,00	38200,00	13,10	4400,00	0,63	1488,00	1543,00	1186,00	24,40	267		
BV26OX6.D	216,00	bdl	bdl	2,00	29,00	67,00	0,30	1693,00	2597,00	1273,00	48,80	254		
BV26OX6.D	72,00	bdl	bdl	0,00	96,00	95,00	0,11	1656,00	2614,00	1260,00	48,80	244		
BV26OX6.D	133,00	bdl	bdl	bdl	21,90	46,80	0,29	1675,00	2800,00	1273,00	49,30	240		
BV26OX3B.D	10,30	bdl	bdl	bdl	10,30	10,40	0,12	1388,00	2550,00	1238,00	50,60	229		
BV26OX3E.D	39,00	bdl	bdl	bdl	37,10	72,00	0,04	1322,00	2740,00	1224,00	50,80	218		
BV3OX2.D	830,00	bdl	bdl	4300,00	296,00	580,00	0,53	1899,00	1156,00	1111,00	18,80	241		
BV26OX4B.D	11,20	bdl	bdl	bdl	13,40	10,20	0,03	1203,00	1964,00	1252,00	44,70	205		
BV2OX6.D	290,00	bdl	640,00	1840,00	155,00	420,00	0,95	1843,00	1037,00	1183,00	36,30	184		
BV3OX3.D	325,00	bdl	530,00	2740,00	344,00	231,00	0,51	1824,00	1014,00	1105,00	16,40	224		
BV3OX2.D	3500,00	1100,00	730,00	3000,00	3200,00	2200,00	1,90	1822,00	1420,00	1148,00	12,30	198		
BV26OX2.D	660,00	bdl	bdl	bdl	29,00	69,00	0,44	1185,00	1541,00	1212,00	42,20	188		
B12-OX1.D	270,00	bdl	bdl	130,00	53,00	570,00	4,10	1537,00	815,00	1322,00	47,70	135		
BV26OX5C.D	85,00	bdl	bdl	349,00	3890,00	95,00	3,26	1805,00	2869,00	1240,00	40,10	184		
BV2OX1A.D	1440,00	bdl	bdl	370,00	20,00	2430,00	0,56	1350,00	2600,00	1112,00	41,80	139		
BV26OX4A.D	197,00	bdl	bdl	550,00	670,00	438,00	1,27	1203,00	1806,00	1252,00	47,20	159		
BV2OX1B.D	23,80	bdl	210,00	460,00	65,30	20,60	0,35	1630,00	1205,00	1098,00	38,20	162		
BV26OX5A.D	390,00	5600,00	18,00	79,00	14,00	139,00	0,08	1236,00	3206,00	1281,00	40,20	159		
BV2OX5.D	2200,00	18300,00	165,00	1310,00	3500,00	3400,00	3,10	1559,00	1304,00	1147,00	31,90	141		
BV2OX1A.D	48,00	bdl	bdl	bdl	30,60	75,00	2,30	1482,00	3910,00	1105,00	39,40	139		
BV2OX7.D	310,00	bdl	bdl	10,00	95,00	570,00	0,37	1456,00	1046,00	1143,00	46,00	129		
BV24OX3.D	1890,00	bdl	bdl	110,00	198,00	1620,00	1,28	1303,00	1472,00	1108,00	16,80	117		
BV2MAG4.D	2280,00	11500,00	43,00	13400,00	37700,00	581,00	18,20	1580,00	1203,00	1424,00	5,41	7		
BV18OX2C.D	3870,00	14380,00	51,00	67,00	4060,00	376,00	2,69	10090,00	550,00	1099,00	1,44	7		
Average	1148,36	18325,45	1099,71	3510,44	1243,10	1193,77	1,42	1875,08	2046,59	1234,96	40,97	324,95		
Median	270,00	15200,00	151,00	600,00	95,00	236,00	0,48	1630,00	1452,00	1240,00	40,10	229,00		

