

# Table des matières

RESUME.....	ii
TABLE DES MATIERES .....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES ABREVIATIONS.....	xv
REMERCIEMENTS .....	xvi
<b>1. CHAPITRE PREMIER : INTRODUCTION.....</b>	<b>18</b>
1.1 PROBLEMATIQUE GENERALE .....	18
1.2 MODELE DE SULFURES MASSIFS VOLCANOGENES .....	19
1.3 LES EXPRESSIONS DE SMV EN ABITIBI.....	20
1.4 LE CAS DE CHIBOUGAMAU.....	21
1.5 UNE HISTOIRE GEOLOGIQUE FAVORABLE AU SMV .....	23
1.6 PROBLEMATIQUE SPECIFIQUE.....	24
1.7 OBJECTIFS ET METHODOLOGIE.....	25
1.7.1 OBJECTIF 1 : DETERMINER LES CARACTERISTIQUES DISCRIMINANTES .....	26

1.7.2	OBJECTIF 2 : CARACTERISATION LITHOGEOCHIMIQUE DES ROCHES HOTES ET COMPARAISON AVEC LES MEMBRES ET FORMATIONS DU GROUPE DE ROY .....	28
1.7.3	OBJECTIF 3 : FERTILITE DES SYSTEMES HYDROTHERMAUX.....	32
1.8	PARTICULARITE DU PROJET DE MAITRISE.....	34
<b>2.</b>	<b>SECOND CHAPITRE : ÉVIDENCES D'EXPRESSIONS VOLCANOGENES</b>	<b>48</b>
2.1	SECTEUR DU LAC TACHE .....	48
2.1.1	ROCHES VOLCANIQUES MAFIQUES .....	49
2.1.2	ROCHES VOLCANIQUES ET INTRUSIONS FELSIQUES .....	50
2.1.3	ROCHES VOLCANOCLASTIQUES MAFIQUES.....	51
2.1.4	SULFURES MASSIFS .....	52
2.1.5	BRECHES HYDROTHERMALES.....	53
2.1.6	DYKES.....	54
2.1.7	ÉVIDENCE D'UN MODELE SMV ET INTERPRETATION CARTOGRAPHIQUE .....	55
2.1.8	DECAPAGES DU KM25.....	57
2.2	SECTEUR INDIAN LAKE.....	59
2.2.1	RHYODACITES.....	60
2.2.2	SULFURES MASSIFS .....	61

2.2.3	TURBIDITES.....	62
2.2.4	ÉLÉMENTS STRUCTURAUX .....	63
2.2.5	DYKES.....	64
2.2.6	INTERPRETATION CARTOGRAPHIQUE .....	64
2.3	SECTEUR SAW MILL.....	65
2.3.1	LAVES MAFIQUES APHYRIQUES .....	66
2.3.2	ROCHES VOLCANOCLASTIQUES A MATRICE PORPHYRIQUE .....	67
2.3.3	ÉLÉMENTS STRUCTURAUX .....	69
2.3.4	DYKES.....	69
2.3.5	INTERPRETATION CARTOGRAPHIQUE .....	70
2.4	INDICE DAVID.....	72
2.4.1	LAVES MAFIQUES ET FILONS-COUCHES ASSOCIES.....	72
2.4.2	ROCHES VOLCANOCLASTIQUES MAFIQUES.....	73
2.4.3	MINERALISATION.....	74
2.4.4	ÉLÉMENTS STRUCTURAUX .....	74
2.4.5	DYKES.....	75
2.4.6	INTERPRETATION CARTOGRAPHIQUE .....	75
2.5	AUTRES SECTEURS.....	76
2.5.1	INDICE DU CHEMIN DE FER .....	76

2.5.2	INDICE ICON.....	76
2.6	SYNTHESE.....	77
<b>3.</b>	<b>TROISIEME CHAPITRE : CARACTERISATION LITHOGEOCHIMIQUE ET COMPARAISON AVEC LES MEMBRES ET FORMATIONS DU GROUPE DE ROY</b>	
	.....	97
3.1	SECTEUR LAC TACHE - KM25 .....	98
3.1.1	LAVES ET TUFS MAFIQUES.....	98
3.1.2	ROCHES FELSIQUES .....	99
3.1.3	DECAPAGES DU KM25 .....	100
3.1.4	INTERFACE ENTRE LES MEMBRES DE DAVID ET D'ALLARD.....	100
3.2	SECTEUR INDIAN LAKE.....	102
3.2.1	LITHOGEOCHIMIE .....	102
3.2.2	CONSIDERATIONS STRATIGRAPHIQUES .....	102
3.3	SECTEUR SAW MILL.....	105
3.4	INDICES DAVID ET DU CHEMIN DE FER .....	105
3.4.1	LAVES ET FILONS-COUCHES MAFIQUES.....	106
3.4.2	ROCHES FELSIQUES .....	106
3.4.3	INTERFACE ENTRE LES MEMBRES DE DAVID ET D'ALLARD.....	106
3.5	INDICE ICON.....	107

3.6	CONCLUSION DES POSITIONNEMENTS STRATIGRAPHIQUES PROPOSES	108
.....		
<b>4.</b>	<b>QUATRIEME CHAPITRE : FERTILITE DES SYSTEMES</b>	
	<b>HYDROTHERMAUX</b>	<b>115</b>
.....		
4.1	INTRODUCTION	115
4.2	METHODOLOGIE ANALYTIQUE ET ECHANTILLONNAGE	116
4.2.1	TYPES D'ECHANTILLONS	116
4.2.2	METHODOLOGIE ASSOCIEE A L'ETUDE PETROGRAPHIQUE	117
4.2.3	METHODOLOGIE D'ANALYSE AU LA-ICP-MS	118
4.2.4	METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES DONNEES LA-ICP-MS	120
4.3	PETROGRAPHIE DES ECHANTILLONS	120
4.3.1	GISEMENT LAC SCOTT	120
4.3.2	SECTEUR LAC TACHE – KM25	121
4.3.3	SECTEUR INDIAN LAKE	122
4.3.4	SECTEUR SAW MILL	122
4.3.5	INDICE DAVID ET DU CHEMIN DE FER	123
4.3.6	INDICE ICON	123
4.3.7	PARC ALLARD	123
4.3.8	MINE LEMOINE	124

4.4	RESULTATS DES ANALYSES LA-ICP-MS .....	124
4.4.1	GISEMENT LAC SCOTT .....	126
4.4.2	SECTEUR LAC TACHE - KM25 .....	126
4.4.3	SECTEUR INDIAN LAKE .....	127
4.4.4	SECTEUR SAW MILL .....	127
4.4.5	INDICES DAVID ET DU CHEMIN DE FER .....	127
4.4.6	AUTRES SECTEURS .....	127
4.5	INTERPRETATION DES RESULTATS LA-ICP-MS .....	128
<b>5.</b>	<b>CINQUIEME CHAPITRE : DISCUSSION .....</b>	<b>144</b>
5.1	DEUX MODES DE MINERALISATION DANS LE MEMBRE DE DAVID .	145
5.1.1	REPLACEMENT .....	146
5.1.2	ARRET DU VOLCANISME ET EXHALAISONS .....	146
5.1.3	NOUVEAU POTENTIEL EN MINERALISATIONS VOLCANOGENES ....	
	.....	147
5.2	DES EXPRESSIONS PROXIMALES ET DISTALES A L'INTERFACE DU	
	MEMBRE DE DAVID ET DE LA FORMATION DE WACONICHI .....	148
5.2.1	SYSTEME PROXIMAL.....	148
5.2.2	ÉVIDENCES DISTALES.....	150

5.2.3 LE NIVEAU LE PLUS PROSPECTIF POUR LES SMV A CHIBOUGAMAU ?.....	150
5.3 SECTEUR SAW MILL : DES ARRETS DANS LE VOLCANISME AU SEIN DU MEMBRE D'ANDY.....	151
5.4 MEMBRE D'ALLARD : ACTIVITE HYDROTHERMALE POLYPHASEE ET TELESCOPAGE.....	153
5.4.1 FACIES DU PARC ALLARD : UN MARQUEUR REGIONAL ?.....	153
5.4.2 SOMMET DU MEMBRE D'ALLARD .....	155
5.5 IMPORTANCE DES CENTRES FELSIQUES.....	156
<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>159</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>163</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>171</b>
ANNEXE 1 : ANALYSES LITHOGEOCHIMIQUES .....	172
ANNEXE 2 : ANALYSES LA-ICP-MS .....	176

## Liste des tableaux

TABLEAU 1-1 : CARACTERISTIQUES DE CAMPS MINIERS PRODUCTEURS DE SMV EN ABITIBI (REFERENCES DONNEES DANS LA TABLE).....	35
TABLEAU 1-2 : RESUME DES METHODOLOGIES ET OBJECTIFS ASSOCIES.....	36
TABLEAU 3-1 : MOYENNE DES RATIOS ELEMENTAIRES NORMALISES AU N-MORB (KLEIN, 2004) .....	109
TABLEAU 4-1 : LAMES POLIES ET NOMBRES D'ANALYSES LA-ICP-MS PAR SECTEURS ET TYPES D'ECHANTILLONS.....	134
TABLEAU 4-2 : LES DIFFERENTES FAMILLES DE PYRITES INDIVIDUALISEES PAR GENNA ET GABOURY (2015) EN FONCTION DE LEUR PARAGENESE ET DE LEUR TEMPERATURE DE PRECIPITATION .....	134
TABLEAU 4-3 : POPULATIONS DE PYRITES DISTINGUEES POUR CHAQUE SECTEUR SELON LEUR SIGNATURE EN SE/TL VS AS ET LIEN AVEC LA NATURE DES ECHANTILLONS ET LA PETROGRAPHIE.....	135
TABLEAU 4-4 : MOYENNE DES RATIOS CU/ZN PAR FORAGES ET ZONES MINERALISEES DU GISEMENT LAC SCOTT .....	136

## Liste des figures

FIGURE 1-1 : GEOLOGIE ET GISEMENTS DE LA SOUS-PROVINCE D'ABITIBI (MODIFIEE DE MERCIER-LANGEVIN ET AL. 2014).....	37
FIGURE 1-2 : TONNAGES METAUX DES PRODUCTIONS ET RESERVES EN METAUX DE BASES DES GISEMENTS DE SMV EN ABITIBI QUEBECOIS (MODIFIEE DE CLAIRET ET AL. 2015, NON PUBLIE). .....	37
FIGURE 1-3 : MODELE DE FORMATION DES SULFURES MASSIFS VOLCANOGENES (ADAPTE DE FRANKLIN ET AL. 2005) .....	38
FIGURE 1-4 : CARTE GEOLOGIQUE DU SECTEUR CHIBOUGAMAU-CHAPAIS (MODIFIEE DE LECLERC ET AL. 2012).....	39
FIGURE 1-5 : COLONNE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DE CHIBOUGAMAU-CHAPAIS (MODIFIEE DE LECLERC ET AL. 2011).....	40
FIGURE 1-6 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SMV (REFERENCES DONNEES DANS LA FIGURE). .....	41
FIGURE 1-7 : DETAIL DES MEMBRES DE LA FORMATION DE WACONICHI .....	42
FIGURE 1-8 : DETAIL STRATIGRAPHIQUE DU MEMBRE D'ALLARD (MODIFIEE DEPUIS LECLERC ET AL. 2011).....	43
FIGURE 1-9 : AFFINITE GEOCHIMIQUE ET COMPORTEMENT DES ELEMENTS TRACES DES ROCHES DU GROUPE DE ROY.....	46
FIGURE 1-10 : LES DIFFERENTS TYPES DE PYRITE ET LEURS SIGNATURES ELEMENTAIRES (MODIFIE DE GENNA & GABOURY 2015) .....	47
FIGURE 2-1 : CARTOGRAPHIE SECTORIELLE DU LAC TACHE.....	79

FIGURE 2-2 : CARTOGRAPHIE DE DETAIL DU DECAPAGE LAC TACHE #01 .....	80
FIGURE 2-3 : CARTOGRAPHIE DE DETAIL DU DECAPAGE LAC TACHE #10.....	81
FIGURE 2-4 : PLANCHE DE PHOTOGRAPHIES POUR LES SECTEURS DU LAC TACHE ET DU KM25 .....	83
FIGURE 2-5 : COMPARAISON DES DECAPAGES LAC TACHE #01 ET LAC TACHE #10 ET MISE EN EVIDENCE DE SYSTEMES HYDROTHERMAUX PROXIMAUX ET DISTAUX .....	84
FIGURE 2-6 : CARTOGRAPHIE DE DETAIL DU DECAPAGE PRINCIPAL DU SECTEUR KM25.....	85
FIGURE 2-7 : CARTOGRAPHIE DE DETAIL DES DECAPAGES PRINCIPAUX D'INDIAN LAKE .....	86
FIGURE 2-8 : PLANCHE DE PHOTOGRAPHIES POUR LE SECTEUR D'INDIAN LAKE .....	87
FIGURE 2-9 : MODELE D'EVOLUTION PROPOSEE POUR LE SECTEUR D'INDIAN LAKE .....	88
FIGURE 2-10 : CARTOGRAPHIE DE DETAIL DU DECAPAGE SAW MILL #03.....	89
FIGURE 2-11 : CARTOGRAPHIE DE DETAIL DU DECAPAGE SAW MILL #07.....	90
FIGURE 2-12 : PLANCHE DE PHOTOGRAPHIES POUR LE SECTEUR SAW MILL	91
FIGURE 2-13: ZOOM SUR LE CONTACT ENTRE LES LAVES APHYRIQUES ET LES ROCHES VOLCANOSEDIMENTAIRES SUS-JACENTES. ÉVIDENCES D'ALTERATION HYDROTHERMALE ET DE SILICIFICATION TARDIVE .....	92
FIGURE 2-14 : CARTOGRAPHIE DE DETAIL DU DECAPAGE DAVID #01 .....	93

FIGURE 2-15 : CARTOGRAPHIE DE DETAIL DU DECAPAGE DAVID #05 .....	94
FIGURE 2-16 : PLANCHE DE PHOTOGRAPHIES POUR L'INDICE DAVID .....	95
FIGURE 2-17 : A. EMPILEMENT VOLCANOSEDIMENTAIRE D'ICON. B. PHOTOGRAPHIE DU DECAPAGE PRINCIPAL .....	96
FIGURE 3-1 : DIAGRAMME ZR/TIO <sub>2</sub> VS NB/Y POUR L'ENSEMBLE DES SECTEURS VISITES (MODIFIE DE WINCHESTER ET FLOYD, 1977) .....	110
FIGURE 3-2 : DIAGRAMMES DES ELEMENTS INCOMPATIBLES NORMALISES AU N-MORB (KLEIN, 2004) PAR SECTEURS CARTOGRAPHIES. ....	111
FIGURE 3-3 : DIAGRAMMES DES ELEMENTS INCOMPATIBLES NORMALISES AU N-MORB (KLEIN, 2004) POUR LES MEMBRES DE DAVID, D'ALLARD, DE SCOTT ET D'ANDY. LES DIAGRAMMES A. ET B. SONT ISSUS DE LECLERC ET AL. 2011. LES DONNEES AYANT SERVIES POUR L'ELABORATION DES DIAGRAMMES C. ET D PROVIENNENT DE LA BASE DE DONNEES DU SIGEOM SUR LE DISTRICT DE CHIBOUGAMAU-CHAPAI (LECLERC 2001; LECLERC ET AL. 2011) .....	112
FIGURE 3-4 : DIAGRAMMES TH/YB VS ZR/Y (ROSS ET BEDARD, 2009) PAR SECTEURS ETUDIES .....	113
FIGURE 3-5 : REPRESENTATION VERTICALE DES MEMBRES DE LE FORMATION DE WACONICHI ET DES SECTEURS CARTOGRAPHIES.....	114
FIGURE 3-6 : CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE DES INTERFACES MINERALISEES DE CHIBOUGAMAU-CHAPAI.....	114
FIGURE 4-1 : REPRESENTATION PSEUDO-3D DU GISEMENT LAC SCOTT (MODIFIE DE SALMON ET MCDONOUGH (2011)).....	137

FIGURE 4-2 : ILLUSTRATION D'UN SIGNAL DE PYRITE ZONEE, EXEMPLE SUR UN ECHANTILLON DE L'INDICE ICON .....	138
FIGURE 4-3 : POURCENTAGES DES SULFURES NORMALISES A 100 % OPAQUES PAR SECTEUR OU PAR LAME MINCE.....	140
FIGURE 4-4 : PHOTOGRAPHIES DE LAMES POLIES PAR SECTEURS.....	141
FIGURE 4-5 : DIAGRAMMES SE/TL VS AS (CHAMPS ISSUS DE GENNA ET GABOURY 2015) PAR SECTEURS .....	143
FIGURE 5-1 : ÉVOLUTION GEOLOGIQUE DU SECTEUR SAW MILL.....	158
FIGURE 6-1 : RESUME DE LA DEMARCHE SCIENTIFIQUE ET DES RESULTATS DU PROJET DE MAITRISE .....	162

## Liste des abréviations

Ag : Argent

Au : Or

Cp : Chalcopyrite

Cu : Cuivre

Gn : Galène

Mt : Magnétite

Mt @ : Millions de Tonnes

Po : Pyrrhotite

Py : Pyrite

SMV : Sulfures Massifs Volcanogènes

Zn : Zinc

## **Remerciements**

Toute ma reconnaissance à mon directeur de recherche, M. Damien Gaboury. Damien m'a proposé ce projet, et a réussi à le définir de manière à ce qu'il me convienne au mieux. Il a su maintenir ma motivation, tout en restant patient même dans mes périodes les moins productives.

Un grand merci à M. François Leclerc, co-directeur de recherche. Il s'est montré disponible en tout temps pour répondre à mes incessantes questions tordues.

Je remercie M. Patrick Houle pour sa grande disponibilité lors de la campagne de terrain de l'été 2016. Patrick, à travers sa très vaste connaissance de la géologie de Chibougamau, a fortement contribué aux interprétations dégagées dans ce travail, en plus de m'apporter une aide logistique indispensable. M. Claude Larouche (géologue indépendant) est également chaleureusement remercié pour des raisons équivalentes.

M. Yann Bureau (étudiant au Baccalauréat en Géologie à l'Université du Québec à Chicoutimi) a joué le rôle d'assistant de terrain pendant l'été 2016. La récolte des données et la réalisation des cartographies n'auraient pu être effectuées sans son travail assidu au quotidien et à l'automne 2016.

Un grand merci à messieurs Steve et Serge Larouche (Forages Chibougamau Ltée) qui ont gracieusement fourni à l'étudiant et à son assistant un logement lors de la campagne de terrain.

Messieurs Sylvain Lépine (Géologue, Les Ressources Yorbeau Inc.) et Jean Laforest (Géologue, Ressources Tectonic) ont permis à l'étudiant d'échantillonner les indices Lac Scott et ICON. Le projet ne serait pas arrivé à son niveau actuel sans l'aide de ces deux personnes.

Enfin, nous remercions le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles pour le financement et particulièrement M. Patrice Roy (Directeur du Bureau de la connaissance géoscientifique du Québec) pour son support indéfectible au projet.

Bien évidemment, je n'aurais jamais accompli cela sans le support indéfectible de mes parents et amis. Merci sincère à mes parents, qui ont su voir lorsque ça allait bien ou non, et m'ont apporté exactement le soutien dont j'avais besoin. Je leur dois tout. Merci aux nombreux amis pour m'avoir aidé à évacuer et boire la pression !

# 1. Chapitre premier :

## Introduction

### 1.1 Problématique générale

La région de Chibougamau-Chapais prend place dans la Province du Supérieur. Elle occupe l'extrême Nord-Est de la ceinture de roches vertes archéennes de l'Abitibi, en contact avec les roches paléoprotérozoïques du Grenville à l'Est et la Sous-province archéenne d'Opatica au Nord (Figure 1.1). C'est un district minier majeur en opération entre 1953 et 2008. La production s'élève à 1,57 Mt Cu, 176,1 t Au, 108,8 t Ag et 0,7 Mt Zn, principalement à partir de veines à Cu ± Au de type Lac Doré à Chibougamau et Opémiska à Chapais (Pilote et Guha 2006; Leclerc et al. 2012). L'importante fertilité de ce district en métaux de base et précieux est expliquée par la superposition de différents contextes métallogéniques. Ces contextes sont : 1) les sulfures et oxydes liés aux intrusions magmatiques litées, 2) les Sulfures Massifs Volcanogènes (SMV), 3) les minéralisations liées à une activité hydrothermale et magmatique, comme les porphyres et les épithermaux, ou encore la remobilisation de celles-ci via les veines à Cu-Au du lac Doré, 4) les gisements d'or orogénique, et 5) les veines de Cu ± Au de type Opémiska (Pilote et Guha 2006). En termes de métaux produits à partir de SMV, Chibougamau arrive loin derrière d'autres camps majeurs de l'Abitibi (Figure. 1.2), tels que Noranda, Matagami ou encore Bousquet. Cela peut être expliqué soit par une déficience des processus métallogéniques, soit par un biais de la connaissance géologique et/ou une lacune au niveau de l'exploration dans le district de Chibougamau-Chapais. Ce travail

propose un inventaire des processus fondamentaux pour la formation des SMV. Le but est de comparer l'expression de ces processus dans les camps producteurs en Abitibi avec le district de Chibougamau-Chapais, afin d'établir si la pauvreté apparente en SMV de ce district est fonction d'une géologie inadéquate ou simplement d'un état de connaissance pour ce type génétique dans la région considérée.

## **1.2 Modèle de Sulfures Massifs Volcanogènes**

Les gisements de type SMV (Franklin et al. 2005) consistent en des lentilles de sulfures polymétalliques semi-massives à massives se formant sur ou au sein d'un plancher océanique. Ils présentent une connexion tant « spatiale, temporelle que génétique avec une activité volcanique » (Franklin et al. 1981; Barrie et Hannington 1999; Franklin et al. 2005; Galley et al. 2007). Ils représentent une des plus importantes sources en Zn, Cu Pb, avec des enrichissements souvent économiques en Au et Ag et parfois en Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga et Ge (Galley et al. 2007). Parmi les critères qui contrôlent la formation et la conservation de ces gisements, les plus importants sont : 1) la présence d'eau de mer, 2) une plomberie permettant à cette eau de s'infiltrer dans le substrat rocheux, 3) une source de chaleur qui est le moteur de la convection des fluides dans la roche, 4) un focus des fluides enrichis en métaux, 5) un piège et ou un contexte géologique propice à l'accumulation et la préservation des sulfures (Figure 1.3). Différents types de SMV peuvent être considérés, selon la lithologie des roches hôtes et environnantes (Barrie et Hannington 1999; Franklin et al. 2005).

### 1.3 Les expressions de SMV en Abitibi

Noranda, Bousquet, Val-d'Or et Matagami sont autant de camps miniers connus notamment pour leurs gisements de type SMV. Dans chaque cas, les facteurs de contrôle listés ci-dessus peuvent être identifiés, expliquant ainsi les occurrences de SMV dans ces secteurs (Tableau 1.1). Toutefois, il existe des différences dans le contexte de formation des gîtes volcanogènes en fonction du camp considéré. Noranda expose un environnement volcanique bimodal mafique (Dimroth et al. 1982), associé à l'effondrement de calderas multiples (Pearson et Daigneault 2009). Les minéralisations polymétalliques sont exhalatives, à l'interface entre des unités rhyolitiques souvent marquées par des cherts (Gibson et Watkinson 1990). Dans des camps comme Bousquet ou Val-d'Or, la séquence stratigraphique hôte des gîtes est un continuum de fractionnement mafique à felsique, avec une importance des dépôts volcanoclastiques intermédiaires (Scott et al. 2002; Lafrance 2003). Les minéralisations y sont formées par remplacement d'unités volcanoclastiques perméables. À Matagami, les minéralisations sont également en remplacement au sommet d'une épaisse (1-2 km) séquence de rhyolites et associées à un marqueur stratigraphique – la Tuffite Clé – (Genna et al. 2014) lui aussi partiellement remplacé.

Les différences dans ces contextes minéralisateurs se traduisent également à travers la chimie et l'affinité des roches felsiques encaissantes. Une classification sépare les rhyolites en trois types, FI à FIII, en fonction du fractionnement des éléments incompatibles (Leshner et al. 1986; Hart et al. 2004). Ces types reflètent également l'affinité magmatique des roches. Les rhyolites FI et FII correspondent à des séries calco-alcalines à transitionnelles, tandis que le type FIII est tholéiitique. Ainsi, les gisements des

districts de Noranda et Matagami sont associés à des rhyolites FIII, tholéïtiques ; ceux de Bousquet sont contenus dans des types FI ; et ceux de Val d'Or dans des rhyolites FII (Gaboury et Pearson 2008). En outre, cette association influence le style et la composition des minéralisations (Gaboury et Pearson 2008). Les caractéristiques des camps miniers abordés sont résumées dans le tableau 1.1.

#### **1.4 Le cas de Chibougamau**

L'histoire volcanique de la région est représentée par le groupe de Roy (Figure 1.4). Ce dernier est divisé en deux cycles volcaniques (Picard et Piboule 1986; Daigneault et Allard 1990; Leclerc et al. 2008; Leclerc et al. 2010). Des descriptions détaillées relatives à chaque unité, comme les âges ou les épaisseurs, sont disponibles à la figure 1.5 et dans Daigneault et Allard (1990); Leclerc et al. (2010); Leclerc et al. (2011). Le Groupe de Roy recouvre la Formation de Chrissie, définie par Leclerc et al. (2010). Elle affleure notamment au Sud de Chapais (Figure 1.4). Le premier cycle volcanique du Groupe de Roy débute avec la Formation d'Obatogamau (< 4 km), dont la très grande majorité est composée de basaltes massifs ou coussinés à texture localement porphyrique (Allard et Gobeil 1984). L'Obatogamau est surmonté par la Formation de Waconichi (Duquette et Mathieu 1966), qui présente une diversité de type de roches mafiques à felsiques, tholéïtiques à calco-alcalines. Enfin, le second cycle volcanique est à l'origine de la Formation de Bruneau (Leclerc et al. 2011), ou Gilman terminal selon Daigneault et Allard (1990). Celle-ci est dominée par des basaltes et andésites tholéïtiques et est recouverte par la Formation de Blondeau (Duquette 1964), reconnue pour l'importance de ces dépôts volcanosédimentaires felsiques calco-alcalins.

Trois principales activités intrusives sont distinguées dans le district de Chibougamau. Le Complexe du Lac Doré (CLD) est un intrusion litée, tholéïitique –pour les composants les plus anciens (Daigneault et Allard 1990) – à calco-alcaline (Bédard et al. 2009). Son emplacement est daté à environ 2728 Ma (Mortensen 1993), ce qui est contemporain à la Formation de Waconichi (2730-2726 Ma, Leclerc et al. 2011). Les deux gisements de SMV connus à Chibougamau (Lac Scott et l'ancienne mine Lemoine) sont compris dans la Formation de Waconichi, et sont très proches du contact avec le CLD (Figure 1.4) qui joue probablement le rôle de source de chaleur pour les cellules hydrothermales (Guha 1990). Les contours du complexe sont découpés par des failles syn-volcaniques (Daigneault et Allard 1990). Leclerc et al. (2011) différencie d'ailleurs deux générations de failles syn-volcaniques : un réseau NW à NE associé à la mise en place des roches de la Formation de Waconichi, et une famille NNE associée à la Formation de Bruneau. La deuxième activité intrusive est manifestée par le pluton de Chibougamau qui correspond à des Tonalites-Trondjhemites, dont les plus anciens composants sont syn-volcaniques et datés à  $2718 \pm 2$  Ma (Krogh 1982), soit contemporain au troisième cycle volcanique. Enfin, les filons-couches du Cummings sont de composition ultramafique à intermédiaire, recoupent les roches du second cycle du Groupe de Roy, et sont datés à  $2716 \pm 1$  Ma (Mortensen 1993).

Le gisement du Lac Scott, en cours de définition par Ressources Yorbeau Inc., titre 14 Mt @ 0,8 % Cu, 4,2 % Zn, 0,2 g/t Au, 37 g/t Ag (Les Ressources Yorbeau Inc. 2017) et possède une signature métallique semblable à celle des gisements du camp de Matagami. La production historique à la mine Lemoine titre 0,73 Mt à 4,2% Cu, 9,6 %

Zn, 4,5 g/t Au et 83,85 g/t Ag (Gobeil 1980), et est donc beaucoup plus aurifère que Scott. La minéralisation a été formée en partie par remplacement au sommet de rhyolites (Mercier-Langevin et al. 2014), impliquant un mécanisme minéralisateur similaire à celui proposé par Genna et al. (2014) pour Matagami. Ces deux gisements sont encaissés dans la Formation de Waconichi. Ils sont en étroite association avec des rhyolites d'affinité tholéiitique (Gaboury et Pearson 2008), comme le sont celles du Groupe de Watson à Matagami, d'ailleurs contemporaines au Waconichi. Enfin, le Complexe de la Rivière Bell à Matagami et celui du Lac Doré à Chibougamau présentent des similarités organisationnelles et temporelles.

### **1.5 Une histoire géologique favorable au SMV**

Les caractéristiques du district de Chibougamau-Chapais relatives à la formation de SMV sont résumées au tableau 1.1. Les facteurs de contrôle de ce type de gîte semblent présents dans cette région, avec notamment : 1) un environnement volcanique sous-marin parfois bimodal, 2) les intrusions syn-volcaniques du Lac Doré et de Chibougamau, 3) la plomberie NW, et 4) la signature des roches felsiques hôtes de minéralisations. De plus, deux gisements de SMV sont connus dans le district et appartiennent à la même formation. Des analogies sont possibles entre le secteur d'étude et d'autres camps producteurs de SMV, notamment avec Noranda et Matagami. Les conditions nécessaires à la formation de SMV sont donc réunies à Chibougamau, mais sont-elles favorables à la formation de grappe de gisements ?

Les deux anciens camps miniers de Chapais et Chibougamau ont été respectivement alimentés par les filons Cu±Au d'Opémiska et du Lac Doré. En raison de

leur importance économique et historique, il est permis de penser que ces contextes minéralisateurs ont guidé l'exploration. En outre, la prospection pour les SMV a longtemps été limitée aux centres d'émission effusifs felsiques proximaux que sont les alentours du Lac Scott et de la mine Lemoine. L'expression possible de cette lacune dans l'exploration des gisements volcanogènes constitue la justification du projet de maîtrise.

## **1.6 Problématique spécifique**

Les gisements Scott et Lemoine sont relativement isolés et éloignés. Les deux gisements sont en effet uniques dans leur environnement géologique le plus proximal. L'un se situe au Nord-Ouest de l'anticlinal de Chibougamau (Scott, Figure 1.4) et l'autre sur le flanc sud (Lemoine, Figure 1.4). Communément, les gîtes volcanogènes forment une distribution en « grappes » (Sangster 1980; Galley et al. 2007). Une telle pluralité n'a jusqu'à présent pas été documentée dans le district à l'étude, ce qui laisse sous-entendre que de nouvelles découvertes sont possibles au sein des unités porteuses des gisements déjà connus. De plus, les récents travaux de cartographie du MERN par Leclerc et al. (2010); Leclerc et al. (2011); Leclerc et al. (2012) ont démontré que la Formation de Waconichi possédait une extension latérale jusqu'alors inconnue. Sur le flanc Nord de l'anticlinal de Chibougamau particulièrement, les expressions de cette formation se limitaient aux rhyolites de Scott. L'extension (Figure 1.4) de cette formation hôte des gîtes connus à Chibougamau rouvre le potentiel d'exploration pour ces types de gisements.

Plusieurs décapages récents (Figure 1.4), sur le flanc Nord de l'anticlinal de Chibougamau, ont été mis à disposition pour cette étude par des compagnies d'exploration ou des prospecteurs tels que 2736-1179 Québec Inc., SOQUEM Inc., Ressources Yorbeau

Inc., ou encore messieurs Gilles Bouchard et Jean Laforest. Ces décapages présentent des minéralisations de sulfures (Py, Po et traces de Cp, Sp), en lentilles massives ou en disséminations, comprises dans des ensembles de roches volcaniques, volcanoclastiques ou volcanosédimentaires. Ces secteurs constituent donc des sites de choix afin d'approcher la résolution des questionnements suivants :

- 1) Quelles sont les caractéristiques, tant stratigraphiques, lithologiques que géochimiques des indices et quels sont les critères qui supportent leur affinité volcanogène ?
- 2) Existent-ils des locus ou des horizons particulièrement favorables au développement de SMV à Chibougamau ?
- 3) Ces systèmes hydrothermaux ont-ils le potentiel d'être fertiles en métaux économiques ?

## **1.7 Objectifs et méthodologie**

Le but global du projet est de rehausser le potentiel en SMV du district de Chibougamau-Chapais. A cette fin, les objectifs spécifiques suivants seront abordés :

- Objectif 1 : Reconnaissance d'évidences de minéralisations volcanogènes et validation d'un modèle SMV pour les indices cartographiés.
- Objectif 2 : Caractérisation lithogéochimique des roches hôtes des minéralisations. Comparaison de la signature géochimique de ces roches avec celles des membres ou formations du Groupe de Roy

- Objectif 3 : Approcher la fertilité des systèmes hydrothermaux à l'origine de ces minéralisations, soit de déterminer si ces systèmes hydrothermaux ont atteint les conditions nécessaires pour la formation de SMV économiques.

Les sections suivantes détaillent la méthodologie qui a été suivie en fonction de chaque objectif émis précédemment. Des compléments spécifiques provenant de la littérature sont présentés selon les besoins inhérents à la méthodologie proposée. Le tableau 1.2 résume l'adéquation objectif-méthodologie.

#### 1.7.1 Objectif 1 : Déterminer les caractéristiques discriminantes

La réponse au premier objectif repose intégralement sur les travaux de cartographie de terrain. Des cartographies détaillées à l'échelle 1/100 de plusieurs décapages par secteur ont été réalisées. La sélection des secteurs repose sur : 1) un état de connaissance, 2) une disponibilité des décapages et leur accessibilité, et 3) de travaux de reconnaissances réalisées par les géologues du MERN au cours des dernières années (Patrick Houle et François Leclerc). Ils ont été sélectionnés pour représenter différentes zones du district et éventuellement différentes portions de la séquence stratigraphique. Il s'agit des secteurs minéralisés de Lac Taché - Km25, Saw Mill, Indian Lake et l'indice David et du Chemin de fer (Figure 1.4).

##### *1.7.1.1 Éléments discriminants des SMV*

La cartographie des décapages avait notamment pour but de reconnaître les éléments locaux discriminants de systèmes volcanogènes. Ces caractéristiques sont les suivantes (Figure 1.6) : 1) des lentilles sulfurées concordantes semi-massives à massives, 2) un stockwerk discordant, souvent altéré et également minéralisé, sous-jacent à la lentille

et servant de conduit, 3) une altération proximale à la minéralisation et zonée, 4) des exhalites, composées de matériaux volcanoclastiques, de cherts ou de formation ferrugineuses et carbonatées (Galley et al. 2007), 5) des marqueurs géologiques du caractère syn-volcanique de la minéralisation : dykes, filons-couches et failles syn-volcaniques. Puisque les minéralisations ne sont pas toujours formées de manière exhalative, il a été important de relever les formations et faciès montrant du remplacement ou étant susceptibles d'être remplacés. Les lentilles sulfurées peuvent avoir un aspect bréchifié et être recouvertes ou parcourues par une silicification et une argilisation (Galley et al. 2007). La lentille en elle-même peut subir des modifications pendant la poursuite de l'activité hydrothermale, avec une zonation (Figure 1.6) : Cp-Po au cœur puis Py-Sp±Gn aux bordures, phénomène décrit comme « *zone refining* » dans Eldridge et al. (1983). Il existe aussi une zonalité dans les altérations locales (Figure 1.6) avec une association Fe-chlorite/quartz au cœur du conduit avec des filonets de sulfures. Un halo plus large est principalement composé de séricite et phengite avec de moindres proportions de chlorite, albite et carbonate (Galley et al. 2007). Les caractéristiques de la déformation ductile régionale ont également levées, car la géométrie actuelle de ces systèmes hydrothermaux résulte en partie de la déformation. La cartographie détaillée à une échelle 1/100<sup>e</sup> a donc permis de déterminer l'affiliation volcanogènes ou non des indices considérés et de déterminer la géométrie des systèmes hydrothermaux (en considérant les polarités apparentes par exemple).

### *1.7.1.2 Méthodologie spécifique*

La cartographie a été réalisée sur papier millimétrique à l'aide de GPS et de décimètres pour le positionnement et la mesure de distance. Des photographies aériennes prises par drone ont été utilisées lorsque fournies par le promoteur du secteur. Une emphase a été portée sur la reconnaissance des objets géologiques (failles, dykes, bréchification) discordants ayant pu servir de paléo-conduits aux fluides hydrothermaux. Une étude détaillée des variations latérales et verticales des faciès volcaniques a été réalisée lorsque nécessaire. Un faciès volcanique est une combinaison de caractéristiques compositionnelles, texturales et organisationnelles pouvant refléter le mode de mise en place de la roche. Un échantillonnage systématique de chaque unité lithologique individualisée sur les cartes a été mené. L'échantillonnage est effectué à la masse et ciseaux, et scie à roches.

Les documents numériques ont été réalisés à partir des logiciels Adobe Illustrator. La position des échantillons prélevés sera indiquée sur ces cartes.

### **1.7.2 Objectif 2 : Caractérisation lithogéochimique des roches hôtes et comparaison avec les membres et formations du Groupe de Roy**

La caractérisation lithogéochimique des roches hôtes des minéralisations s'inscrit dans une démarche visant à attribuer un Membre ou une Formation aux indices travaillés. Toutefois, aucune donnée purement stratigraphique (coupes métrées) n'est générée dans le projet. C'est donc par analogie entre les caractéristiques lithologiques et géochimiques des roches de ce projet et celles de l'actuel découpage stratigraphique que la méthodologie a été réfléchi. La méthodologie proposée comprend quatre paramètres qui, une fois

combinés, suffisent à attribuer aux indices visités un Membre ou une Formation du découpage stratigraphique du district. Ces paramètres sont : 1) la position des zones travaillées par rapport aux cartes géologiques régionales, 2) les faciès rencontrés et l'empilement volcano-sédimentaire précis, 3) l'affinité géochimique des roches hôtes échantillonnées, et 4) la signature géochimique des dykes. De telles données sont détaillées pour les membres et formations de Chibougamau dans Daigneault et Allard (1990), Leclerc et al. (2008, 2010, 2011, 2012). En outre, la totalité des analyses lithogéochimiques réalisée par François Leclerc pendant la réalisation de son doctorat et les campagnes de cartographies du MERN a été utilisée. C'est avec ces informations lithologiques et géochimiques que des comparaisons avec les secteurs visités ont été établies. La synthèse suivante fait état de la connaissance concernant les quatre points évoqués ci-dessus.

#### *1.7.2.1 La Formation de Waconichi*

Trois secteurs sélectionnés – Lac Taché, Km-25 et Saw Mill – sont supposés appartenir à la Formation de Waconichi, conformément à leur position sur la carte géologique régionale de Chibougamau (Figure 1.4). Il a donc été nécessaire de détailler cette unité, d'autant plus que celle-ci porte les gisements de Scott et Lemoine. La Formation de Waconichi est divisée en trois à cinq types ou membres suivant les auteurs (Figure 1.7). Daigneault et Allard (1990) identifient les types Lemoine ( $2728 \pm 1,5$  Ma, Mortensen 1993), Queylus ( $2728,7 \pm 0,8$  Ma, Leclerc et al. 2011) et Portage, respectivement majoritairement constitués de rhyolites porphyriques, de tufs à lapilli intermédiaires à felsiques, et de formations de fer. Leclerc et al. (2011) ajoute le Membre

de Scott, un équivalent tant en termes chronologiques que lithologiques au Membre de Lemoine (2729,7 Ma, (Mortensen 1993), mais sur le flanc nord du Complexe du Lac Doré. Selon ces mêmes auteurs, le Membre d'Allard — dominé par des tufs à lapilli et anciennement Gilman supérieur — est réattribué au sommet de la Formation de Waconichi, étant légèrement plus jeune ( $2726,7 \pm 0,7$  Ma, Leclerc et al. 2011) que les Membres de Lemoine ou Scott. Cette relation est d'une importance cruciale puisqu'il est suggéré (Lafrance et al. 2006) qu'une partie des lentilles de SMV de Scott et Lemoine se situent à l'interface entre les membres éponymes et celui d'Allard, plus jeune. Cette affirmation est confortée par les différentes affinités géochimiques, détaillées ci-après. L'empilement volcanosédimentaire précis du Membre d'Allard, illustrée à la figure 1.8, comprend de la base vers le sommet : 1) des shales graphiteux 2) un ensemble de brèches volcaniques, tufs à cristaux ou lapilli et intrusions rhyodacitiques, et 3) une succession de turbidites, lentilles pyriteuses massives et rhyolites (Leclerc et al. 2011).

#### *1.7.2.2 Affinités géochimiques des formations du Groupe de Roy*

L'affinité géochimique des roches du Groupe de Roy est un aspect qui a été particulièrement caractérisé dans les travaux de doctorat de François Leclerc et de cartographie du MERN. Les données sur ces affinités ont donc servi à la comparaison avec la signature géochimique des roches échantillonnées dans le projet. La figure 1.9 montre les signatures géochimiques pour les formations au Sud et au Nord du CLD, ainsi que dans le secteur de Chapais. C'est par analogie avec ces signatures, en association avec le faciès et la position des secteurs que les roches échantillonnées dans le projet sont attribuées à tels membres ou formations. Pour chaque cycle, la base est tholéiitiques (Fm.

de Chrissie inf., Fm. d'Obatagama, Fm. de Bruneau), tandis que le sommet est globalement transitionnel à calco-alcalin (Chrissie sup., Fm. de Waconichi, Fm. de Blondeau). Au sein de la Formation de Waconichi, il faut distinguer les membres de Scott et Lemoine, tholéitiques, des volcanoclastites de Queylus ou Allard qui sont, elles, transitionnelles à calco-alcalines (Figure 1.9). Selon la classification de Lesher et al. (1986) et Hart et al. (2004), les rhyolites de Lemoine qui contiennent la minéralisation appartiennent au type FIII (Figure 1.9) (Gaboury et Pearson 2008; Leclerc et al. 2011).

### *1.7.2.3 Méthodologie spécifique*

La résolution de l'objectif 2 fait appel aux outils combinés que sont les cartographies détaillées et les analyses lithogéochimiques. L'empilement volcano-sédimentaire local identifié sur le terrain est comparé avec ce qui a été relevé précédemment depuis la littérature. Les roches hôtes, sous-jacentes, ou sus-jacentes des minéralisations ont été échantillonnées. Les données géochimiques peuvent être corrélées avec les affinités déjà connues des unités de Chibougamau. L'échantillonnage des dykes est également un point majeur pour répondre à cet objectif. En effet, certains dykes, de par leur composition et leur texture, peuvent être attribués au volcanisme à l'origine d'une unité reconnue sur le terrain. Par exemple, si des dykes apparentés à une unité précise et connue recoupent une autre formation moins documentée, il devient important de caractériser la chimie de ces dykes. C'est la combinaison des relations de recoupement dyke-unités stratigraphiques avec la signature géochimique des dykes qui est mise en valeur dans le projet.

La sélection des échantillons pour analyse (n=50) a été réalisée une fois la totalité des cartographies réalisées et en lien avec les données déjà disponibles dans la littérature. La préparation des échantillons réalisée par l'auteur consiste en la découpe de blocs décimétriques frais des lithologies retenues. Pour cela, les infrastructures du MERN à Chibougamau et de l'UQAC ont été à la disposition de l'étudiant. Le broyage et la mise en solution sont à la charge du laboratoire mandaté (ici ActLabs, partenaire du MERN). L'analyse est faite par ICP-MS, ICP-AES ou activation neutronique (INAA). La méthode de mise en solution varie également. Caractériser l'altération ne fait pas partie des objectifs de ce projet. Cependant, l'altération hydrothermale peut induire une importante variabilité des signatures géochimiques au sein d'une même roche. Pour parer à cela, l'échantillonnage sur le terrain a été préférentiellement fait sur les roches ayant l'aspect le plus frais. Par la suite, seuls les éléments les moins mobiles sont utilisés, conformément à l'approche de Gaboury et Pearson (2008) et Leclerc et al (2011). Pour le traitement des données relatives aux éléments incompatibles, une normalisation au N-MORB est proposée pour une corrélation (Chapitre 2) avec les diagrammes de la figure 1.9.

### 1.7.3 Objectif 3 : Fertilité des systèmes hydrothermaux

#### *1.7.3.1 La chimie des pyrites comme traceur du potentiel métallifère*

Approcher l'évolution d'un système hydrothermal est possible en étudiant les variations géochimiques des pyrites (Large et al. 2007; Agangi et al. 2013; Reich et al. 2013). Maslennikov et al. (2009) propose notamment que le ratio Se/Tl est le meilleur traceur pour estimer la température de formation des pyrites. Une application de ces principes a été réalisée sur les lentilles SMV de Bracemac-McLeod à Matagami. En effet,

Genna et Gaboury (2015) ont démontré par LA-ICP-MS que des variations dans les ratios Se/Tl vs As (Figure 1.10) soulignent différents types de pyrites en lien avec leur température de formation. Dans le cas de Matagami, les pyrites de plus basses températures associées aux zones riches en Zn montrent un ratio Se/Tl <10, celles associées à de plus hautes températures dans les zones cuprifères ont un ratio compris entre 10 et 10000. Enfin, les pyrites de plus hautes températures, souvent dans des zones non-économiques, ont un ratio Se/Tl > 10000 » (Genna et Gaboury 2015). La fertilité des systèmes hydrothermaux a donc été testée en utilisant l'approche et les digrammes de Genna et Gaboury (2015).