Oxydes - Coeurs												Page 2
Source file	Cu_ppm_m63	Cu_ppm_m65	Zn_ppm_m66	Ga_ppm_m69	Ga_ppm_m71	Ge_ppm_m74	As_ppm_m75	Y_ppm_m89	Zr_ppm_m90	Zr_ppm_m92	Nb_ppm_m93	Mo_ppm_m95
C6OX1A.D	2,30	1,90	410,00	7,40	7,90	0,80	1,90	0,56	0,36	1,07	0,06	0,25
C6OX1B.D	1,80	2,60	418,00	10,65	12,00	1,56	1,45	0,34	1,81	1,98	0,06	0,12
C6OX1D.D	6,30	5,40	359,00	9,90	10,20	1,19	6,00	1,26	1,99	2,06	0,26	bdl
C6OX1E.D	0,42	0,29	103,50	6,70	7,33	1,23	bdl	0,19	0,41	0,41	0,04	0,13
C6OX1C.D	1,94	2,90	156,00	6,29	6,80	1,21	1,53	0,60	0,55	0,74	0,26	0,07
B12-OX2.D	100,00	2,80	93,40	2,06	3,01	0,81	0,30	1,09	1,26	1,08	bdl	0,32
B12OX2B.D	0,49	0,86	80,10	1,55	2,11	0,98	bdl	34,00	4700,00	2500,00	bdl	1,25
BV6OX1.D	0,69	0,09	80,60	1,59	3,35	1,35	bdl	0,10	0,36	0,53	bdl	0,54
BV10X1B.D	0,25	0,44	190,20	7,98	8,89	1,06	bdl	0,00	0,01	0,47	0,01	0,39
BV10X1A.D	16,20	19,50	192,80	840,00	9,53	1,32	3,90	0,55	2,31	1,82	0,10	0,52
BV10X1A.D	0,20	0,57	182,00	7,14	11,10	0,71	bdl	0,05	0,05	0,29	0,02	0,14
BV10X1A.D	0,83	1,61	176,00	7,53	8,90	0,78	bdl	0,03	0,32	0,40	0,10	0,13
BV6OX2F.D	0,35	bdl	54,00	2,20	2,90	1,40	bdl	0,00	0,01	0,19	0,01	0,37
BV10X4.D	0,55	0,63	167,60	7,40	7,90	0,68	bdl	0,09	0,01	0,19	0,02	0,50
BV10X3.D	1,15	1,46	165,00	9,68	10,35	1,73	bdl	0,02	0,28	0,46	0,02	0,30
BV10X4.D	8,40	9,60	154,00	10,40	9,30	1,50	2,10	0,36	2,60	1,60	0,14	0,35
BV10X5.D	2,89	4,10	162,00	7,97	8,78	0,95	1,00	5,40	230,00	121,00	0,18	0,33
BV10X2B.D	6,70	6,30	161,60	360,00	5,82	1,22	2,80	0,47	0,64	0,67	0,03	0,20
BV10X4.D	6,30	6,50	156,00	8,33	8,10	1,34	2,90	0,31	0,46	1,06	0,07	0,14
BV1-OX2.D	0,15	0,77	150,00	5,07	5,28	1,19	bdl	0,00	0,02	0,26	0,03	0,28
BV24OX2.D	73,00	76,00	141,00	146,00	18,90	0,78	0,30	1,80	9,80	6,50	0,24	0,73
BV3OX4.D	7,90	7,40	113,00	13,20	10,10	1,30	bdl	1,03	0,61	0,50	0,01	0,10
BV6OX2A.D	0,05	bdl	57,00	1,93	2,86	1,64	0,20	0,00	0,01	0,33	bdl	bdl
BV24OX1.D	4,10	3,90	27,10	2,61	2,91	1,01	bdl	0,68	0,63	0,67	0,02	0,05
BV26OX6C.D	250,00	300,00	39,80	4,40	2,54	2,10	bdl	0,14	0,73	1,20	0,60	0,76
BV24OX2.D	3,60	2,40	47,40	4,90	12,00	2,40	bdl	14,30	1,44	0,62	0,08	0,11
BV26OX6.D	4000,00	4000,00	29,30	1,70	2,30	0,80	0,00	0,20	0,59	1,50	0,27	1,10
BV26OX6.D	870,00	790,00	33,50	1,50	1,90	1,80	bdl	0,13	0,07	0,36	0,06	0,88
BV26OX6.D	1380,00	1270,00	36,50	1,00	1,70	bdl	0,30	0,04	0,05	1,09	0,08	3,60
BV26OX3B.D	7,50	6,60	29,80	1,34	2,77	1,30	bdl	0,03	bdl	0,74	bdl	0,38
BV26OX3E.D	13,00	6,70	31,50	1,27	2,39	1,46	0,10	0,01	0,01	0,67	0,04	0,40
BV3OX2.D	6,00	5,70	31,60	830,00	12,10	0,55	bdl	1,35	0,43	0,53	0,11	bdl
BV26OX4B.D	5,00	5,40	25,50	1,25	1,84	0,77	1,30	0,00	0,00	0,19	0,02	0,02
BV2OX6.D	5,00	3,90	54,00	5,28	6,18	1,25	1,00	0,71	0,67	0,54	0,08	0,50
BV3OX3.D	0,67	1,80	23,50	330,00	6,60	1,13	2,00	1,04	0,07	0,40	0,07	0,09
BV3OX2.D	18,00	18,90	53,00	136,00	10,80	0,00	6,00	3,10	4,40	3,60	0,76	0,80
BV26OX2.D	27,00	28,00	28,00	2,95	2,30	2,10	bdl	0,03	0,26	0,32	0,01	bdl
B12-OX1.D	0,68	1,32	70,10	2,86	2,62	1,07	bdl	0,31	0,21	0,32	0,04	0,17
BV26OX5C.D	12,30	7,90	28,60	1,46	1,52	1,20	0,50	1,79	0,64	1,27	1,03	0,76
BV2OX1A.D	2,90	2,90	58,90	34,00	3,96	0,44	bdl	0,18	0,06	0,50	0,00	0,08
BV26OX4A.D	15,00	14,00	31,40	1,84	2,05	1,12	0,17	1,39	1,62	1,44	0,64	0,27
BV2OX1B.D	0,05	0,54	35,20	2,15	3,05	0,60	0,20	0,08	0,06	0,28	0,02	0,47
BV26OX5A.D	240,00	250,00	34,20	2,64	2,33	1,30	0,40	0,01	2,60	1,90	0,01	0,56
BV2OX5.D	21,70	1800,00	57,00	5,80	6,00	1,72	2,70	2,80	2,70	2,38	1,14	1,06
BV2OX1A.D	0,45	0,71	45,70	2,47	2,86	0,65	0,00	0,00	0,04	0,50	0,04	0,02
BV2OX7.D	2,50	3,10	45,50	2,89	4,50	4,60	0,20	2,10	0,21	0,32	0,12	0,32
BV24OX3.D	16,40	16,60	32,10	39,00	7,10	1,20	0,70	1,16	0,53	0,64	0,07	0,92
BV2MAG4.D	15,70	15,50	33,00	22,50	4,11	0,90	16,40	21,60	108,00	61,00	38,60	0,63
BV18OX2C.D	0,11	0,40	22,80	2,98	2,42	1,28	2,17	0,39	1,46	1,77	13,54	1,82
Average	146,05	185,28	100,16	59,71	5,96	1,24	2,02	2,08	105,86	55,68	1,34	0,51
Median	5,00	4,10	57,00	5,28	5,28	1,20	1,00	0,34	0,50	0,67	0,07	0,35

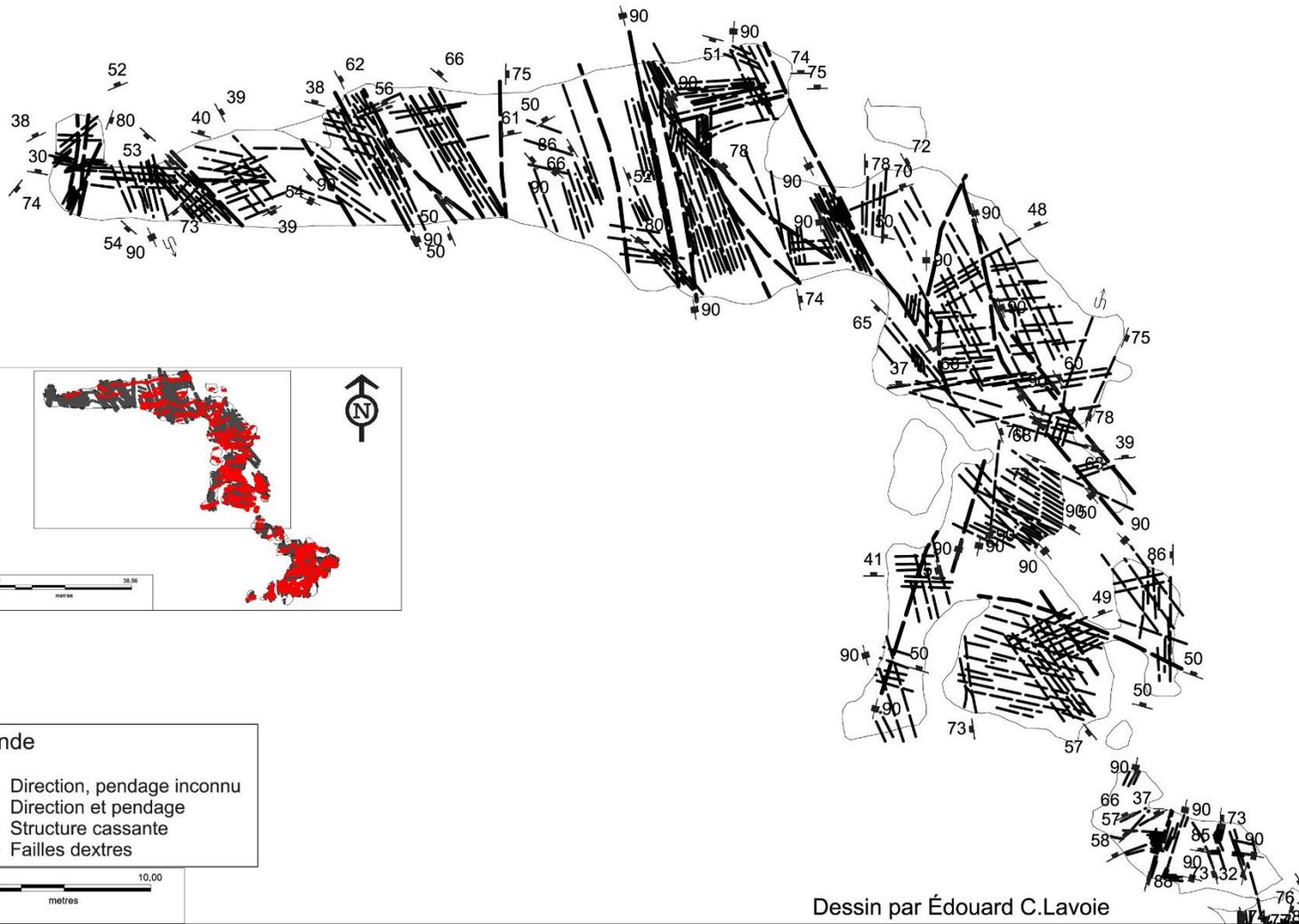
Annexe D – Cartographies des décapages



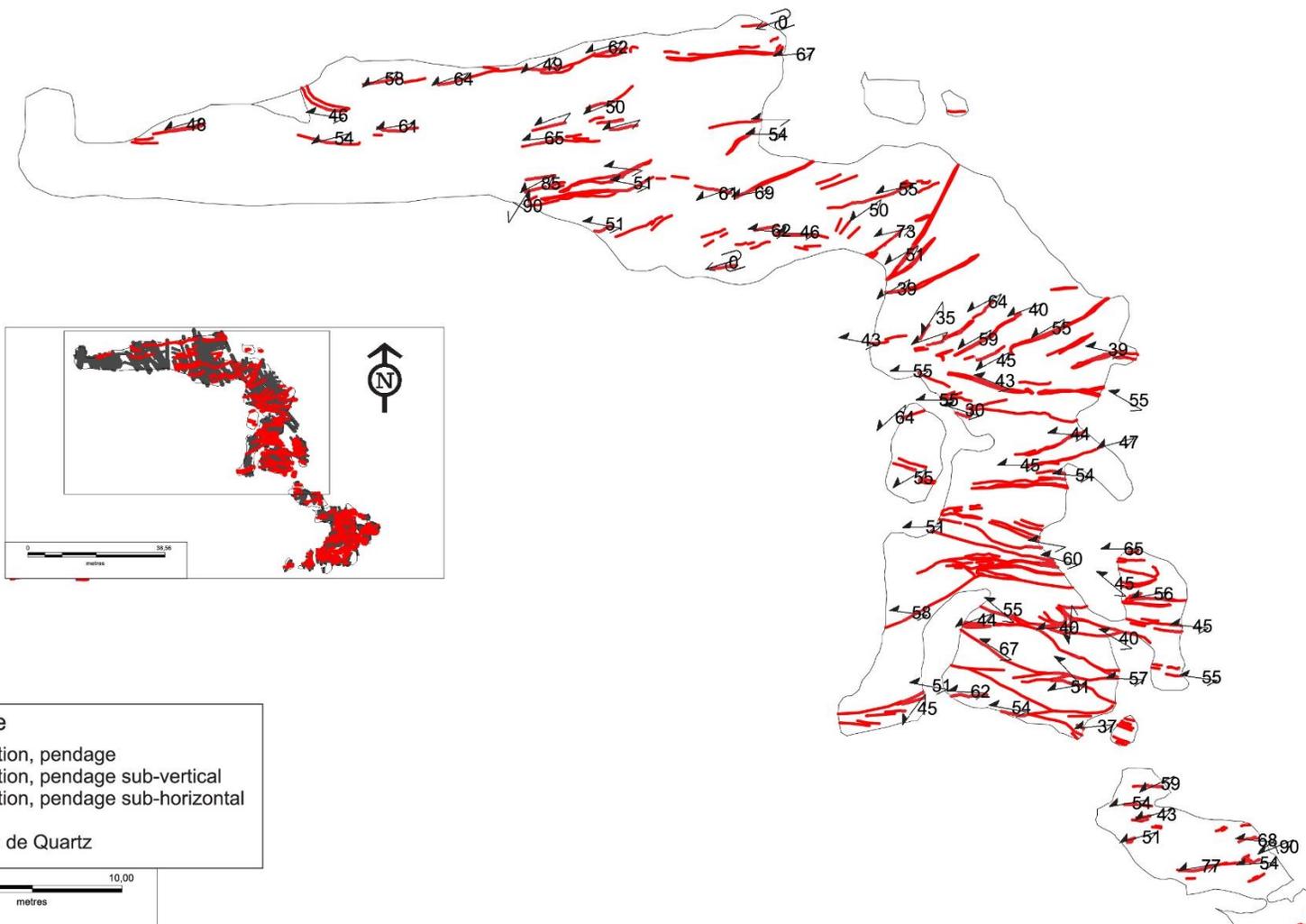




Affleurement principal_structure_partie 2

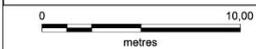