#### *1.7.3.2 Méthodologie spécifique*

Une partie des échantillons prélevés lors de la campagne de terrain consiste en des sulfures massifs à semi-massifs. Ils ont été retenus pour la fabrication de lames polies (n=50). Les systèmes hydrothermaux à l'origine des gîtes du Lac Scott et de l'ancienne Mine Lemoine peuvent être considérés comme fertiles puisque ces deux gisements sont ou ont été sub-économiques. Ils constituent donc deux secteurs de choix pour faire des analogies avec les sulfures des décapages visités. Par conséquent, chaque lentille du gisement Scott a également été échantillonnée à partir des carottes présélectionnées par l'équipe des Ressources Yorbeaux Inc. Deux échantillons provenant du SMV de Lemoine ont aussi été inclus. Les blocs pour la préparation des lames minces ont été préparés à l'UQAC. Les lames polies ont été étudiées pour caractériser les textures et la minéralogie des minéralisations et des altérations hydrothermales, et pour la sélection des pyrites qui ont

été analysées au LA-ICP-MS du LabMater. L'ensemble des analyses au LA-ICP-MS suit le protocole expérimental de Genna et Gaboury (2015).

## **1.8 Particularité du projet de maîtrise**

La durée totale du projet a été de quatre sessions d'étude : 1) un été de travail de terrain et d'échantillonnage (été 2016) et 2) deux sessions d'étude (automne 2016, hiver) et une session d'écriture (été 2017). La relative courte durée du projet implique des restrictions dans la méthodologie employée. C'est pourquoi les données générées dans cette étude, tant lithogéochimiques que LA-ICP-MS, sont utilisés quasiment exclusivement à des fins comparatives avec d'autres travaux publiés. Bien que le type de données et leurs variétés aient permis une investigation plus profonde, les objectifs ont été définis de manière à ce que le projet puisse être terminé en trois sessions.

Tableau 0-1 : Caractéristiques de camps miniers producteurs de SMV en Abitibi (références données dans la table)

Camp minier	Environnement géologique	Intrusion syn-volcanique	Stratigraphie favorable		Faïlles syn-volcaniques	Chimie rhyolites & affinités	Minéralisations	Références
			Typologie	Age (Ma)				
Noranda	Bimodal mafique à felsique	Plutons de Flavrian et de Powell	Rhyolites du groupe du Blake River	2706-2696	Paleofaïlles d'Old Waite (ENE)	FIIa, tholéïtiques	Polymétalliques exhalatives	Dimroth et al. 1982 ; Gaboury & Pearson 2008 ; Pearson & Daigneault 2009 ;
Bousquet	Continuum fractionné à prédominance volcanoclastique	Pluton de Mooshla	Fm de Bousquet : volcanoclastites	2698-2696	NE	FI, calco-alcalines	Au > Ag-Cu remplacement	Lafrance et al. 2003 ; Gaboury & Pearson 2008
Val d'Or	Continuum fractionné à prédominance volcanoclastique	Intrusion de Bourlamaque	Fm de Val-d'Or : volcanoclastites & rhyolites localisées	2704	-	FII, transitionnelles à calco-alcalines	Polymétalliques remplacement	Pilote et al. 1999 ; Scott et al. 2002 ; Gaboury & Pearson 2008
Matagami	Dominé par des flows rhyolitiques	Complexe de la rivière Bell	Rhyolites de Watson, Tuffite Clé	2725	-	FIIIb, tholéïtiques	Zn > Cu, Ag, Au remplacement	Piché et al. 1993 ; Genna et al. 2014 ; Gaboury & Pearson 2008
Chibougamau	Bimodal mafique à felsique ?	Complexe du Lac Doré, 1 <sup>ères</sup> phases du pluton de Chibougamau	Waconichi : Volcanoclastites felsiques trans. à calco-alcalines et rhyolites tholéïtiques	2729-2726	NW-SE à NE-SW (Waconichi), NNW (Gilman)	1) Lemoine : FIIa tholéïtique 2) Scott : FIII Tholéïtique	1) Lemoine : Cu Au Zn Ag remplacement & exhalatives 2) Scott : Zn Cu Ag remplacement	Daigneault & Allard 1990 ; Leclerc et al. 2011 ; Gaboury & Pearson 2008

Tableau 0-2 : Résumé des méthodologies et objectifs associés

Méthodologie			Objectifs associés	Chronologie relative d'aboutissement
Générale		Spécifique		
	n°	Description		
Cartographie détaillée	1	Identification des lithologies	Objectif 1 : Caractérisation des secteurs et affiliation à des systèmes volcanogènes	1
	2	Compréhension de la géométrie 2D voire 3D des affleurements et de la l'organisation des unités (polarité apparente)		1
	3	Etablissement des chronologies relatives entre les différents objets géologiques, relations de superpositions et de recoupements (dykes, failles syn-volcaniques)		1
Cartographie détaillée	4	Echantillonnage systématique des lithologiques hôtes et proximales, ainsi que des dykes	Objectif 2 : Caractérisation lithogéochimique des roches hôtes et comparaison avec la littérature	1
	5	Comparaison entre l'empilement stratigraphique précis mis en évidence sur affleurements avec la littérature		2
Lithogéochimies	6	Corrélation des signatures géochimiques des roches échantillonnées avec les données de la littérature		2
Cartographie & Lithogéochimies	7	Combinaison des résultats des points 5 & 6 et attribution d'un secteur à un Membre ou une Formation		3
Cartographie détaillée	8	Echantillonnage systématique des zones à sulfures semi-massifs à massifs ou disséminés si nécessaires	Objectif 3 : Approche de la fertilité des systèmes hydrothermaux	1
Microscopie optique	9	Etude de la minéralogie et des textures des sulfures en lames polies		2
	10	Selection des grains à cartographier en LA-ICP-MS		2
LA-ICP-MS	11	Analyses des sulfures retenus et création de diagrammes (Genna & Gaboury 2015)		3
	12	Comparaison des résultats du LA-ICP-MS des secteurs cartographies avec Scott, Lemoine voire Bracemac-McLeod	3	
Toutes	13	Compilation des points 1 à 12 et mise en valeur du projet : proposition de cibles ou de guide d'exploration pour les SMV	Réhaussement du potentiel en SMV de Chapais-Chibougamau	4

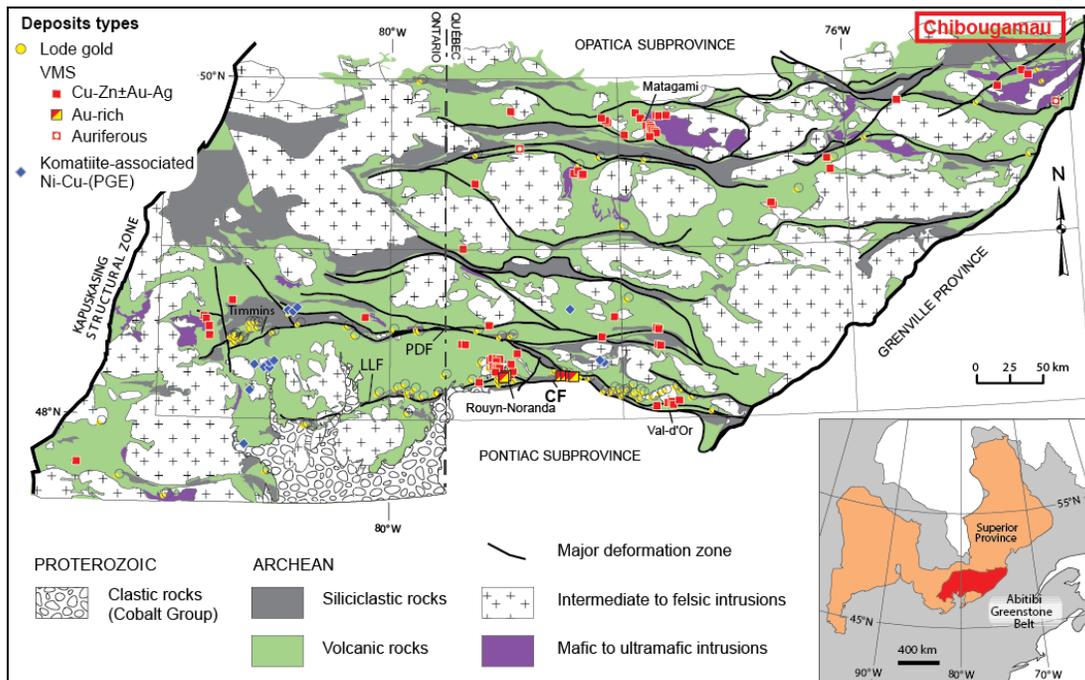


Figure 0-1 : Géologie et gisements de la Sous-Province d'Abitibi (modifiée de Mercier-Langevin et al. 2014)

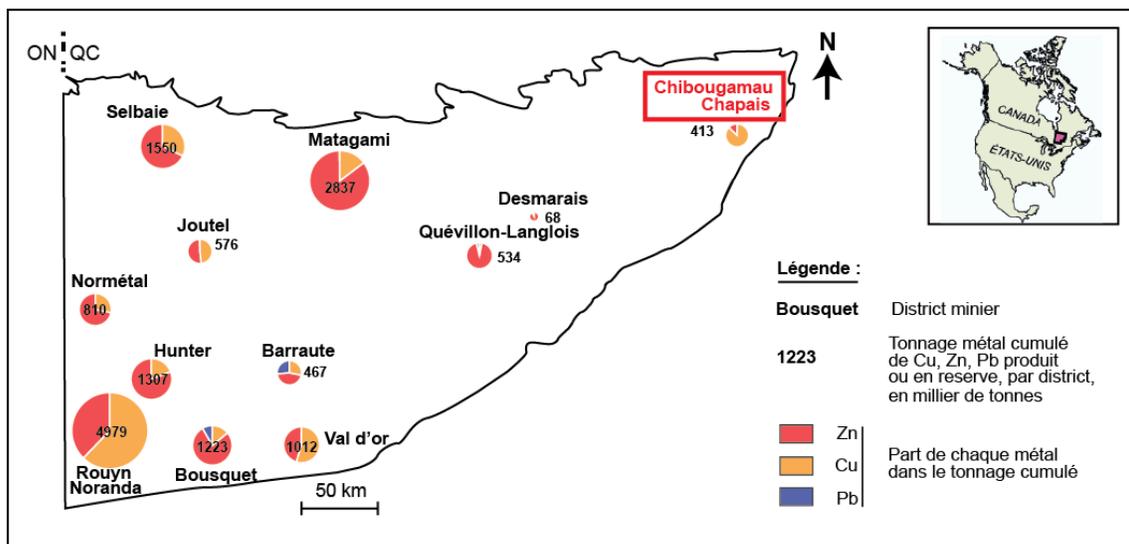


Figure 0-2 : Tonnages métaux des productions et réserves en métaux de bases des gisements de SMV en Abitibi québécois (modifiée de Clairet et al. 2015, non publié).

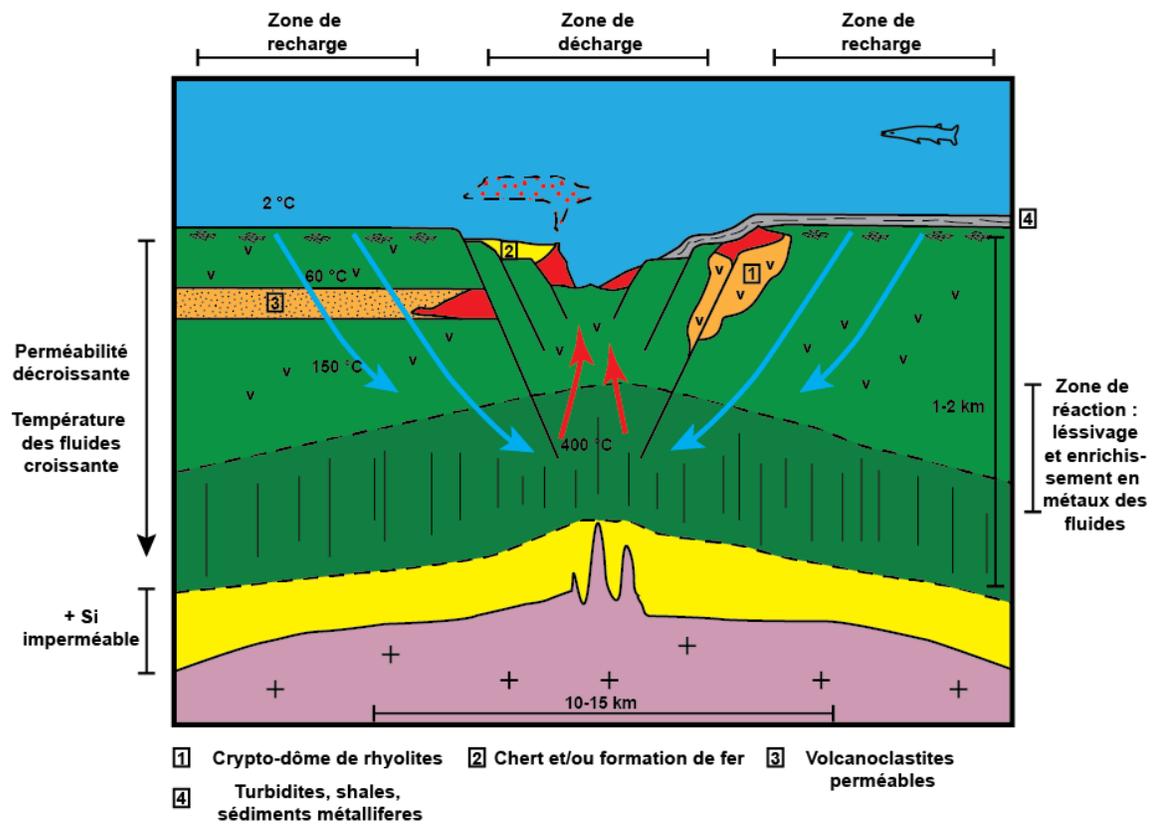
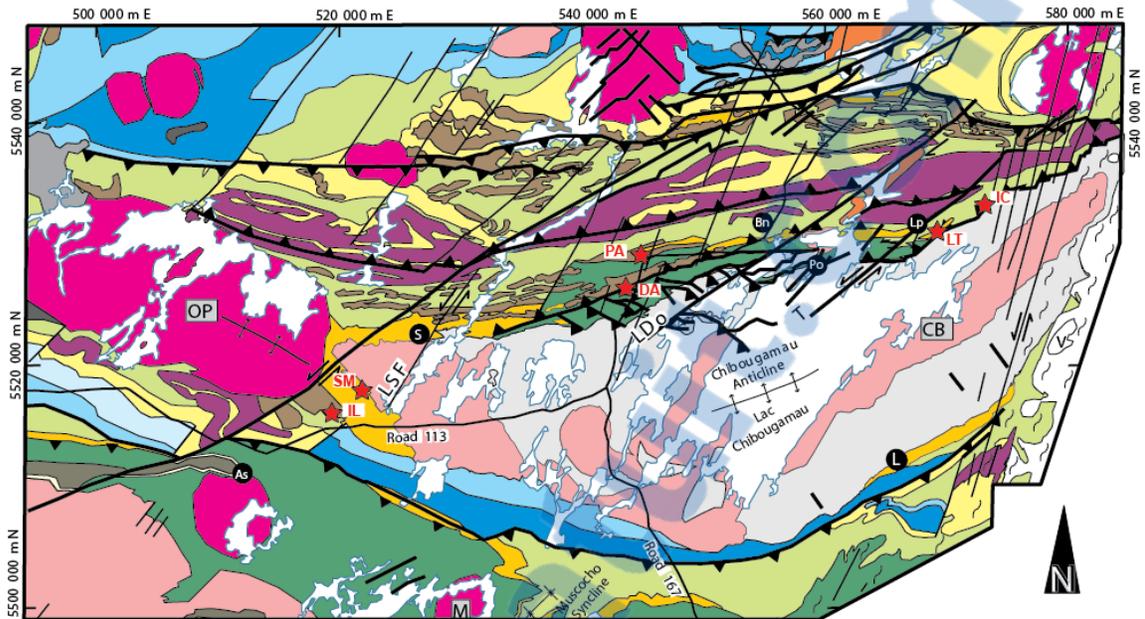


Figure 0-3 : Modèle de formation des Sulfures Massifs Volcanogènes (adapté de Franklin et al. 2005)



**Legend**

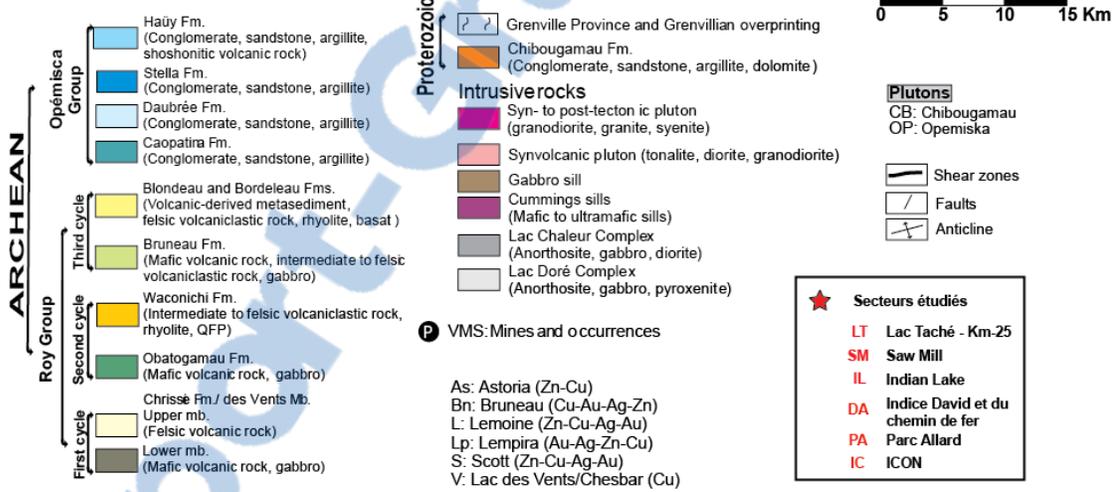
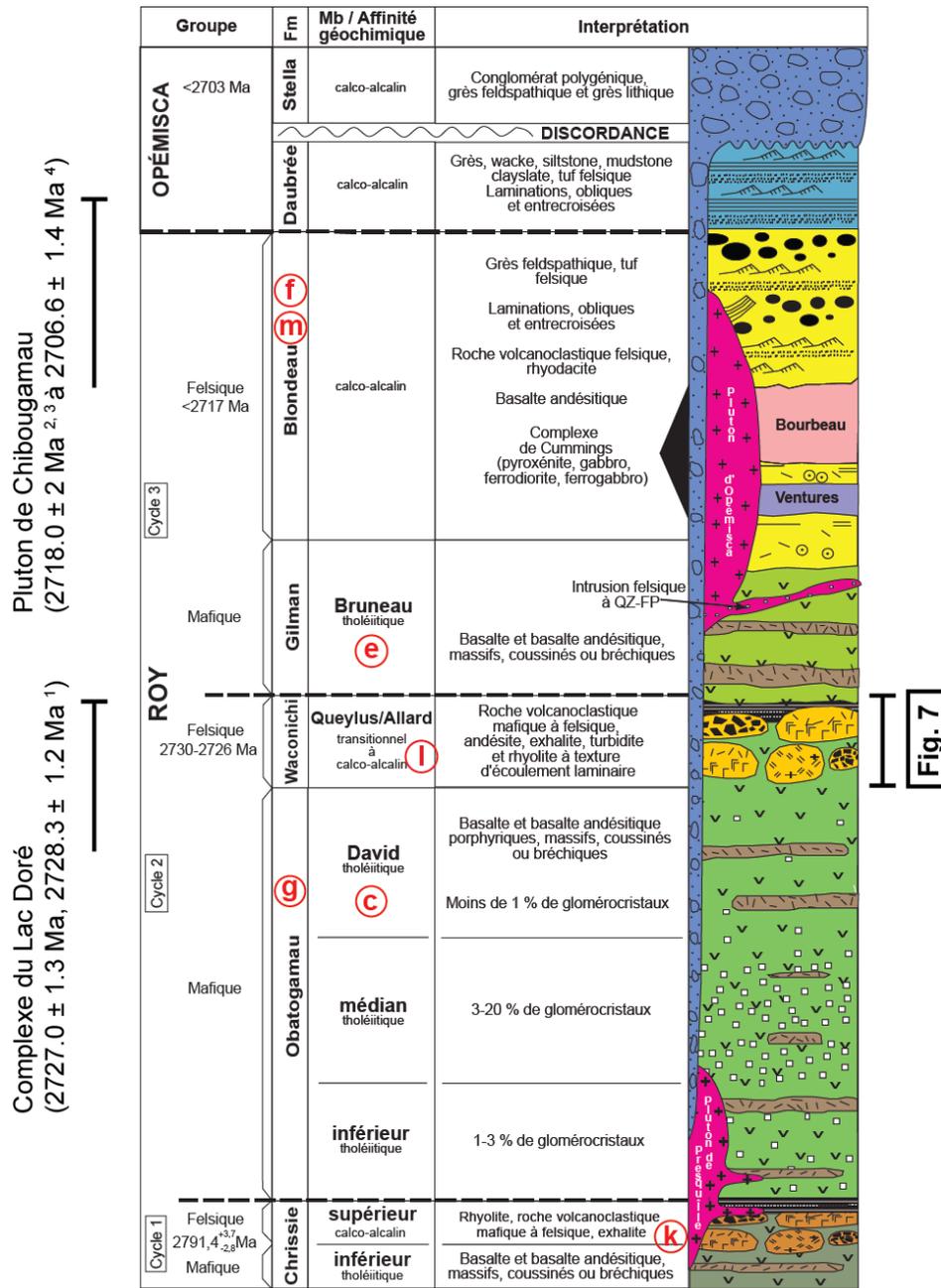


Figure 0-4 : Carte géologique du secteur Chibougamau-Chapais (modifiée de Leclerc et al. 2012)



⑨ ③ Position des levés lithogéochimiques de la figure 9

Références :

- |   |                 |   |                   |
|---|-----------------|---|-------------------|
| 1 | Mortensen, 1993 | 2 | Krogh, 1982       |
| 3 | Joanisse, 1998  | 4 | Côté-Mantha, 2009 |

Figure 0-5 : Colonne lithostratigraphique de Chibougamau-Chapais (modifiée de Leclerc et al. 2011)

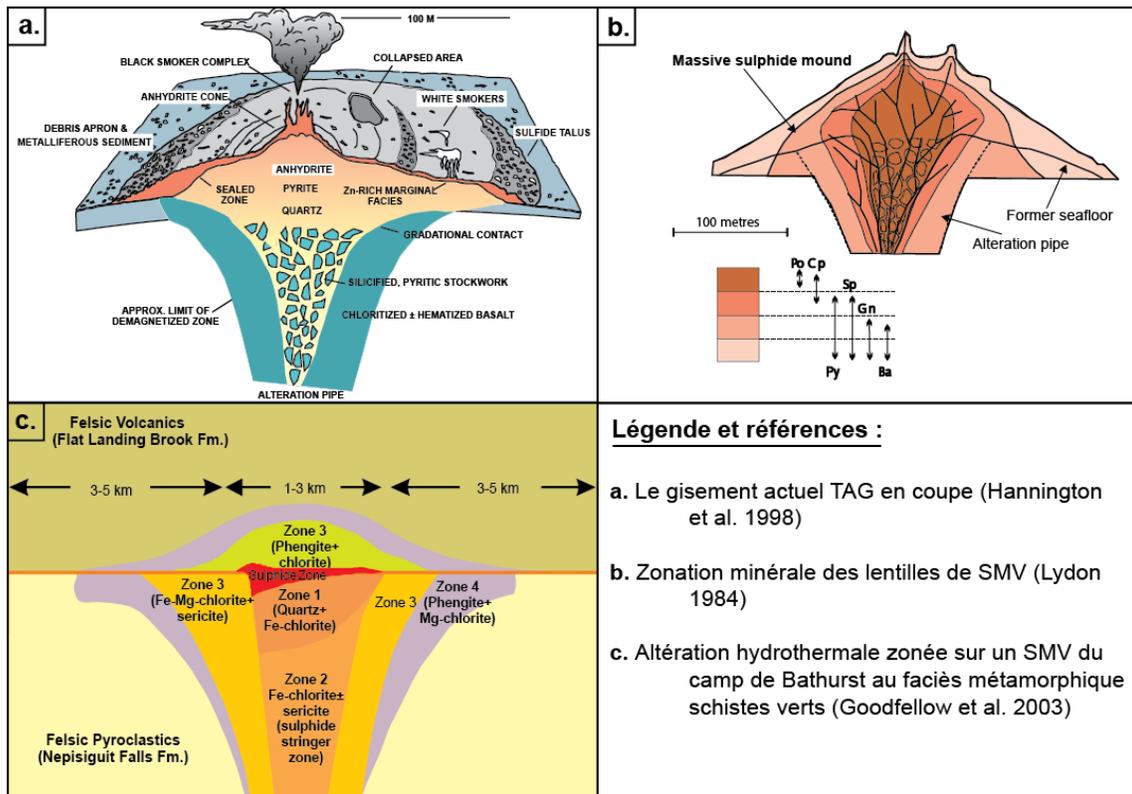
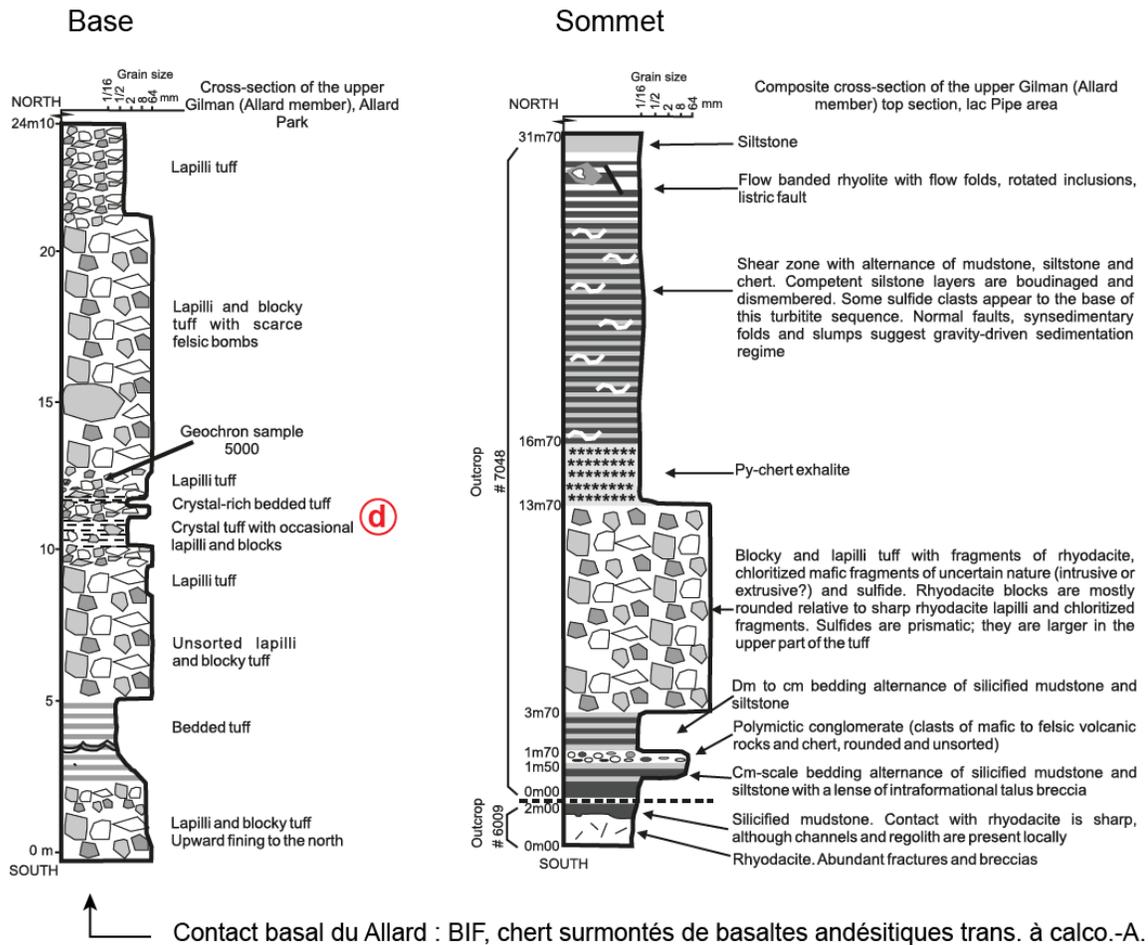


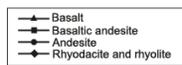
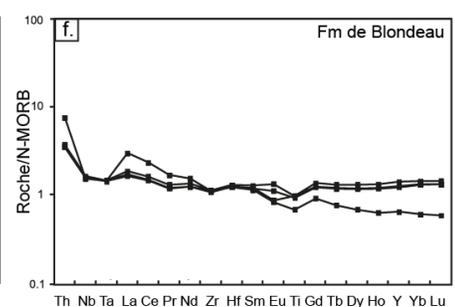
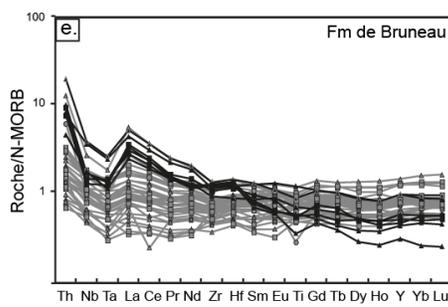
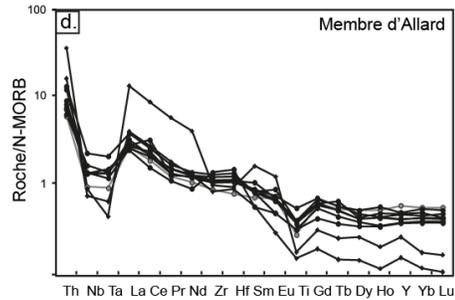
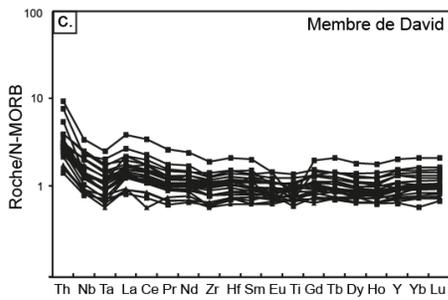
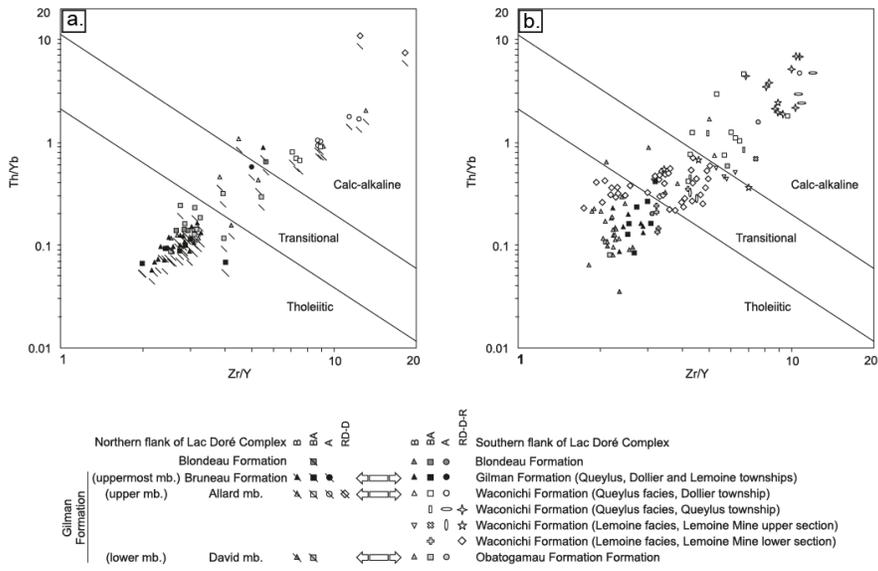
Figure 0-6 : Caractéristiques physiques des SMV (références données dans la figure).

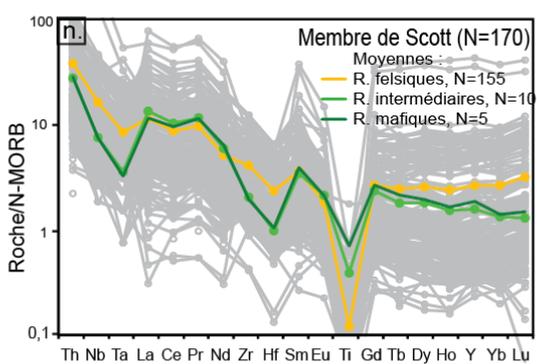
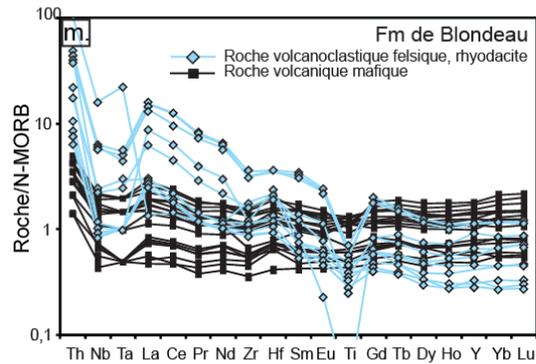
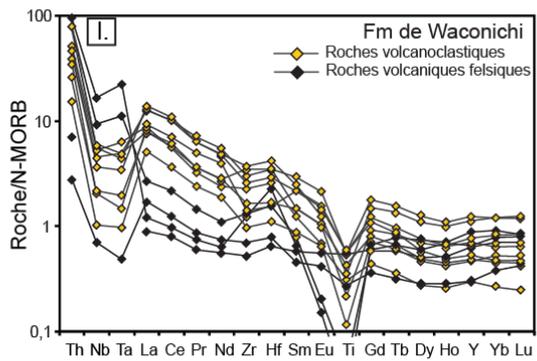
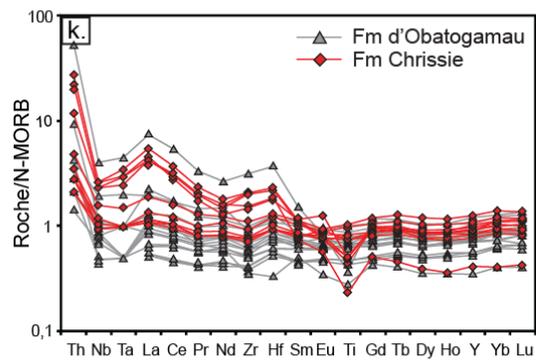
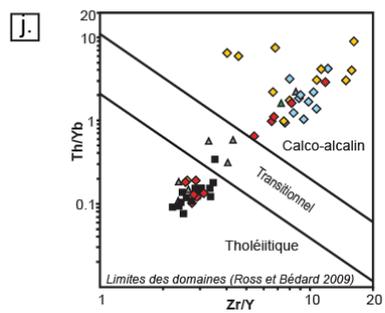
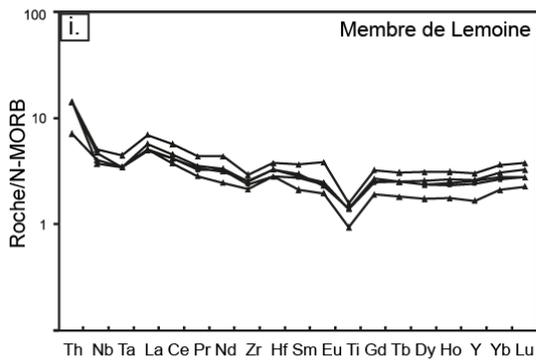
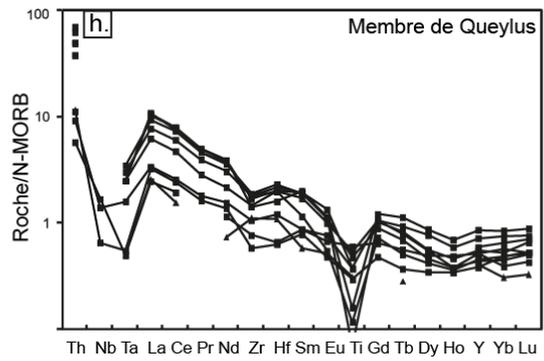
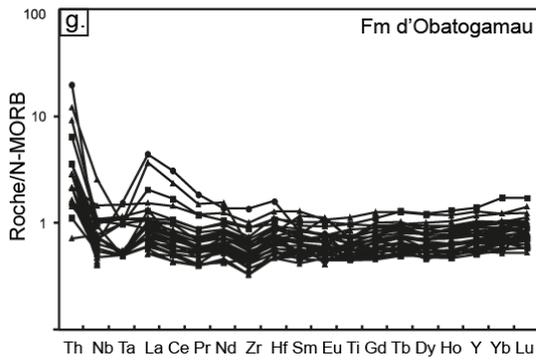




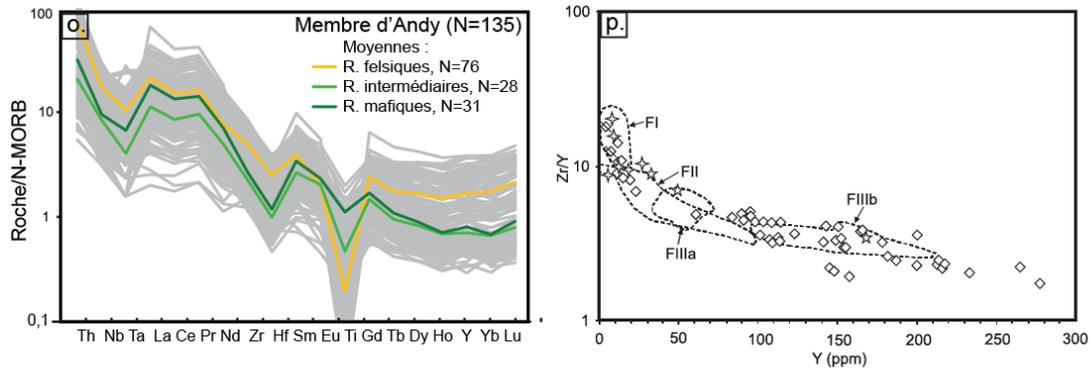
⑨ ③ Position des levés lithogéochimiques de la figure 9

Figure 0-8 : Détail stratigraphique du Membre d'Allard (modifiée depuis Leclerc et al. 2011)





- Basalt
- Basaltic andesite
- Andésite
- Rhyodacite and rhyolite

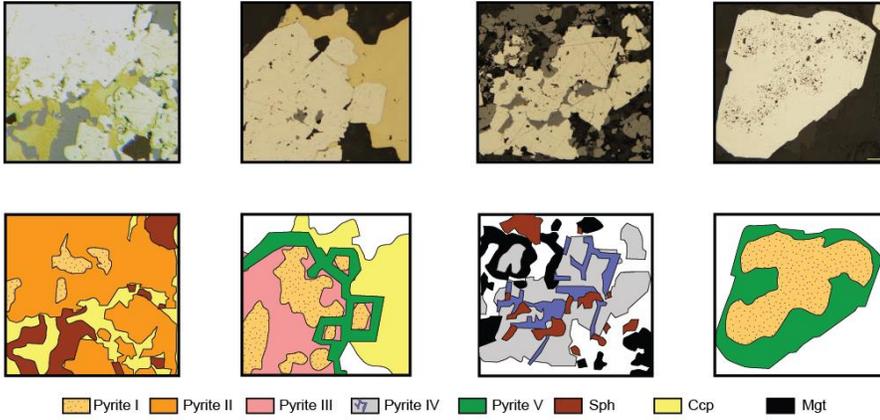


**Légende et références de la figure 1.9 :**

- a. Diagramme Th/Yb vs. Zr/Y pour les roches du Groupe de Roy au Nord du CLD, limites de champs tirées de Ross & Bédard (2009). Modifié depuis Leclerc et al., 2011.
- b. Diagramme Th/Yb vs. Zr/Y pour les roches du Groupe de Roy au Sud du CLD, limites des champs tirées de Ross & Bédard (2009). Modifié depuis Leclerc et al., 2011.
- c. à f. Spider-diagrammes normalisés au N-MORB (Klein, 2004) des roches au Nord du CLD. Modifié depuis Leclerc et al., 2011.
- g. à i. Spider-diagrammes normalisés au N-MORB (Klein, 2004) des roches au Sud du CLD. Modifié depuis Leclerc et al., 2011.
- j. Diagramme Th/Yb vs. Zr/Y pour les roches du Groupe de Roy dans le secteur de Chapais, limites de champs tirées de Ross & Bédard (2009). Modifié depuis Leclerc et al., 2010.
- k. à m. Spider-diagrammes normalisés au N-MORB (Klein, 2004) des roches du Groupe de Roy dans le secteur de Chapais. Modifié depuis Leclerc et al., 2010.
- n. Spider-diagramme normalisé au N-MORB (Klein, 2004) pour le membre de Scott. Données sources tirées de Leclerc et al., 2016 (unpublished).
- o. Spider-diagramme normalisé au N-MORB (Klein, 2004) pour le membre d'Andy. Données sources tirées de Leclerc et al., 2016 (unpublished).
- p. Diagramme Zr/Y vs. Y pour les rhyodacites et rhyolites de la formation de Waconichi, limites des champs tirées de Leshner et al., 1986. Légende des figurés identiques aux figures a. et b. Modifié depuis Leclerc et al., 2011.

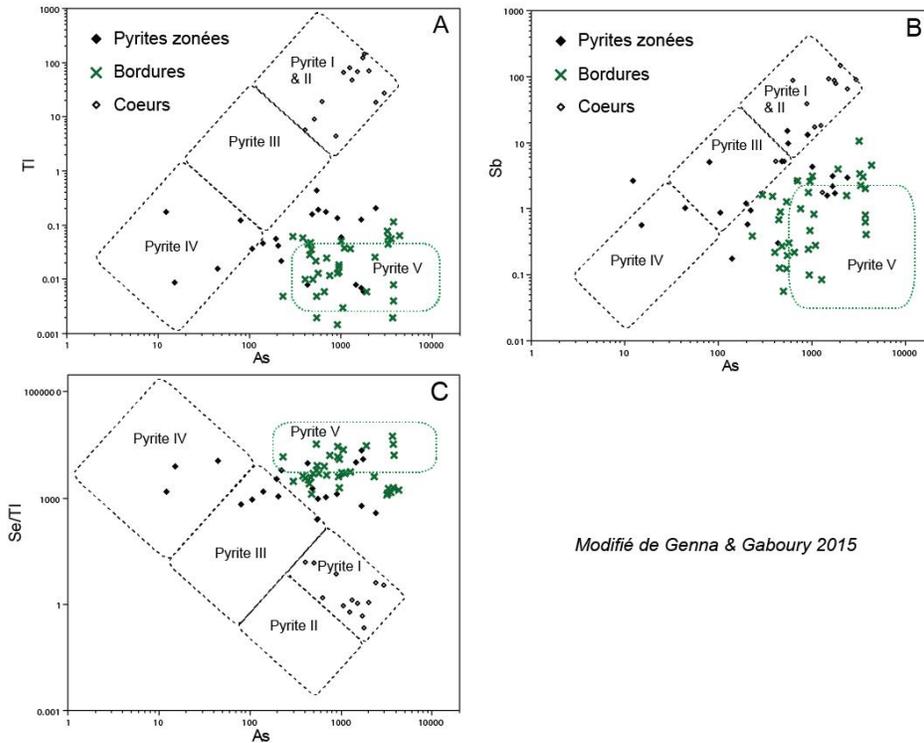
Figure 0-9 : Affinité géochimique et comportement des éléments traces des roches du Groupe de Roy

a. Typologie des pyrites



**Pyrite I et II** : zones riches en Zn, T=250°C ; **Pyrite III** : zones riches en Cu, T=300°C ; **Pyrite IV** : Associée à la magnétite ; T>350°C, **Pyrite V** : Métamorphique

a. Diagrammes : **A** : Tl vs As ; **B** : Sb vs As ; **C** : Se/Tl vs As



Modifié de Genna & Gaboury 2015

Figure 0-10 : Les différents types de pyrite et leurs signatures élémentaires (modifié de Genna & Gaboury 2015)

## 2. Second chapitre :

### Évidences d'expressions volcanogènes

Quatre principaux secteurs ont fait l'objet de cartographies détaillées : 1) Le Lac Taché – Km25 ; 2) Indian Lake (aussi connu comme « indice du Ruisseau à la loutre ») ; 3) Saw Mill ; et 4) l'indice David et du Chemin de fer. Certains secteurs d'importance secondaire, n'ont pas nécessairement été cartographiés en détail mais ont pu être échantillonnés et sont donc décrits dans ce chapitre. Le positionnement des secteurs est donné à la figure 1.4. Il s'agit ici de faire l'inventaire des caractéristiques lithologiques des différentes unités rencontrées et des évidences terrains de minéralisations type SMV. Des analogies avec les membres et formations du découpage stratigraphique de Chibougamau-Chapais seront réalisées une fois les données géochimiques présentées (Chapitre 3).