Affleurement principal_veines_partie 2

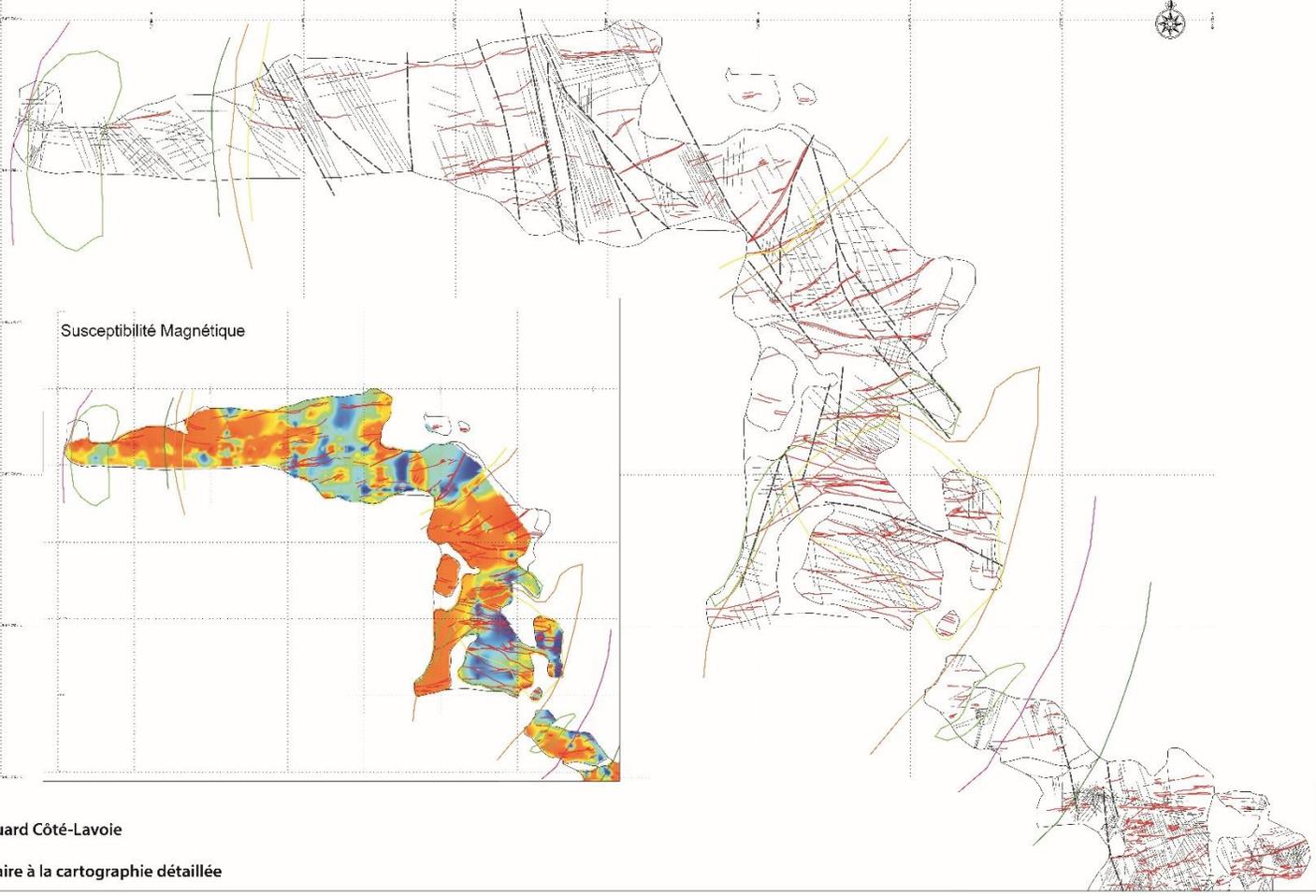


- Légende**
- ↗ Direction, pendage
 - ↘ Direction, pendage sub-vertical
 - ↔ Direction, pendage sub-horizontale

— Veine de Quartz

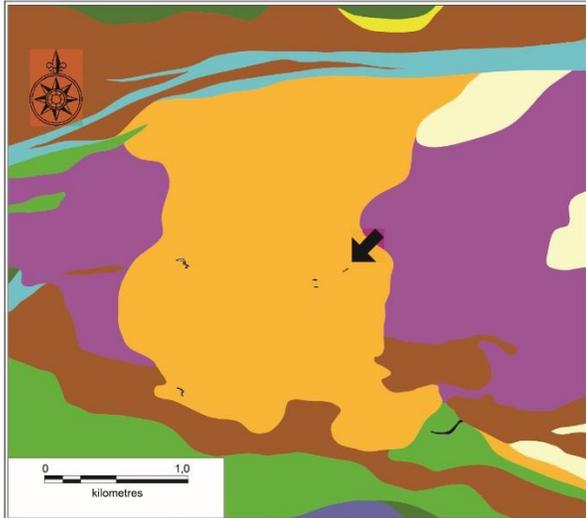


Cartographie simplifiée des veines, structures et halos d'altérations hydrothermales
en relation avec la susceptibilité magnétique, décapage principal projet Lac Shortt