#### 2.1 Secteur du Lac Taché

L'indice du Lac Taché se situe à 25 km à l'Est de la Ville de Chibougamau. Il est accessible en empruntant le chemin forestier L-207 depuis la route 117 au Nord du lac Chibougamau. Un chemin secondaire permet d'accéder aux décapages aux environs de la borne kilométrique 26. Ce secteur, qui compte une quinzaine de décapages ou tranchées (Figure 2.1), expose les assemblages suivants : 1) des laves mafiques aphyriques, massives à coussinées et des filons-couches comagmatiques associés ; 2) des roches volcaniques et des filons-couches felsiques ; 3) un horizon de sulfures massifs ; et 4) une

unité de tufs mafiques. Considérant la portée du projet, l'étude structurale s'est limitée à l'identification et à la cartographie des plans de failles, dykes, plans axiaux des plis, de la schistosité principale et des linéations d'étirement. Ces données sont rapportées sur les cartes détaillées des décapages (Figures 2.2 et 2.3). Au Lac Taché, la schistosité principale verticale  $S_p$  a une orientation E-W à WSW-ENE, subparallèle au plan de stratification ( $S_0$ ).

### 2.1.1 Roches volcaniques mafiques

La majorité de la superficie qui affleure est constituée de roches volcaniques mafiques. Les couches étant verticalisées, il est possible d'estimer l'épaisseur des ensembles de roches directement à l'affleurement. Au Lac Taché, les roches volcaniques mafiques ont une épaisseur apparente d'au moins une centaine de mètres. Les faciès massifs complètement aphyriques alternent avec les faciès coussinés (Figure 2.4a) épais de 3 à 4 m. Malgré la déformation des coussins, certaines géométries de ces derniers indiquent une polarité vers le Nord. Ainsi, les coulées coussinées surmontent les coulées plus massives (Figure 2.2). Les coussins fortement étirés (Figures 2.2 et 2.4a) enregistrent préférentiellement la schistosité principale. Des zones bréchiques (Figures 2.2 et 2.4b) aux contours indistincts sont particulièrement riches en magnétite, sous forme de grains de 1-2 mm qui représentent jusqu'à 20 % de la roche. Ces brèches ont une épaisseur décimétrique à métrique et se positionnent latéralement voire au-dessus des faciès coussinés. L'ensemble du secteur est caractérisé par une forte altération en chlorite concentrée au sein des zones concordantes les plus perméables (coussins, brèches) mais également dans des conduits discordants de largeur métrique. La nature de ces conduits

discordants est détaillé ci-après (section 2.1.5. « Brèches hydrothermales »). La bordure des coussins est fortement altérée en chlorite noire et riche en sulfures (pyrite majoritairement, chalcopyrite et pyrrhotite) et magnétite. La totalité de l'assemblage mafique est fortement magnétique. Des veinules millimétriques sub-concordantes de magnétite ont une extension latérale de plusieurs mètres au sein des laves mafiques (Figures 2.2 et 2.4b).

### 2.1.2 Roches volcaniques et intrusions felsiques

Les roches felsiques représentent le second type de lithologie le plus abondant dans le secteur du Lac Taché après les laves mafiques. La puissance apparente des assemblages felsiques varie entre 4 m et une dizaine de mètres. Le fort degré d'altération de ces unités, tant hydrothermal que superficiel (présence de limonite), rend leur identification difficile. Ces roches se démarquent de l'assemblage mafique par leur patine communément blanchâtre ou ocre (Figures 2.1 et Figure 2.4c) ainsi que par une couleur à la cassure bleutée, la présence de cristaux de quartz bleuté (<2 % modale) et une importante silicification. Plusieurs faciès felsiques ont été reconnus : 1) des coulées massives aphyriques sans structure d'écoulement ; 2) un faciès interprété comme des lobes ; et 3) des rhyolites à phénocristaux de quartz bleutés avec des structures d'écoulement laminaire (*flow-banding*) orientées E-W (Figures 2.1 et 2.4c). Les unités aphyriques massives et les rhyolites à phénocristaux de quartz sont les plus abondantes dans le secteur. Le faciès à lobes est seulement présent dans la partie Ouest du décapage principal (Taché #01, Figure 2.2). Le fort niveau général d'altération sur l'ensemble du secteur oblitère souvent les contacts entre les assemblages felsiques et mafiques. Certains

secteurs moins altérés suggèrent toutefois que les roches volcaniques felsiques sont intercalées au sein des coulées mafiques, ou sont en transition latérale avec ces dernières. Des structures d'écoulement et de lobes suggèrent qu'il s'agit d'effusions localisées de matériaux felsiques. Il existe une chloritisation et une séricitisation non zonées apparaissant localement, mais la silicification de ces roches surimpose généralement les autres types d'altération hydrothermale. Ces lithologies contiennent une quantité variable de sulfures qui semble augmenter vers le sommet d'une même unité felsique. Ces sulfures sont par ordre d'abondance : sphalérite, pyrite, chalcopryrite, pyrrhotite et constituent localement jusqu'à 10 voire 15 % de la roche.

### 2.1.3 Roches volcanoclastiques mafiques

Les roches volcanoclastiques mafiques ont une épaisseur apparente variant entre 2 et 7 m. Les caractéristiques de cette unité diffèrent sur le décapage principal (Taché #01) et celui de la « Montagne » (Taché #10, Figure 2.3). Sur le décapage Taché #01, l'unité est composée d'un lit de tufs mafiques de 2 m d'épaisseur avec des laminations discontinues d'épaisseur centimétriques de couleur noirâtre à grisâtre (Figure 2.2 et 2.4d). La granulométrie est homogène et aphanitique. Il est donc difficile d'identifier la composition de la roche sur le terrain. Celle-ci est reconnue grâce aux résultats d'analyses lithogéochimiques détaillées dans le chapitre 3. Les laminations définissent la stratification WSW-ENE. Considérant la polarité vers le Nord, établie grâce à la morphologie des coussins de basaltes (voir section 2.1.1), les tufs mafiques recouvrent l'unité de sulfures massifs (Figure 2.2). Le contact entre ces deux unités est très net, bien qu'irrégulier (Figures 2.2, 2.4e et 2.4f). Les tufs mafiques ont une très forte dureté en

raison de la silicification invasive. Ils contiennent des bandes de magnétite concordantes et discontinues d'une longueur de quelques centimètres, connectées entre elles par des veinules de magnétite massive discordantes (Figures 2.2 et 2.4d). Les tufs mafiques ne contiennent presque aucun sulfure et paraissent complètement imperméables aux fluides hydrothermaux à l'origine de la lentille sulfurée sus-jacente. Les seules zones riches en chalcopryrite et en pyrite sont localisées au niveau de petites fractures orthogonales à l'unité de tuf mafique.

Sur le décapage de la Montagne (Taché #10, figure 2.3), l'unité de roches volcanoclastiques mafiques atteint 7 m d'épaisseur et comprend des tufs à lapillis et cristaux avec des laminations droites orientées E-W. La patine est de couleur beige à ocre, avec des zones particulièrement altérées de couleur noire. Un granoclassement inverse à polarité vers le Nord est défini dans deux lits d'épaisseur plurimétrique par la variation dans la quantité et la taille des cristaux et des lapillis. La patine, la granulométrie plus épaisse et le granoclassement sont les principales différences avec les roches volcanoclastiques du décapage Taché #01. La silicification des tufs relevée sur le décapage Taché #01 n'est pas présente sur le décapage Taché #10 (Montagne).

#### 2.1.4 Sulfures massifs

Les sulfures massifs prennent la forme d'une lentille principale concordante d'une épaisseur variant entre 1 m et plus de 2 m (Figure 2.2 et 2.4g). Quelques autres horizons de sulfures semi-massifs d'une dizaine de centimètres sont aussi présents. La minéralogie est essentiellement constituée de pyrite (>90%), avec des enrichissements locaux en chalcopryrite, pyrrhotite et des traces de sphalérite. La lentille principale constitue un

marqueur stratigraphique local. Elle possède une extension latérale E-W d'au moins 70 m et a été identifiée sur les deux décapages principaux (Figures 2.1 et 2.2). Elle est systématiquement sous-jacente aux roches volcanoclastiques mafiques. La lentille de sulfures massifs du décapage Taché #10 a une épaisseur apparente de seulement quelques dizaines de centimètres et est recouverte par un horizon siliceux d'aspect chertueux de quelques centimètres d'épaisseur.

Sur le décapage Taché #01, la transition entre les basaltes coussinés et altérés (au Sud) et les sulfures massifs (au Nord) est progressive (Figure 2.2). Le contact entre les deux unités est défini par l'augmentation progressive de la quantité de sulfures (pyrrhotite, pyrite et chalcopryrite) dans la partie sommitale des basaltes près de la lentille de sulfures massifs. Un litage millimétrique ségréant pyrite et pyrrhotite est observé au sein de la lentille de sulfures massifs.

#### 2.1.5 Brèches hydrothermales

Ce faciès consiste en des brèches aux fragments anguleux à légèrement arrondis, non jointifs, mais dont les formes et contours peuvent s'imbriquer. Il s'agit donc une bréchification in-situ hydrothermale. Les blocs décimétriques sont intensément silicifiés. La matrice de la brèche est essentiellement composée de chlorite noire (Figures 2.1 et 2.4h) et de sulfures (pyrite et chalcopryrite principalement). La schistosité principale est très bien développée dans la matrice chloriteuse mais absente dans les blocs silicifiés. Ce style de brèche, dont les fragments sont silicifiés et la matrice est chloritisée est analogue aux zones de brèches hydrothermales de type « *silicified pyritic stockwerk* » caractérisant les cheminées d'alimentation des SMV actifs (Fouquet et al. 1998). Une partie de la

surface exposée au Lac Taché est intensément météorisée. Cela donne en surface une roche à aspect bréchiq, avec des blocs altérés dans une matrice de limonite. Une confusion est possible entre cette météorisation et les brèches hydrothermales *sensu-stricto*.

Ce type de brèche hydrothermale témoigne de la silicification des conduits à l'amorce des systèmes hydrothermaux à basse température et de leur fracturation hydraulique subséquente par des fluides de plus haute température. Ces brèches sont développées dans plusieurs couloirs de largeurs variables, tous discordants et orientés NNW-SSE (Figures 2.1). Le plus important est situé au Sud du décapage Taché #01 et montre une largeur apparente d'une dizaine de mètres. Bien qu'aucun indicateur de mouvement apparent n'ait été relevé sur les décapages disponibles, ces couloirs bréchifiés et altérés correspondent probablement à des failles syn-volcaniques.

#### 2.1.6 Dykes

Sur le décapage Taché #01, un dyke felsique porphyrique (<10 % phénocristaux de feldspath) coupe les basaltes et la minéralisation volcanogène (Figures 2.2 et 2.4i). Il a une orientation globale NNE-SSW et une épaisseur pluridécimétrique. Il est plissé selon le raccourcissement lié à la fabrique  $S_p$  et ne présente aucune évidence d'altération hydrothermale. Sur le décapage de la Montagne, les filons-couches de gabbro co-magmatique viennent gonfler l'assemblage volcanique. Ils se différencient difficilement des laves massives puisqu'ils présentent une couleur verdâtre et une structure aphyrique similaire. Les contacts sont généralement nets et caractérisés par des fronts de bréchification d'épaisseur centimétrique. Les filons-couches de gabbro sont également

plus réfractaires à l'altération hydrothermale que les ensembles mafiques clairement effusifs.

Le second type de filons-couches est également aphyrique et se différencie de l'environnement volcanique local par une couleur brunâtre et une schistosité régionale  $S_p$  fortement pénétrative. Ceux-ci semblent syn-tectoniques car ils n'enregistrent aucune altération. L'épaisseur de ces types de filons-couches est métrique.

### 2.1.7 Évidence d'un modèle SMV et interprétation cartographique

Les principaux éléments en faveur d'un modèle métallogénique de type SMV pour le secteur Lac Taché sont la présence : 1) d'une lentille métrique de sulfures massifs concordante ; 2) de zones discordantes d'altération hydrothermale suggérant l'existence des cheminées d'alimentation ; et 3) d'une alternance de roches volcaniques mafiques et felsiques suggérant un environnement volcanique sous-marin bimodal (Figures 2.1, 2.2 et 2.3). Plusieurs observations supportent un mécanisme de minéralisation par remplacement. La première observation est la quasi-absence de sulfures dans l'unité de roches volcanoclastiques sus-jacente à la minéralisation. Le contact entre les deux unités est net mais très irrégulier (Figure 2.2 et 2.4f). Le degré de compétence élevé des tufs mafiques, notamment en raison de l'apparente silicification, suggèrent que cette lithologie a joué le rôle de couche imperméable (cap rock) pour les fluides minéralisateurs. Cette hypothèse est appuyée par la présence de quelques fractures au sein des tufs et près du contact avec la lentille (Figure 2.4e). Ces fractures sont minéralisées mais n'imprègnent absolument pas les tufs en sulfures. La deuxième observation est la transition progressive, du Sud vers le Nord, entre des laves coussinées partiellement remplacées et les sulfures

massifs. La perméabilité inhérente de ce faciès volcanique lui permet d'être minéralisé. L'horizon de sulfures massifs correspond donc au sommet des laves mafiques intégralement remplacé par un fluide hydrothermal pressurisé par le couvercle imperméable de tufs mafiques silicifiés. Bien que les litages au sein de lentilles massives puissent être dus à des processus exhalatifs, des ségrégations minérales à l'origine de tels lits alternant Po-Py ( $\pm$ Ccp) sont communément formés lors du processus de « *zone refining* » ou de recristallisation métamorphique. Le litage apparent n'est donc pas incohérent avec un modèle de minéralisation en remplacement.

Plusieurs zones fortement altérées en chlorite noire caractérisent d'ailleurs les laves mafiques. Ces zones sont discordantes à sub-concordantes et s'évasent au contact avec la lentille sulfurée. Elles suggèrent l'existence de conduits syn-volcaniques préférentiels empruntés par les fluides minéralisateurs. Ces conduits s'expriment également par la présence de couloirs bréchifiés NNW-SSE discordants. La bréchification *in-situ* laisse supposer que les brèches sont hydrauliques, ce qui supporte l'idée d'un système pressurisé. En outre, ces zones sont très riches en silice, chlorite noire et le principal sulfure présent est la chalcopyrite. Ce genre d'assemblage est typique du cœur d'un conduit hydrothermal à l'origine de lentilles concordantes SMV (Goodfellow et al. 2003).

Bien que les décapages Taché #01 (Figure 2.2) et #10 (Figure 2.3) soient espacés de 300 m selon un axe WNW, des similitudes quant à l'empilement volcanique local peuvent être soulignées (Figure 2.5). Une même succession, selon la polarité orientée vers le Nord, est retrouvée, à savoir : 1) un assemblage bimodal où alternent les laves mafiques

et les rhyolites ; 2) une lentille de SMV ; et 3) une unité de roches volcanoclastiques. Les différences entre les deux décapages sont les suivantes : 1) le lithofaciès des volcanoclastites ; 2) une plus grande épaisseur de la lentille de SMV sur Taché #01 ; 3) un volume apparent de rhyolite moins important sur Taché #10 ; et 4) l'identification claire de conduits hydrothermaux sur Taché #01. La différence entre les faciès de tufs mafiques des deux décapages peut d'ailleurs s'expliquer par la silicification : invasive sur Taché #01 et absente sur Taché #10. Les autres différences peuvent également être liées à des processus hydrothermaux. L'hypothèse ici avancée est que le décapage Taché #01 est centré sur la décharge proximale, tandis que le décapage Taché #010 se trouve en position plus distale par rapport au cœur du système hydrothermal (Figure 2.5).

#### 2.1.8 Décapages du Km25

Ce secteur est situé à 1,5 km au Sud-Ouest de l'indice du Lac Taché. Il est accessible par la route forestière L-207 à la borne kilométrique 25, d'où son nom, depuis la route 167 au Nord de Chibougamau. Un peu moins d'une dizaine de tranchées ou décapages sont disponibles sur ce secteur. Historiquement, cet indice a été travaillé par SOQUEM Inc., notamment, sur des zones de déformation avec des veines de quartz aurifères. Dans ce projet, seul un décapage a été retenu après l'examen rapide de l'ensemble du secteur. Les principaux ensembles de roches sont : 1) des laves mafiques massives ; 2) une formation de fer carbonatée et sulfurée ; 3) des roches volcanoclastiques mafiques ; et 4) des lentilles de sulfures semi-massifs. La  $S_0$  est E-W à ENE-OSO et la  $S_p$  est orientée ONO-ESE. Toutes deux sont sub-verticales (Figure 2.6).

Les laves mafiques sont massives, aphyriques et homogènes avec une épaisseur apparente d'une dizaine de mètres sur plusieurs décapages. Elles affleurent à la base (Sud) et au sommet (Nord) de la séquence sur le décapage cartographié, toujours en considérant une polarité vers le Nord. Le faciès est très similaire à celui du secteur Lac Taché. Les laves mafiques sont encore fortement magnétiques. De rares lentilles d'épaisseur décimétrique de sulfures semi-massifs (pyrite) y sont présentes. Un filon-couche de gabbro comagmatique apparaît dans la partie Nord du décapage (Figure 2.6). Ses bordures incluent des enclaves des lithologies environnantes.

Une formation de fer (Figure 2.4j et 2.6) surmonte les laves mafiques de la partie Sud du décapage. La  $S_p$  est fortement pénétrative (effet de la faille du Lac Sauvage, Daigneault et Allard 1990) dans cette unité dont l'épaisseur atteint 5 m. Elle est principalement composée d'ankérite et d'une moindre quantité de pyrite. Toutefois, les sulfures ne sont pas répartis de manière homogène et semblent plus concentrés en allant vers l'Ouest. La formation de fer devient progressivement une lentille de pyrite semi-massive vers le Nord.

La formation de fer est recouverte par une épaisse séquence de roches volcanoclastiques d'une dizaine de mètres d'épaisseur qui enregistre très bien la schistosité  $S_p$ . Cette unité a une patine ocre très prononcée car elle possède la plus grande quantité de sulfures disséminés (<1 à 5% modale) du secteur (Figures 2.6 et 2.4k). Sur l'ensemble de l'unité, la roche peut être qualifiée de tufs à lapillis ou de tufs cherteux. Au moins deux séquences de dépôts peuvent être individualisées, en fonction de la présence de niveaux cherteux discontinus au sommet de chacune d'elles (Figure 2.6). La quantité

de matériaux chertoux augmente vers le Nord (selon la polarité) au sein d'une même séquence. La seconde séquence de roches volcanoclastiques est d'ailleurs très affectée par l'altération hydrothermale en chlorite, silice et sulfures disséminés. C'est dans cette unité que se trouvent plusieurs niveaux d'épaisseur décimétriques, discontinus et concordants de sulfures semi-massifs (Figures 2.6 et 2.41). Dans ce cas, l'origine des sulfures par remplacement est considérée. Le contact inférieur des tufs chertoux est caractérisé par un niveau de 50 cm de sulfures massifs et laminés qui constituent également le sommet des formations de fer. Pour ce niveau de sulfures, un processus exhalatif est considéré.

Les assemblages volcaniques du Km25 sont donc très semblables à ceux du secteur Lac Taché, hormis l'absence de roches felsiques sur le secteur Km25. Il est envisageable que ces deux secteurs correspondent à un même épisode temporel dans le volcanisme, ce qui est confirmé par la lithogéochimie (Chapitre 3). Toutefois, le secteur Km25 expose des éléments correspondant aux expressions distales classiques de systèmes SMV avec : 1) des formations de fer ; 2) des minéralisations sulfurées peu épaisses ; 3) une importante composante chertouse dans des dépôts volcanoclastiques ; et 4) l'absence d'objet discordant servant de conduit à des fluides minéralisateurs. Il est donc suggéré que les décapages du secteur Km25 correspondent à un équivalent distal d'un système hydrothermal centré sur le secteur Lac Taché.

## **2.2 Secteur Indian Lake**

Ce secteur est situé à 30 km au Sud-Ouest de la ville de Chibougamau et 8 km au Nord-Est de Chapais. Pour y accéder, il faut emprunter la route forestière R1009 direction Nord (Oujé-Bougoumou) à l'intersection avec la route provinciale 113, puis

prendre le premier chemin forestier direction Ouest sur 2 km. Sept décapages sont présentement disponibles. Les assemblages suivants y sont reconnus, de la base vers le sommet : 1) un ensemble de roches felsiques ; 2) une lentille de sulfures massifs ; et 3) des turbidites. La stratification  $S_0$  est orientée NNW-SSE, alors que la  $S_p$  verticale est globalement E-W définissant une relation de charnière. Cette relation structurale confirme la position du secteur Indian Lake légèrement au Nord du synclinal de Chapais (Figure 1.4). La polarité est vers l'Ouest.

### 2.2.1 Rhyodacites

Les unités felsiques occupent la base de toute la séquence cartographiée du secteur Indian Lake. Leur épaisseur apparente est supérieure à 25 m mais reste ouverte en direction Est, où aucun affleurement n'est pour l'instant disponible. L'analyse lithogéochimique (section 3.2) révélera qu'il s'agit de compositions rhyodacitiques. Les caractéristiques lithologiques de cette unité évoluent d'Est en Ouest. La patine de cette roche est majoritairement beige, avec localement des zones métriques concordantes ocres et verdâtres. Le faciès à la base de l'unité s'apparente à des coulées felsiques lobées déformées et boudinées de dimension métrique et s'orientant selon la  $S_0$  Nord-Sud (Figures 2.7 et 2.8a). Elles sont constituées d'une pâte aphyrique grise foncée et silicifiée, accompagnée de cristaux de feldspaths qui représentent jusqu'à 20 % de la roche. Les lobes ne sont pas jointifs mais séparés par une matrice plus claire affectée par la schistosité principale. Environ 3 % du volume de la matrice est composée de vacuoles. Le matériel matriciel est interprété comme issu d'une fragmentation autoclastique (Figure 2.8a) et enregistre très bien la schistosité. En suivant une coupe vers l'Ouest dans ces roches

felsiques, la structure lobée disparaît peu à peu au profit d'une lithologie plus homogène et stratifiée (Figure 2.7 et 2.8b). Aucun contact net ne peut toutefois être tracé (Figure 2.7). L'unité stratifiée a un aspect semblable à des tufs cherteux, bien qu'en terme compositionnel, il s'agisse de la même lithologie felsique que le faciès lobé. L'aspect cherteux est interprété comme le résultat d'une importante silicification au sommet de l'unité (Figure 2.7 et 2.8c). Des zones concordantes et discordantes d'épaisseur plurimétriques sont très riches en chlorite et sulfures disséminés. Elles sont communes et responsables des colorations verdâtres et ocres relevées sur le décapage (Figures 2.7 et 2.8b). Un seul niveau d'épaisseur décimétrique de hyaloclastites a été identifié à l'extrême Nord du décapage, au contact avec les turbidites sus-jacentes (Figures 2.7 et 2.8d). Le contact supérieur de l'assemblage felsique varie latéralement, selon un axe Nord-Sud, avec les sulfures massifs ou avec les turbidites. Le contact basal de l'unité n'est pas affleurant. Toutefois, de récentes données de forage (Larouche 2016) ont mis en évidence la présence d'une centaine de mètres de shales graphiteux sous les rhyodacites pseudo-lobées. Cette unité graphiteuse sera l'un des arguments pour le positionnement stratigraphique d'Indian Lake dans le chapitre 3 (section 3.2.)

### 2.2.2 Sulfures massifs

Un niveau de sulfures massifs (Figures 2.7 et 2.8c) formé de lentilles concordantes et discontinues (extension N-S d'environ 200 m) avec une épaisseur variable (une dizaine de cm à plus de 2 m) constitue l'interface entre les rhyolites et les turbidites dans le secteur d'Indian Lake. Le sulfure dominant est la pyrite (90%) suivi par la pyrrhotite. La sphalérite est le seul sulfure économique clairement identifié, bien que peu abondant (<2%).

Toutefois, des patines blanchâtres très localisées dans la rhyolite ou sur la lentille suggèrent la présence d'hydrozincite : la sphalérite pourrait donc être plus abondante. Les lentilles montrent des lamines millimétriques ségréant la pyrite de la pyrrhotite. Les zones où l'épaisseur des sulfures massifs est maximale sont à l'aplomb de couloirs discordants composés de filonets de chlorite qui coupent l'unité felsique. En plus des lentilles concordantes, les sulfures semi-massifs sont également présents sur le toit de deux failles syn-volcaniques déformant la base des turbidites.

### 2.2.3 Turbidites

Les turbidites constituent l'unité sommitale du secteur Indian Lake et ont une épaisseur apparente d'au moins 20 m qui reste ouverte vers l'Ouest. Elles sont caractérisées par la succession répétitive de lits blancs à beige gréseux à silteux avec une proportion de pores qui atteint 40%, suivie de lits grisâtres homogènes composés de mudstones. L'épaisseur des lits clairs et foncés n'est pas homogène et varie à la fois latéralement (interdigitation des faciès). Les structures sédimentaires et diagénétiques sont communes, les principales étant : des laminations planes et entrecroisées, des figures de charge, la liquéfaction des matériaux gréseux (présence de dykes clastique d'épaisseur décimétrique), des figures d'échappement d'eau, etc. Les laminations entrecroisées donnent une polarité orientée vers l'Ouest cohérente avec celle déduite de la morphologie des coussins de basaltes des affleurements voisins au décapage du secteur d'Indian Lake. La succession répétitive des lits gréseux à silteux et des lits de mudstone, les granoclassements, les figures de charges, les laminations entrecroisées sont cohérents avec une séquence de Bouma de type Tc-Td. Les turbidites sont également le site de nombreux

processus structuraux qui seront détaillés ci-dessous. La base des turbidites est localement enrichie en sulfures (Figure 2.8e).

#### 2.2.4 Éléments structuraux

La  $S_0$  est orientée globalement Nord-Sud. La schistosité principale E-W correspond à une  $S_1$  essentiellement reconnue dans ce secteur particulier, à l'interface des plutons de Chibougamau et Opémiska. La  $S_2$  est E-W, sous forme de clivage espacé bien que très discrète sur les décapages visités. Plusieurs failles syn-volcaniques caractérisées par des zones de dommage de faible largeur (moins de 1 m) et d'orientation E-W se trouvent dans les rhyolites et les deux premiers mètres des turbidites sus-jacentes. La roche y est fortement remplacée par des sulfures semi-massifs et de la chlorite (Figure 2.7 et 2.8f). Dans l'unité de turbidites, les failles syn-volcaniques plus importantes montrent un décalage directionnel de plusieurs mètres. Leur orientation varie de NW-SE à NE-SW. Dans la partie Nord du décapage (Figure 2.7), le jeu combiné des failles normales NW-SE et NE-SW produit une structure en horst lorsqu'on rétablit les couches en position pré-basculement. Les lits gréseux et silteux des turbidites exposent des figures de *slumping* de part et d'autre du horst. Une déformation intense et plus tardive est enregistrée par les turbidites au Nord du secteur, à travers des couloirs de transposition plurimétriques orientés NE-SW. Il existe une perte totale des orientations stratigraphiques dans ce type de couloir qui épaisse également les lentilles sulfurées. Ce type de transposition est attribué à la schistosité principale.

### 2.2.5 Dykes

Les dykes les plus communs dans le secteur d'Indian Lake ont une patine verte pâle à beige. Ils sont aphyriques, d'épaisseur décimétrique, d'orientation variable et injectés dans les rhyolites. Il s'agit d'intrusions intermédiaires à mafiques (échantillon 78, section 3.2). Ces dykes sont considérés comme contemporains au volcanisme felsique, malgré leur composition mafique, car certains sont recoupés par des venues rhyolitiques légèrement plus tardives. Une autre génération de dykes très finement porphyrique d'une dizaine de centimètres d'épaisseur recoupe l'ensemble des unités. Ils prennent une teinte verte légèrement plus sombre que les dykes contemporains aux rhyodacites. Ils sont subverticaux et orientés ENE-WSW et ont également une composition felsique.

### 2.2.6 Interprétation cartographique

Comme pour le secteur du Lac Taché, les principales évidences d'un système volcanogène consistent en la présence de lentilles sulfurées concordantes alimentées par des couloirs discordants riches en chlorite et sulfures. Au secteur d'Indian Lake, l'identification très nette de failles syn-volcaniques (Figure 2.8f) affectant également les roches sus-jacentes et les lentilles sulfurées constitue un élément supplémentaire. Plusieurs éléments supportent une genèse des sulfures par remplacement (Figure 2.9). Ceux-ci relèvent des unités environnantes, plutôt que des caractéristiques physiques de la lentille sulfurée en elle-même. (1) Les roches felsiques n'exposent aucune évidence de mise en place extrusive ou effusive, hormis un fin niveau de hyaloclastites observé sur une extension de seulement 1 m à l'extrême Nord du décapage. Puisque très peu de signes d'influence directe de l'eau mer sur les faciès rhyolitiques sont relevés, il est ici suggéré

que ces roches se forment de manière endogène, alors que les turbidites sont déjà déposées en partie. (2) L'affaissement des turbidites (formation de horst et de graben) appuie l'idée du gonflement de crypto-dômes rhyolitiques, sous-jacents aux unités sédimentaires. (3) La base des turbidites est minéralisée en sulfures disséminées voire semi-massifs. (4) En plusieurs endroits, le contact entre la lentille et les turbidites n'est pas net, mais diffus. (5) (6) Puisque les sulfures massifs se trouvent à l'interface entre les rhyolites et les turbidites et que les rhyolites se développent suite aux dépôts des turbidites (Figure 2.9), seule une minéralisation en remplacement est envisageable. (7) Finalement, aucune évidence de cherts ou toute autre expression exhalative n'est présente sur Indian Lake. Comme mentionné pour le Lac Taché, l'observation de litage au sein des sulfures massifs ne contredit pas l'hypothèse d'une minéralisation par remplacement.

### **2.3 Secteur Saw Mill**

Le secteur de Saw Mill est situé à 26 km au Sud-Ouest de Chibougamau, tout près des décapages d'Indian Lake. On y accède par la route forestière R1009 direction Nord (Oujé-Bougoumou) à l'intersection avec la route provinciale 113. Un chemin forestier direction Ouest est accessible à la borne kilométrique 6 sur la R1009 et doit être suivi sur 400 m, avant de prendre une intersection vers le Sud qui mène aux décapages de Saw Mill. Les deux principales lithologies du secteur sont : 1) des laves mafiques massives et aphyriques, et 2) un assemblage volcano-sédimentaire porphyrique hétérogène. Des intrusions de différentes générations constituent également un important volume de roches sur les décapages cartographiés. Comme dans le secteur d'Indian Lake, le secteur de Saw Mill se situe juste au Sud de la trace axiale de l'Anticlinal de Chibougamau. La surface  $S_0$

verticale est orientée Nord-Sud à NNW-SSE, alors que la  $S_p$ , faible et verticale, est E-W en relation de charnière. La polarité est vers l'Ouest. Deux décapages ont fait l'objet d'une étude détaillée (Figures 2.10 et 2.11).

### 2.3.1 Laves mafiques aphyriques

Les laves mafiques de cette unité se distinguent du reste des roches rencontrées à Saw Mill par leur texture aphyrique. Elles sont massives, homogènes et ont une couleur verdâtre. Les laves mafiques aphyriques constituent la base de l'empilement sur le décapage principal Saw Mill #03 (Figure 2.10), considérant une polarité Ouest. Ces roches aphyriques ont une épaisseur maximale d'une cinquantaine de mètres, puisqu'un affleurement 20 m à l'Est de Saw Mill #03 en est dépourvu. La schistosité principale est faiblement pénétrative. Les laves mafiques aphyriques sont bréchifiées dans un couloir discordant orienté E-W d'épaisseur métrique dans la partie Est du décapage principal (Figures 2.10 et 2.11a), mais qui s'évase vers l'Ouest au contact avec les roches volcanosédimentaires sus-jacentes. Les fragments de la brèche sont imbriqués et silicifiés dans une matrice intensément chloritisée (chlorite noire) qui comprend localement des carbonates de fer. Par ailleurs, la forme en trois dimensions de ces blocs permet une lecture évidente d'une forte linéation d'étirement verticale malgré la faible pénétration de la schistosité. Des filonets d'épaisseur centimétrique de sulfures massifs (Est-Ouest) sont communs au sein de ces brèches (Figures 2.10 et 2.12b). Le contact supérieur de l'unité de laves mafiques aphyriques est la zone la plus enrichie en sulfures disséminés sur le décapage Saw Mill #03. Les sulfures apparaissent localement sous la forme de lentilles semi-massives (<40 % sulfures) qui coïncident avec la présence de grenats, interprétés

selon des critères pétrographiques macroscopiques comme une espèce manganésifère type spessartite (Figures 2.10, 2.13a et 2.13c). Ces grenats indiquent un métamorphisme de grade plus élevé (amphibolite), car la chloritisation des brèches est définie par des amphiboles). Les grenats soulignent aussi le métamorphisme de zone d'altération volcanogène (excédent d'aluminium). Au sein des brèches à sulfures-chlorite (amphibole), une silicification sous forme de stockwerks et de matrice des blocs altérées est présente (Figure 2.13c). Au-dessus des laves aphyriques repose en discordance l'assemblage volcanosédimentaire porphyrique, qui lui, est dépourvu de sulfures sur le décapage principal (Saw Mill #03, figure 2.10).

### 2.3.2 Roches volcanoclastiques à matrice porphyrique

Cette unité constitue le plus grand volume de roches dans le secteur de Saw Mill avec une extension Est-Ouest d'au moins 500 m à travers les nombreux décapages et les affleurements naturels du secteur. Ces roches sont localisées au-dessous comme au-dessus des roches aphyriques précédemment décrites. Elles ont une patine vert pâle à blanc suivant la quantité variable de phénocristaux de feldspaths (5 à 10%) dont la taille oscille entre quelques millimètres et un centimètre. Cette unité correspond majoritairement à des tufs à cristaux et plus localement à des tufs à cristaux et lapillis voire des tufs à blocs.

La base de l'unité, au contact avec les laves mafiques aphyriques, est composée d'environ un mètre roches volcanoclastiques remaniées à granulométrie homogène (< 1 mm). Les laminations entrecroisées permettent d'établir clairement une polarité vers l'Ouest (Figures 2.10 et 2.12c). Des niveaux continus d'épaisseur décimétrique, concordants à sub-concordants, sont intégralement silicifiés (Figure 2.10). Cet horizon de

roches volcanoclastiques remaniées à laminations entrecroisées évolue progressivement vers des tufs à cristaux à laminations parallèles. Bien que des variations granulométriques et de tris affectent ces volcanoclastites à une échelle métrique, la principale caractéristique de l'unité est l'augmentation de la taille et de la quantité des composants (cristaux et lapillis) en direction Ouest, à une échelle décimétrique. Le sommet de l'empilement sur le décapage Saw Mill #03 correspond à des tufs à lapillis et à blocs. Les décapages situés vers le sommet stratigraphique (encore plus à l'Ouest) exposent des tufs à blocs, voire des brèches volcaniques porphyriques (Figure 2.12d). Les affleurements naturels situés à plus d'une centaine de mètres à l'Ouest des deux décapages cartographiés sont constitués de coulées coussinés et bréchiques à phénocristaux de feldspath présentant des caractéristiques similaires aux roches volcanoclastiques remaniées.

Sur le décapage Saw Mill #07 (Figure 2.11), plusieurs niveaux d'épaisseur décimétrique sont caractérisés par l'alternance de tufs à cristaux et de tufs cherteux où au moins 40 % de la roche est composée de fragments ou de bandes de chert (Figures 2.11 et 2.12e). Les tufs à cristaux comprennent aussi des horizons intégralement silicifiés concordants ainsi qu'une lentille discontinue et d'épaisseur décimétrique de sulfures semi-massifs (pyrite : Figure 2.11), absente du décapage Saw Mill #03.

Une silicification est présente au sein des tufs à cristaux. Elle est visible à travers des bancs décimétriques intégralement silicifiés, ayant sur le terrain un aspect chertoux (Figures 2.12a et 2.13b).

Les tufs à cristaux comme les brèches de coussins ne sont pas affectés par une altération hydrothermale à chlorite-sulfures notable. Aucun couloir discordant ou

concordant n'est clairement identifié, comme c'est le cas dans l'unité sous-jacente de laves mafiques aphyriques. En revanche, les zones de brèches coussinées situées à l'Ouest comme à l'Est du secteur et des décapages cartographiés, présentent une épidotisation intense des blocs. Les veinules, sans orientation préférentielle d'épidote, sont communes.

### 2.3.3 Éléments structuraux

Une linéation d'étirement sub-verticale est très bien soulignée par des blocs de brèches hydrauliques au sein des laves mafiques aphyriques sur le décapage Saw Mill #03. Le jeu combiné de failles normales ENE-WSW définit une structure métrique en graben (pré-basculement des couches) au contact entre les laves mafiques aphyriques et les tufs à cristaux dans la partie Nord du décapage Saw Mill #03.

### 2.3.4 Dykes

Deux familles principales de dykes sont reconnues et sont, de la plus ancienne à la plus jeune : 1) des dykes et filons-couches intermédiaires d'épaisseur variable incluant entre 10 et 35% de phénocristaux plurimillimétriques de feldspaths ; 2) un dyke tardif microporphyrrique intermédiaire d'épaisseur plurimétrique avec 5% de cristaux de feldspaths de 0,5 mm. La taille et la quantité des phénocristaux dans la plus ancienne génération rappellent celles de l'unité de tufs à cristaux. Ces intrusions porphyriques sont décalées par le jeu des failles normales (pré-basculement) (Figures 2.10 et 2.12f), tandis que le filon-couche microporphyrrique sur le décapage Saw Mill #03 ne l'est pas. C'est le principal critère de chronologie relative qui a permis de définir que le dyke microporphyrrique est plus tardif, tout en étant lié au volcanisme. Sur le décapage Saw Mill #03, aucune des deux générations de dyke n'est affectée par la forte altération en

chlorite noire (amphibole) et l'enrichissement en sulfures caractérisant les couloirs bréchifiés discordants dans les laves mafiques aphyriques. Ce décapage comprend un filon-couche porphyrique intermédiaire injecté dans des tufs à cristaux avec des épontes complètement silicifiées. Sur le décapage Saw Mill #07, les deux générations de dykes identifiées possèdent des épontes caractérisées par un enrichissement en sulfures et une altération en chlorite (amphibole) importante (Figure 2.11). Les bordures d'altération dans les tufs à cristaux encaissants ont une épaisseur d'une dizaine de centimètre.

### 2.3.5 Interprétation cartographique

Le secteur de Saw Mill ne possède pas de lentille de sulfures massifs continue d'une épaisseur aussi importante comme dans les secteurs d'Indian Lake de Lac Taché. Les conduits hydrothermaux discordants sont pourtant clairement identifiés, notamment sur le décapage Saw Mill #03. Les brèches hydrauliques enrichies en chlorite noire (amphibole) et sulfures disséminées au sein des laves mafiques aphyriques forment une zone discordante dont la partie sommitale s'évase vers l'Ouest au contact avec les tufs à cristaux. L'absence de lentille sulfurée nette à l'interface entre les laves mafiques aphyriques et les roches volcanoclastiques remaniées, à l'aplomb du conduit des fluides peut suggérer deux choses : 1) le système hydrothermal exposé n'a pas atteint une maturité ou une puissance nécessaire à la formation d'une lentille ; ou 2) une lentille sulfurée a existé mais n'a pas été préservée. Le dépôt en discordance des tufs à cristaux sur les laves mafiques aphyriques ainsi que la présence de figures sédimentaires de haute énergie dans ces roches impliquent une période turbulente provoquant le remaniement du dépôt sous-

marin. Ce genre de condition n'est pas propice à la préservation de monticules et de cheminées sulfurées qui ont facilement pu être érodées et transportées.

De plus, les tufs à cristaux sur le décapage Saw Mill #03 sont dépourvus de sulfures et d'altération en chlorite, ce qui implique un dépôt postérieur à l'activité hydrothermale ayant permis le développement des brèches hydrauliques à chlorite-sulfures dans les laves mafiques aphyriques. Toutefois, les dykes qui recoupent cette séquence présentent des épontes sulfurées et chloritisées, ce qui implique une activité hydrothermale contemporaine au dépôt des tufs à cristaux. La présence d'un essaim de dykes minéralisés et de fines lentilles discontinues de sulfures semi-massifs dans les tufs à cristaux sur le décapage Saw Mill #07 (Figure 2.11) souligne aussi l'importance d'une forte activité intrusive synvolcanique proximale pour la genèse de la minéralisation. Elle suggère également que l'activité hydrothermale a perduré plus longtemps que ne le laisse présager les éléments observés sur le seul décapage Saw Mill #03. En outre, la silicification en stockwerks dans les laves et en bancs d'aspect chertoux au sein des tufs (Figure 2.13) est interprétée comme tardive. Cette silicification souligne que l'activité hydrothermale est active après le dépôt des roches volcanosédimentaires, et vient certainement sceller pendant un temps le système hydrothermal.

L'unité de roches volcanoclastiques à matrice porphyrique montre des variations verticales de faciès importantes, soit dans la direction de la polarité Ouest. Dans les premiers mètres au contact avec les laves mafiques aphyriques, les roches volcanoclastiques sont caractérisées par l'alternance de laminations entrecroisées et de laminations planes ainsi que par des variations de tri et de granoclassement à une échelle

centimétrique. Ces structures témoignent du remaniement des roches volcanoclastiques par des processus sédimentaires et d'une période où les mécanismes de mise en place purement effusifs sont limités. En montant vers le sommet stratigraphique de la séquence (vers l'Ouest), l'unité de roches volcanoclastiques à matrice porphyrique fait place à des brèches de coussins porphyriques. Ce changement de faciès indique un retour à un volcanisme effusif dominant au sommet de l'empilement dans le secteur Saw Mill.

## **2.4 Indice David**

L'indice David se situe à 3 km au Sud-Ouest de la ville de Chibougamau. La dizaine de décapages disponibles est accessible par la rue Debilly (Chibougamau Ouest), puis par un chemin forestier en direction Sud. L'environnement géologique est dominé par des laves mafiques massives à coussinées et des filons-couches de gabbros comagmatiques associés. Des horizons de roches volcanoclastiques intercalés dans les coulées volcaniques mafiques sont communs. Deux décapages ont fait l'objet d'une cartographie de détail (Figures 2.14 et 2.15). La stratification verticale est orientée E-W à NW-SE et la  $S_p$  verticale a une orientation E-W.

### **2.4.1 Laves mafiques et filons-couches associés**

Plus de 90 % de la surface exposée sur l'indice David est constituée de roches volcaniques mafiques massives et aphyriques avec des intervalles localisés d'épaisseur métrique à faciès coussinés ou bréchiques (hyaloclastites).

Le faciès effusif massif peut être difficilement distingué des filons-couches comagmatiques, eux aussi massifs et aphyriques. Ces derniers présentent des contacts nets

et rectilignes avec les intervalles de roches volcanoclastiques (Figures 2.14 et 2.16a) ou de brèches (hyaloclastites). La variation de la quantité d'amygdules dans ce type de filons-couches semble indiquer une polarité Ouest, notamment sur le décapage David #05 (Figure 2.15). Les laves comme les filons-couches possèdent, d'une manière homogène, 2% de pyrite en grains submillimétriques automorphes. Sur le décapage David #01 (Figure 2.14), les intervalles de brèches (hyaloclastites) ont une épaisseur décimétrique et séparent régulièrement des séquences massives d'une douzaine de mètres. Sur le décapage David #05 (Figure 2.15), une seule zone de brèche (hyaloclastite, Figure 2.16b), cette fois d'épaisseur plurimétrique, est intercalée dans le faciès massif, interprété comme des filons-couches comagmatiques à cet endroit. Du matériel cherteux, sous forme de blocs anguleux décimétriques, représente localement 30% de la roche (Figure 2.15 et 2.15c), dont la nature de brèche de coulée est claire.

#### 2.4.2 Roches volcanoclastiques mafiques

Un seul niveau de roches volcanoclastiques mafiques est relevé sur le décapage David #01 (Figure 2.14). Il s'agit un horizon de moins d'un mètre, très finement laminé. Le principal composant est une cendre grise claire et homogène qui donne à cette roche le nom de tuf. Des lits de plusieurs centimètres sont majoritairement constitués de fragments de cherts et de bandes de cherts démembrées. Ces intervalles de tufs et tufs à lapillis sont riches en pyrite disséminée qui représente 10 % de la roche. Les sulfures se concentrent localement pour former des lits concordants et semi-massifs de 1 à 2 cm d'épaisseur (Figures 2.14 et 2.16d). La granulométrie des cristaux de pyrite est équivalente à celle de la matrice du tuf, soit une centaine de micromètre (granulométrie établie en lames minces).

Ce genre d'intervalles tuffacés est très semblable à ceux du secteur du Chemin de fer, détaillés ci-dessous.

#### 2.4.3 Minéralisation

La minéralisation prend la forme de sulfures millimétriques disséminés voire semi-massifs qui se concentrent dans les deux types de lithologies évoquées ci-dessus. Le niveau bréchique (hyaloclastites) du décapage David #05 (Figure 2.15) possède une quantité homogène de sulfures variant entre 5 et 10 % avec des enrichissements localisés constituant des amas semi-massifs de chalcopryrite et de pyrite (Figure 2.16c). Les sulfures dans la matrice englobant le matériel vitreux des fragments de brèches représentent la plus importante minéralisation volcanogène du secteur.