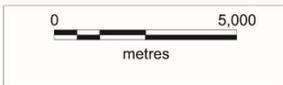
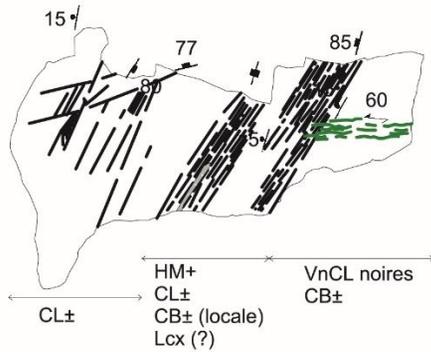
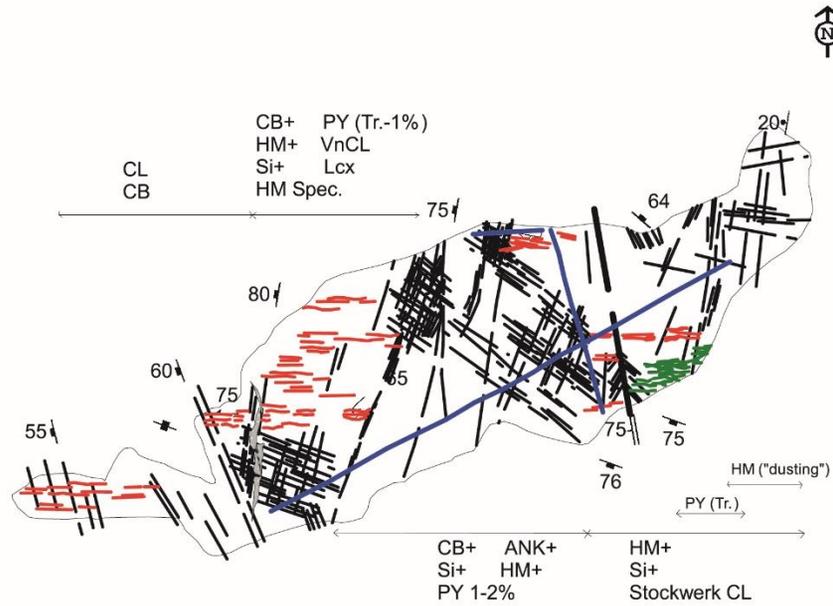


Susceptibilité Magnétique

Cartographié par Édouard Côté-Lavoie
Août 2014
Matériel complémentaire à la cartographie détaillée