#### 2.4.4 Éléments structuraux

La schistosité principale est pénétrative dans le secteur, selon un axe E-W. L'attitude de la  $S_p$  verticale subit toutefois des changements dans les niveaux de tufs et de brèches (hyaloclastites). Dans ces zones, la  $S_p$  vient se paralléliser à l'orientation de la stratification. Il est possible que ces intervalles plus compétents (comparativement aux roches volcaniques massives) aient favorisé le développement de bandes de cisaillement dextres NNW-SSE pendant la déformation et le métamorphisme régional. En outre, une bande de déformation NW-SE est présente dans la partie Nord du décapage David #01 (Figure 2.14).

#### 2.4.5 Dykes

Un dyke felsique incluant 15% de phénocristaux plurimillimétriques de feldspath et de quartz coupe les roches volcaniques mafiques et les tufs mafiques sur le décapage David #01 (Figure 2.14). Il est subvertical et orienté NW-SE.

#### 2.4.6 Interprétation cartographique

La géologie du secteur de l'indice David est dominée par un assemblage de roches volcaniques et de filons-couches massifs. Les expressions classiques d'un système SMV tels que des conduits discordants d'altération ou des lentilles continues de sulfures massifs ne sont pas présentes. Toutefois, les enrichissements locaux et la nature des sulfures appuient un mode de mise en place volcanogène. Les niveaux de tufs felsiques à fragments et bandes de chert démembrés correspondent à des périodes de calme relatif dans le volcanisme qui sont propices aux dépôts de sulfures exhalatifs. Sur l'Indice David comme dans le secteur du Chemin de fer, ces horizons de roches volcanoclastiques sont d'ailleurs enrichis en pyrite et en chert. Les zones bréchiques (hyaloclastites) qui résultent de l'interaction entre une coulée effusive chaude et l'eau de mer constituent un faciès poreux et perméable à une minéralisation par remplacement. Ce processus est à l'origine de la chalcopryrite abondante sur le décapage David #05. Aucun conduit discordant pour les fluides minéralisateurs n'a toutefois été relevé. Il est probable que ces derniers n'affleurent pas malgré les décapages réalisés dans le secteur, ou bien que le gonflement de la séquence par des filons-couches ait décalé ces évidences, impliquant qu'ils sont simplement manquants en affleurements.

## 2.5 Autres secteurs

Les secteurs qui suivent n'ont pas fait l'objet de cartographie de détail. Cependant, ils ont été brièvement visités car ils exposent des minéralisations ayant une probable affinité volcanogène ou ont un intérêt dans le positionnement stratigraphique des décapages principaux. Ils ont par contre été échantillonnés pour la lithogéochimie et les sulfures.

### 2.5.1 Indice du Chemin de fer

Cet indice est situé à la sortie Sud de la Ville de Chibougamau, un peu plus de 2 km au Nord-Ouest du secteur de l'indice David. Il s'agit de coupes verticales dynamitées pour la voie ferrée. L'accès est le long du chemin de fer par le Boulevard Hamel Ouest. La succession des roches, du Sud vers le Nord, est la suivante : 1) des laves mafiques aphyriques massives à coussinées ; 2) un assemblage de filons-couches de gabbro porphyriques et micro-porphyriques d'épaisseur plurimétriques qui recoupent les laves aphyriques ; 3) des tufs finement laminés et intercalés avec des niveaux cherteux et de sulfures semi-massifs ; et 4) des laves coussinées porphyriques. La stratification et la schistosité principale sont verticales et ont une orientation E-W. Les faciès de laves aphyriques et de tufs sont très semblables à ceux de l'indice David.

### 2.5.2 Indice ICON

Cet indice est situé à 35 km à l'ENE de Chibougamau et est accessible par la route forestière L-207 depuis la route 167 au Nord du lac Chibougamau. Un sentier donne accès au décapage principal à partir de la route forestière aux environs de la borne kilométrique 34. Le décapage expose une séquence épaisse d'une dizaine de mètres enchaînant du Sud vers le Nord : 1) des tufs mafiques laminés et silicifiés ; 2) cinquante centimètres de

brèches à sulfures semi-massifs (principalement pyrite et traces de sphalérite) ; 3) un niveau de chert et de tufs cherteux coupé par différentes générations de filons-couches ; et 4) des laves mafiques massives et aphyriques (Figure 2.17a). La stratification et la schistosité principale ont une orientation E-W (Figure 2.17b). Aucune indication de polarité n'a été notée.

Trois types de filons-couches sont distingués, tous encaissés dans le chert et les tufs cherteux. Le premier, à patine beige et à phénocristaux de quartz, forme un réseau anastomosé. Ces intrusions felsiques s'intercalent notamment au contact des brèches sulfurées (Figure 2.17b). Le second type de filons-couches est aphyrique, avec une patine brunâtre et est caractérisé par une schistosité principale pénétrative. La troisième génération de filons-couches, retrouvée plus au Nord dans l'unité cherteuse, s'apparente au faciès de lave massive et est probablement comagmatique.

## **2.6 Synthèse**

L'ensemble des secteurs mentionnés présente des minéralisations sulfurées au sein d'assemblages volcaniques. Plusieurs évidences ont permis d'attribuer ces minéralisations à un modèle SMV. Ces évidences sont : 1) l'environnement volcanique sous-marin ; 2) des lentilles semi-massives à massives concordantes, alimentées par des stockwerks discordants ; 3) une altération en chlorite noire typique ; et 4) le recoupement des lentilles par des structures syn-volcaniques.

Puisque les minéralisations ont une affinité volcanogène, il est indispensable de caractériser la stratigraphie locale et régionale des secteurs minéralisés. Ainsi, les

empilements volcano-sédimentaires décrits ci-dessus sont réutilisés à des fins de corrélation dans le chapitre suivant.

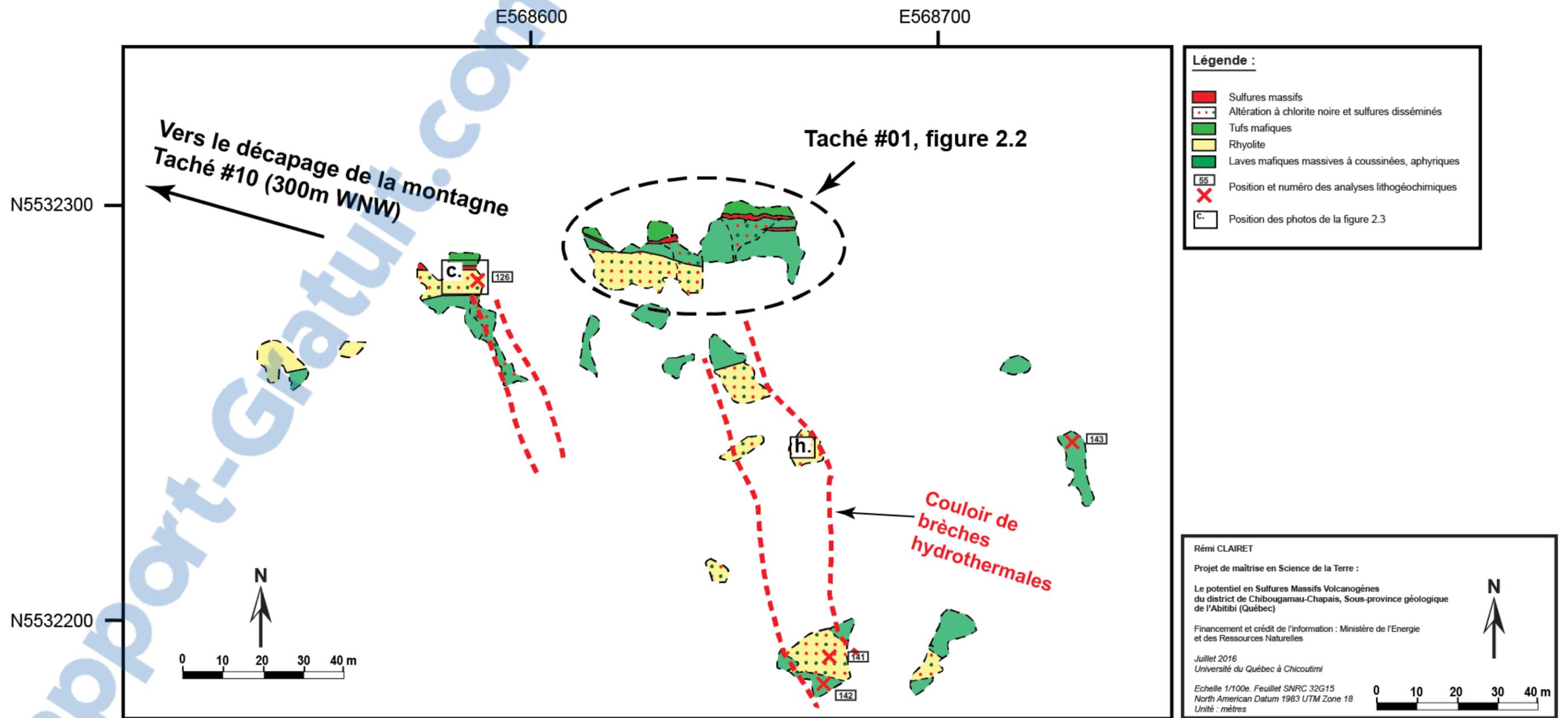


Figure 0-1 : Cartographie sectorielle du Lac Taché

### Carte d'interprétation géologique du décapage Lac Taché #01

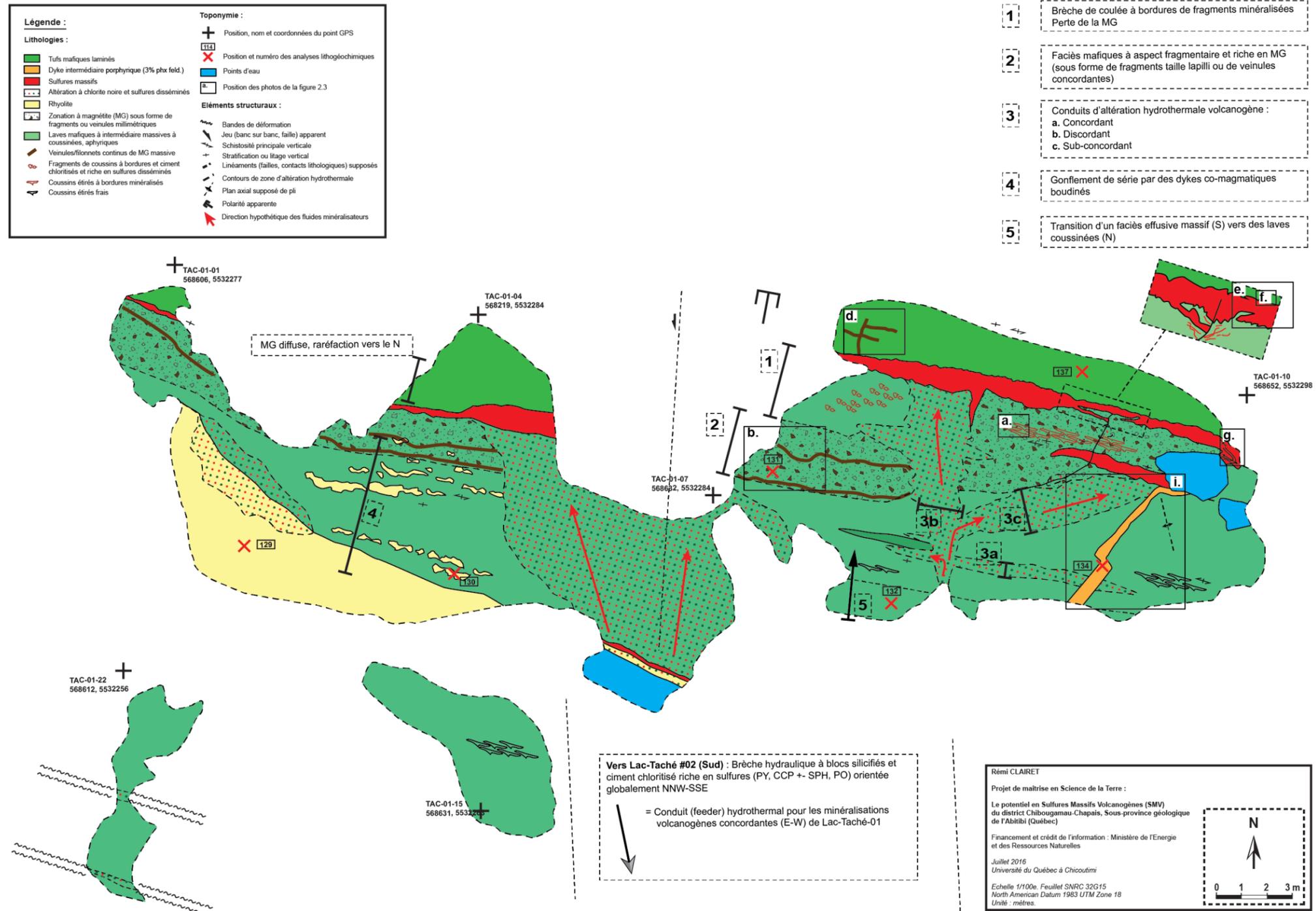
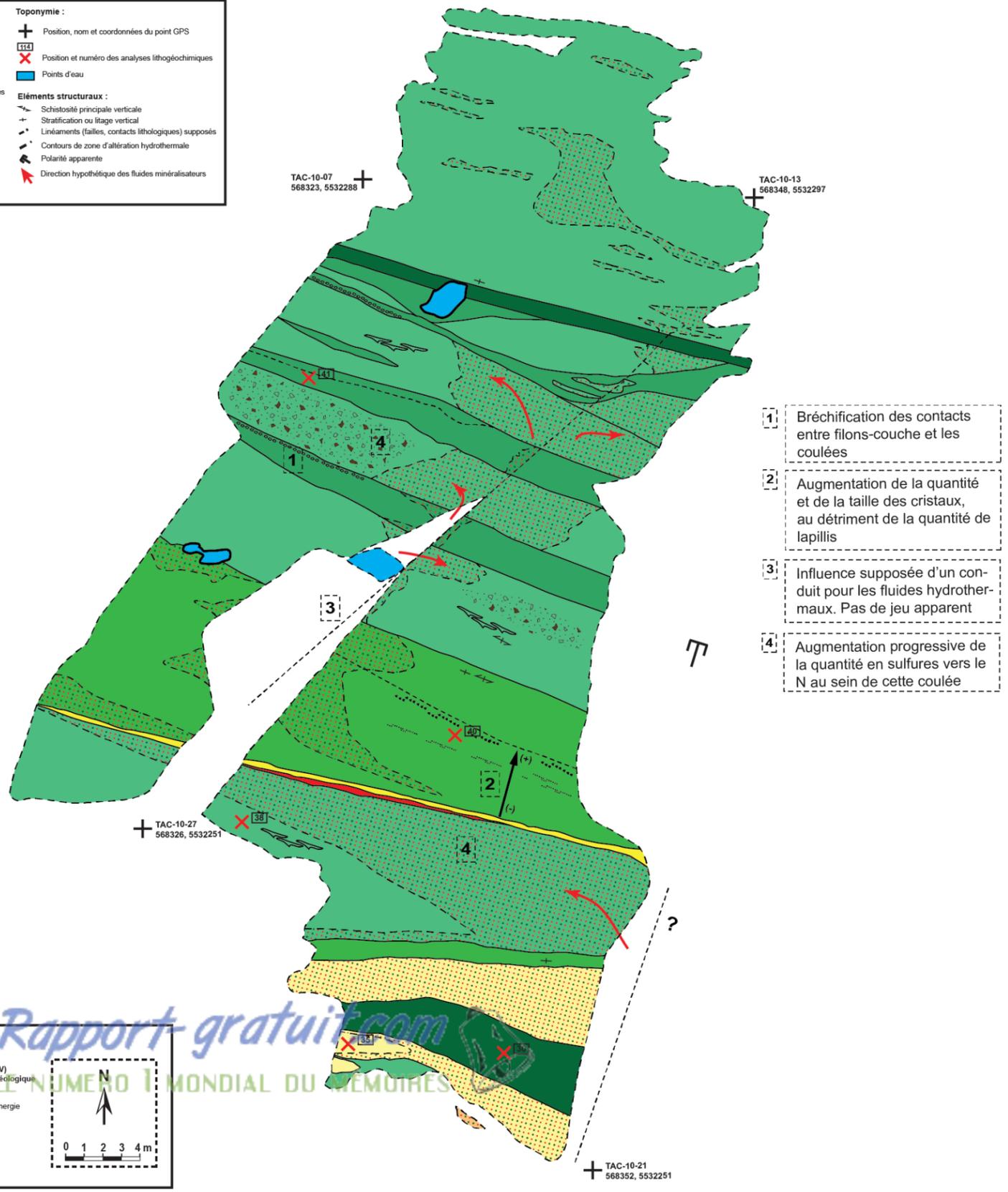


Figure 0-2 : Cartographie de détail du décapage Lac Taché #01

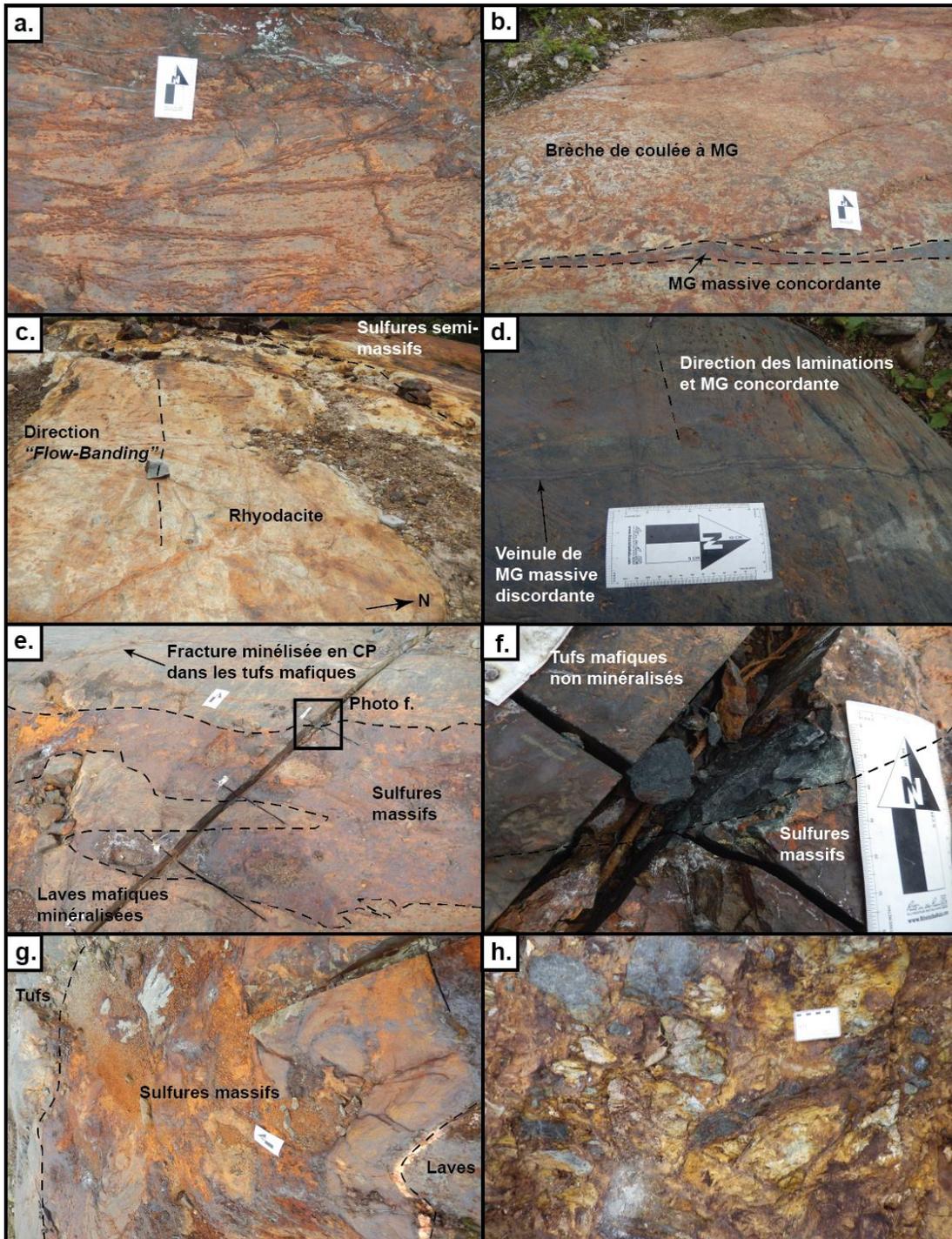
# Carte d'interprétation géologique du décapage Taché #10 ou "Montagne Taché"

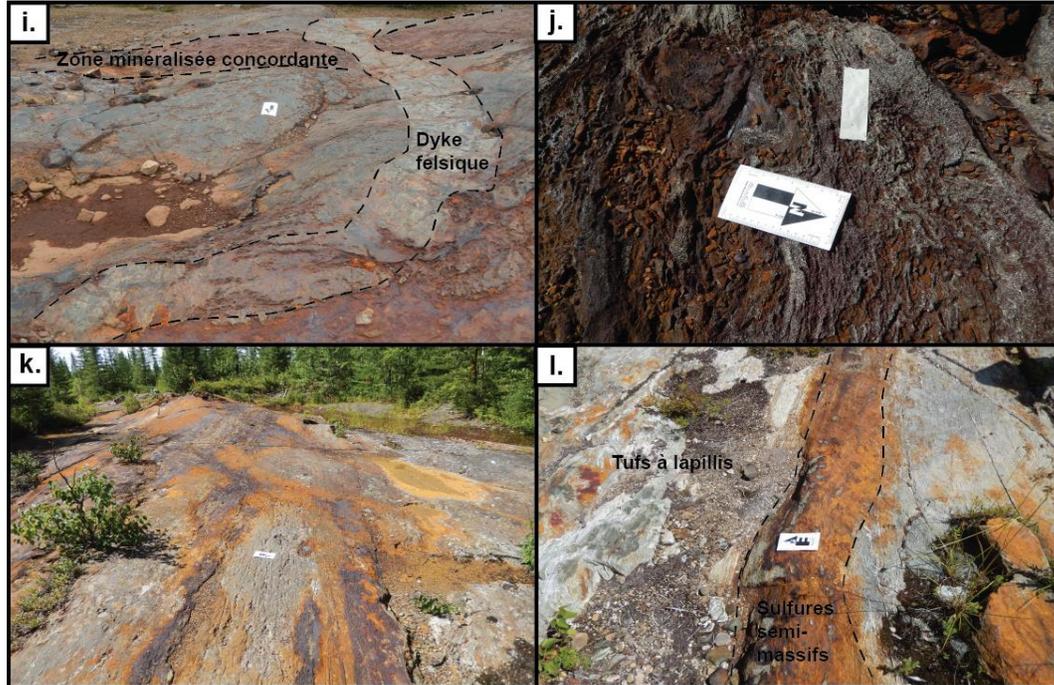
Légende :	
<b>Lithologies :</b>	
	Filons-couche mafiques tardifs, aphyriques
	Cherts
	Sulfures massifs
	Altération à chlorite noire et sulfures disséminés
	Filons-couche co-magmatiques
	Tufs mafiques à cristaux et lapillis triés
	Zonation à magnétite (MGT) sous forme de fragments ou veinules millimétriques
	Laves mafiques à intermédiaire massives à coussinées, aphyriques
	Rhyolite
	Bréchification
	Coussins étrés
<b>Toponymie :</b>	
	Position, nom et coordonnées du point GPS
	Position et numéro des analyses lithogéochimiques
	Points d'eau
<b>Éléments structuraux :</b>	
	Schistosité principale verticale
	Stratification ou litage vertical
	Linéaments (failles, contacts lithologiques) supposés
	Contours de zone d'altération hydrothermale
	Polarité apparente
	Direction hypothétique des fluides minéralisateurs



Rémi CLAIRET  
 Projet de maîtrise en Science de la Terre :  
 Le potentiel en Sulfures Massifs Volcanogènes (SMV) du district Chibougamau-Chapais, Sous-province géologique de l'Abitibi (Québec)  
 Financement et crédit de l'information : Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles  
 Juillet 2016  
 Université du Québec à Chicoutimi  
 Echelle 1/1000: Feuille SNRC 32G15  
 North American Datum 1983 UTM Zone 18  
 Unité : mètres.

Figure 0-3 : Cartographie de détail du décapage Lac Taché #10



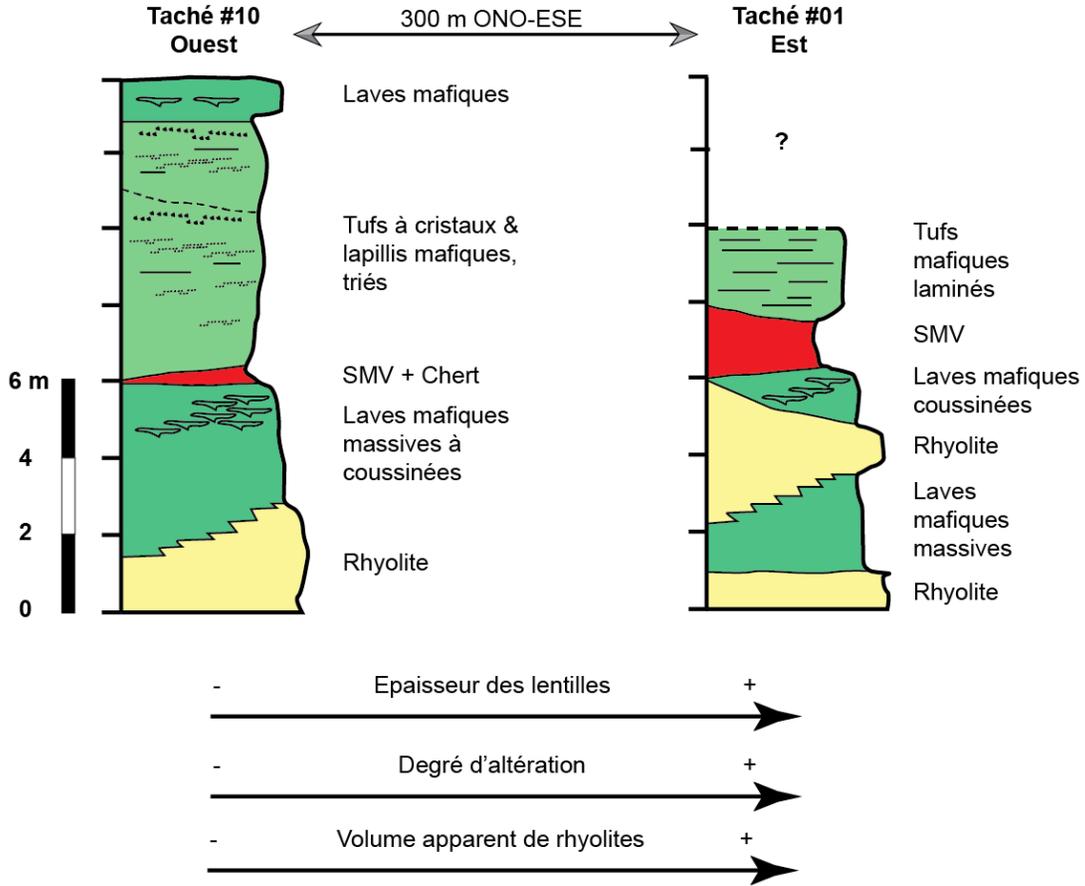


**Légende :**

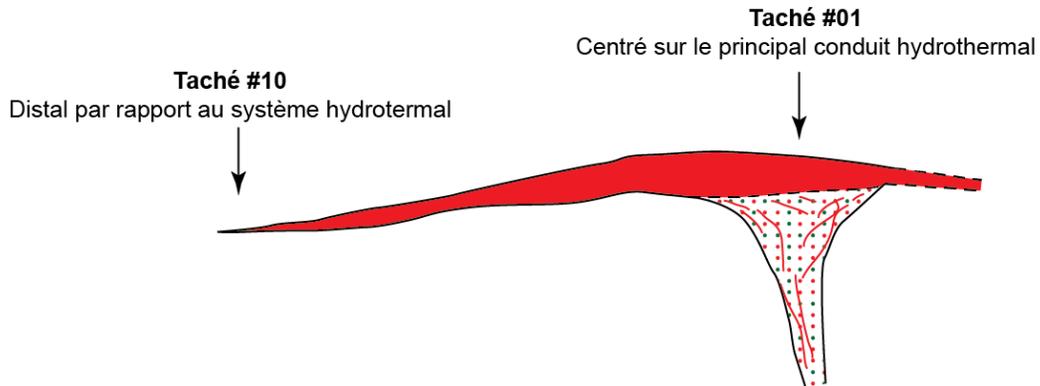
- a. Coussins déformés et minéralisés en sulfures, Lac Taché #01
- b. Brèche de coulée à MG et stringers concordants de MG, Lac Taché #01
- c. Rhyodacite minéralisée à faciès d'écoulement laminaire, Lac Taché
- d. Tufs mafiques laminés et MG massive discordante, Lac Taché #01
- e. Contacts Laves mafiques - Sulfures massifs - Tufs mafiques, Lac Taché #01
- f. Contact Sulfures massifs - Tufs mafiques non minéralisés, Lac Taché #01
- g. Lentille plissée de sulfures massifs, Lac Taché #01
- h. Brèche hydrothermale à chlorite, sulfures disséminés et silicification, Lac Taché
- i. Dyke felsiques et zones minéralisées concordantes, Lac Taché #01
- j. Formation de fer carbonatée et sulfurée, Km-25
- k. Tufs à lapilli & tufs cherteux minéralisés, Km-25
- l. Lentille de sulfures massifs au sein des tufs à lapilli, Km-25

*Figure 0-4 : Planche de photographies pour les secteurs du Lac Taché et du Km25*

## Correlation entre les décapages Taché #01 et #10



### Interprétations :



*Figure 0-5 : Comparaison des décapages Lac Taché #01 et Lac Taché #10 et mise en évidence de systèmes hydrothermaux proximaux et distaux*

### Carte d'interprétation géologique du décapage Km-25 #02

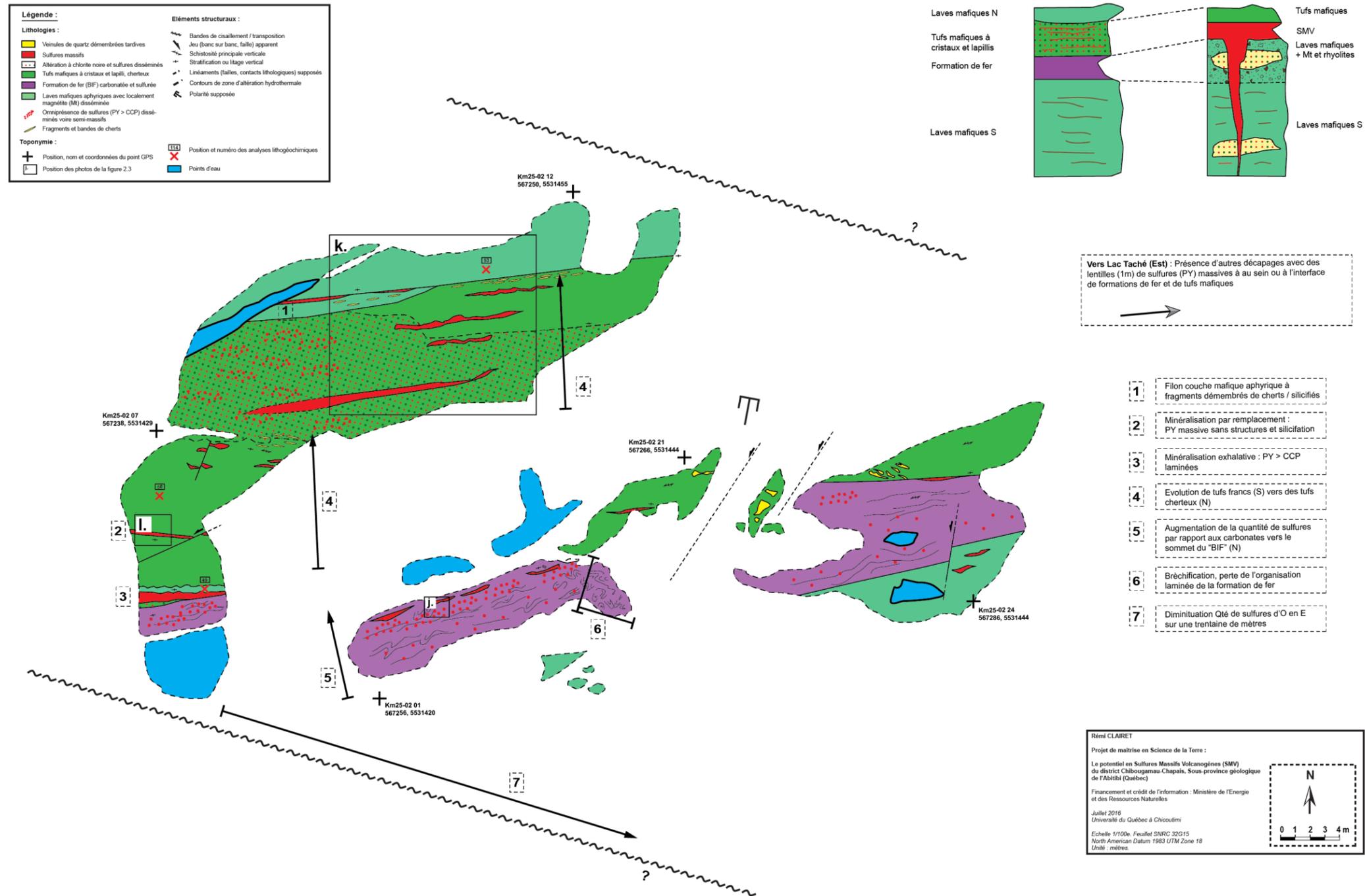
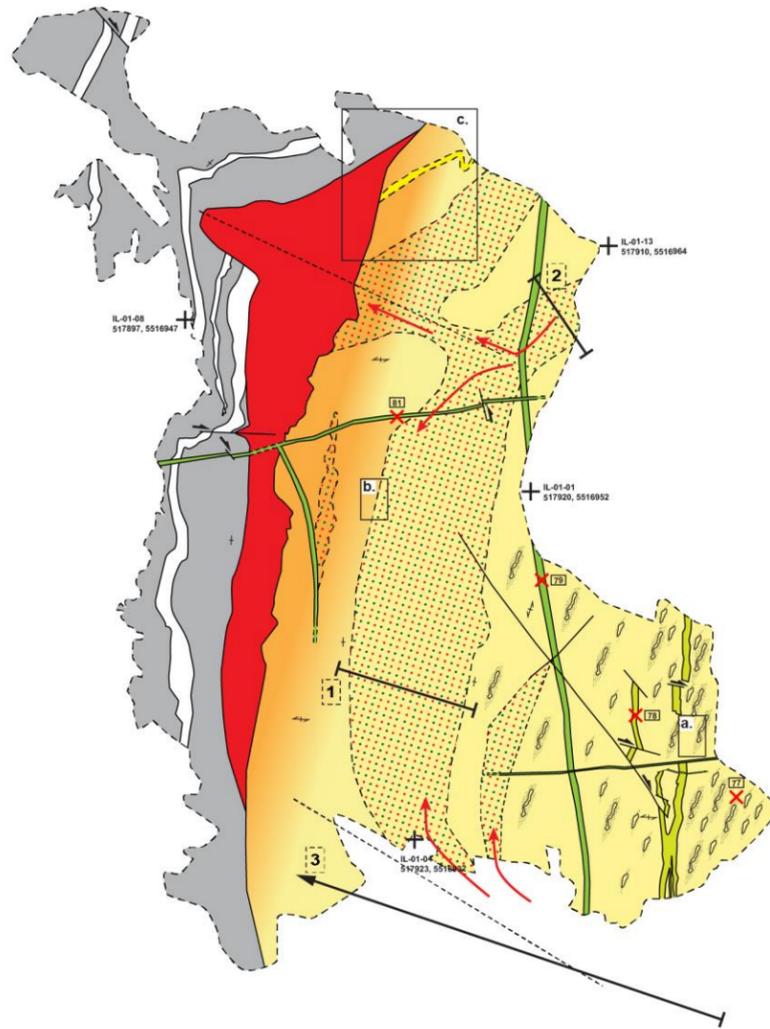


Figure 0-6 : Cartographie de détail du décapage principal du secteur Km25

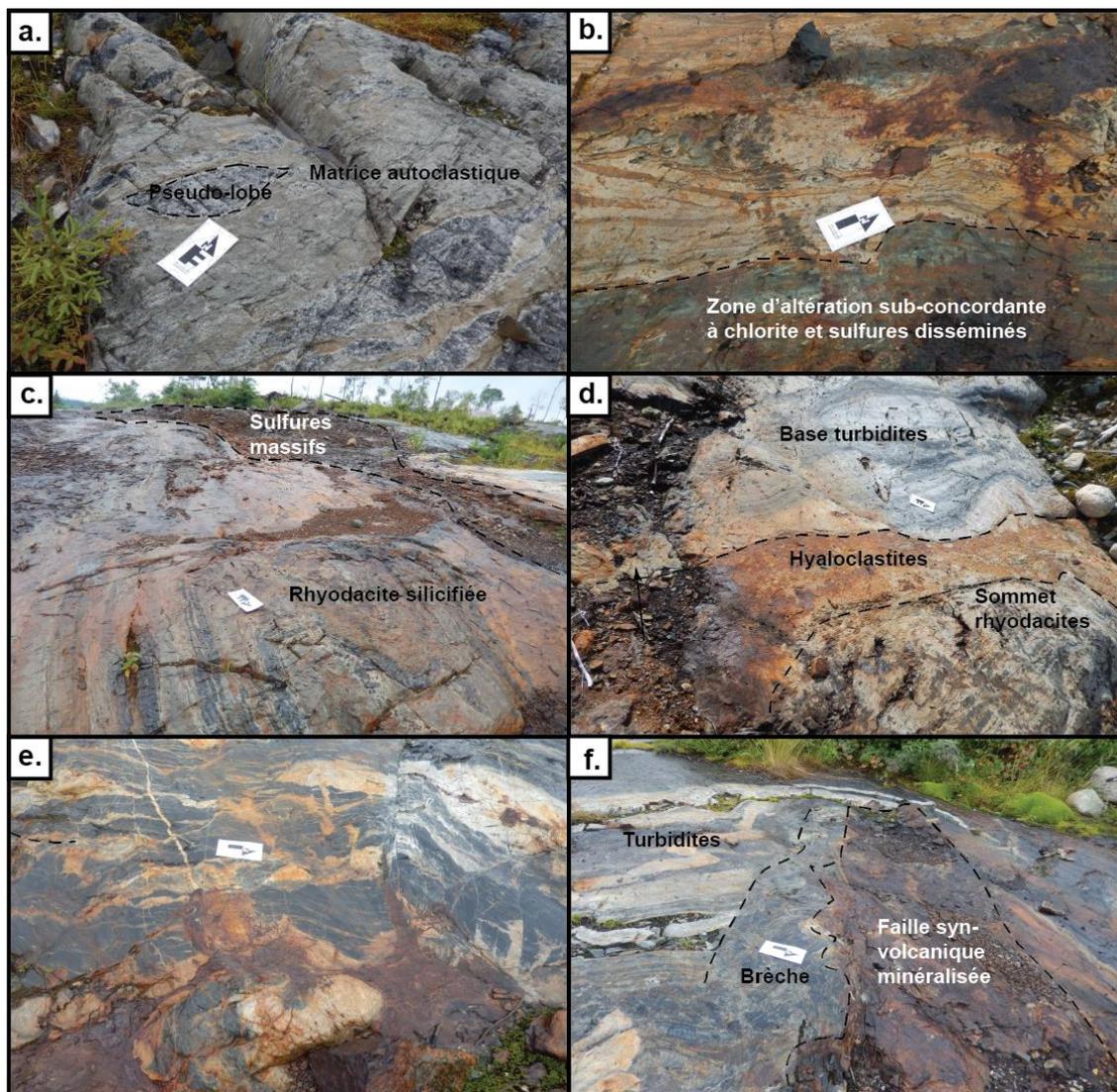
Carte d'interprétation géologique du décapage principal d'Indian Lake

Légende :	
<b>Lithologies :</b>	<b>Eléments structuraux :</b>
Dykes intermédiaires tardifs	Bandes de cisaillement / transposition
Silicification	Jeu (banc sur banc, faille) apparent
Sulfures massifs	Schistosité principale verticale
Altération à chlorite noire et sulfures disséminés	Stratification ou litage vertical
Turbidites	Linéaments (failles, contacts lithologiques) supposés
Dykes intermédiaires à felsiques syn-rhyolite	Contours de zone d'altération hydrothermale
Dôme endogène felsique et transition vers des tufs cherteux	Plan axial supposé de pli
Lobes rhyolitiques disséqués et autoclastite	Polarité apparente
<b>Toponymie :</b>	Direction hypothétique des fluides minéralisateurs
+	Position, nom et coordonnées du point GPS
	X
	Position et numéro des analyses lithogéochimiques
	Position des photos de la figure 2.8



Rémi CLAIRET  
 Projet de maîtrise en Science de la Terre :  
 Le potentiel en Sulfures Massifs Volcanogènes (SMV)  
 du district Chibougamau-Chapais, Sous-province géologique  
 de l'Abitibi (Québec)  
 Financement et crédit de l'information : Ministère de l'Énergie  
 et des Ressources Naturelles  
 Juillet 2016  
 Université du Québec à Chicoutimi  
 Echelle 1/100e. Feuille SMRC 32015  
 North American Datum 1983 UTM Zone 18  
 Unité : mètres.

Figure 0-7 : Cartographie de détail des décapages principaux d'Indian Lake



**Légende :**

- a. Faciès pseudo-lobé des rhyodacites, décapage principal d'Indian Lake
- b. Faciès pseudo-stratifié des rhyodacites et altération, décapage principal
- c. Sommet des rhyodacites (faciès sub-cherteux) et SMV, décapage principal
- d. Contact rhyodacites-turbidites et hyaloclastites, décapage principal
- e. Base des turbidites minéralisées en sulfures, décapage secondaire
- f. Influence d'une faille syn-volcanique, décapage principal

*Figure 0-8 : Planche de photographies pour le secteur d'Indian Lake*

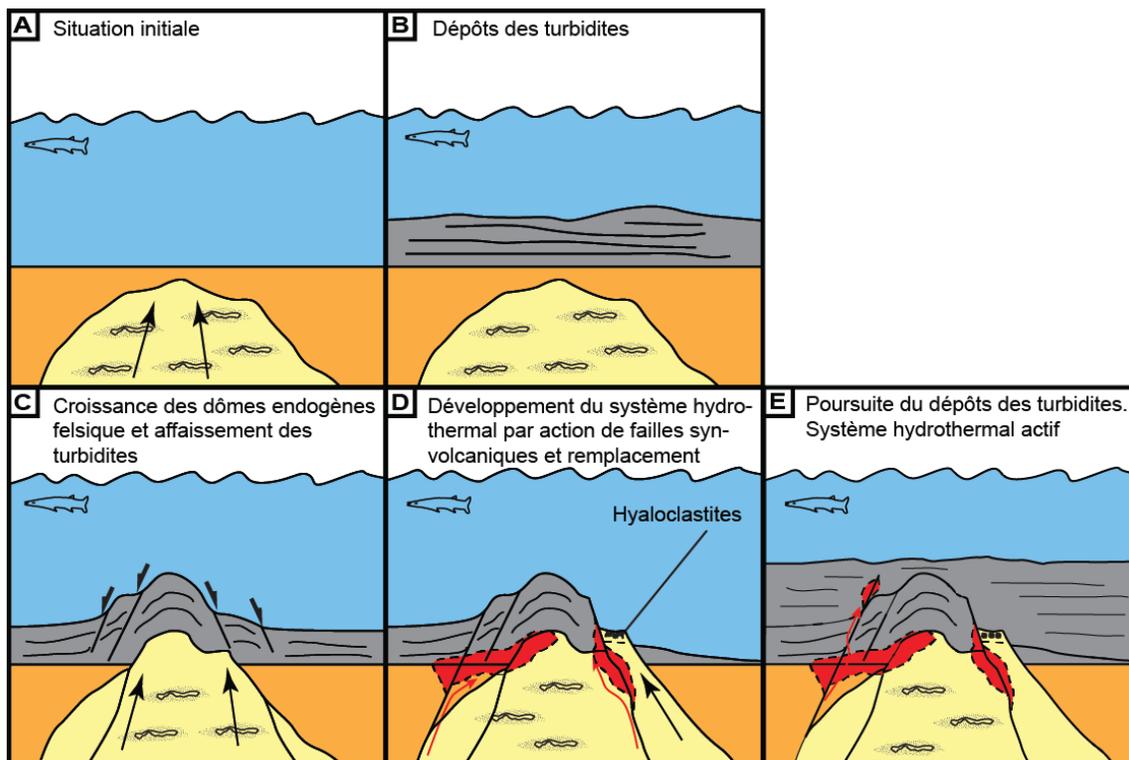
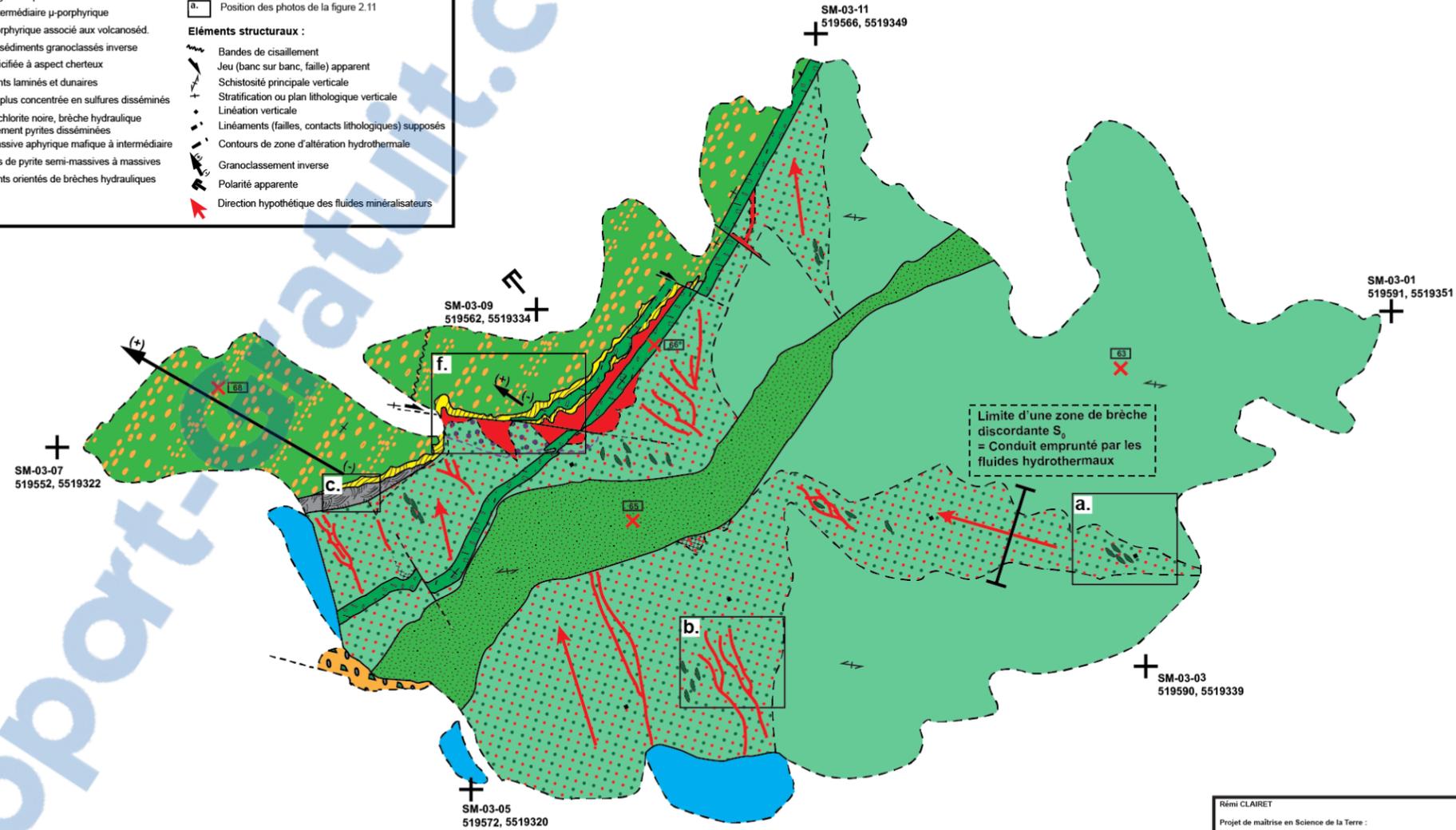


Figure 0-9 : Modèle d'évolution proposée pour le secteur d'Indian Lake

## Carte d'interprétation géologique du décapage Saw Mill #03

Légende :	
<b>Lithologies :</b>	
	Formation de Chibougamau / Diatrème
	Zone à grenat spessartite
	Dyke intermédiaire μ-porphyrique
	Dyke porphyrique associé aux volcanoséd.
	Volcanosédiments granoclassés inverse
	Zone silicifiée à aspect chertoux
	Sédiments laminés et dunaires
	Zone la plus concentrée en sulfures disséminés
	Zone à chlorite noire, brèche hydraulique et localement pyrites disséminées
	Lave massive aphyrique mafique à intermédiaire
	Stringers de pyrite semi-massives à massives
	Fragments orientés de brèches hydrauliques
<b>Toponymie :</b>	
	Points d'eau
	Position, nom et coordonnées du point GPS
	Position et numéro des analyses lithogéochimiques
	Position des photos de la figure 2.11
<b>Éléments structuraux :</b>	
	Bandes de cisaillement
	Jeu (banc sur banc, faille) apparent
	Schistosité principale verticale
	Stratification ou plan lithologique verticale
	Linéation verticale
	Linéaments (failles, contacts lithologiques) supposés
	Contours de zone d'altération hydrothermale
	Granoclassement inverse
	Polarité apparente
	Direction hypothétique des fluides minéralisateurs



Vers Saw Mill-04 (WSW) : Gradation progressive du granoclassement inverse :  
Épaississement des lapillis vers taille bloc puis brèches de coussins franches

Rémi CLAIRET  
Projet de maîtrise en Science de la Terre :  
Le potentiel en Sulfures Massifs Volcanogènes (SMV)  
du district Chibougamau-Chapais, Sous-province géologique  
de l'Abitibi (Québec)  
Financement et crédit de l'information : Ministère de l'Énergie  
et des Ressources Naturelles  
Juillet 2016  
Université du Québec à Chicoutimi  
Échelle 1/100e. Feuille SNRC 32015  
North American Datum 1983 UTM Zone 18  
Unité : mètres.

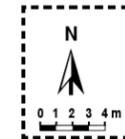


Figure 0-10 : Cartographie de détail du décapage Saw Mill #03

## Carte d'interprétation géologique du décapage Saw Mill #07

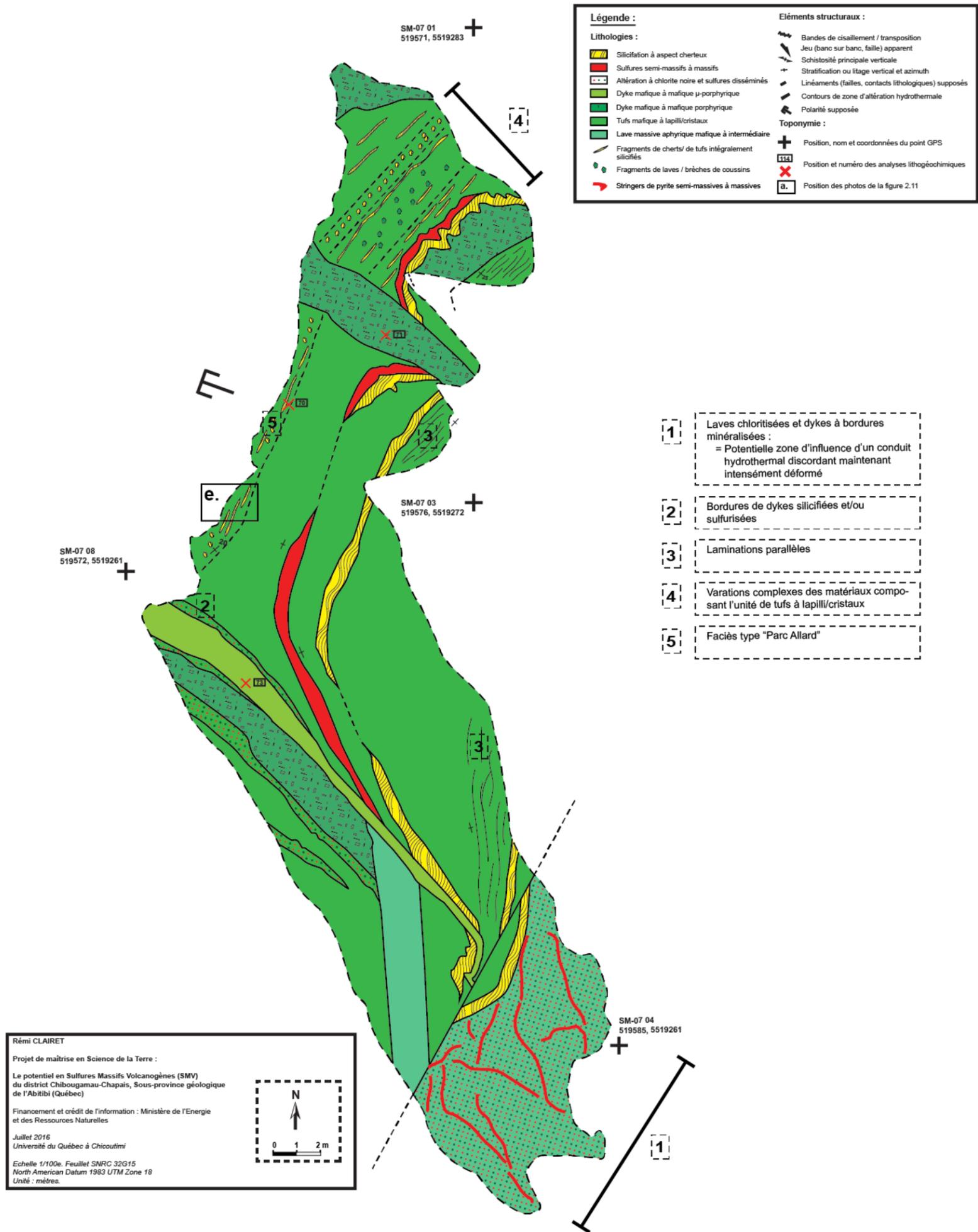
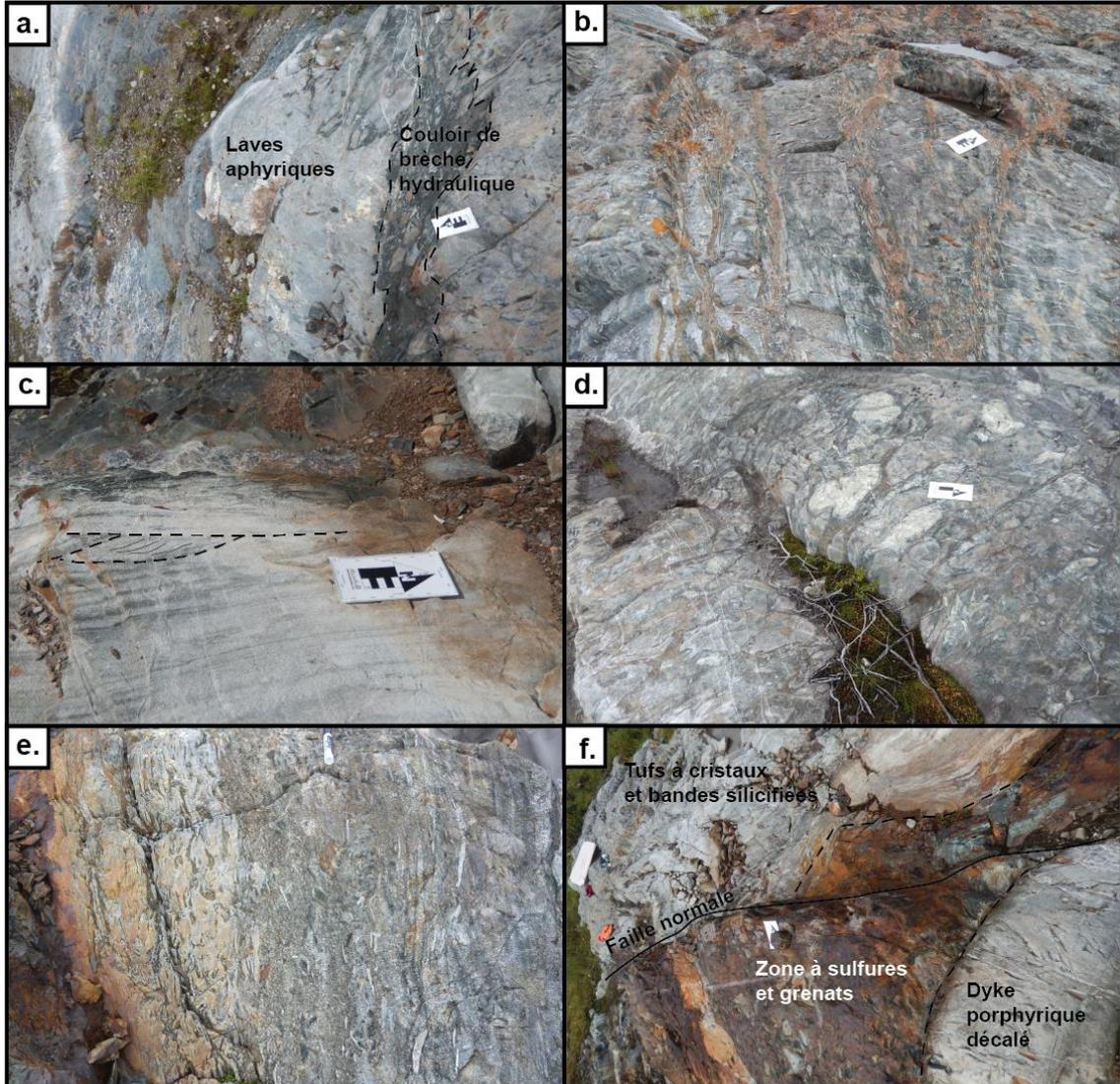


Figure 0-11 : Cartographie de détail du décapage Saw Mill #07



**Légende :**

- a. Laves aphyriques traversées par un couloir de brèche hydraulique, Saw Mill #03
- b. Stringers de sulfures massifs au sein d'une brèche hydraulique, Saw Mill #03
- c. Laminations croisées (Polarité Ouest) à la base des tufs à cristaux, Saw Mill #03
- d. Faciès de brèches de coulées épidotisées au sommet des roches volcanosédimentaires, affleurement naturel à l'Ouest de Saw Mill #03
- e. Faciès de tufs cherteux, Saw Mill #07
- f. Relation faille normale - dyke porphyrique, et zone minéralisée, Saw Mill #03

*Figure 0-12 : Planche de photographies pour le secteur Saw Mill*

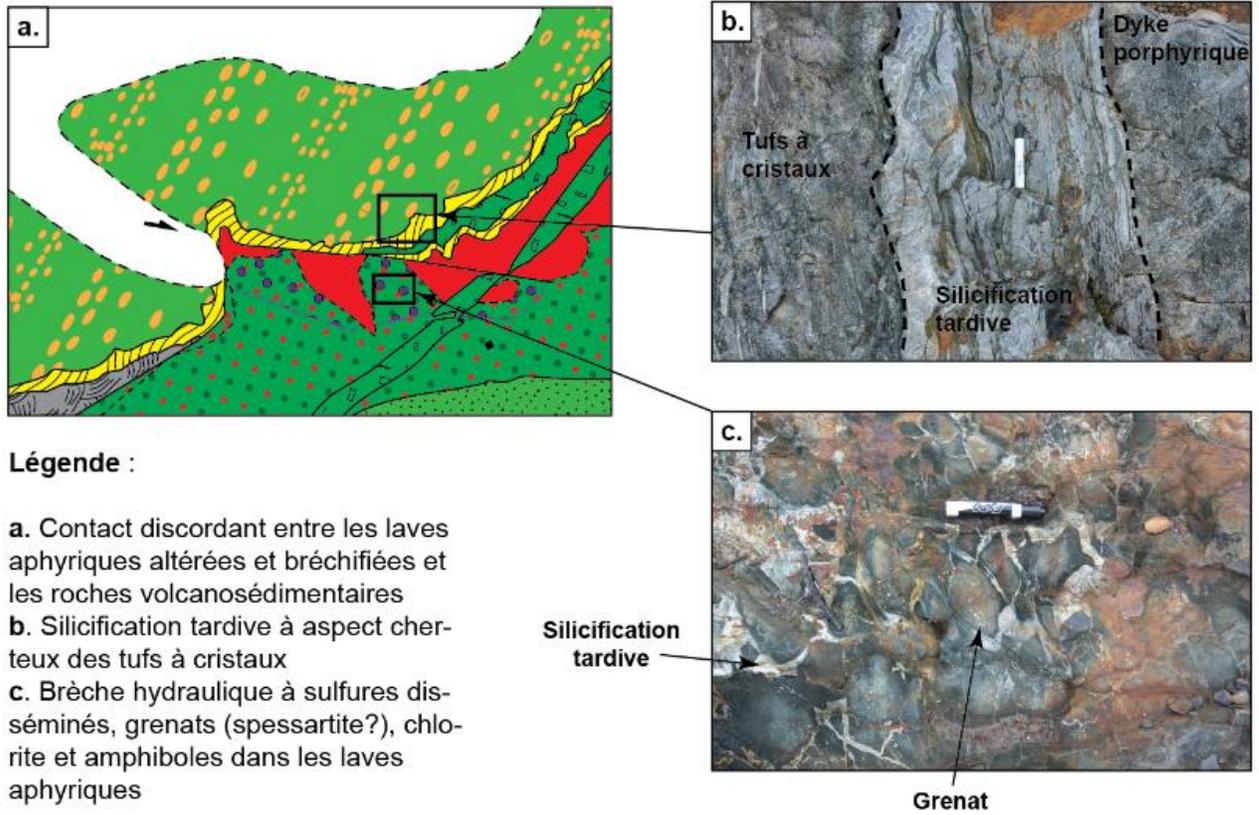


Figure 0-13: Zoom sur le contact entre les laves aphyriques et les roches volcanosédimentaires sus-jacentes. Évidences d'altération hydrothermale et de silicification tardive

# Carte d'interprétation géologique du décapage David #01

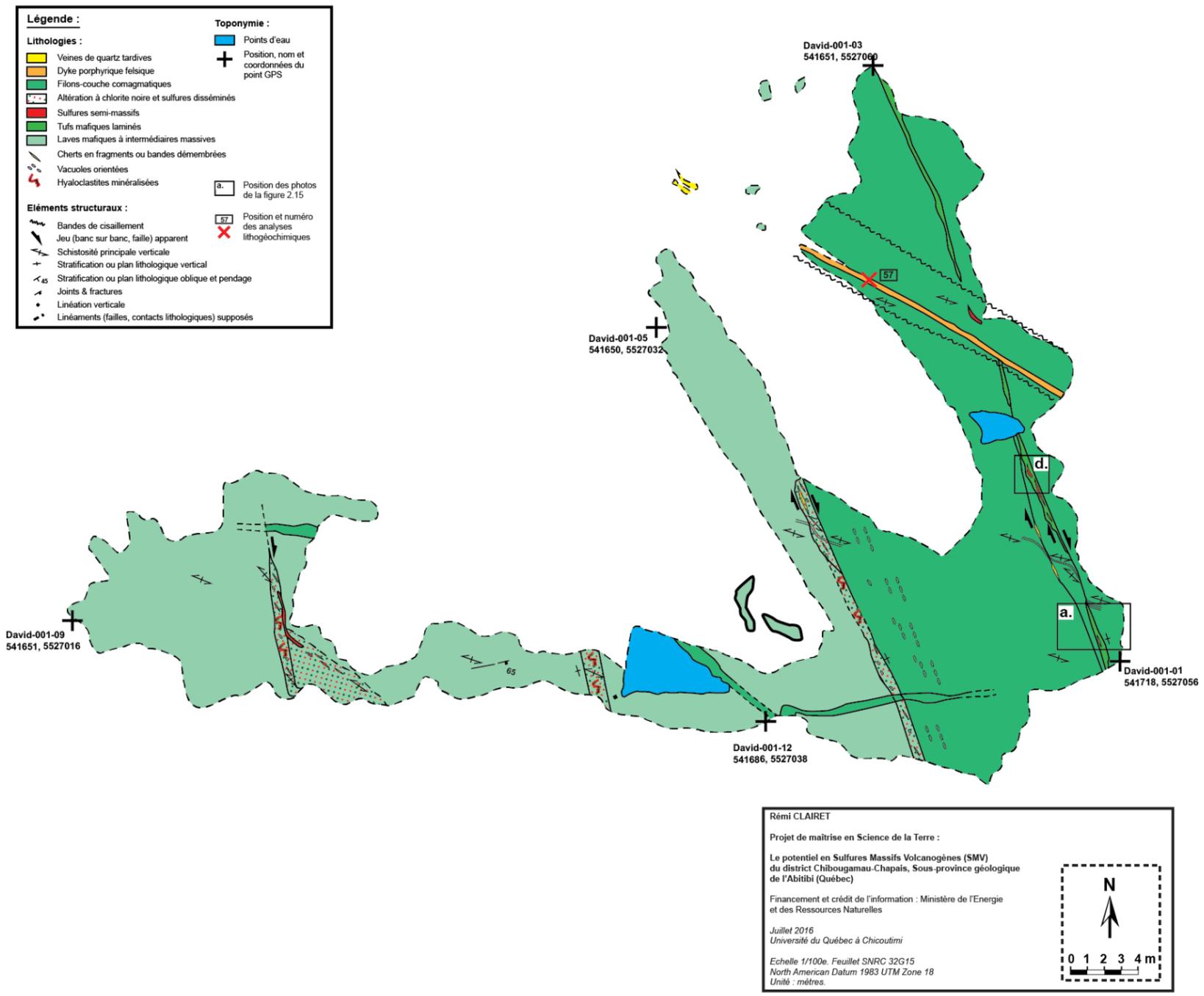


Figure 0-14 : Cartographie de détail du décapage David #01

## Carte d'interprétation géologique du décapage David #05

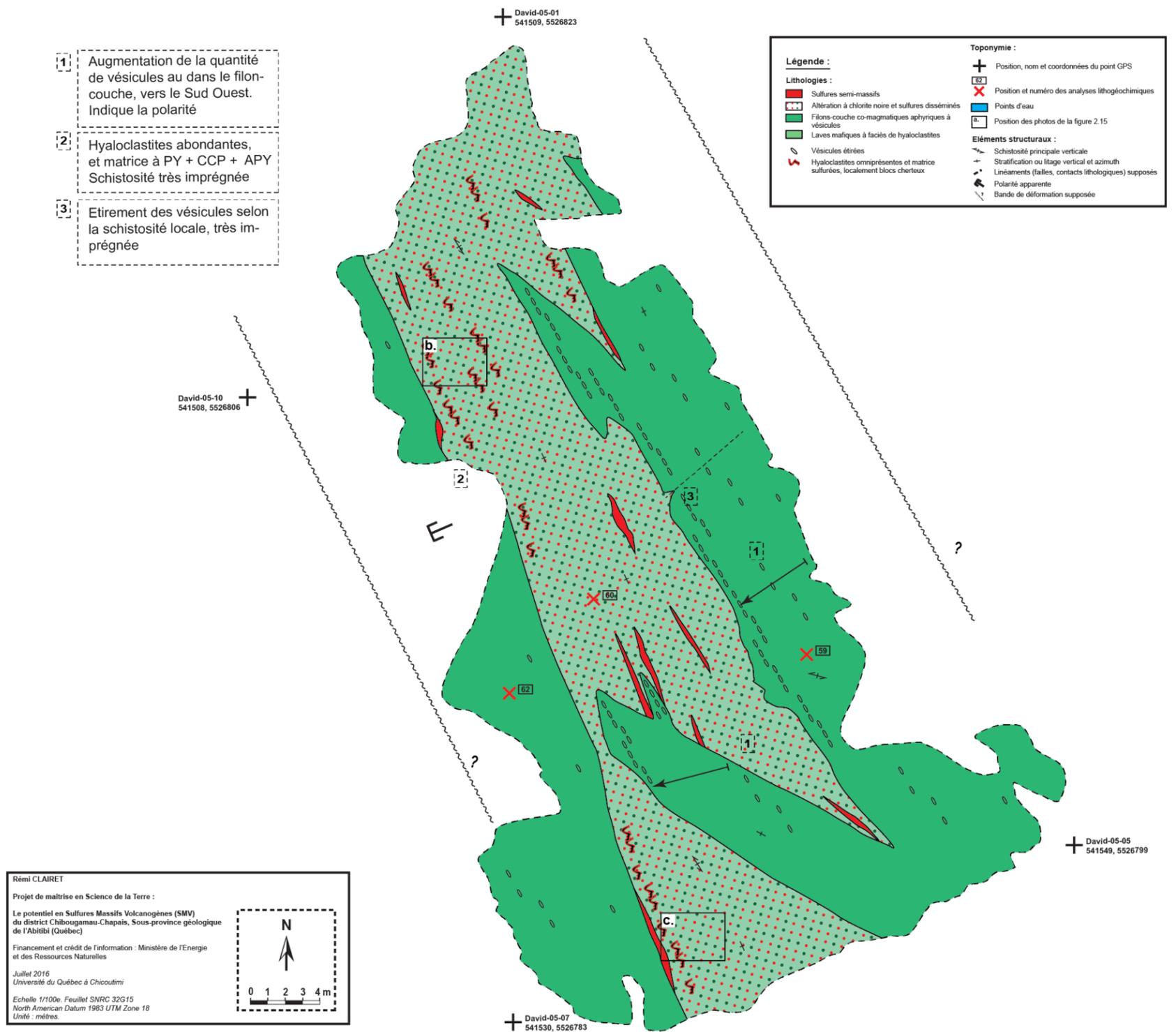
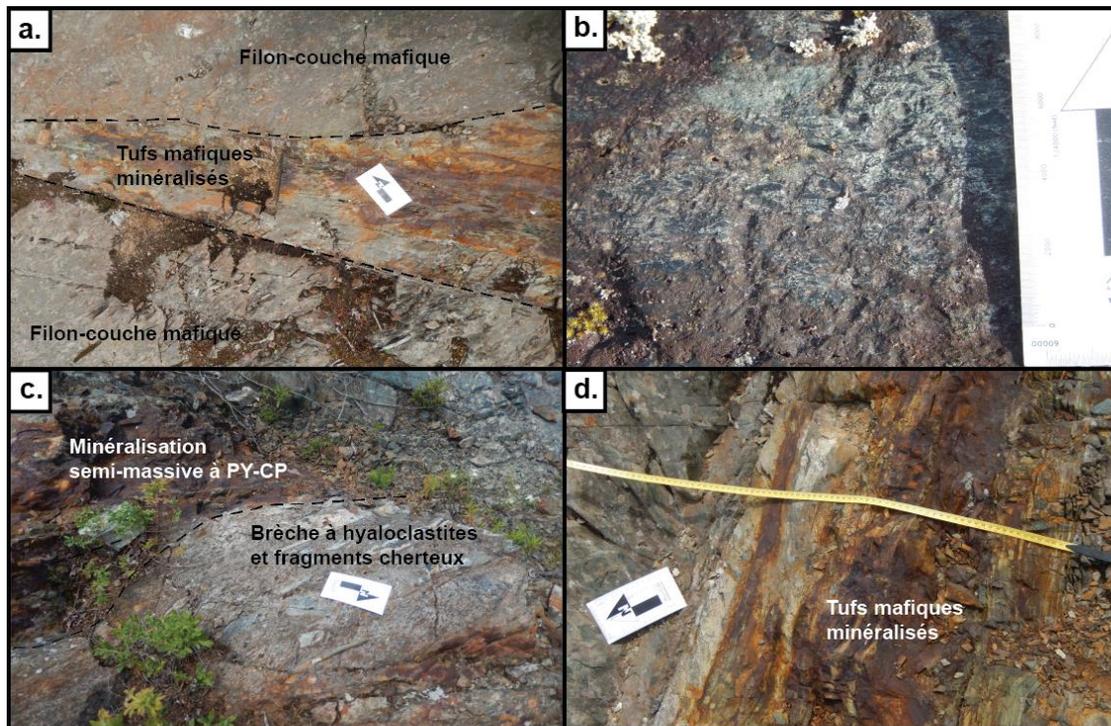


Figure 0-15 : Cartographie de détail du décapage David #05



**Légende :**

- a. Contacts nets entre les filons-couches mafiques et les tufs minéralisés, David #01
- b. Faciès de coulée mafique à hyaloclastites, David #05
- c. Brèche de coulée à hyaloclastites et fragments de cherts, et minéralisations, David #05
- d. Tufs mafiques minéralisés, David #01

*Figure 0-16 : Planche de photographies pour l'indice David*

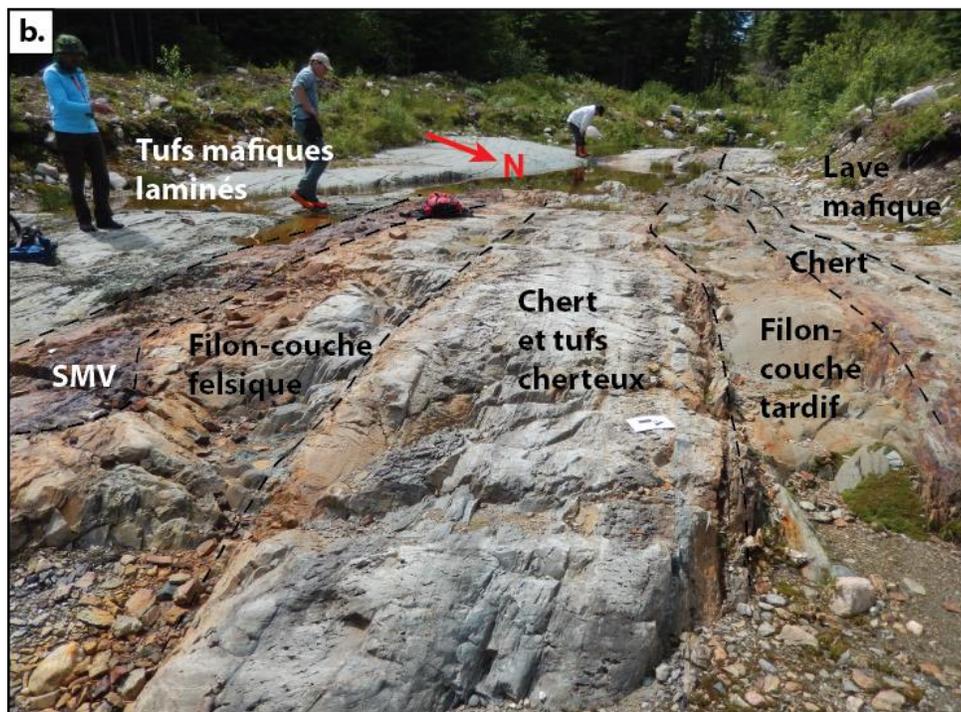
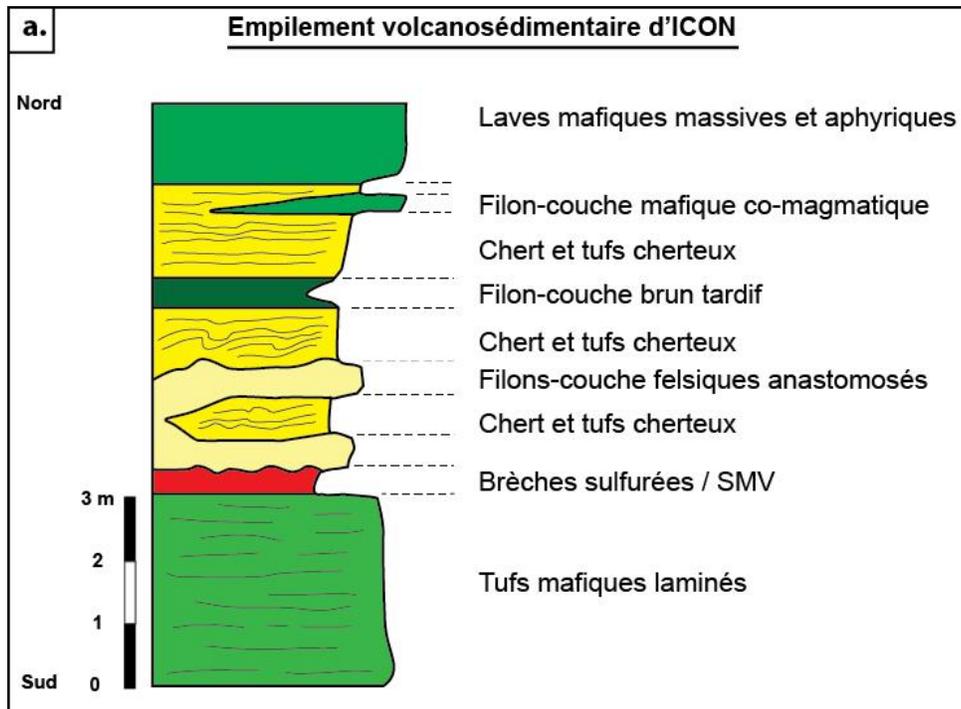


Figure 0-17 : a. Empilement volcanosédimentaire d'ICON. b. Photographie du décapage principal

### **3. Troisième chapitre :**

## **Caractérisation lithogéochimique et comparaison avec les membres et formations du Groupe de Roy**

Le découpage stratigraphique du district de Chibougamau-Chapais a récemment été actualisé par les travaux de la Commission géologique du Canada et du MERN réalisés notamment par François Leclerc (IGC-3/Plan Cuivre, Leclerc et al. 2008, 2010, 2011, 2012). Ce nouveau découpage a été réalisé sur la base de plusieurs données stratigraphiques : corrélation de séquences volcanosédimentaires, études pétrographiques détaillées des faciès volcaniques, datations (Leclerc et al. 2011). Afin de compléter ces jeux de données, la signature en éléments incompatibles et immobiles de chaque nouveau membre ou formation définis a été caractérisée. En conséquence, la signature géochimique des différentes unités du Groupe de Roy est très bien connue. C'est pourquoi il est ici proposer de positionner les secteurs cartographiés avec l'appui d'analyses lithogéochimiques (« roche totale »).

Un total de 50 nouvelles analyses géochimiques a été réalisé dans le cadre de ce projet et intégrées au SIGÉOM. La position des échantillons analysés apparaît sur les cartographies détaillées et sectorielles (Figures 2.1, 2.2, 2.3, 2.6, 2.7, 2.10, 2.11, 2.14, 2.15) et les coordonnées sont fournies avec les données complètes à l'annexe 1.

Les échantillons ont d'abord été classés d'après leur composition à l'aide du diagramme  $Zr/TiO_2$  vs  $Nb/Y$  (Winchester et Floyd 1977) (Figure 3.1). Les analyses d'échantillons figurant dans les diagrammes d'éléments incompatibles (Figures 3.2 et 3.3) ont été normalisées au N-MORB selon les valeurs de Klein (2004). Le tableau 3.1 résume les principaux ratios élémentaires des échantillons recueillis sur les décapages et les affleurements des secteurs étudiés et présente également une compilation de données provenant de la littérature. L'affinité géochimique des roches a été déterminée à l'aide du diagramme  $Th/Yb$  vs  $Zr/Y$  (Figure 3.4 : Ross et Bédard, 2009). Afin de positionner les secteurs étudiés dans le schéma stratigraphique de Chibougamau-Chapais, une analyse comparative a été réalisée entre la signature géochimique des échantillons recueillis sur les décapages et affleurements des différents secteurs visités et celle reconnue pour les différentes unités stratigraphiques du secteur de Chibougamau-Chapais.

### **3.1 Secteur Lac Taché - Km25**

Quinze échantillons ont été analysés sur l'ensemble du secteur Lac Taché, incluant l'affleurement #10. Six échantillons ont été sélectionnés sur les roches felsiques, six échantillons sur les laves mafiques ou les filons-couches gabbroïques associés, deux sur les tufs mafiques et un sur un dyke porphyrique de Taché #01. Trois échantillons proviennent du Km25, deux sur les tufs mafiques et un sur les laves mafiques.

#### **3.1.1 Laves et tufs mafiques**

Selon la figure 3.1a, les échantillons mafiques (131, 132, 137, 142, 143) du Lac Taché correspondent à des basaltes et des basaltes andésitiques. Le profil multiélément (Figure 3.2a) pour ces cinq échantillons montre des profils relativement plats avec de nettes

anomalies en Zr-Hf et Eu-Ti, et de grande variation de la concentration en terres rares légères probablement causée par une forte altération hydrothermale. Il existe un très faible fractionnement des terres rares lourdes, souligné par de faibles ratios Gd/Tb (tableau 3.1). La moyenne des ratios La/Yb est de 2,81 et 3,53 (tableau 3.1), respectivement pour les roches mafiques du secteur Taché et du décapage #10. Ce type de profil est caractéristique des roches tholéitiques, ce que confirme le diagramme Th/Yb vs Zr/Y (Ross et Bédard, 2009) à la figure 3.4a. Les échantillons 131 et 143 montrent un enrichissement en Zr, des signatures négatives en Sm et des profils en terres rares lourdes plus bas que les autres échantillons de laves ou tufs mafiques (Figure 3.2a). Ces deux échantillons proviennent de zones fortement concentrées en magnétite. D'un point de vue pétrographique, rien ne différencie les échantillons 131 ou 143 des autres basaltes andésitiques du secteur Taché. Les différences relevées dans les profils multiéléments sont donc ici interprétées comme un effet hydrothermal, et des conditions géochimiques particulières liées à l'apport de magnétite. Aucune distinction géochimique n'apparaît entre les faciès de laves et de tufs mafiques. Les roches mafiques du décapage Taché #10 (36, 38, 40, 41) correspondent à des basaltes andésitiques (Figure 3.1a) et ont des profils multiéléments (Figure 3.2b) similaires à ceux du reste des roches mafiques du secteur Lac Taché.

### 3.1.2 Roches felsiques

Les roches définies comme intermédiaires à felsiques sur le terrain contiennent entre 61 et 69 % SiO<sub>2</sub>. Toutefois, ces échantillons (126, 129, 130, 134, 141) tombent dans le champ des basaltes et basaltes alcalins sur la figure 3.1a. Un fort degré d'altération hydrothermale volcanogène est certainement responsable de telles signatures. En outre,

les profils multiéléments pour les 5 échantillons de roches felsiques du secteur Lac Taché (Figure 3.2c) sont beaucoup plus fractionnés que celui des laves et tufs mafiques, montrant un enrichissement en terres rares légères et un appauvrissement en terres rares lourdes. Le ratio La/Yb est en moyenne de 20,68, ce qui est un ordre de grandeur supérieur à celui des roches mafiques précédemment décrites. L'affinité géochimique des roches felsiques est transitionnelle à calco-alkaline (Figure 3.4a). L'échantillon 134 correspond au dyke porphyrique qui recoupe la séquence du Lac Taché et possède un profil plus fractionné (La/Yb = 59,2) et un plus fort enrichissement en terres rares légères (La/Sm = 5,7) que le reste des roches felsiques du secteur (Tableau 3.1).

### 3.1.3 Décapages du Km25

Les trois échantillons du secteur Km25 donnent des signatures (Figure 3.2d) très semblables à celles des roches mafiques du secteur Lac Taché, avec des anomalies négatives en Ta, Ce, Zr-Hf, Eu-Ti et quasiment aucun fractionnement des terres rares lourdes ou légères (La/Sm = 1,38 et La/Yb = 3,53 : tableau 3.1). Les ratios élémentaires sont également très proches de ceux des roches mafiques du Lac Taché (tableau 3.1). Il s'agit de roches d'affinité tholéïtiques (Figure 3.4a).

### 3.1.4 Interface entre les membres de David et d'Allard

Les laves et les tufs mafiques, dominants au secteur du Lac Taché comme à celui du Km25, possèdent moins de 1 % de phénocristaux de feldspath. Ils sont caractérisés par des profils multiéléments plats et ont une affinité géochimique clairement tholéïtique. Ces deux critères correspondent effectivement au Membre de David tel que défini dans Leclerc et al. (2011) (Figure 3.3a). Toutefois, aucune émission de roches felsiques n'est

décrite pour ce membre. Pourtant, des roches effusives felsiques sont observées au Lac Taché. Ces rhyolites/rhyodacites sont intercalées dans l'empilement de roches effusives mafiques maintenant considérées comme appartenant au Membre de David. L'hypothèse ici proposée est que l'interdigitation de roches felsiques et mafiques résulte d'un volcanisme localement bimodal. Puisque le Membre de David est défini dans la littérature comme essentiellement mafique, il devient alors nécessaire de considérer le volcanisme à l'origine d'un autre Membre du découpage pour expliquer l'observation de rhyolites du Lac Taché. La seule autre principale émission de rhyolite sur le flanc nord de l'Anticlinal de Chibougamau, à une position stratigraphique équivalente (Figure 1.4), est le Membre de Scott. Néanmoins, les rhyolites du Lac Scott sont tholéitiques (Figure 3.3c, Daigneault et Allard 1990, Leclerc et al. 2011) alors que celles du Lac Taché sont transitionnelles à calco-alcalines (Figure 3.2c) C'est pourquoi il est ici suggéré que les rhyolites du secteur Lac Taché soient issues d'un volcanisme associé au Membre d'Allard (Figure 3.2b), dont les roches effusives felsiques sont également d'affinité calco-alcaline. Ainsi, positionner le Lac Taché à une interface entre les membres de David et d'Allard, à savoir dans une période de transition entre deux régimes volcaniques différents, permet d'expliquer les signatures géochimiques et lithologiques variables du secteur. L'interdigitation pourrait également résulter de sources magmatiques primaires distinctes, ce qui n'est pas en contradiction avec l'hypothèse proposée ci-dessus.

## 3.2 Secteur Indian Lake

### 3.2.1 Lithogéochimie

Huit échantillons ont été analysés sur le secteur d'Indian Lake. Quatre échantillons proviennent des crypto-dômes felsiques ou des dykes contemporains associés. Selon la figure 3.1b, les roches qualifiées de felsiques (échantillons 77, 116, 117) ont des compositions majoritairement rhyodacitiques et les dykes contemporains (échantillon 78) sont andésitiques. Deux échantillons ont été récoltés sur les dykes tardifs, qui correspondent à une composition de basalte andésitique (échantillons 79 et 81). Un échantillon (#114) est issu d'un lit gréseux à silteux leucocrate des turbidites. Il s'agit de la même composition rhyodacitique que les faciès de cryptodômes sous-jacents. Quel que soit le type de roche considéré sur Indian Lake, les profils sont très fractionnés (Figure 3.2e) avec les ratios La/Yb (62,66) les plus élevés de tous secteurs confondus (tableau 3.1). L'affinité géochimique est clairement calco-alcaline, telle que confirmée par le diagramme Th/Yb vs Zr/Y (Figure 3.4b).

### 3.2.2 Considérations stratigraphiques

Selon la carte géologique régionale (Figure 1.4), Indian Lake appartient au second cycle du Groupe de Roy : Formation de Bruneau voire Formation de Blondeau. En outre, l'indice du « Ruisseau à la Loutre » (Indian Lake) est actuellement localisé dans la Formation de Blondeau sur la cartographie géologique du MERN (SiGEOM 2017). Toutefois, conformément à une communication personnelle de M. François Leclerc, la carte géologique disponible sur le SiGEOM pour ce secteur n'est pas à jour au moment de l'écriture de ce mémoire, et est en cours de modification. L'assemblage

volcanosédimentaire rencontré comprend des faciès typiques de la Formation de Blondeau : « volcanoclastites felsiques, coulées rhyodacitiques, argilites pyriteuses à graphiteuses » (Daigneault et Allard, 1990).

Néanmoins, l'empilement sur le secteur d'Indian Lake (shales graphiteux, rhyodacites et tufs felsiques, sulfures massifs, turbidites) est également très semblable à celui décrit pour le sommet du Membre d'Allard au Nord du lac Chibougamau (Figure 1.8, Leclerc et al. 2011). L'occurrence d'argilites graphiteuses n'est donc pas limitée à la Formation de Blondeau. En outre, Brisson (2007) relève des argilites et métasédiments graphiteux au Nord du Lac Scott et de l'indice éponyme, faciès interprétés par Leclerc et Houle (2013) comme le sommet du Membre de Scott et à la base du Membre d'Allard dans ce secteur géographique du Lac Scott. Par ailleurs, Leclerc et al. (2011) suggère que le Membre d'Allard occupe une position stratigraphique qui recouvre le Membre de Scott. Cette relation est appuyée par des datations : les rhyolites du Lac Scott ayant été datées à  $2728,2 \pm 0,8$  Ma (Leclerc et al. 2011) et étant donc plus âgées que les tufs et andésites du Membre d'Allard ( $2726,6 \pm 0,7$  Ma, Leclerc et al. 2011). Les argilites graphiteuses au Nord du Lac Scott sont donc associées au Membre d'Allard, et cette association peut également être appliquée à Indian Lake, se trouvant dans une position semblable mais sur le flanc sud de l'Anticlinal de Chibougamau (Figure 1.4). Si Indian Lake est considéré comme un équivalent du Membre d'Allard, soit appartenant à la Formation de Waconichi, des roches plus jeunes (second cycle volcanique du Groupe de Roy, figure 1.5) sont attendus à l'Ouest d'Indian Lake, la polarité régionale étant dirigée vers l'Ouest (Figure 2.7). Un décapage récent connu sous le nom de « Pro Minerals » (communication personnelle de

M. Patrick Houle) se trouve 500 m à l'Ouest d'Indian Lake. Suite à une visite de ce décapage, l'auteur reconnaît des faciès typiques de la Formation de Bruneau, comme reconnu au niveau de la mine Gwillim à Chibougamau (communication personnelle de M. Patrick Houle) : andésites coussinées, épidotisées avec veinules de quartz-ferroaxinite, indiquant toujours une polarité Ouest. Une centaine de mètres à l'Ouest de Pro Minerals, le filon-couche de Springer est identifié, et celui-ci s'introduit à la base de la Formation de Blondeau (Daigneault et Allard 1990, Leclerc et al. 2008, 2011). Des roches des formations de Bruneau et de Blondeau sont donc successivement reconnues à l'Ouest d'Indian Lake, selon une polarité Ouest. Cela appuie la proposition de l'auteur d'associer le secteur d'Indian Lake comme à un équivalent du Membre d'Allard, au sommet de la Formation de Waconichi.