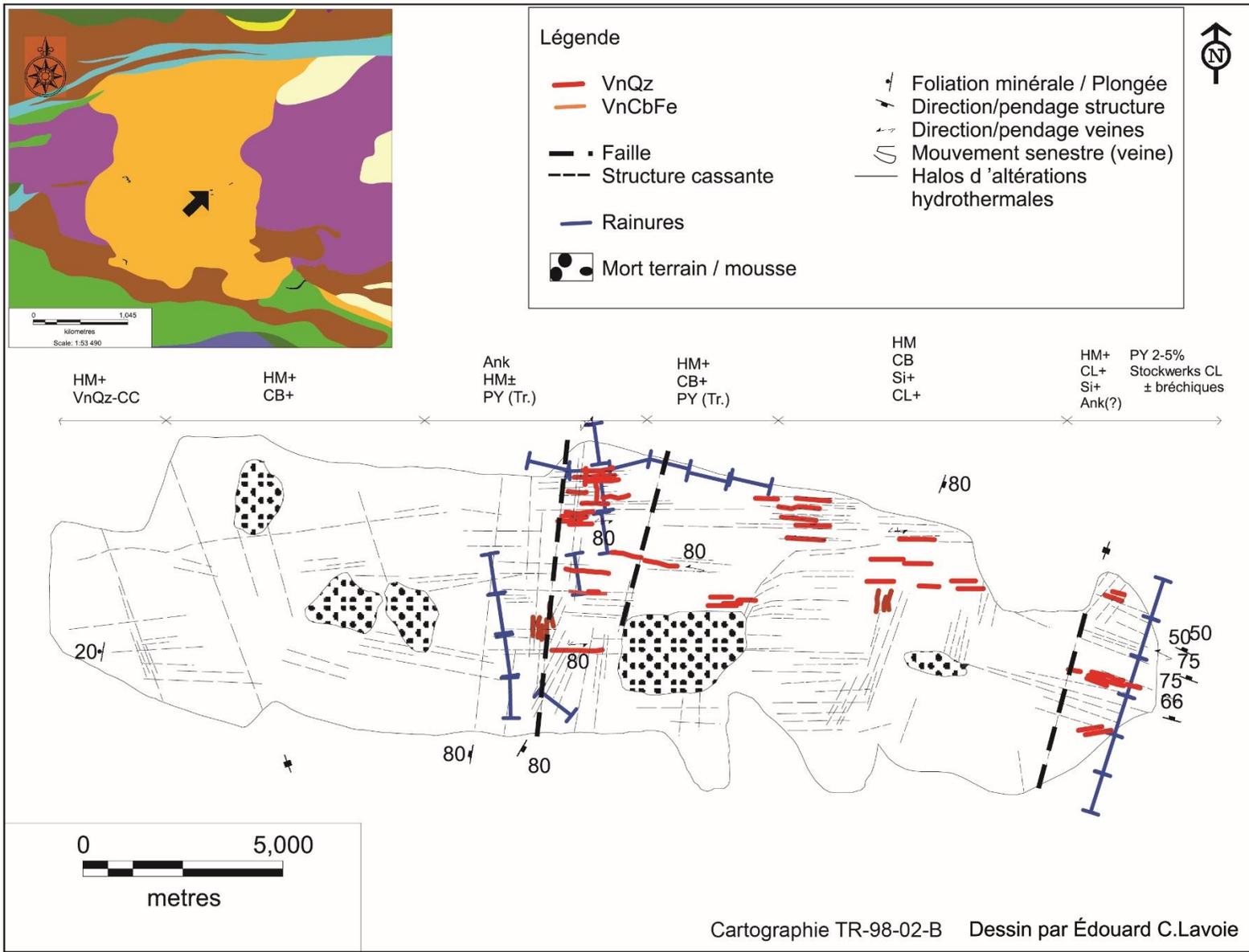
Cartographie TR-98-02-A

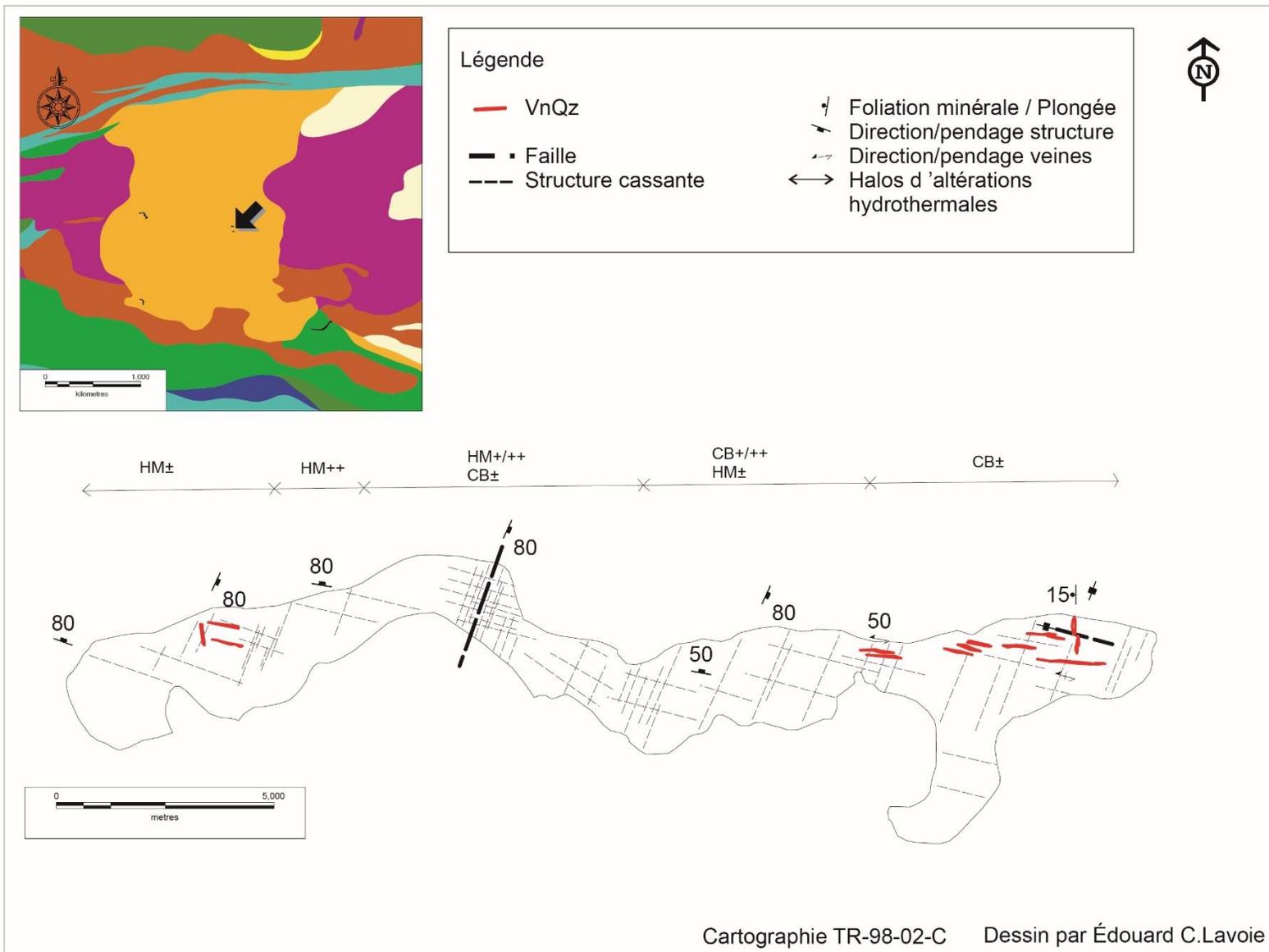


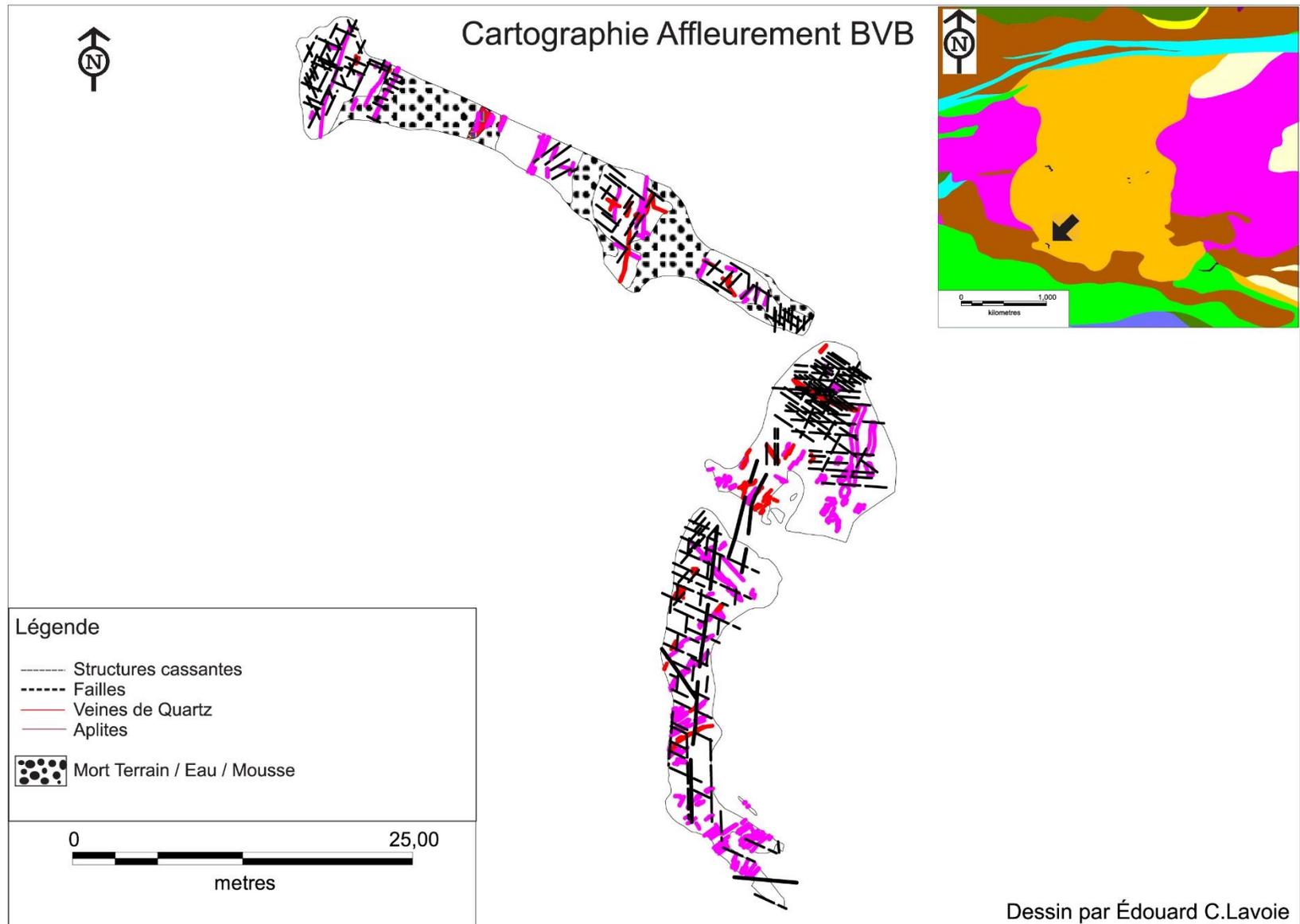
Légende

- VnQz
- VnCL
- Faille
- Structure cassante
- Rainures
- Dyke Felsique
- ↙ Foliation minérale / Plongée
- ↘ Direction/pendage structure
- ↔ Direction/pendage veines
- ↺ Mouvement senestre (veine)
- ↔ Halos d'altérations hydrothermales

Dessin par Édouard C.Lavoie







Cartographie affleurement BVB_partie 1