Enfin, les profils multiéléments des roches du secteur d'Indian Lake (figure 3.2e) sont très semblables à ceux du Membre d'Allard (Figure 3.3b), tous deux fractionnés (transitionnels à calco-alcalins). Les ratios élémentaires, et notamment Th/Nb, Th/La, La/Sm et Zr/Y (tableau 3.1) montrent également de nettes similitudes entre les roches d'Indian Lake et les roches intermédiaires à felsiques du Membre d'Allard caractérisées dans la littérature (Leclerc et al. 2011).

Bien qu'Indian Lake présente des similitudes avec la Formation de Blondeau et aie été historiquement considéré comme tel, de récents arguments terrains (locaux et régionaux) remettent en cause cette association. Les résultats de l'étude lithogéochimique dans ce mémoire permettent également de comparer Indian Lake avec un équivalent du Membre d'Allard. L'auteur propose donc que les roches du secteur d'Indian Lake appartiennent à

un épisode volcanique régional équivalent au Membre d'Allard, jusqu'alors reconnu uniquement aux alentours de Chibougamau. Selon une communication de M. Réal Daigneault, une datation sur les rhyodacites du décapage principal d'Indian Lake sera réalisée dans le cadre du programme « *Metal Earth* » au cours des années 2018-2019. Les résultats de cette datation permettront de trancher sur le positionnement d'Indian Lake, la Formation de Blondeau étant âgée de  $2716,7 \pm 1,0$  Ma (Mortensen 1993).

### **3.3 Secteur Saw Mill**

Neuf échantillons ont été analysés sur le secteur Saw Mill. Ils sont répartis de manière homogène entre les laves mafiques aphyriques, les roches volcanoclastiques à matrice porphyrique et les différents types de dykes les recoupant. Comme pour le secteur d'Indian Lake, les profils multiéléments sont parallèles et montrent des profils fractionnés (Figure 3.2f) avec de forts ratios La/Yb (27,5 : tableau 3.1). L'affinité est essentiellement transitionnelle à calco-alkaline (Figure 3.4b).

La présence de phénocristaux de plagioclase dans les roches andésitiques du secteur Saw Mill est typique du Membre d'Andy, déjà identifié dans cette région. En outre, les roches échantillonnées dans le secteur Saw Mill ont une affinité géochimique transitionnelle à calco-alkaline et montrent des profils multiéléments similaires à ceux du Membre d'Andy (Figure 3.3d).

### **3.4 Indices David et du Chemin de fer**

Quatre échantillons proviennent de l'indice David et un seul de l'indice du Chemin de fer. Les échantillons 55 et 60 sont issus des filons-couches de gabbro et le 62 de l'unité de

laves mafiques bréchiques (hyaloclastites) associées. L'échantillon 57 a été sélectionné sur le dyke felsique porphyrique à quartz-feldspaths qui recoupe les laves. Sur l'indice du Chemin de fer, l'unique échantillon provient de tufs cherteux semblables à ceux intercalés dans les coulées mafiques du décapage David #01.

#### 3.4.1 Laves et filons-couches mafiques

Les laves mafiques du secteur David ont des anomalies en Ta, Ce, Zr, Hf et variablement en Eu et Ti (Figure 3.2g). Les profils multiéléments montrent de très légers enrichissements en terres rares légères et aucun fractionnement des terres rares lourdes (Figure 3.2g). Les ratios La/Yb et Gd/Yb sont en outre très faibles, avec comme moyennes respectives 3,09 et 1,14 (tableau 3.1). Le diagramme Th/Yb vs Zr/Y indique une affinité géochimique tholéitique à transitionnelle (Figure 3.4c).

#### 3.4.2 Roches felsiques

Le dyke porphyrique sur le décapage David #01 a un profil multiéléments fractionné, avec un fort appauvrissement des terres rares lourdes (Figure 3.2g). Les tufs cherteux de l'indice Chemin de fer montrent un profil multiéléments similaire (Figure 3.2h). Le diagramme Th/Yb vs Zr/Y indique une affinité géochimique calco-alkaline pour ces deux échantillons (Figure 3.4c).

#### 3.4.3 Interface entre les membres de David et d'Allard

Comme au secteur Lac Taché, les laves mafiques aphyriques d'affinité tholéitique rencontrées sur les décapages de l'Indice David sont caractéristiques du Membre éponyme. Toutefois, puisque le Membre de David est décrit comme purement mafique et d'affinité tholéitique, les niveaux de tufs cherteux d'affinité transitionnelle à calco-

alcaline sur les décapages de l'indice David et l'affleurement de l'indice du Chemin de fer s'apparentent au Membre d'Allard. De tels niveaux de tufs cherteux sont rares et d'épaisseur limitée sur l'indice David, au Sud, mais sont plus communs et épais sur l'affleurement de l'indice du Chemin de fer, plus au Nord. Considérant une polarité générale orientée vers le Nord dans cette région, l'apparition de ces tufs cherteux permet de délimiter la zone d'interface entre les membres de David et d'Allard.

### **3.5 Indice ICON**

Seuls deux échantillons ont été analysés sur l'indice ICON. L'échantillon 110 provient des laves mafiques du secteur et le numéro 6 est issu d'un filon-couche felsique aphyrique. L'échantillon de laves mafiques est caractérisé par un profil multiélément complètement plat (Figure 3.2i) tandis que le diagramme Th/Yb vs Zr/Y indique une affinité géochimique tholéiitique (Figure 3.4d). Le filon-couche felsique, a quant à lui, une nette affinité géochimique calco-alcaline (Figure 3.4d) et montre un profil multiéléments, avec un fractionnement important des terres rares lourdes et légères ( $La/Sm = 6,9$  et  $Gd/Yb = 2,23$  : tableau 3.1)

Les signatures géochimiques de l'indice ICON sont semblables à celles relevées pour les roches du secteur Lac Taché, avec des roches mafiques d'affinité tholéiitique et des roches felsiques d'affinité calco-alcaline. Bien que les polarités soient inversées d'un secteur à l'autre (vers le Nord dans le secteur du Lac Taché et vers le Sud dans le secteur de l'indice ICON), les deux exposent la même séquence de roches avec, de la base au sommet : 1) des laves mafiques et intrusions comagmatiques associées alternant avec des roches effusives ou intrusives felsiques ; 2) un horizon de sulfures massifs ; et 3) des tufs

mafiques laminés. Le même type de dyke brun mafique et tardif est également reconnu sur chacun des secteurs. C'est pourquoi il est proposé que le secteur de l'indice d'ICON soit placé au même niveau stratigraphique que le secteur Lac Taché, soit à l'interface entre les membres de David et d'Allard.

### **3.6 Conclusion des positionnements stratigraphiques proposés**

Le positionnement des secteurs visités est résumé aux figures 3.5 et 3.6. Ainsi, les indices de David-Chemin de fer, Lac Taché Km25 et ICON définissent une même interface globalement Est-Ouest. La position stratigraphique de ces secteurs, tout comme les formations de fer du Membre de Portage, est analogue à celle des minéralisations du Lac Scott. Cet horizon représente un intervalle dans les temps géologiques pendant lequel le développement de systèmes proximaux comme distaux est a été favorisé. Saw Mill s'inscrit dans le Membre d'Andy, une subdivision de la Formation de Waconichi déjà reconnue et caractéristique dans les environs de Saw Mill. Enfin, l'indice d'Indian Lake marque le sommet du Membre d'Allard et de la Formation de Waconichi. Cette séquence volcanosédimentaire (shales graphiteux-rhyodacites-sulfures massifs-turbidites) n'était jusqu'alors pas reconnue à l'Est de la ville de Chibougamau. Cette séquence illustre une chronologie et des processus de dépôts équivalents à ceux définissant le sommet du Membre d'Allard. Bien qu'Indian Lake et le stratotype (Parc Allard) du sommet du Membre d'Allard soient aujourd'hui espacés d'une trentaine de kilomètres, il est ici proposé que ces deux séquences soient synchrones, sinon cogénétiques.

Tableau 0-1 : Moyenne des ratios élémentaires normalisés au N-MORB (Klein, 2004)

	Nombre d'échantillons	Th/Nb	Th/La	La/Sm	La/Yb	Gd/Yb	Zr/Y	Références
R. mafiques secteur Taché	5	1,83	3,74	2,53	2,81	1,05	3,06	
R. felsiques secteur Taché	5	3,75	3,31	3,82	20,68	2,29	7,33	
Montagne Taché	5	2,03	7,41	1,38	3,53	1,29	3,22	
Km-25	3	1,33	1,46	2,15	2,94	1,11	1,37	
Indian Lake	8	14,79	2,82	8,10	62,66	3,07	5,11	
Saw Mill	9	5,14	1,96	4,74	27,50	2,68	2,55	
Laves mafiques David	3	1,79	1,96	2,06	3,09	1,14	1,54	
Dyke felsique David	1	14,01	4,35	6,81	43,65	2,86	5,34	
Chemin de fer	1	5,99	3,31	4,87	12,64	1,56	3,90	
Laves mafiques ICON	1	1,43	0,63	2,96	3,26	0,99	0,87	
Filon-couche felsique ICON	1	6,54	2,50	6,90	33,20	2,23	9,69	
Parc Allard	1	3,61	2,84	3,37	9,32	1,69	2,56	
Membre d'Andy	135	3,81	2,97	5,19	19,70	1,99	3,44	BDD <sup>1</sup> François Leclerc
Membre de Scott	170	3,24	6,53	3,70	9,68	1,45	2,68	BDD François Leclerc
B2 mb. de David	5	1,81	1,92	1,41	31,68	0,99	0,94	Leclerc et al. 2011
BA3 mb. de David	17	2,18	2,04	1,55	37,07	1,02	0,97	Leclerc et al. 2011
B mb. d'Allard	5	4,13	2,64	3,82	164,46	1,29	2,18	Leclerc et al. 2011
BA mb. d'Allard	4	5,35	2,62	3,19	137,11	1,25	2,33	Leclerc et al. 2011
A4 mb. d'Allard	5	6,58	3,31	3,93	177,29	1,39	3,05	Leclerc et al. 2011
RD5 mb d'Allard	2	30,14	3,33	7,57	1332,66	1,73	4,69	Leclerc et al. 2011

<sup>1</sup> Base de données du MERN des analyses lithogéochimiques du district de Chibougamau-Chapais (Leclerc, 2001)

<sup>2</sup> Basalte

<sup>3</sup> Basalte andésitique

<sup>4</sup> Andésite

<sup>5</sup> Rhyodacite

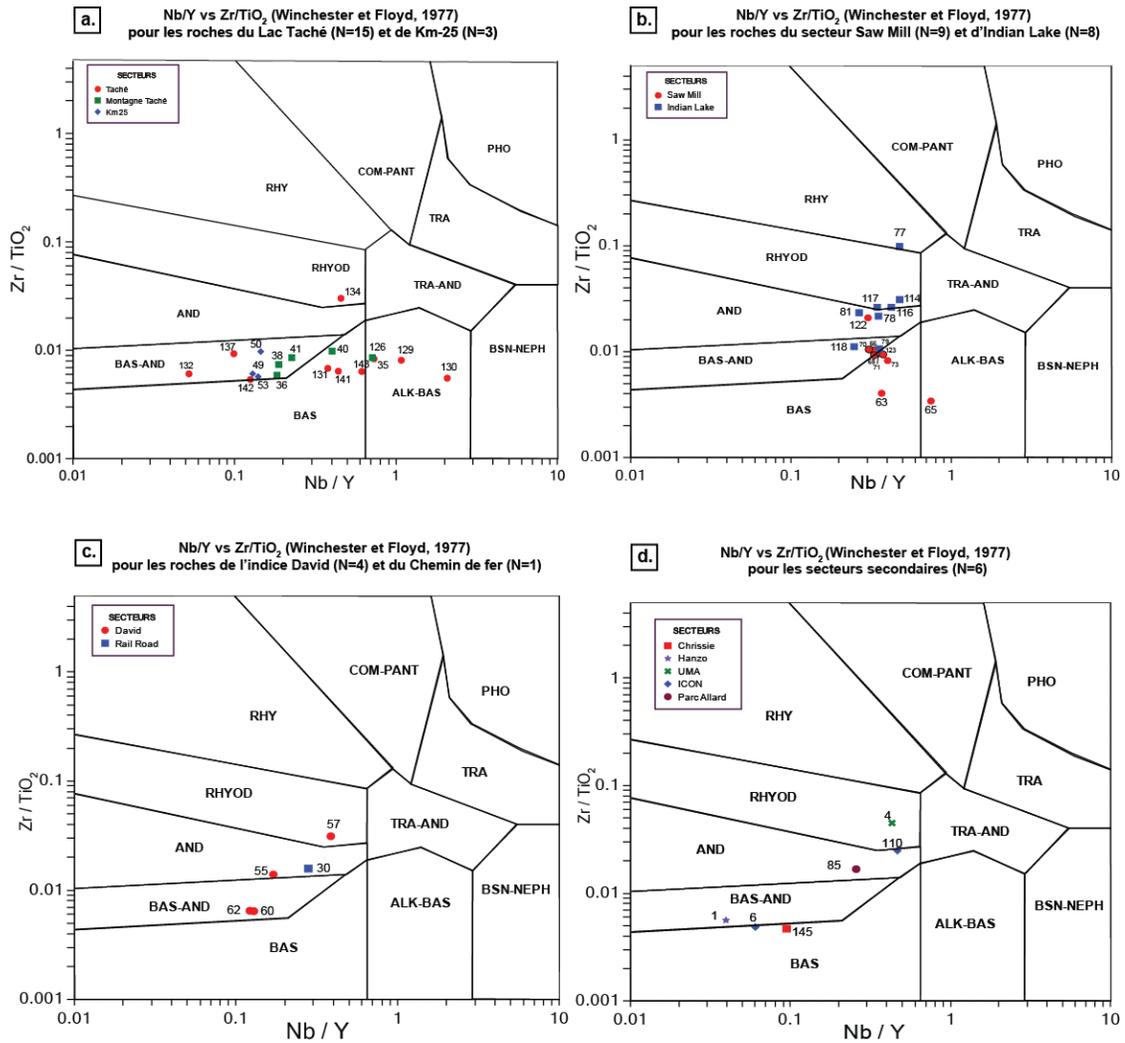


Figure 0-1 : Diagramme Zr/TiO<sub>2</sub> vs Nb/Y pour l'ensemble des secteurs visités (modifié de Winchester et Floyd, 1977)

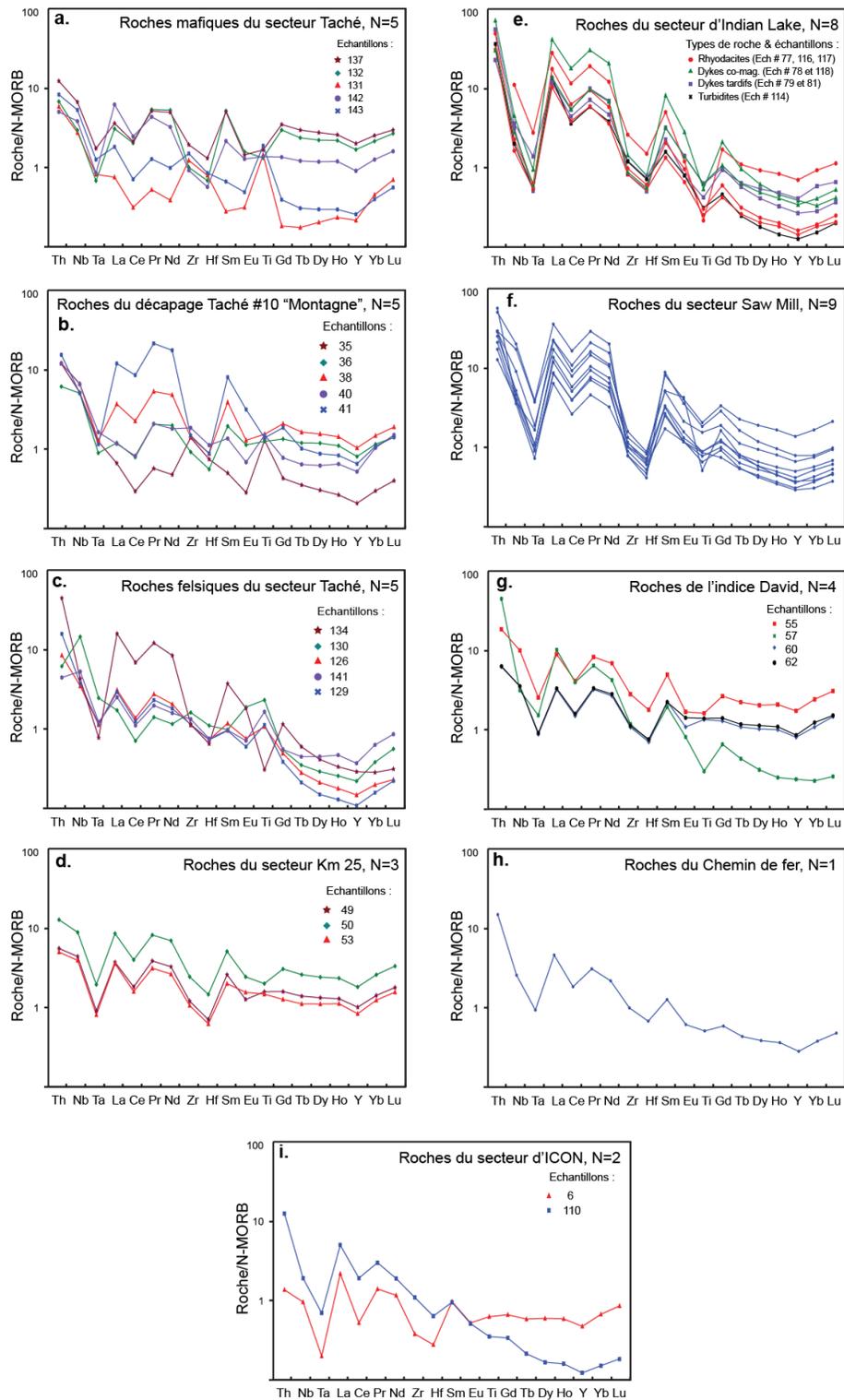


Figure 0-2 : Diagrammes des éléments incompatibles normalisés au N-MORB (Klein, 2004) par secteurs cartographiés.

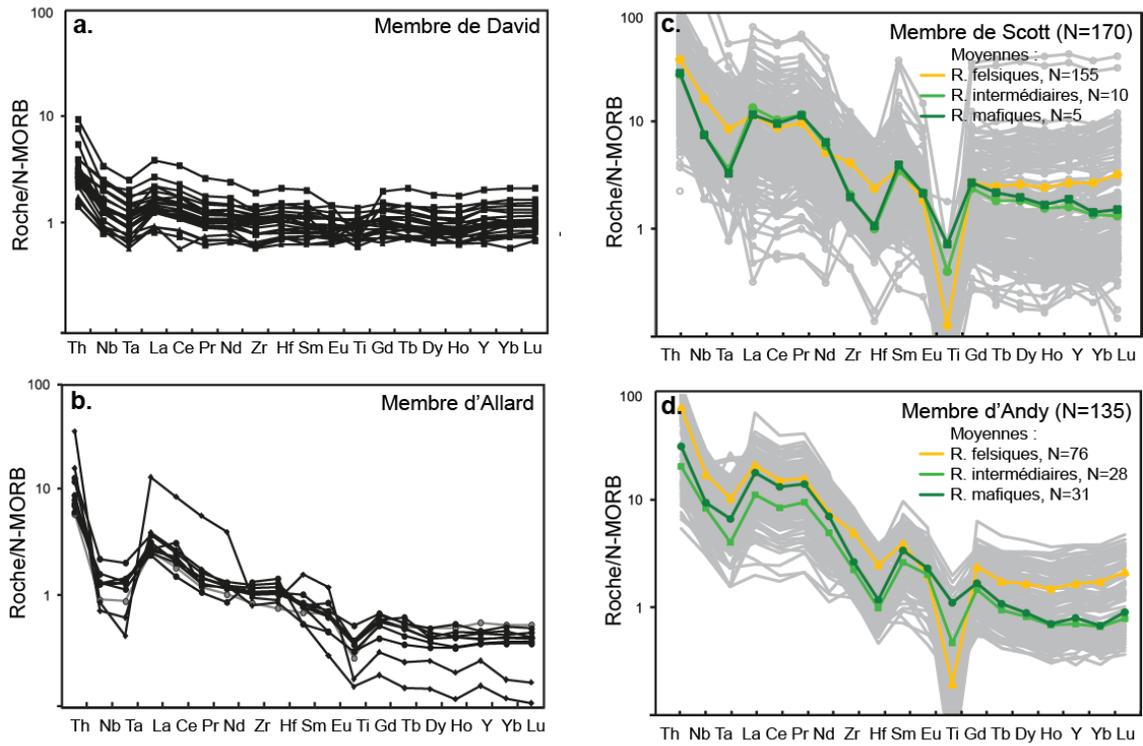


Figure 0-3 : Diagrammes des éléments incompatibles normalisés au N-MORB (Klein, 2004) pour les membres de David, d'Allard, de Scott et d'Andy. Les diagrammes a. et b. sont issus de Leclerc et al. 2011. Les données ayant servi pour l'élaboration des diagrammes c. et d proviennent de la base de données du Sigéom sur le district de Chibougamau-Chapais (Leclerc 2001; Leclerc et al. 2011)

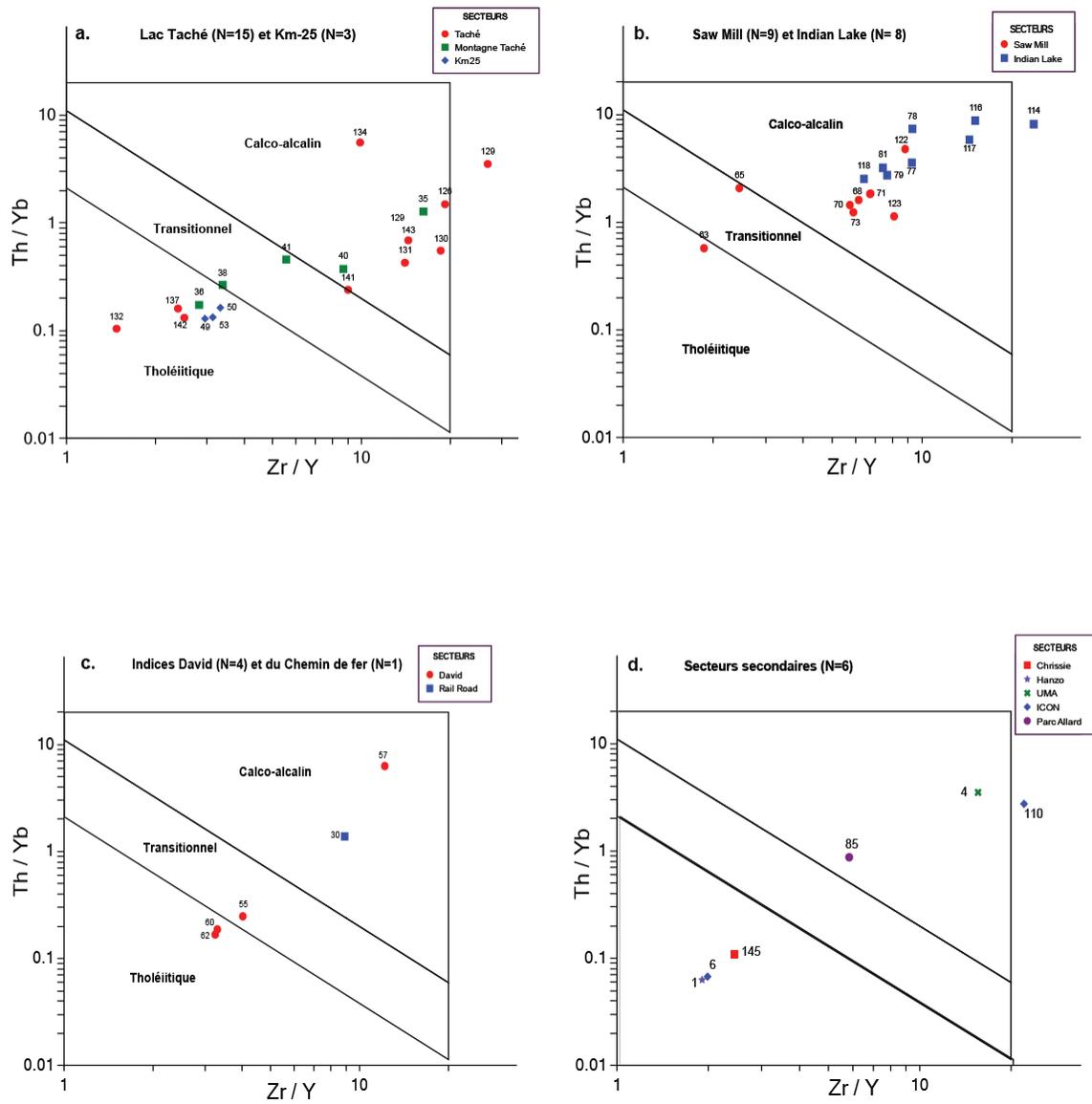


Figure 0-4 : Diagrammes Th/Yb vs Zr/Y (Ross et Bédard, 2009) par secteurs étudiés

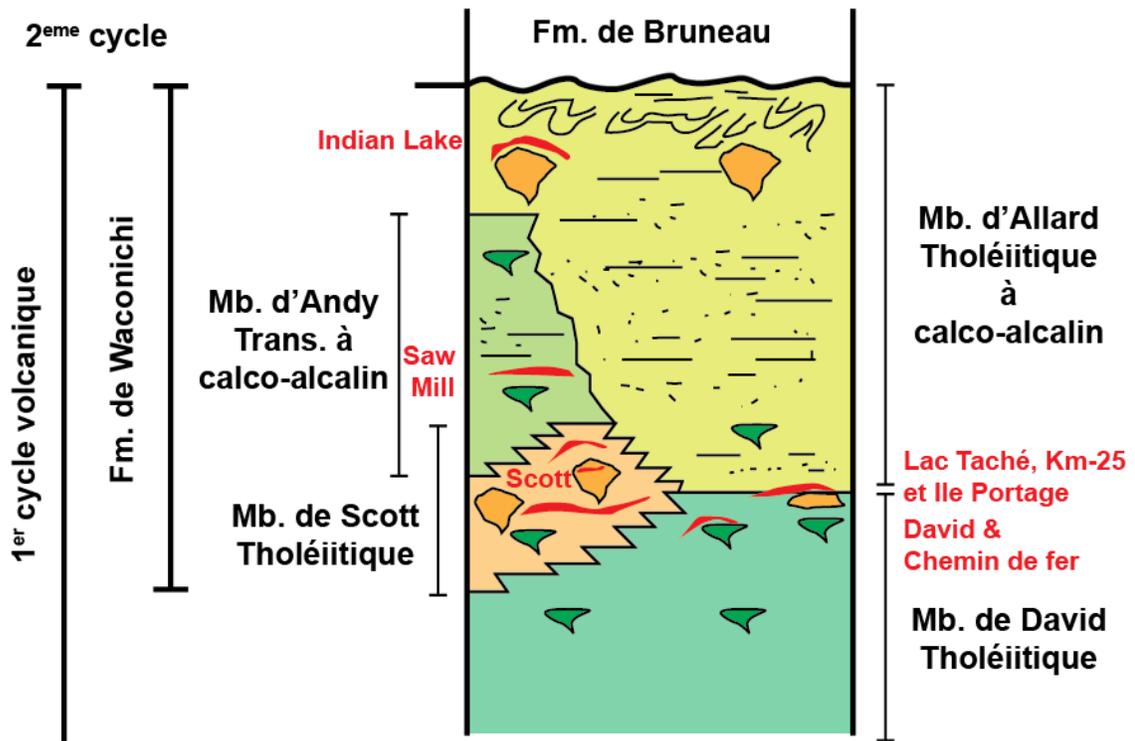


Figure 0-5 : Représentation verticale des membres de la Formation de Waconichi et des secteurs cartographiés.

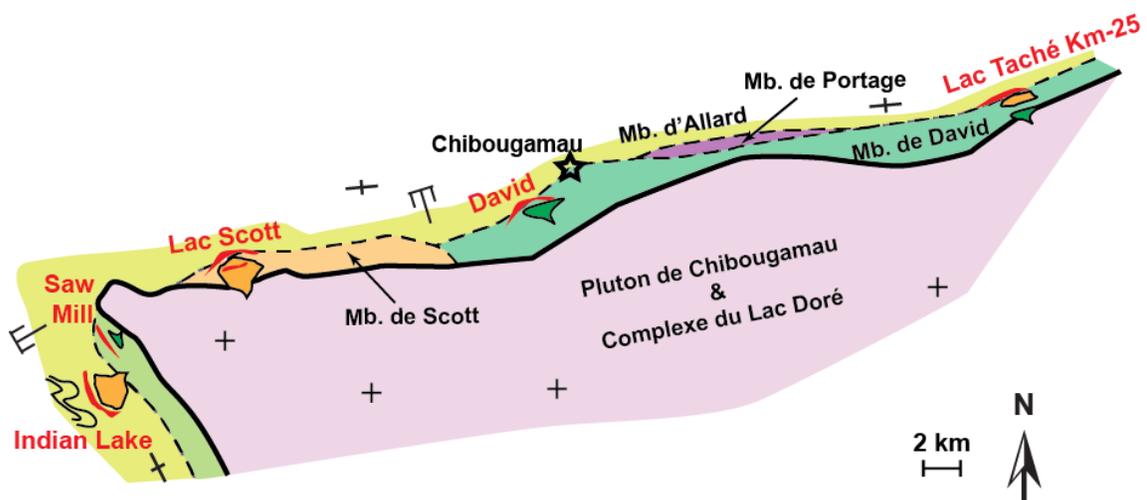


Figure 0-6 : Carte géologique simplifiée des interfaces minéralisées de Chibougamau-Chapais.

## 4. Quatrième chapitre :

### Fertilité des systèmes hydrothermaux

#### 4.1 Introduction

Le projet de maîtrise a comme objectif de rehausser le potentiel en minéralisations volcanogènes de la région d'étude. A travers les chapitres précédents, il a été documenté que les indices cartographiés s'intègrent clairement dans un modèle de SMV et qu'ils peuvent être replacés dans la stratigraphie régionale. Toutefois, ces démonstrations ne suffisent pas à elles-seules pour souligner un potentiel économique pour les minéralisations. En effet, les occurrences de lentilles sulfurées stériles sont communes dans les districts producteurs ou non de gîtes type SMV (p. ex. Flin Flon, Canada). En outre, le stade actuel d'exploration des secteurs visités dans le cadre de la maîtrise est très jeune. Aucun travail d'évaluation de ressources n'a été mené et le principal sulfure dans les lentilles jusqu'ici découvertes en surface est la pyrite. Puisque l'effort d'exploration ne permet pas savoir s'il existe un réel potentiel économique pour ces indices, une approche scientifique est ici proposée.

Le caractère économique d'un gisement de SMV est majoritairement fonction de la quantité de sphalérite, chalcopyrite ou galène. Un des principaux facteurs contrôlant la précipitation de ces minéraux dans les lentilles est la température des fluides minéralisateurs (Large 1977). Plusieurs modélisations thermodynamiques (Large 1977; Bourcier et Barnes 1987; Metz et Trefry 2000) et travaux sur des SMV actuels

(Hannington et al. 2005) ont montré que la sphalérite précipite à des températures avoisinants les 250°C, contre 280 à 320°C pour la chalcopryrite. Selon ces principes, l'évolution du système hydrothermal à l'origine des gisements de Bracemac-McLeod à Matagami a été documentée par Genna et Gaboury (2015). Cette étude définit, sur la base de critères pétrographiques et paragénetiques, différentes générations de pyrite en fonction de leur température de formation. Le cortège en éléments traces de ces familles de sulfures a été étudié par LA-ICP-MS. Il apparaît à travers ces travaux que le comportement de certains éléments volatils (Se, Tl et As notamment) dans les pyrites reflète les changements de température du fluide minéralisateur et donc la fertilité en métaux du système. Toutefois, une telle méthodologie a seulement été validée pour des minéralisations par remplacement (Genna et Gaboury, 2015). Il a été documenté dans le chapitre premier que les minéralisations volcanogènes cartographiées dans ce projet sont principalement issues de processus de remplacement. C'est pourquoi une étude de la chimie *in-situ* des pyrites est possible et a été réalisée pour les cas documentés dans les chapitres précédents.

## **4.2 Méthodologie analytique et échantillonnage**

### **4.2.1 Types d'échantillons**

Cinquante-trois échantillons minéralisés ont été prélevés lors de la campagne de terrain de l'été 2016. La stratégie d'échantillonnage comprend un échantillon de chaque corps minéralisé individualisé sur les cartographies. À des fins de comparaison, des échantillons des différents corps minéralisés du gisement Lac Scott et deux échantillons de la Mine Lemoine ont été incorporés à l'étude. Cinquante lames ont été réalisées pour

la campagne d'analyse au LA-ICP-MS (tableau 4.1). Lorsque possible, des lames ont été réalisées dans différents types d'échantillons. Indian Lake est un exemple pour lequel les lentilles concordantes (lames 84-1 et 84-2) ainsi que les failles syn-volcaniques servant de zone d'alimentation (lames 113 et 119) ont fait l'objet d'analyses LA-ICP-MS. Sur l'indice Lac Taché, les lentilles ainsi que les couloirs d'alimentation ont également fait l'objet de plusieurs lames polies, mais il sera montré plus tard qu'aucune distinction géochimique n'est relevée sur ces différents types d'échantillons sulfurés. Sur Km25, il faut distinguer les lentilles de sulfures semi-massifs (lames 51 et 48, tableau 4.1) des formations de fer carbonatées remplacées par la pyrite (lame 52). Sur les indices David et du Chemin de fer, des lames ont été confectionnées dans les niveaux tuffacés enrichies en sulfures (lames 29, 56-1, 56-2) et dans les brèches à hyaloclastites intensément remplacées (lames 61-1, 61-2). Huit lames polies ont été réalisées sur le gisement du Lac Scott, grâce à l'échantillonnage des carottes de forages permis par Sylvain Lépine (Géo., Les Ressources Yorbeau Inc.). La quasi-totalité des principales zones minéralisées a été analysée (Figure 4.1). Seules les lentilles « 800 » et Selco n'ont pas été échantillonnées. Compte tenu de l'étendue plurikilométrique des lentilles, le gisement du Lac Scott est le seul secteur sur lequel les résultats des analyses LA-ICP-MS pourront faire l'objet d'interprétations selon la géométrie et la position des lentilles.

#### 4.2.2 Méthodologie associée à l'étude pétrographique

Dans la méthodologie de Genna et Gaboury (2015), les pyrites ont été caractérisées pétrographiquement pour être séparées en familles. Ces familles de pyrites sont principalement définies sur la base des autres sulfures économiques qui leurs sont

associées. Ainsi, une famille de pyrite et sa paragenèse correspondante reflètent une température relativement spécifique de formation. Plusieurs diagrammes de discrimination (Se/Tl vs As, Sb vs As) valident ensuite que les différentes familles peuvent être individualisées en fonction de leur contenu en éléments traces volatiles. Ici, ces diagrammes, déjà admis comme fonctionnels à Matagami, sont utilisés pour vérifier si des populations de pyrite se dégagent parmi les échantillons prélevés à Chibougamau-Chapais. Il s'agit donc d'une méthodologie inverse à celle employée par Genna et Gaboury (2015). Dès lors, une classification des pyrites en famille sur la base de critères pétrographiques n'a pas été réalisée dans cette étude. C'est pourquoi seule une caractérisation pétrographique sommaire a été menée sur les lames polies. Un parcours rapide de chaque lame a été effectuée, afin d'identifier les principales associations paragenétiques et de sélectionner des grains de pyrite représentatifs de la population.

#### 4.2.3 Méthodologie d'analyse au LA-ICP-MS

L'objectif de caractériser le contenu en éléments traces des pyrites ne requiert que la réalisation de lignes et de points au laser. Le design des lignes comprend les inclusions visibles et micro-inclusions ainsi que les zonations propres aux grains de pyrite sélectionnés pour analyses, tel qu'illustré à la figure 4.2. Les inclusions au sein des pyrites peuvent se former de deux manières : 1) en co-précipitation pendant la cristallisation des pyrites, ou 2) en exsolution pendant la poursuite de l'activité hydrothermale ou pendant le métamorphisme (Genna et Gaboury, 2015). Dans les deux cas, les inclusions représentent le signal géochimique du fluide minéralisateur et sont donc incluses dans les lignes d'analyses au laser (Figure 4.2).

L'analyse au LA-ICP-MS est une méthode récente (commercialisée en 1983), dont les principaux atouts sont une grande précision et des limites de détection très basses (ppb et moins). Avec cette technique, l'échantillon est localement vaporisé le long d'une ligne ou point par un laser. Le matériel généré lors de la vaporisation est transporté sous forme gazeuse (mélange Ar et He) jusqu'à une torche à plasma qui transforme l'analyte sous forme atomique ionisée par effet thermique. Les ions sont ensuite quantifiés par le spectromètre de masse, selon leurs différences inhérentes de masse et de charge.

Les analyses ont été menées au LabMaTer, Université du Québec à Chicoutimi (Québec, Canada), à l'aide d'un laser Excimer 193 nm Resonetics M-50 couplé à un spectromètre de masse Agilent 7700x. Les isotopes mesurés sont les suivants :  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{29}\text{Si}$ ,  $^{33}\text{S}$ ,  $^{34}\text{S}$ ,  $^{47}\text{Ti}$ ,  $^{51}\text{V}$ ,  $^{53}\text{Cr}$ ,  $^{55}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{61}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Cu}$ ,  $^{65}\text{Cu}$ ,  $^{66}\text{Zn}$ ,  $^{71}\text{Ga}$ ,  $^{72}\text{Ge}$ ,  $^{75}\text{As}$ ,  $^{77}\text{Se}$ ,  $^{82}\text{Se}$ ,  $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Mo}$ ,  $^{96}\text{Mo}$ ,  $^{109}\text{Ag}$ ,  $^{111}\text{Cd}$ ,  $^{113}\text{In}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{118}\text{Sn}$ ,  $^{121}\text{Sb}$ ,  $^{128}\text{Te}$ ,  $^{130}\text{Te}$ ,  $^{136}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Ba}$ ,  $^{182}\text{W}$ ,  $^{184}\text{W}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{200}\text{Hg}$ ,  $^{202}\text{Hg}$ ,  $^{203}\text{Tl}$ ,  $^{205}\text{Tl}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ . Les paramètres du laser sont 14 Hz de fréquence, 12,5  $\mu\text{m/s}$  de vitesse et une puissance de 2j. Les lignes ont été réalisées avec un diamètre du laser égale à 75  $\mu\text{m}$  et les analyses ponctuelles avec un diamètre de 55  $\mu\text{m}$ . Chaque ligne comprend 30 secondes d'acquisition du bruit de fond des gaz, puis le signal de la pyrite analysée et finalement cinq secondes d'analyse des gaz résiduels dans la chambre de l'ICP-MS. La valeur stoechiométrique du fer a été utilisé comme standard interne et le MASS-1 (Wilson et al. 2002) comme matériel de référence pour la calibration et la standardisation.

#### 4.2.4 Méthodologie de traitement des données LA-ICP-MS

Le traitement des données brutes a été réalisé avec le logiciel Igor Pro-Iolite version 2.5. Les limites de détection (LoD) inférieure utilisées sont celles calculées par le logiciel. Lorsque des données en ppm sont inférieures à la limite de détection inférieure individuelle, elles ont été remplacées par cette LoD individuelle. Lorsque le logiciel renvoie une LoD nulle pour une analyse et un élément donné, la concentration de l'élément en ppm est comparée à la médiane des LoD non nulles de l'élément sur l'ensemble des analyses.

### 4.3 Pétrographie des échantillons

Les résultats de l'étude pétrographique sont résumés aux figures 4.3 et 4.4. La figure 4.3 donne le pourcentage normalisé à 100% de minéraux opaques des principaux sulfures et de la magnétite, par lame et secteur. Seules les observations pétrographiques les plus pertinentes vis-à-vis des données LA-ICP-MS (sections 4.4 et 4.5) sont ici présentées.

#### 4.3.1 Gisement Lac Scott

Le gisement du Lac Scott (Figure 4.3a) possède la plus grande variété et quantité de sulfures de métaux de base, la sphalérite étant le sulfure le plus abondant (Figures 4.3a et 4.4a). En outre, c'est le seul secteur déjà défini comme sub-économique par l'effort exploratoire (14 Mt @ 0,8 % Cu, 4,2 % Zn, 0,2 g/t Au, 37 g/t Ag, Les Ressources Yorbeau Inc. 2017). Les pyrites observées en lames minces sont pour la plupart xénomorphes à sub-idiomorphes, en cristaux de 300 µm à 2 mm avec une sphéricité moyenne à élevée (Figure 4.4a 4.4b). Les pyrites sont relativement poreuses (>5% de pores ou inclusions, Figure 4.4b). Les pyrites montrent une texture granulaire, parfois jointive, ou les cristaux

sont contenus dans une matrice de sphalérite et/ou chalcopryrite (Figure 4.4a et b). Les pyrites et les sulfures économiques sont très probablement cogénétiques. Des textures montrant des lamelles ou cristaux idiomorphes micrométriques de chalcopryrite au sein de phénocristaux de sphalérite sont reconnues (Figure 4.4a). Ces textures sont communément nommées « *chalcopryrite disease* ». Cela suggère un remplacement de la sphalérite par la chalcopryrite, issue d'un fluide plus chaud lors de la poursuite de l'activité hydrothermale (Barton Jr et Bethke 1987).

#### 4.3.2 Secteur Lac Taché – Km25

Dans les lames du Lac Taché, la magnétite est omniprésente et les sulfures de métaux de bases sont rares (Figure 4.3b). La magnétite n'a pas été relevée dans les lames polies du Km25, bien qu'elle soit systématiquement concentrée dans les laves mafiques environnant les lentilles. Les pyrites du Lac Taché ont en lumière naturelle un aspect granulaire sub-idiomorphe et de granulométrie variable (20 µm à 0,5 mm). Les grains sont jointifs, avec des bordures fines et de faible relief, mettant parfois en contact plus que deux grains (Figure 4.4c). Cela suggère une recristallisation. Les grains de pyrite possèdent variablement des inclusions de magnétite, indiquant que ces deux minéraux sont cogénétiques (Figure 4.4c). Des micro-inclusions de chalcopryrite et de sphalérite sont également relevés au sein des pyrites (Figure 4.4d) pourtant faiblement poreuse (<2% de pores ou inclusions). La pyrrhotite est généralement interstitielle entre les cristaux de pyrite pour le Lac Taché (Figure 4.4d). La chalcopryrite est le sulfure économique le plus abondant (Figure 4.3b).

### 4.3.3 Secteur Indian Lake

Sur Indian Lake, la pyrite et la pyrrhotite sont les sulfures les plus largement représentés (Figure 4.3c). Des traces de sphalérite et chalcopyrite sont notées, mais toujours inférieure à 1% modal dans les lames décrites, et le plus souvent sous forme de micro-inclusions dans les pyrites (Figure 4.4e). Indian Lake illustre deux grandes familles de pyrite qui sont également importantes de distinguer pour l'ensemble des autres secteurs. Ces familles sont : 1) les pyrites framboïdes poreuses et riches en inclusions de sulfures économiques (Figure 4.4e) ; et 2) les pyrites idiomorphes totalement dépourvues d'impuretés visibles (Figure 4.4f). Les pyrites (1) sont primaires, formées lors de l'activité hydrothermale, d'où leur important signal en métaux de bases sous forme d'inclusions. Ces pyrites sont fortement poreuses (10-15% pores ou inclusions) bien que le quartz soit un important composant des inclusions relevés dans les pyrites (1) (Figure 4.4f). Les pyrites (2) idiomorphes sont issues de la recristallisation de la première famille lors du métamorphisme.

### 4.3.4 Secteur Saw Mill

Les pyrites observées dans les lames de Saw Mill sont homogènes, sans différenciation de famille. Elles sont sub-idiomorphes en cristaux de 0,5 à 1 mm et sont zonées : elles présentent un cœur poreux (>25% de pores/inclusions) avec remplissage de quartz principalement et une bordure massive (dépourvue d'inclusion) idiomorphes (Figure 4.4g). Le principal sulfure de métaux de base sur Saw Mill est la sphalérite (Figure 4.3c). Elle se développe sous forme de veinules qui recourent les pyrites analysées (Figure 4.4g). La pyrrhotite est localement abondante dans certaines lames, en cristaux massifs et

recristallisés englobant des cristaux à texture granulaire, sub-arrondis de pyrite (Figure 4.4h).

#### 4.3.5 Indice David et du Chemin de fer

Sur l'indice David et du Chemin de fer, il faut distinguer les pyrites en cristaux micrométriques formant des lits (200  $\mu\text{m}$  d'épaisseur) au sein des tufs (Figure 4.4i), des pyrites xénomorphes millimétriques retrouvées dans les brèches à hyaloclastites (Figure 4.4j). Les pyrites au sein des hyaloclastites sont souvent en association avec de la chalcopryrite (Figure 4.4j). La chalcopryrite se présente sous forme de cristaux micrométriques xénomorphes contenus dans le matériel vitreux des hyaloclastites.

#### 4.3.6 Indice ICON

Deux générations de pyrites sont présentes sur l'indice ICON. La figure 4.2 illustre une famille poreuse riche en inclusions de sulfures économiques, soit de la sphalérite principalement. Toutefois, une importante fraction des pyrites rencontrées dans la lame polie sur ICON est idiomorphe et massive avec très peu d'inclusions (Figure 4.4k). Ces pyrites massives, en partie recristallisées pendant le métamorphisme, sont toutefois environnées par la sphalérite et la chalcopryrite (Figure 4.3e et 4.4k).

#### 4.3.7 Parc Allard

L'échantillon du Parc Allard provient d'un bloc sulfuré au sein des tufs à lapillis-blocs typiques du Membre d'Allard. Les pyrites de cet échantillon sont en grains micrométriques et forment des amas nodulaires millimétriques (Figure 4.4l). Ces amas possèdent une bordure de pyrite idiomorphe associée à de la magnétite (Figure 4.4l). Enfin, des veinules plurimicrométriques de pyrite plus tardive recoupent à la fois les amas

nodulaires et leurs bordures à pyrite-magnétite. Ces différentes familles de pyrites sont intéressantes à relever puisqu'elles reflètent plusieurs épisodes d'activité hydrothermale. Il y a donc un enregistrement d'au moins 3 stades de minéralisation avant le dépôt des matériaux volcano-sédimentaires du Membre d'Allard.

#### 4.3.8 Mine Lemoine

A la mine Lemoine, les pyrites sont principalement en cristaux xénomorphes (>1 mm) à faible arrondi et faible sphéricité, très poreux (15% de pores et inclusions : Figure 4.4m). Des pyrites idiomorphes, plus fine (0,5 mm) et sans inclusions sont également présentes (Figure 4.4m). L'étude pétrographique montre que la sphalérite est le minéral opaque le plus abondant, après la pyrite (Figure 4.3e). Toutefois, les pyrites framboïdales possèdent une grande majorité d'inclusions de chalcopryrite (Figure 4.4m).

### 4.4 Résultats des analyses LA-ICP-MS

Cinq familles de pyrites sont distinguées par Genna et Gaboury (2015). Leurs caractéristiques sont résumées au tableau 4.2. La distinction de ces types de pyrites est rendue possible par les changements de conditions des fluides hydrothermaux volcanogènes, et de l'impact de ces changements sur le comportement géochimique de certains éléments retrouvés dans les pyrites. Pour le gisement de Bracemac-McLeod à Matagami, les pyrites I ont une texture très fine et sont riches en inclusions de sphalérite, chalcopryrite et silicates (Genna et Gaboury, 2015). Ces textures indiquent une nucléation rapide (Butler et al. 2000), ce qui explique leur fort enrichissement en plusieurs éléments traces (Scott et al. 2009) et donc la position de leur champ de précipitation dans la figure 4.5 (Se/Tl vs As). En outre, ces pyrites semblent co-précipiter seules, leur permettant

d'intégrer beaucoup d'éléments traces et donnant aux zones minéralisées associées un faible caractère économique. Les pyrites II possèdent quant à elles la plus forte quantité de Tl, d'où un champ légèrement plus bas que celui des pyrites I dans la figure 4.5. Cet élément possède un comportement très similaire à celui du Zn dans les fluides volcanogènes (Xiong 2007). Cette famille se forme donc en association avec la sphalérite, dans des zones fortement économiques. Les pyrites III co-précipitent avec la chalcopryrite et montrent un enrichissement en Se, un élément souvent concentré dans les roches hôtes de SMV récents et anciens riches en Cu (Auclair et Fouquet 1987). Les pyrites IV se forment durant la recristallisation à haute température ( $>350^{\circ}\text{C}$ ) de pyrites primaires et en co-précipitation avec la magnétite. Cette famille a une concentration en Tl encore plus élevée, car cet élément se substitue au S et reste donc au sein des pyrites lors de leur recristallisation. Un phénomène identique a lieu avec les pyrites V, créées à des conditions métamorphiques, expliquant leur enrichissement en Se et la position de leur champ de formation dans le diagramme Se/Tl vs As (Figure 4.5).

Les résultats des analyses LA-ICP-MS sont présentés en figure 4.5, tableau 4.3 et en annexe 2. La figure 4.5 correspond à des diagrammes binaires Se/Tl vs As sur lesquelles les champs de formation des cinq familles de pyrites hydrothermales sont représentés. Ces diagrammes ont été produits pour chaque secteur principal et secondaire de minéralisation étudiée.

Plusieurs populations sont différenciées pour la plupart des secteurs. Ces populations ont été définies car : 1) elles regroupent des pyrites au comportement en As, Se, et Tl similaires ; et 2) elles peuvent être expliquées par des caractéristiques

pétrographiques ou génétiques. Ces explications sont discutées dans la section suivante (section 4.5). Les éléments suivant sont résumés au tableau 4.3.

#### 4.4.1 Gisement Lac Scott

De par l'étendue des lentilles du gisement Lac Scott, c'est le seul secteur sur lequel des populations sont différenciées selon des considérations géométriques. Ainsi, la population (1) (Figure 4.5a) regroupe les analyses provenant des lentilles Ouest, Gap et « 34 » Zinc alors que la population (2) inclut la lentille CFO et des zones d'alimentation sous-jacentes la lentille Ouest. Bien que ces deux populations soient dans le champ des pyrites III, la (2) possède des ratios Se/Tl légèrement plus forts. Comme pour Indian Lake, les analyses réalisées sur des pyrites idiomorphes et dépourvues d'impuretés donnent des populations à plus forts ratios Se/Tl (population 4, champ V, Figure 4.5a). Les pyrites en association avec une plus forte quantité de pyrrhotite que d'autres sulfures (population 3) ne rentrent pas dans les champs définis par Genna et Gaboury (2015). En outre, ces pyrites montrent une granulométrie plus grossière (0,5 mm) et sont sub-idiomorphes.

#### 4.4.2 Secteur Lac Taché - Km25

Les pyrites du Lac Taché ne forment qu'une population dans le champ des pyrites IV (Figure 4.5b), qu'elles soient échantillonnées dans les lentilles ou les conduits d'alimentation des fluides. Une analyse (#136-3) de pyrite donne une signature dans le champ III. L'échantillon provient d'une lentille de sulfures massifs, et aucun critère pétrographique ne permet d'expliquer cette signature particulière.

Les populations (1) et (2) du Km25 (Figure 4.5c) sont issues d'échantillons provenant respectivement de lentilles de sulfures semi-massifs et de formation de fer.

C'est donc des échantillons d'origine différente qui explique ces deux populations. La population (3) regroupent les analyses sur des pyrites idiomorphes et massives.

#### 4.4.3 Secteur Indian Lake

Sur Indian Lake, trois populations sont distinguées (Figure 4.5d). La population (1) se situe dans les champs des pyrites type II et comprend des cristaux poreux riches en inclusions. L'échantillon provient des lentilles concordantes identifiées à l'interface des turbidites. La population (3) provient du même échantillon mais est caractérisée par des pyrites idiomorphes sans inclusion. La population (2) correspond aux pyrites provenant des failles syn-volcaniques, servant d'alimentation aux lentilles concordantes, et expose de plus forte température de formation (pyrites type III).

#### 4.4.4 Secteur Saw Mill

Sur Saw Mill, l'ensemble des analyses réalisées forme une seule population, dans le champ des pyrites III voire IV (Figure 4.5e). Aucune explication pétrographique ou génétique permet d'expliquer les quelques analyses du champ IV.

#### 4.4.5 Indices David et du Chemin de fer

Les pyrites provenant de fins horizons de sulfures au sein des tufs felsiques correspondent à la population (1), dans le champ III. En revanche, les analyses réalisées au sein des échantillons de brèches à hyaloclastites sont hors-champs (Figure 4.5f). Les pyrites pures et idiomorphes donnent la population (3) dans le champ V.

#### 4.4.6 Autres secteurs

Sur ICON, c'est la sphalérite qui domine le volume des inclusions au sein des pyrites, et les analyses sur ces dernières les placent dans le champ II (Figure 4.5g). Au Parc Allard,

les pyrites les plus fines formant des amas nodulaires ne sont associées à aucun autre sulfures ou oxydes et donnent la population (1). Les pyrites recristallisées et en co-précipitation avec la magnétite sont situées dans le champ IV (Figure 4.5h). A la mine Lemoine, les pyrites poreuses et très riches en inclusions de chalcopryrite (jusqu'à 10 % d'inclusions) appartiennent au champ III (Figure 4.5i), tandis que les pyrites idiomorphes et massives donnent des ratios Se/Tl plus élevés, rapprochant leur signature du champ V (Figure 4.i).

#### **4.5 Interprétation des résultats LA-ICP-MS**

Sur l'ensemble des secteurs travaillés, la grande majorité des analyses *in-situ* des pyrites se placent dans les champs définis dans Genna et Gaboury (2015). Deux conclusions peuvent en être tirées. (1) Comme les champs de formation ont été définis pour des pyrites précipitées à partir de fluides hydrothermaux volcanogènes, c'est donc un argument supplémentaire pour l'affinité volcanogène des secteurs étudiés. (2) Les résultats des analyses LA-ICP-MS sur des pyrites du district de Chibougamau-Chapais valident l'utilisation d'éléments traces tels que Se, Tl et As pour caractériser la température de formation des pyrites et donc la fertilité potentielle des systèmes hydrothermaux pour des contextes analogues à celui de Matagami. Pour chaque secteur, au moins une population de pyrites se situe dans les champs de formation II à IV. Les pyrites de types I ne proviennent pas de processus hydrothermaux suffisamment chaud pour minéraliser en métaux de base. A l'inverse, si une zone n'est définie que par des pyrites type V, cela signifie que les pyrites sont essentiellement issues de fluides métamorphiques tardifs. Ainsi, selon les résultats ici exposés, les systèmes

hydrothermaux à l'origine des minéralisations rencontrées ont tous atteint une certaine maturité nécessaire à la précipitation de minéraux économiques comme la sphalérite ou la chalcopyrite.

Pour certains secteurs, des interprétations plus poussées peuvent être dégagées. Pour la majorité d'entre eux, il a été possible de distinguer clairement les pyrites recristallisées pendant le métamorphisme, soit sur la base de critères pétrographiques, soit sur leur signature en métaux. Indian Lake est un bon exemple. En effet, bien que la population (3) ne soit pas située dans le champ V (Figure 4.5d), les pyrites la composant proviennent du même échantillon que la population (1) (Tableau 4.3). On observe une nette augmentation du ratio  $Tl/Se$  sur les pyrites montrant une texture idiomorphe caractéristique d'une recristallisation métamorphique. Ce phénomène est identifié sur le Lac Scott, Km25, Mine Lemoine, et ICON également (Figure 4.4a, 4.4c, 4.4i et tableau 4.3). Sur Indian Lake, il est aussi possible de distinguer grâce aux analyses *in-situ* des pyrites, les échantillons provenant des zones d'alimentation discordantes (population 2) de ceux prélevés sur les lentilles concordantes (population 1). Il est connu que les conduits d'alimentation dans les contextes volcanogènes enregistrent les plus fortes températures de fluides, ce qui n'est pas forcément le cas des lentilles. C'est ce qui est observé sur Indian Lake, avec des pyrites type II pour les lentilles, et des pyrites type III, et donc de plus forte température pour les échantillons provenant des conduits d'alimentation (Figure 4.4d).

Au Lac Scott, les pyrites clairement volcanogènes formées aux plus hautes températures (population 2) proviennent de la lentille CFO et des stockwerks d'alimentation sous la lentille Ouest. Ces deux zones d'échantillonnages sont situées

particulièrement en profondeur dans le gisement. En outre, la lentille CFO se distingue par de forts ratios Cu/Zn (Tableau 4.4), en comparaison avec les autres sections minéralisées. La quantité de cuivre, par rapport au zinc, ainsi que la grande profondeur des échantillons sont caractérisés par une plus forte température de formation des pyrites, et sont des critères qui peuvent être investigués par LA-ICP-MS. La population (3) ne correspond en revanche à aucun champ de formation de pyrite volcanogène. Celle-ci se démarque par l'abondance de la pyrrhotite en contact avec les pyrites analysées. Il est ici proposé que cette population et la pyrrhotite associée soit causées par l'introduction du pluton de Chibougamau, déjà connu pour son effet de recristallisation des sulfures dans certaines parties du gisement. En effet, les pyrites de la population (3) ont une granulométrie plus grossière (0,5 mm) et sont sub-idiomorphes.

Sur le Lac Taché, la magnétite est omniprésente. Sur le terrain, elle a surtout été reconnue au sein des faciès effusifs, remplaçant la matrice des fractions les plus perméables, ainsi que sous formes de veinules massives concordantes et discordantes dans les laves et les tufs. L'étude pétrographique a montré qu'elle est également présente sous forme d'inclusions au sein des cristaux de pyrites analysées au LA-ICP-MS. Ces pyrites prennent une signature Se/Tl vs As dans le champ IV de Genna et Gaboury (2005). Ce champ correspond aux plus hautes températures atteintes par le fluide lors de l'évolution du système hydrothermal volcanogène, et coïncide avec les conditions de précipitations de la magnétite. En plus des pyrites type IV et de la magnétite, les minéralisations sulfurées se forment en remplacement causé par une silicification préalable très importante des tufs mafiques. Les lentilles concordantes sont en outre alimentées par des

couloirs de brèches hydrauliques, indiquant une forte pressurisation par les fluides de l'environnement proximal. Puisque des veinules de magnétites et de sulfures recourent l'unité de tufs silicifiés, la forte température à l'origine des magnétites s'accompagnent certainement d'une pression des fluides suffisamment importante pour fracturer les tufs imperméables. Le Lac Taché est donc un parfait exemple d'un système hydrothermal ayant atteint une forte maturité, et dans lequel l'évolution peut être documentée, débutant par une silicification à basse température suivi par la venue des sulfures et de la magnétite de haute température (400°C : (Galley et al. 1995). Des contextes par remplacement et riches en magnétite, analogues à celui du Lac Taché, sont d'ailleurs connus, comme le gisement Ansil à Rouyn-Noranda (Galley et al. 1995). Toutefois, il existe également des magnétites hydrothermales précipitant à faible température (<200°C : (Nadoll et al. 2012; Nadoll et al. 2014). Il est possible de différencier les magnétites de basses ou hautes températures en fonction de leur contenu en éléments traces, et tout particulièrement en éléments à larges rayons ioniques. Les magnétites de plus hautes températures auront une quantité importante d'éléments traces (Nadoll et al. 2014). Dans ce projet, aucune analyse géochimique *in-situ* n'a été menée sur les magnétites. Selon Genna et Gaboury (2015), les magnétites associées aux pyrites type IV viennent remplacer ces dernières. La signature en éléments traces des magnétites de haute température doit donc être équivalente à celles des pyrites IV. Celles-ci sont relativement pauvres en éléments traces (Genna et Gaboury, 2015), puisqu'elles ont été dépourvues de leur cortège élémentaire lors de leur recristallisation depuis les pyrites de basse température préalablement formées. Ainsi, bien qu'il soit possible de précipiter des magnétites hydrothermales de basse et haute

température, il est ici retenu que les magnétites du Lac Taché, co-génétiques aux pyrites de type IV, soient issues d'un épisode hydrothermale de haute température.

Sur le secteur Km25, les populations différenciées proviennent d'échantillons différents. A nouveau, la magnétite est reconnue au sein des roches hôtes et les pyrites issues de lentilles sulfurées (population 1) sont apparentées à un type III à IV. Les échantillons issus des formations de fer carbonatées et sulfurées se distinguent très bien par une plus faible quantité d'As et un très fort ratio Se/Tl. Toutefois, la population (2), correspondant aux formations de fer, ne reflète certainement pas la température d'exhalaison mais plutôt celle du remplacement de la sidérite par la pyrite.

La population (2) de l'Indice David ne rentre dans aucun champ défini par Genna et Gaboury (2015). Elle correspond pourtant aux pyrites formées en association avec la chalcopryrite au sein de brèches volcaniques à hyaloclastites. La quantité d'As est de un à deux ordres de grandeur trop faible pour des pyrites attendues comme un type III. Cette population est par ailleurs très riche en inclusions de silicates (jusqu'à 15 % du volume des pyrites analysées), ce qui pourrait avoir un effet important de dilution du signal des sulfures pour leur contenu en As.

Les secteurs de la Mine Lemoine et d'ICON illustrent parfaitement le fonctionnement des diagrammes Se/Tl vs As. Pour Lemoine, les inclusions dans les pyrites analysées sont très majoritairement composées de chalcopryrite. La population (1) a une signature typique dans le champ III. A l'inverse, les pyrites analysées sur ICON possède une plus forte quantité de sphalérite en inclusions, donnant aux pyrites de la population (1) une signature dans le champ II. Ces deux secteurs montrent l'efficacité des diagrammes utilisés pour

caractériser l'évolution en termes de températures des systèmes hydrothermaux et donc leur fertilité potentielle en Zn ou en Cu.

Enfin, au Parc Allard, l'évolution d'un système hydrothermal peut également être décrite. L'hydrothermalisme débute à un stade de basse température (250°C, population 1 - type II) et termine par un stade de haute température (>350°C, population 2 - type IV) associé à la magnétite. Le déroulement de l'activité hydrothermale a lieu avant le dépôt des tufs puisque l'échantillon analysé provient d'un bloc de sulfures massifs dans une matrice de tufs non affectés par l'altération hydrothermale. La durée de l'activité hydrothermale peut donc être cernée dans un intervalle de temps réduit, entre la précipitation des sulfures et le volcanisme clastique associé aux formations de tufs cherteux du Membre d'Allard.

Tableau 0-1 : Lames polies et nombres d'analyses LA-ICP-MS par secteurs et types d'échantillons

Secteur	Nombre de lames	Type d'échantillon	Nombre d'analyses	Numéros de lames polies
Lac Scott	8	"34" Zinc	4	13
		Lentille Gap	5	14
		Lentille Ouest	10	16-1 ; 16-2 ; 17
		Lentille Centrale	3	20
		Lentille CFO	3	19
		Stringer de PY	4	18
Lac Taché	7	Lentilles & feeders	27	39 ; 125 ; 128 ; 131 ; 133 ; 136 ; 139
Km-25	3	Lentilles de sulfures massifs	8	51 ; 48
		Formation de fer	4	52
Indian Lake	4	Lentilles de sulfures massifs	9	84-1 ; 84-2
		Failles syn-volcaniques - feeders	7	113 ; 119
Saw Mill & Km-08	5	Sulfures semi-massifs	29	27-1 ; 27-2 ; 67-1, 67-2, 72, 96
Indice David et Chemin de fer	4	Sulfures semi-massifs dans tufs	11	29 ; 56-1 ; 56-2 ;
		Hyaloclastites remplacées	10	61-1 ; 61-2
Parc Allard	1	Blocs de sulfures massifs dans tufs à blocs	6	86
ICON	1	Lentilles de sulfures massifs	6	7
Chrissie	1	Lentilles de sulfures massifs	5	144
Mine Lemoine	2	Lentilles de sulfures massifs	11	146 ; 147

Tableau 0-2 : Les différentes familles de pyrites individualisées par Genna et Gaboury (2015) en fonction de leur paragenèse et de leur température de précipitation

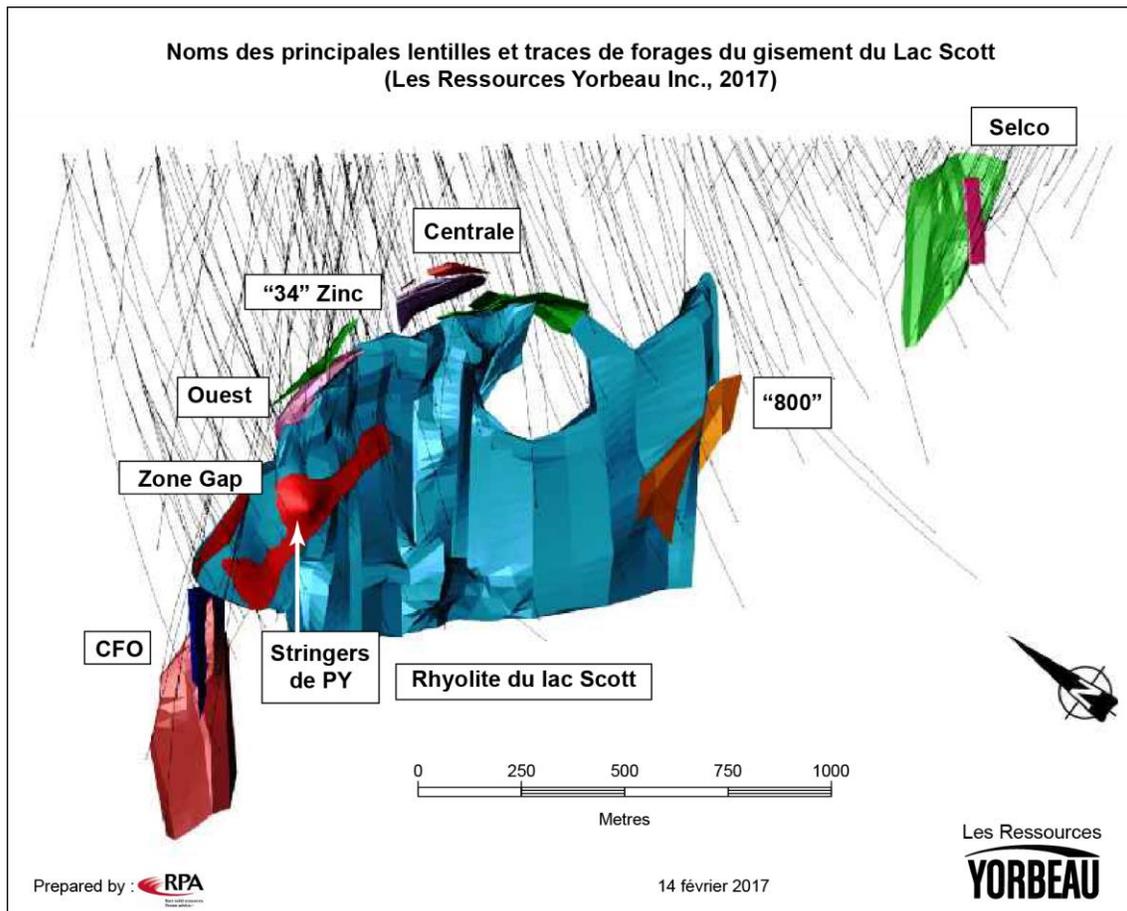
Familles	Température de formation	Minéral associé	Caractère économique des zones minéralisées correspondantes
Pyrite I	<250°C	Sphalérite	Faible
Pyrite II	250°C	Sphalérite	Fort
Pyrite III	300°C	Chalcopyrite	Fort
Pyrite IV	>350°C	Magnétite	Faible à nul
Pyrite V	Conditions métamorphiques	-	Nul

Tableau 0-3 : Populations de pyrites distinguées pour chaque secteur selon leur signature en Se/Tl vs As et lien avec la nature des échantillons et la pétrographie

Secteur	numéro de population	Signature	Famille de Py (Genna & Gaboury, 2015)	Provenance des échantillons et/ou pétrographie des Py
Indian Lake	1	As fort, Se/Tl faible	II	Lentille de sulfures massifs, Py poreuse
	2	As faible, Se/Tl fort	III	Faïlle syn-volcanique et feeders, Py poreuse
	3	As et Se/Tl fort	III à V	Lentille de sulfures massifs, Py idiomorphe sans inclusion
Lac Scott	1	As moyen, Se/Tl moyen	III	Lentille Ouest, GAP et "34" Zinc. Py poreuse
	2	As moyen, Se/Tl fort	III à IV	Lentille CFO et stringers de Py. Py poreuse
	3	As faible, Se/Tl moyen	Hors champs	Py associée à Po
	4	As fort, Se/Tl fort	III à V	Py idiomorphe sans inclusions
Lac Taché	-	As faible, Se/Tl fort	IV	Lentille & feeders, Py associée à Mt
	1	As moyen, Se/Tl moyen	III à IV	Lentille de sulfures massifs, Py poreuse
Km-25	2	As faible, Se/Tl fort	IV	Formation de fer
	3	As moyen, Se/Tl fort	IV à V	Py idiomorphe sans inclusions
Saw Mill	-	As moyen, Se/Tl moyen	III à IV	Lentilles et feeders
Indices David et du Chemin de fer	1	As moyen, Se/Tl moyen	III	Horizons de sulfures massifs dans tufs
	2	As faible, Se/Tl moyen	Hors champs	Brèches à hyaloclastites
	3	As moyen, Se/Tl fort	IV à V	Py idiomorphe sans inclusions
Mine Lemoine	1	As moyen, Se/Tl moyen	III	Py poreuse riche en inclusions de Ccp
	2	As fort, Se/Tl fort	V	Py idiomorphe sans inclusions
ICON	1	As fort, Se/Tl faible	II	Py poreuse riche en inclusions de Sph
	2	As fort, Se/Tl fort	V	Py idiomorphe sans inclusions
Parc Allard	1	As fort, Se/Tl faible	II à III	Py poreuse en amas nodulaires
	2	As faible, Se/Tl fort	IV	Py idiomorphe associée à Mt

Tableau 0-4 : Moyenne des ratios Cu/Zn par forages et zones minéralisées du gisement Lac Scott

Lentille	Trou	Nombre d'analyses	Moyenne Cu/Zn par forage	Moyenne Cu/Zn par zone minéralisée
"34" Zinc	SC-34	33	0,80	0,80
Stringers Py	SC-34	188	1,22	1,22
Centrale	SC-66	30	0,50	0,50
CFO	SC-53W	31	5,08	5,13
	SC-93-106W	118	5,19	
GAP	SC-53W6	49	9,17	4,34
	SC-83	72	2,80	
	SC-83W	70	2,51	
	SC-87W2	122	2,87	
Ouest	SC-72	120	0,86	0,86



*Figure 0-1 : Représentation pseudo-3D du gisement Lac Scott (modifié de Salmon et McDonough (2011))*

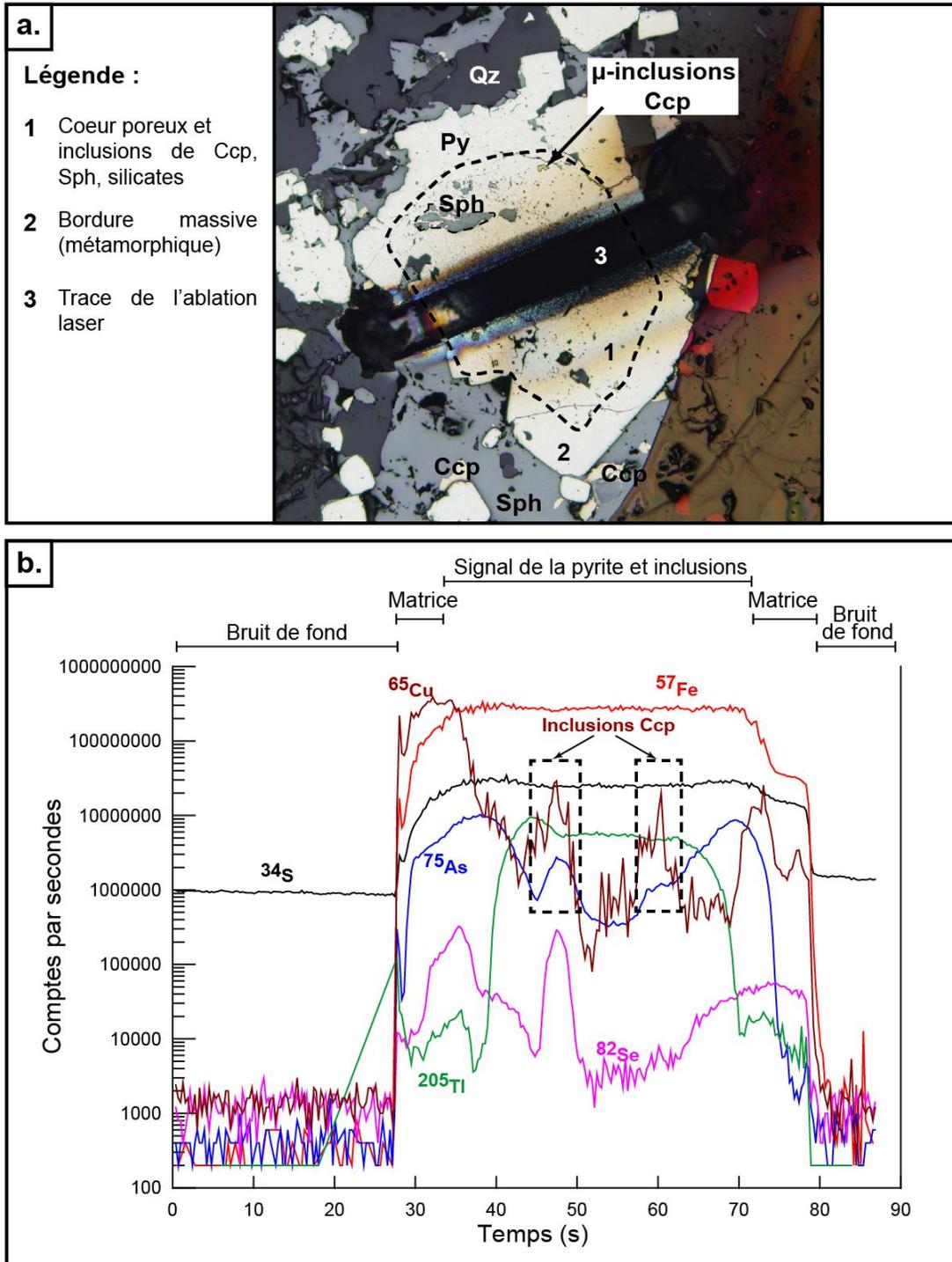
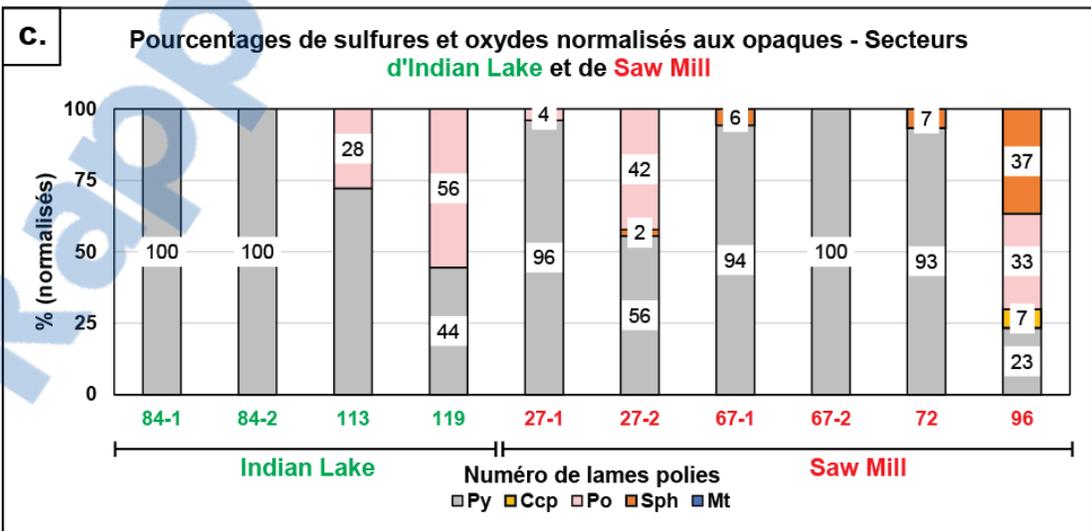
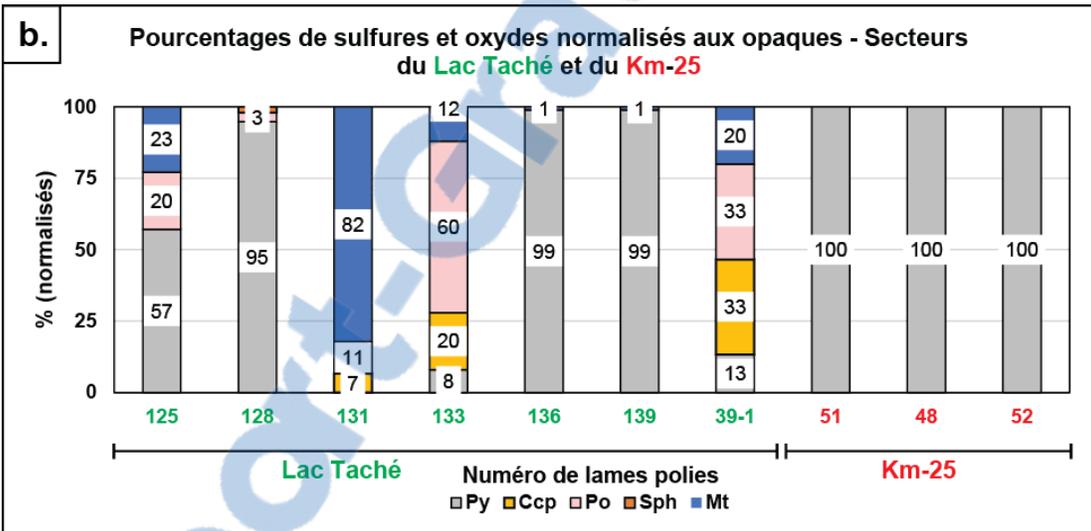
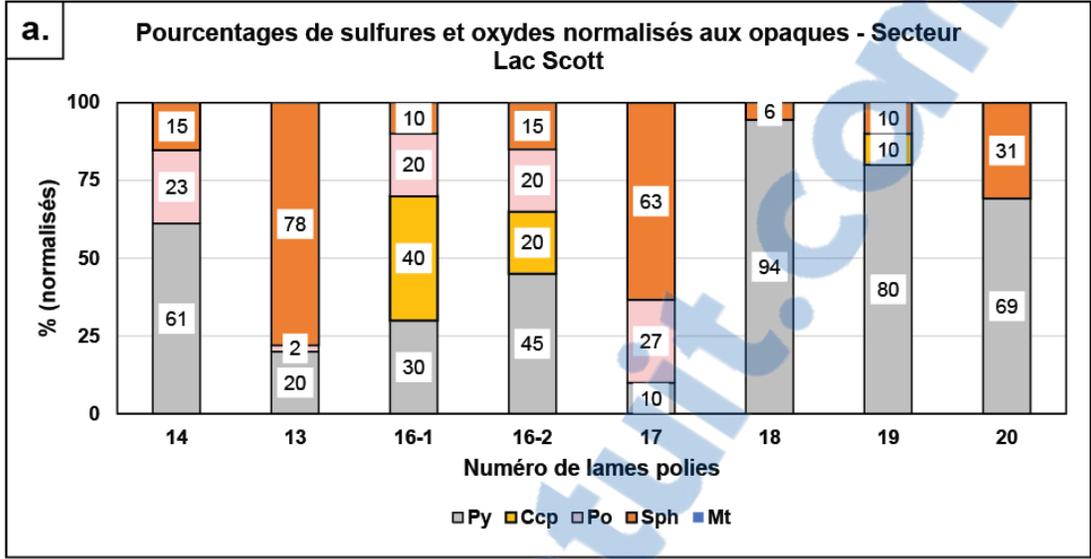


Figure 0-2 : Illustration d'un signal de pyrite zonée, exemple sur un échantillon de l'indice ICON



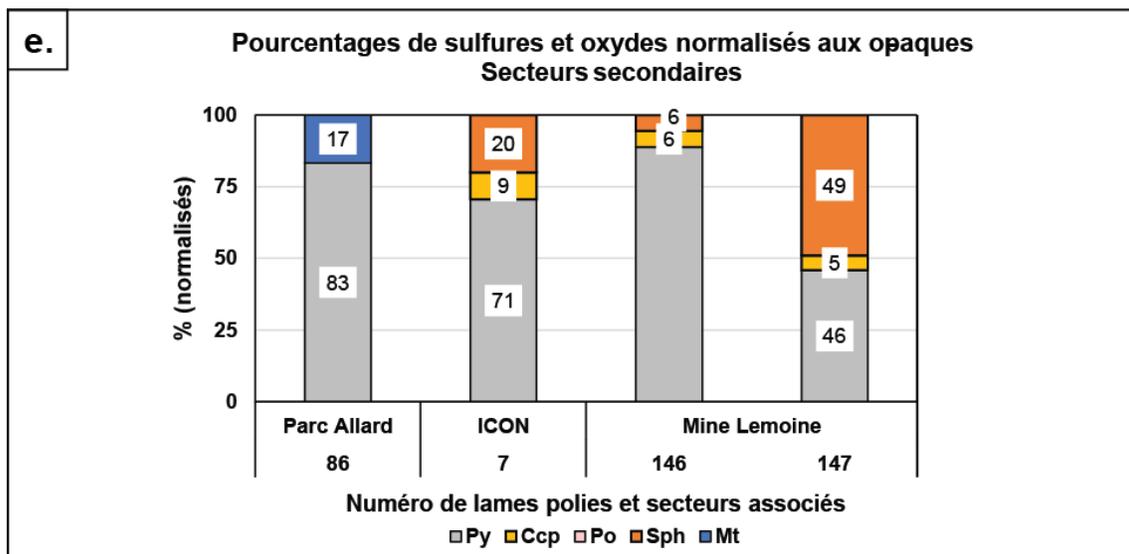
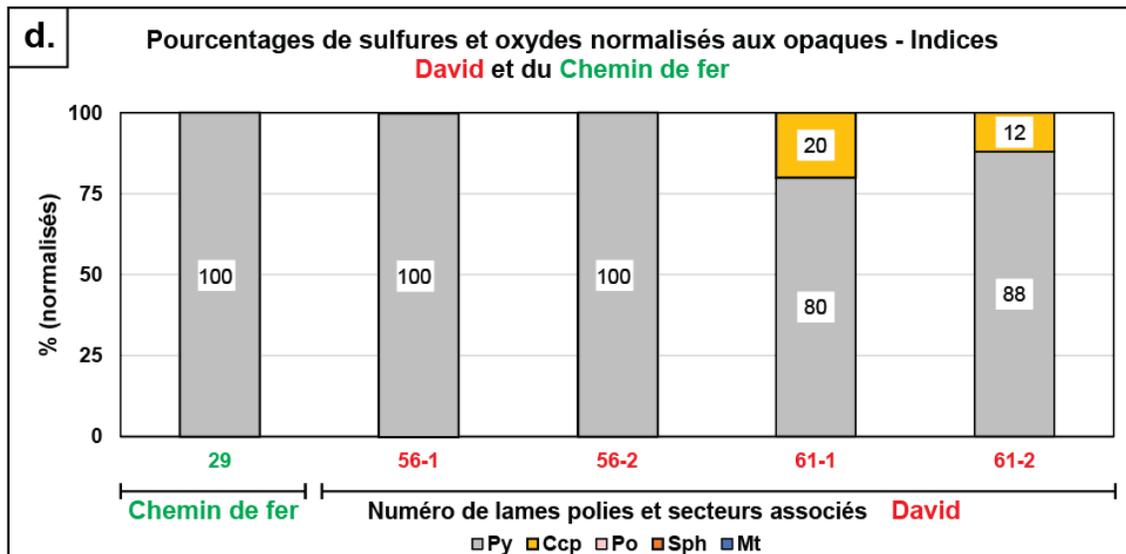


Figure 0-3 : Pourcentages des sulfures normalisés à 100 % opaques par secteur ou par lame mince

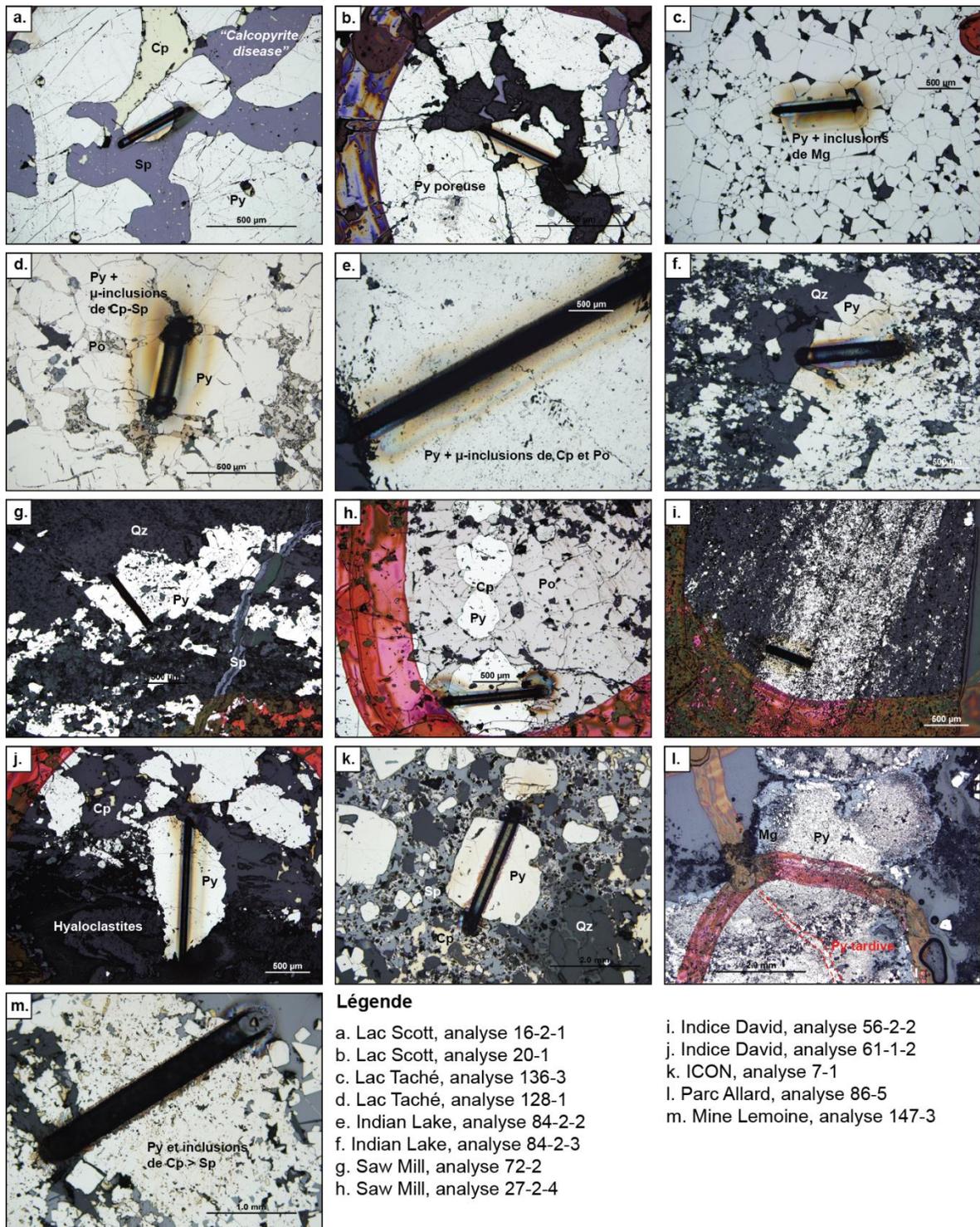
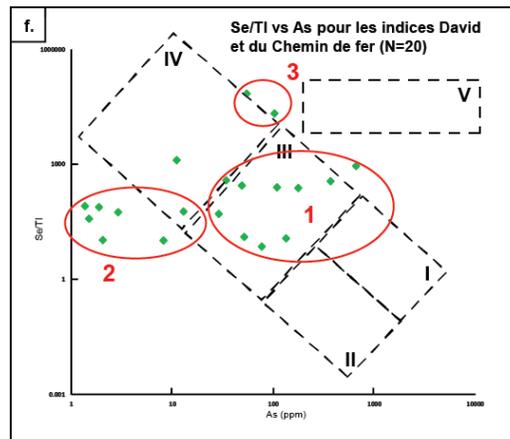
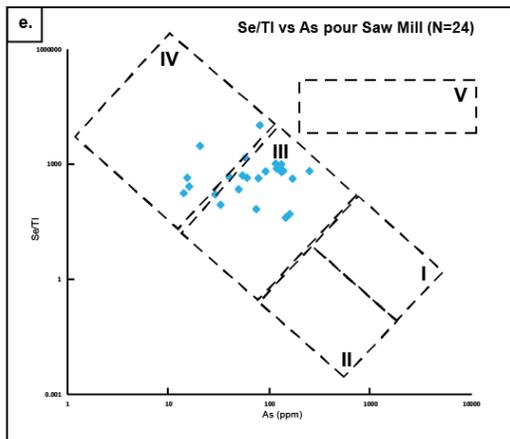
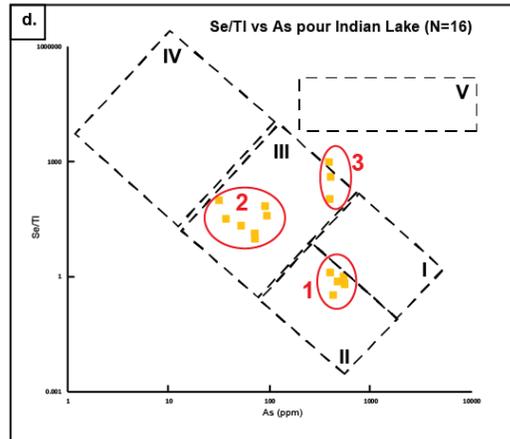
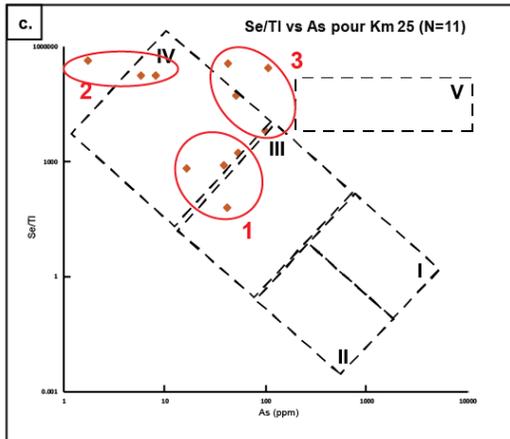
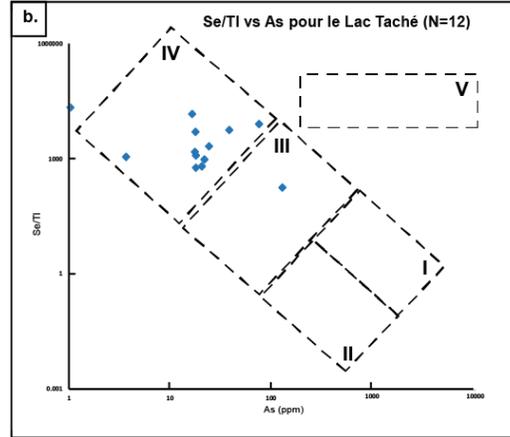
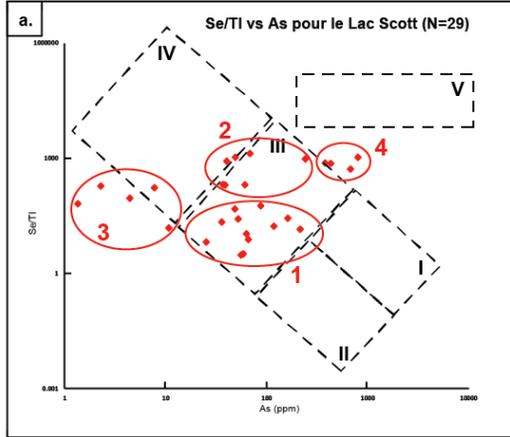


Figure 0-4 : Photographies de lames polies par secteurs



**Familles de pyrites :**

**Pyrite I :** Nodulaire, 250°C, associée à Sph

**Pyrite II :** Sub-idiomorphe, 250°C, associée à Sph

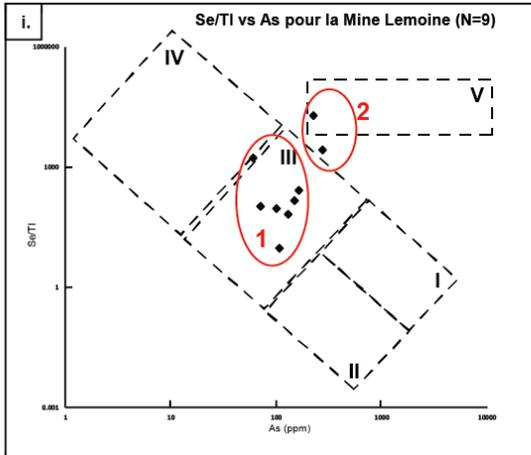
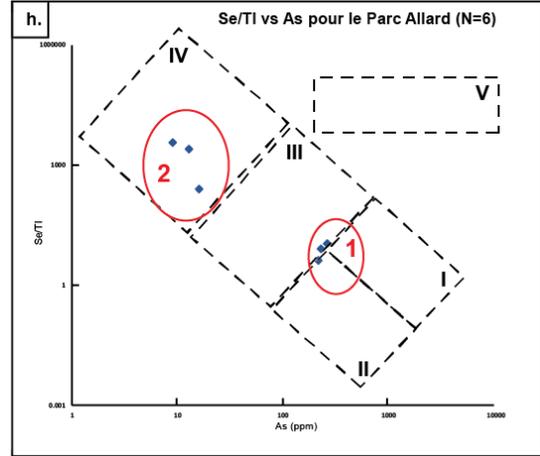
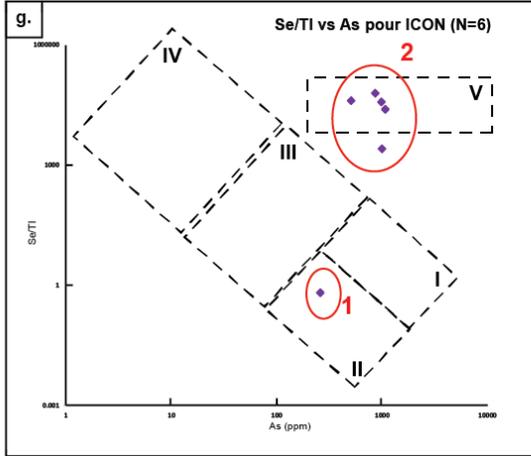
**Pyrite III :** Sub-idiomorphe, 300°C, associée à Ccp

**Pyrite IV :** Partiellement remplacée par Mt, >350°C

**Pyrite V :** Idiomorphe, métamorphique

**Légende :**

 Populations de pyrites par secteurs



**Familles de pyrites :**

- Pyrite I :** Nodulaire, 250°C, associée à Sph
- Pyrite II :** Sub-idiomorphe, 250°C, associée à Sph
- Pyrite III :** Sub-idiomorphe, 300°C, associée à Ccp
- Pyrite IV :** Partiellement remplacée par Mt, >350°C
- Pyrite V :** Idiomorphe, métamorphique

Populations de pyrites par secteurs

Figure 0-5 : Diagrammes Se/Tl vs As (champs issus de Genna et Gaboury 2015) par secteurs

## 5. Cinquième chapitre :

### Discussion

Les trois précédents chapitres constituent chacun un jeu de données géologiques visant à démontrer un des sous-objectifs de la maîtrise. Ainsi, le chapitre 2 « Evidence d'expressions volcanogènes » permet d'affirmer que les indices visités correspondent bien à un modèle génétique SMV. Le troisième chapitre complète les paramètres lithologiques du chapitre 2 avec des données lithogéochimiques afin de proposer un locus stratigraphiques des minéralisations. Enfin, le chapitre 4 « Fertilité des systèmes hydrothermaux » porte sur le cortège en éléments traces des pyrites dans le but de caractériser les stades d'évolution des fluides minéralisateurs et de tester l'origine volcanogène des pyrites.

Cette section revient sur les principaux résultats et interprétations issus de chaque chapitre afin de répondre à l'objectif global de la maîtrise : la démonstration d'un potentiel en minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes à Chibougamau-Chapais. C'est seulement par l'intégration des différents jeux de données exposés dans les chapitres 2, 3 et 4 que certaines propositions à une échelle régionale pourront être dégagées. C'est pourquoi la discussion suivante est organisée conformément à la chronologie relative des événements géologiques à l'origine des phénomènes décrits dans le mémoire. Le découpage suivant reflète donc également la stratigraphie admise à Chibougamau-Chapais. Cette discussion débute par l'illustration des deux modes de minéralisation possibles dans un contexte de SMV : remplacement et exhalaison (section 5.1). Ces types

de minéralisations ont notamment été étudiés dans le Membre de David, à travers l'indice éponyme et celui du Chemin de fer, dans un découpage stratigraphique jusqu'à présent considéré comme peu favorable au développement de SMV. Le second point (section 5.2) traite des événements hydrothermaux volcanogènes qui surviennent à l'interface entre le Membre de David et la Formation de Waconichi, grâce aux données issues des indices du Lac Taché, Km25, ICON et du gisement Lac Scott. Il est ici proposé que cette interface, d'ampleur régionale et déjà connue comme fertile pour les SMV, représente la période géologique la plus propice à la conservation de systèmes minéralisés volcanogènes. Le point suivant (section 5.3) repose essentiellement sur les interprétations réalisées sur l'indice Saw Mill, et met l'accent sur une chronologie détaillée de différents épisodes minéralisateurs et leur interaction avec des arrêts dans le volcanisme local. La section 5.4 met en relation deux locations espacées d'une trentaine de kilomètres (le Parc Allard à Chibougamau, et l'indice Indian Lake proche de Chapais) afin d'identifier un marqueur stratigraphique régional et des évidences de télescopage de minéralisations volcanogènes dans la Formation de Waconichi. Enfin, le dernier point (section 5.5) de cette discussion traite des différences entre les centres volcaniques felsiques rencontrés dans le projet et montre que l'étude de ces émissions felsiques est primordiale pour un ciblage efficace des minéralisations de type SMV à Chibougamau-Chapais.

## **5.1 Deux modes de minéralisation dans le Membre de David**

Deux types de minéralisations ont été distinguées au sein de l'indice David et du Chemin de fer : 1) des sulfures disséminés au sein d'horizons tuffacés, chertueux ou de volcano-sédiments pélagiques ; et 2) des sulfures en amas semi-massifs au sein de brèches

à matrice hyaloclastique. Ces types de minéralisation illustrent deux modes de mise en place distincts (en remplacement ou exhalatif), bien que tout deux associés à des processus volcanogènes.

### 5.1.1 Remplacement

La cartographie du décapage #05 (Figure 2.15) de l'indice David a révélé la présence d'amas centimétriques semi-massifs de chalcopryrite et pyrite au sein de brèches de coulées à hyaloclastites (Figure 2.16b et c). Ces brèches sont d'ailleurs bordées, à leur base comme à leur sommet, de faciès à mise en place rapide comme des laves massives, ou par des filons-couches (Figures 2.15 et 2.16a). L'observation d'intervalles minéralisés bordés par des faciès rapidement mis en place est l'un des principaux arguments en faveur d'une minéralisation par remplacement selon Doyle et Allen (2003). Sur la carte du décapage David #01 (Figure 2.14), ces brèches sont considérablement moins épaisses que sur David #05, mais apparaissent à intervalle régulier (une douzaine de mètres), laissant supposer que ce type de minéralisation se répète de manière régulière au sein du Membre de David.

### 5.1.2 Arrêt du volcanisme et exhalaisons

Des périodes de relatif calme volcanique sont identifiées sur David #01 (Figure 2.14) et sur l'indice du Chemin de fer. Elles sont reflétées par des horizons d'épaisseur variable de tufs cherteux minéralisés en sulfures (Figures 2.16a et d). Le régime d'effusion se fait faible voire nul suffisamment longtemps pour accumuler les dépôts de volcano-sédiments pélagiques. Ce calme est propice au développement et à la conservation de minéralisations issues de processus exhalatifs, SMV ou formation de fer. Par ailleurs,

l'occurrence de bandes cherteuses au sein des tufs est un argument supplémentaire pour démontrer le caractère exhalatif de l'activité hydrothermale. L'indice du Chemin de fer se trouve légèrement plus au Nord, et donc stratigraphiquement plus élevé que l'indice David considérant la polarité orientée vers le Nord dans ce secteur. L'indice du Chemin de fer présente une épaisseur de tufs cherteux bien plus importante (2 mètres et plus) que les mêmes types d'horizons sur David (maximum 1 mètre). Cela implique que les périodes d'arrêt ou de calme dans le volcanisme effusif se font de plus en plus longues vers la fin de ce cycle d'effusion basaltique (soit plus haut dans l'empilement).

### 5.1.3 Nouveau potentiel en minéralisations volcanogènes

Ces deux processus de minéralisations distingués sur David et le Chemin de fer sont également identifiés à travers les signatures en éléments volatils des pyrites. Ainsi, en plus de correspondre à des modes de mise en place différents, les minéralisations sont également issues de fluides dont la signature semble distincte. Dans le cas des horizons tuffacés, et conformément à la théorie de Genna et Gaboury (2015), les fluides ont atteint des températures nécessaires à la précipitation de chalcopyrite (Figure 4.5f). Toutefois, la méthodologie employée par Genna et Gaboury (2015) n'a été testée que sur des lentilles formées par remplacement.

L'Obatogamau, au sud de l'Anticlinal de Chibougamau, possédait un potentiel pour les SMV à travers les indices du Membre des Vents et Fenton notamment (Guha et Chown 1984). En revanche, les faciès d'épandage mafique rapide du Membre de David, au nord de l'Anticlinal de Chibougamau, était jusqu'à présent considérés comme peu prospectifs pour des minéralisations de SMV. Ce contexte laisse pourtant ouvert la possibilité de

remplacement d'horizons perméables. Aussi, des périodes d'arrêt du volcanisme de plus en plus nombreuses et de plus en plus longues sont reconnus vers le sommet du Membre de David. Ces arrêts sont des cibles d'intérêt prioritaire pour le développement de SMV. Néanmoins, il pourrait s'agir d'une longue période de dépôts volcanosédimentaires recoupée par des filons-couches mafiques. Dans ce cas, les minéralisations pourraient avoir été segmentées. Au final, la transition du sommet du Membre de David vers la base de la Formation de Waconichi apparaît des plus favorables, considérant les lentilles massives du Lac Taché, les formations de fer du Km25 et du Membre de Portage au Nord du Lac Chibougamau.

## **5.2 Des expressions proximales et distales à l'interface du Membre de David et de la Formation de Waconichi**

### **5.2.1 Système proximal**

Le volcanisme bimodal est connu comme un contexte particulièrement favorable au développement de sulfures massifs volcanogènes (Galley et al. 1995). Le secteur du Lac Taché expose des intercalations de rhyolites à textures d'écoulement laminaire avec des laves mafiques coussinées (Figures 2.1 et 2.2), caractéristiques du volcanisme bimodal sous-marin. Les roches effusives felsiques ont une très forte viscosité et leur rayon d'épandage est faible : quelques centaines de mètres pour les dômes, un kilomètre pour les coulées (McPhie 1993). L'observation de rhyolites est donc importante puisque cela indique la relative proximité d'un centre d'émission volcanique, et donc un gradient de température élevé, propice au développement de SMV. Au Lac Taché, les lentilles les plus épaisses sont d'ailleurs associées aux décapages présentant le plus gros volume apparent

de rhyolites (Figures 2.1 et 2.2). Le contexte général de formation des lentilles reflète lui aussi un caractère proximal certain. La minéralisation s'effectue en remplacement car (1) des reliques de laves coussinées sont retrouvées au sein des lentilles, et (2) un front de remplacement (Doyle et Allen, 2003) est relevé, avec un contact très net entre les lentilles et les tufs mafiques silicifiés sus-jacents (Figures 2.2 et 2.3e et f). Le remplacement implique la percolation de fluides hydrothermaux au sein de roches perméables, processus nécessitant la proximité des décharges hydrothermales. C'est d'ailleurs sur de tels conduits, traduits par des brèches hydrauliques siliceuses et sulfurés, que semblent être centrés les décapages du Lac Taché.

Le Lac Taché présente plusieurs similitudes avec le gisement du Lac Scott. Dans ce dernier, un contexte bimodal est également clairement identifié (Leclerc et al. 2011, 2012). Les lentilles se développent au sein des rhyolites de Scott, bien que dans la partie sommitale de l'ensemble felsique. Dans le cas du Lac Taché et du Lac Scott, il existe une importante relation de proximité avec les intrusions du Pluton de Chibougamau et du Complexe du Lac Doré. Au Lac Scott, les textures de « *chalcopyrite disease* » peuvent également refléter une minéralisation par remplacement. Les roches felsiques hôtes des lentilles au Lac Scott ont une affinité tholéiitique (Figure 3.3c) tandis que les rhyolites du Lac Taché sont transitionnelles (Figure 3.2a et b). Toutefois, les deux secteurs exposent des minéralisations se situant à une transition entre des ensembles tholéiitiques vers des unités effusives transitionnelles à calco-alcalines selon une polarité Nord.

### 5.2.2 Évidences distales

Puisque les émissions de rhyolites sont des phénomènes très locaux, des dépôts volcanosédimentaires synchrones mais de natures différentes se développent latéralement. Ils sont importants à reconnaître, puisqu'ils traduisent généralement des périodes de calme dans le volcanisme d'épandage effusif, restreint à la création de dômes et coulées felsiques de faibles étendus. Les évidences de tels dépôts distaux par rapports aux centres d'émissions ont déjà été décrites dans le second chapitre (section 2.1) pour le décapage de la Taché #10 (Montagne) et le secteur du Km25 (Figures 2.3, 2.5 et 2.6). L'attribution des secteurs Lac Taché et Km25 à une interface entre les membres de David et d'Allard les placent dans une position stratigraphique identique à celle du Membre de Portage. L'île Portage, et le Membre éponyme, sont caractérisés par l'importance de ses formations de fer, qui sont un exemple de roche distale formée en contexte de SMV. Une formation de fer est d'ailleurs identifiée sur le décapage cartographié au Km25 (Figures 2.4j et 2.6).

### 5.2.3 Le niveau le plus prospectif pour les SMV à Chibougamau ?

Dès lors, il est possible de définir un épisode temporel particulièrement prospectif pour les SMV. Le secteur du Lac Taché serait un analogue au gisement du Lac Scott. Le Lac Taché expose toutefois des températures de fluides minéralisateurs encore plus importantes que celles du Lac Scott, à travers l'omniprésence de la magnétite et une chimie particulière *in-situ* des pyrites (type IV : Figure 4.5b). Ces expressions proximales de systèmes volcanogènes ne se limitent pas à des effusions felsiques kilométriques mais s'expriment aussi de manière distale sur tout l'Est du district de Chibougamau, à travers l'île Portage et le Km25. Il est d'une importance cruciale de pouvoir définir des horizons

marqueurs dans les contextes de SMV. Les découvertes historiques dans le camp de Matagami ont été guidées par la connaissance de la Tuffite Clé comme un marqueur stratigraphique favorable, d'extension latérale régionale. C'est ce qui est ici proposé, à Chibougamau, avec l'horizon Lac Scott – Portage – Km25 – Lac Taché (Figure 3.5). L'extension latérale de cet horizon reste d'ailleurs ouverte vers l'Est, avec l'indice ICON, présentant les mêmes empilements volcanosédimentaires que le Lac Taché, mais selon une polarité supposée inversée (vers le Sud).

### **5.3 Secteur Saw Mill : des arrêts dans le volcanisme au sein du**

#### **Membre d'Andy**

Les résultats des cartographies détaillées sur les décapages Saw Mill #03 et #07 ont permis d'identifier des périodes d'arrêt dans le volcanisme au sein du Membre d'Andy. Toutefois, aucun volume important de minéralisations en sulfures massifs n'a été relevé sur l'ensemble du secteur, malgré des périodes propices au développement de lentilles. Cela pourrait être expliqué par le synchronisme entre la continuité du volcanisme, la sédimentation ou l'érosion de dépôts meubles et l'activité hydrothermale, limitant ainsi la formation de lentilles spécifiques. D'ailleurs les relations de terrain (section 2.3.5.), qui sont synthétisées à la figure 5.1, supportent cette interprétation.

L'édification des roches observées sur Saw Mill débute par le dépôt des laves mafiques aphyriques ( $t_1$ , Figure 5.1). L'activité hydrothermale ( $t_1$  à  $t_7$  Figure 5.1) à l'origine des brèches hydrauliques et stringers sulfurées dans ces laves aphyriques commence pendant leur mise en place. L'arrêt dans le volcanisme effusif, identifié grâce

au repos discordant des roches volcanoclastiques sur les laves, survient dès  $t_2$  (Figure 5.1), et coïncide avec la création d'une potentielle lentille minéralisée. De manière synchrone à la formation de lentille, le régime d'érosion et de sédimentation sous-marin évolue vers un état très énergétique. Ces conditions ont probablement pour effet l'érosion et le transport des sulfures massifs, et leur remaniement en lentille concordante au sein des tufs lités et granoclassés observés sur Saw Mill #07 ( $t_2$  à  $t_4$ , Figure 5.1). En effet, les lentilles relevées sur Saw Mill #07 prennent place au sein d'une formation aux figures sédimentaires dénotant un régime de haute énergie, non propice au développement de lentilles sulfurées primaires. Il est donc ici proposé que les sulfures primaires subissent un transport, depuis les cheminées exhalatives de Saw Mill #03, et se reconcentrent en lentilles massives remaniées par différentiel gravitaire avec les matériaux silicoclastiques. Le dépôt des formations volcanosédimentaires se poursuit de  $t_4$  à  $t_6$  (Figure 5.1), considérant l'épaisseur (>30 mètres) des tufs à lapilli-blocs. Dès  $t_5$  (Figure 5.1), l'influence des processus sédimentaires se fait moindre, au profit d'une reprise du volcanisme effusif, comme le traduisent les brèches à fragments améboïdaux porphyriques surmontant les tufs à blocs. Ces coulées effusives sont d'ailleurs très probablement alimentées par l'essaim de « *feeder dykes* » porphyriques relevés sur Saw Mill #07 (Figure 2.13). En outre, les bordures de ces dykes sont minéralisées, soulignant la poursuite de l'activité hydrothermale pendant la transition entre les formations volcanosédimentaires et les coulées cohérentes.

Finalement, l'activité hydrothermale dans le Membre d'Andy ne se résume pas à un épisode bien localisé mais perdure pendant l'édification et l'évolution du plancher

océanique. Il devient alors important de pouvoir définir la chronologie de mise en place et de modification des roches, en lien avec les périodes d'activité hydrothermale. Cela permet de comprendre que, certes l'activité hydrothermale semble durable, mais seuls certains moments et locus semblent propices à la concentration et la préservation des sulfures. A des fins d'exploration, les arrêts dans le volcanisme sont connus comme favorables au développement de SMV, mais l'intensité du régime sédimentaire sur Saw Mill pendant ces arrêts représente un frein à la préservation de lentilles primaires. Dans un tel cas, il faut rechercher des remaniements potentiels de sulfures, au sein de fosses type graben par exemple, à l'image de l'interprétation du décapage Saw Mill #07 (Figure 2.11). Des zones de régime d'érosion et de sédimentation plus calme sont également d'intérêts, pour les sulfures primaires cette fois.

## **5.4 Membre d'Allard : activité hydrothermale polyphasée et télescopage**

### **5.4.1 Faciès du Parc Allard : un marqueur régional ?**

La base du Membre d'Allard débute par des basaltes, andésites et dacites transitionnelles, surmontant les rhyolites minéralisées tholéiitiques de Scott ou de Lemoine (Lafrance et al. 2006, Leclerc et al. 2011). Cette interface est d'ailleurs certainement équivalente à celle entre le Membre de David et la base du Waconichi et caractérisée au secteur du Lac Taché. En effet, pour le Lac Scott et le Lac Taché, les minéralisations se développent au contact entre des roches tholéiitiques et des ensembles variés de roches transitionnelles à calco-alcalines. De manière contemporaine, ou légèrement plus tardive, se forment les unités volcanosédimentaires du Parc Allard (Ville

de Chibougamau), définies comme le stratotype du Membre éponyme (Leclerc et al. 2011). C'est au sein de la fraction de tufs à blocs du Parc Allard que provient l'échantillon de sulfures analysés au LA-ICP-MS. Le cortège en éléments volatils de ces pyrites a montré que deux épisodes de minéralisation sont enregistrés (Figure 4.5h). Certaines pyrites exposent des signatures très proches de la population rencontrée au Lac Taché, avec des températures de formation de 400°C en association avec de la magnétite. L'assemblage des sulfures du bloc échantillonné au Parc Allard (Figure 4.3b) est en outre très proche de celui relevé au Lac Taché (Py-Mt : Figure 4.3e). Il est donc envisageable que les pyrites analysées au Parc Allard soient issues du même épisode hydrothermal que celui du Lac Taché. Le dépôt des tufs cherteux, tufs à lapillis et tufs à blocs du Parc Allard aurait donc lieu suite aux évènements minéralisateurs du Lac Taché. En outre, les unités volcanosédimentaires du Parc Allard se trouveraient stratigraphiquement au-dessus des laves transitionnelles de la base du Membre d'Allard, identifiés au Nord du gisement Lac Scott et au secteur du Lac Taché. Cela constitue un argument supplémentaire pour le positionnement du Lac Taché à la toute base de la formation de Waconichi (Figure 3.5).

Un faciès identique à celui du Parc Allard est identifié au secteur Saw Mill (Figures 2.11e et 2.13). Il est constitué d'une bande de trois mètres de tufs lités bien triés, avec 30 % de bandes de cherts décimétriques orientées selon la  $S_0$  (NNE-SSW). Cette unité de tufs cherteux est comprise au sein des formations volcanosédimentaires à matériel porphyrique du décapage Saw Mill #07 (Figure 2.11). Selon la représentation des membres de la Formation de Waconichi (Figure 3.5), le Membre d'Andy représente un équivalent synchrone des tufs du Membre d'Allard identifié à Chibougamau. Ainsi, une corrélation

est possible entre ces faciès très similaires du Parc Allard et de Saw Mill #07. Il s'agirait d'un évènement de volcanisme pyroclastique majeur, subissant un certain remaniement à postériori. Si ce faciès de tufs à bandes de cherts est identifié à l'avenir ailleurs à Chibougamau-Chapais, dans le même intervalle stratigraphique, il pourrait constituer un important marqueur régional. En outre, ce stratotype du Membre d'Allard surmonte très probablement les émissions rhyolitiques tholéiitiques du Membre de Scott. Cette relation est importante, puisqu'analogue à la Tuffite Clé recouvrant les rhyolites de Watson, minéralisées et tholéiitiques, dans le district de Matagami (Genna et al. 2014).

#### 5.4.2 Sommet du Membre d'Allard

Les plus anciens épisodes minéralisateurs en SMV dans la Formation de Waconichi peuvent donc être associés aux indices du Lac Scott et du Lac Taché. Le Parc Allard représente un intervalle de temps légèrement plus tardif et marqueur à l'échelle du secteur. Le sommet du Membre d'Allard est lui caractérisé au niveau du Lac Pipe, à l'Est de la ville de Chibougamau, par la succession de roches décrite à la figure 1.8 (Leclerc et al. 2011). Cette même succession a été reconnue sur les décapages d'Indian Lake, avec depuis la base (Est) vers le sommet (Ouest) : 1) une séquence de shales graphiteux identifié en forage (Larouche 2016) ; 2) des rhyodacites pseudo-lobées et tufs à lapillis - blocs de composition similaire ; 3) des lentilles de SMV métriques et ; 4) des turbidites de type Booma Tc-Td (Figure 2.7).

Bien que le volcanisme effusif felsique soit localisé, des environnements et séquences de dépôts identiques existent au même instant à Chibougamau comme à l'Est de la ville de Chapais. Il existe donc un équivalent du sommet du Membre d'Allard dans cette région

(Figure 3.6), ce qui n'était jusqu'alors pas connu. Considérant une polarité Ouest dans le secteur de Chapais, Indian Lake surmonte le Membre d'Andy défini à Saw Mill et confirme la position du Membre d'Allard comme le plus jeune membre de la Formation de Waconichi.

## **5.5 Importance des centres felsiques**

Le district de Chibougamau-Chapais expose des minéralisations sulfurées volcanogènes sur plusieurs secteurs et positions stratigraphiques. Certaines sont intrinsèquement liées à la présence d'émissions effusives felsiques (Lac Scott, Lac Taché, Indian Lake). Historiquement, le potentiel sub-économique reconnu en SMV dans le district était limité aux rhyolites tholéïtiques du Lac Scott et de la Mine Lemoine au sud du Complexe du Lac Doré. Cette étude démontre que d'autres secteurs exposent des rhyolites et rhyodacites minéralisées. Toutefois, l'affinité géochimique de ces roches diffère de celles qui contiennent les gisements Lac Scott et Mine Lemoine. La signature transitionnelle voire calco-alkalines des rhyodacites minéralisés sur Indian Lake (Figure 3.4b) et Lac Taché (Figure 3.4a) notamment implique des compositions différentes du magma primaire. Bien que le gisement du Lac Scott et deux secteurs cités ci-dessus soient tous contenu dans un intervalle de temps réduit (Formation de Waconichi), il est envisageable que plusieurs intrusions et sources de chaleur soient impliquées dans la mise en place des lentilles. En outre, cela implique que le potentiel en minéralisations volcanogènes ne se limite pas aux seules expressions felsiques tholéïtiques. De plus, il est évident que les différents complexes rhyolitiques de la Formation de Waconichi sont issus de plusieurs centres d'émissions. Il devient alors impératif de cibler ces centres

d'émissions, quelques soient leurs affinités géochimiques, ainsi que de définir les sources potentielles de chaleur pour le développement de cellules hydrothermales efficaces. En outre, le Complexe du Lac Doré est considéré comme une importante source de chaleur pour les minéralisations volcanogènes (Daigneault et Allard 1990; Guha 1990) et il se caractérise aussi des affinités géochimiques variables (Daigneault et Allard 1990).

Les lentilles rencontrées sont principalement constituées de pyrites. Pourtant, tous les arguments (cartographiques, lithogéochimiques, LA-ICP-MS) semblent indiquer un potentiel en minéralisations de SMV. Par exemple, la signature *in-situ* des pyrites sur Saw Mill est très proche de celles échantillonnées sur le gisement du Lac Scott. Cela souligne l'impact de l'état de connaissance sur le caractère économique d'un district. En effet, les secteurs cartographiés sont tous à des niveaux d'exploration très jeune. Il s'agit alors d'appuyer l'effort d'exploration et notamment en appliquant en trois dimensions les critères développés dans cette maîtrise.

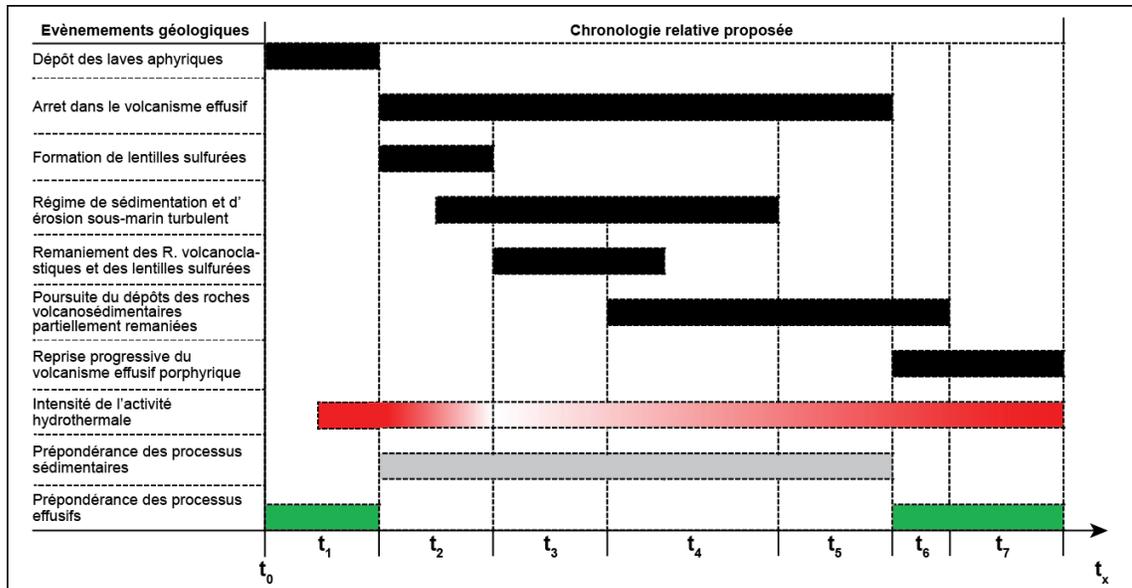


Figure 0-1 : Évolution géologique du secteur Saw Mill

## Conclusions

L'ensemble des secteurs visités présente des évidences de systèmes volcanogènes. Des minéralisations concordantes en sulfures massifs sont retrouvées dans des empilements volcanosédimentaires variables suivant les indices. Les formations rencontrées ont clairement une origine volcanique sous-marine. Parmi ces empilements, les secteurs comme le Lac Taché et ICON exposent des interdigitations de roches effusives mafiques et felsiques caractéristiques du volcanisme bimodal associé aux systèmes de SMV. Sur la majeure partie des indices cartographiés, des conduits d'alimentation pour les fluides hydrothermaux sont identifiés. Il s'agit de couloirs discordants plurimétriques de brèches à chlorite noire et sulfures qui s'évasent parfois au contact avec les lentilles concordantes. Des évidences de failles syn-volcaniques ont également été relevées. Celles-ci sont soit associées à des dykes, soit nettement minéralisées en sulfures semi-massifs à massifs. Les roches hôtes présentent une altération proximale typique à chlorite noire et sulfures disséminés ou une silicification variable.

Il a été démontré que les minéralisations se sont majoritairement formées par remplacement. Pour le cas d'Indian Lake, le principal argument est le caractère endogène des crypto-dômes felsiques hôtes des minéralisations. La chronologie de mise en place des dômes felsiques, qui se développent suite aux dépôts de l'unité turbiditique surmontant les lentilles, appuie une telle hypothèse. Au Lac Taché, une unité plurimétrique de roche volcanoclastique silicifiée semble jouer le rôle de couvercle imperméable (« *cap rock* ») pour les fluides minéralisateurs. C'est le sommet des assemblages plus perméables sous-jacents, comme des laves mafiques coussinées, qui se

font intégralement remplacés par des sulfures, pyrite principalement. Sur l'indice David, les sulfures, soient la chalcopyrite et la pyrite, se concentrent dans des brèches (hyaloclastites). Ces brèches sont très perméables et sont interdigitées dans des faciès beaucoup plus massifs de coulées effusives ou de filons-couches co-magmatiques associés. En outre, seul des décapages comme ceux du Km25 ou de la Montagne Taché (Lac Taché #10) exposent des expressions partiellement exhalatives comme des formations de fer ou des cherts.

Compte tenu des assemblages locaux de roches et de leurs signatures géochimiques, chaque secteur peut être positionné au sein du découpage stratigraphique existant. Ainsi, les secteurs de l'indice David, du Lac Taché et du Km25 représentent une interface E-W entre les membres de David et d'Allard. Le secteur de l'indice ICON se situe très probablement à un niveau équivalent, malgré une polarité supposée vers le Sud. Le secteur Saw Mill présente les caractéristiques du Membre d'Andy tandis que celui d'Indian Lake est équivalent au sommet du Membre d'Allard, jusqu'alors limité à la partie Nord de Chibougamau. Le positionnement d'Indian Lake représente à lui seul une nouveauté pour la stratigraphie du district de Chibougamau-Chapais, si ce positionnement est confirmé par la datation à venir dans le projet « *Metal Earth* ». En effet, le secteur d'Indian Lake d'affirmer que le Membre d'Allard marque un épisode volcanique tardif au sein de la Formation de Waconichi, car il apparaît stratigraphiquement au-dessus d'autres membres de cette formation, comme ceux d'Andy et Scott notamment.

L'analyse des pyrites au LA-ICP-MS a permis de caractériser l'évolution des fluides minéralisateurs. La démarche choisie, analogue à celle déjà expérimentée sur le camp de

Matagami, fonctionne pour les indices de Chibougamau-Chapais. Il apparaît que chaque secteur étudié a été minéralisé par des fluides ayant atteint des températures suffisantes pour la précipitation de sulfures économiques. La variation du cortège en éléments traces volatiles des pyrites souligne des zones d'intérêt particulier, comme les conduits d'alimentation qui ont enregistré les plus hautes températures de fluides.

Finalement, les interprétations réalisées dans ce mémoire dégagent des guides d'exploration. Le positionnement stratigraphique des indices du Lac Scott, Lac Taché, Km25 et David définissent un horizon Est-Ouest particulièrement favorable au développement de sulfures massifs volcanogènes. Les évidences de télescopage de minéralisations dans le sommet de la Formation de Waconichi à l'Est de la ville de Chapais ouvrent une nouvelle zone d'exploration.

Les perspectives de cette étude sont aussi bien industrielles qu'académiques (Figure 6.1). La caractérisation géophysique des nouveaux indices pourrait constituer une première étape d'exploration. Par exemple, la stratégie exploratoire employée sur le gisement du Lac Scott, ayant déjà eu du succès, pourrait être reproduite. Dans une démarche plus académique, les résultats de cette maîtrise recommandent une étude du contrôle de la chimie des rhyolites et rhyodacites ici cartographiées. Un inventaire et une caractérisation des centres d'émissions felsiques de toute ampleur (à travers de plus amples efforts de cartographies) semble également un travail futur approprié au district Chibougamau-Chapais.

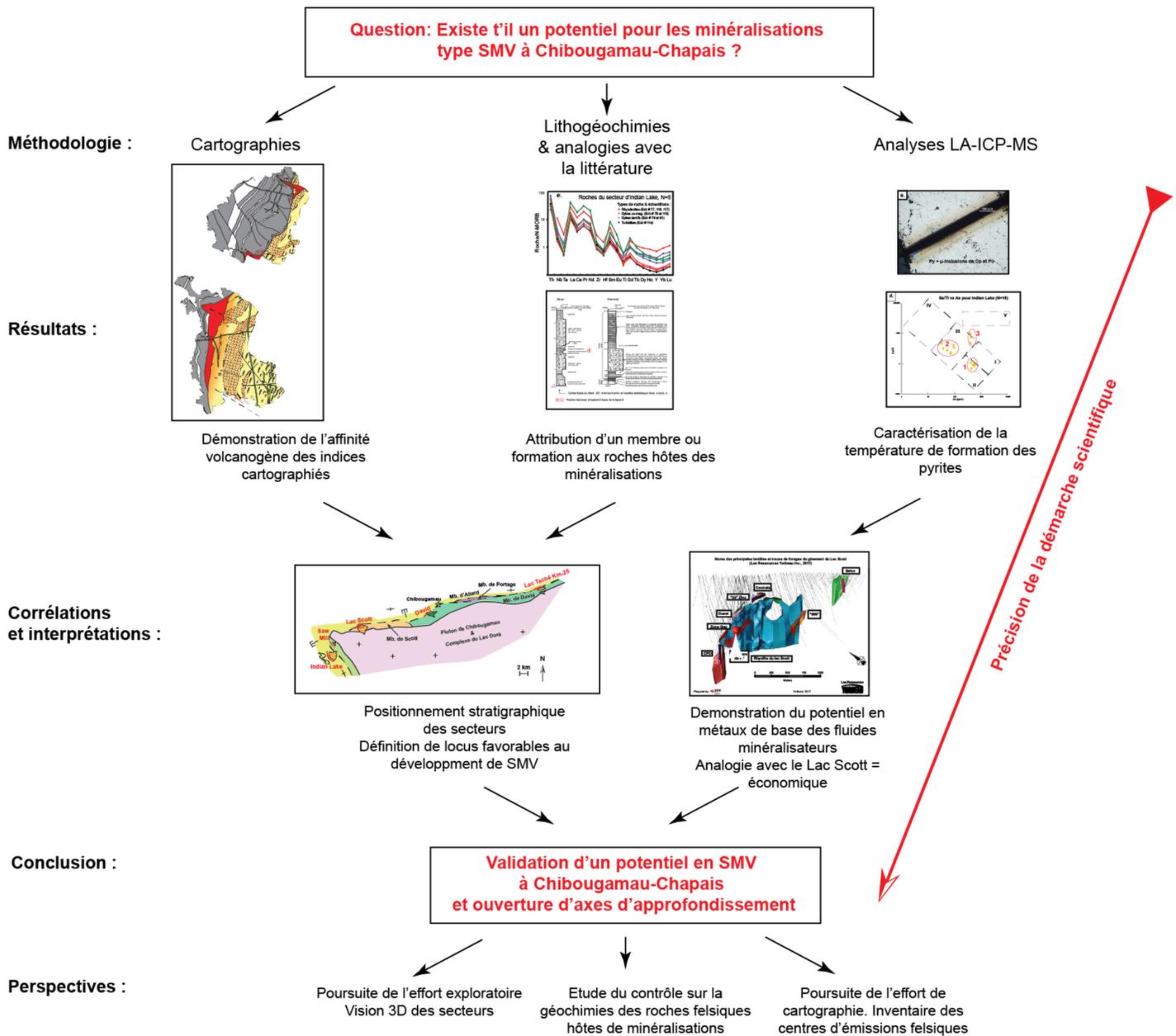


Figure 0-1 : Résumé de la démarche scientifique et des résultats du projet de maîtrise

# Références

- Agangi, A., Hofmann, A., et Wohlgemuth-Ueberwasser, C.C.** 2013. Pyrite zoning as a record of mineralization in the Ventersdorp Contact Reef, Witwatersrand Basin, South Africa. *Economic Geology* **108**(6): 1243-1272.
- Allard, G., et Gobeil, A.** 1984. General geology of the Chibougamau region. Chibougamau, stratigraphy and mineralization. Edited by J. Guha and EH Chown. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special **34**: 5-19.
- Auclair, G., et Fouquet, Y.** 1987. Bohn, M., 1987-Distribution of selenium in high temperature hydrothermal sulfide deposits at 13 N. East Pacific Rise. *Economic Geology* **25**: 577-587.
- Barrie, C., et Hannington, M.** 1999. Classification of volcanic-associated massive sulfide deposits based on host-rock composition. *Reviews in Economic Geology* **8**: 1-11.
- Barton Jr, P., et Bethke, P.M.** 1987. Chalcopyrite disease in sphalerite: pathology and epidemiology. *American Mineralogist* **72**(5-6): 451-467.
- Bédard, J.H., Leclerc, F., Harris, L.B., et Goulet, N.** 2009. Intra-sill magmatic evolution in the Cummings Complex, Abitibi greenstone belt: Tholeiitic to calc-alkaline magmatism recorded in an Archaean subvolcanic conduit system. *Lithos* **111**(1): 47-71.
- Bourcier, W., et Barnes, H.** 1987. Ore solution chemistry; VII, Stabilities of chloride and bisulfide complexes of zinc to 350 degrees C. *Economic Geology* **82**(7): 1839-1863.
- Brisson, T.** 2007. Rapport sur les travaux 2006, Projet Scott Lake. Ministère des Ressources naturelles, Québec. Ministère des Ressources naturelles.
- Butler, I., Rickard, D., et Grimes, S.** 2000. Framboidal pyrite: Self organisation in the Fe-S system. *Sous la direction de. Dans Journal of Conference Abstracts*, pp. 276-277.

- Daigneault, R., et Allard, G.O.** 1990. Le complexe du lac Doré et son environnement géologique (région de Chibougamau--sous-province de l'Abitibi). [Québec]: Ministère de l'énergie et des ressources (Mines), Direction générale de l'exploration géologique et minérale, Direction de la recherche géologique, Service géologique du Nord-Ouest.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., et Rocheleau, M.** 1982. Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model. *Canadian Journal of Earth Sciences* **20**(9): 1374-1388.
- Doyle, M.G., et Allen, R.L.** 2003. Subsea-floor replacement in volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Ore Geology Reviews* **23**(3): 183-222.
- Duquette, G.** 1964. Geology of the Northwest quarter of Roy township. Abitibi-east county. Quebec Department of Natural Ressources, RP-513.
- Duquette, G., et Mathieu, A.** 1966. Geology of the Northeast Quarter of Mckenzie Township: Abitibi-east County. *Min Richesses Naturelles*.
- Eldridge, C.S., Barton Jr, P.B., et Ohmoto, H.** 1983. Mineral textures and their bearing on formation of the Kuroko orebodies. *Economic Geology Monograph* **5**: 241-281.
- Fouquet, Y., Eissen, J.-P., Ondreas, H., Barriga, F., Batiza, R., et Danyushevsky, L.** 1998. Extensive volcanoclastic deposits at the Mid-Atlantic Ridge axis: results of deep-water basaltic explosive volcanic activity? *Terra Nova-Oxford* **10**(5): 280-286.
- Franklin, J.M., Lydon, J., et Sangster, D.F.** 1981. Volcanic-associated massive sulfide deposits. *Economic Geology* **75**: 485-627.
- Franklin, J.M., Gibson, H., Jonasson, I., et Galley, A.** 2005. Volcanogenic massive sulfide deposits. *Economic Geology 100th anniversary volume* **98**: 523-560.
- Gaboury, D., et Pearson, V.** 2008. Rhyolite geochemical signatures and association with volcanogenic massive sulfide deposits: examples from the Abitibi Belt, Canada. *Economic Geology* **103**(7): 1531-1562.

- Galley, A., Watkinson, D., Jonasson, I., et Riverin, G.** 1995. The subsea-floor formation of volcanic-hosted massive sulfide; evidence from the Ansil Deposit, Rouyn-Noranda, Canada. *Economic Geology* **90**(7): 2006-2017.
- Galley, A., Hannington, M., et Jonasson, I.** 2007. Volcanogenic massive sulphide deposits. Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district Metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication **5**: 141-161.
- Genna, D., Gaboury, D., et Roy, G.** 2014. The Key Tuffite, Matagami Camp, Abitibi Greenstone Belt, Canada: petrogenesis and implications for VMS formation and exploration. *Mineralium Deposita* **49**(4): 489-512.
- Genna, D., et 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.
- Gibson, H.L., et Watkinson, D.** 1990. Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda cauldron and shield volcano, Quebec. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy*: 119-132.
- Gobeil, A.** 1980. Etude lithogéochimique des roches volcaniques dans la région de la mine Lemoine. District de Chibougamau, Québec: Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin **73**(817): 86-95.
- Goodfellow, W.D., McCutcheon, S.R., et Peter, J.** 2003. Massive sulfide deposits of the Bathurst Mining Camp, New Brunswick and Northern Maine: Introduction and summary of findings. *Economic Geology Monograph* **11**: 1-16.
- Guha, J.** 1990. Metallogeny of the eastern extremity of the Abitibi belt. *Dans* Lithotectonic framework and associated mineralization of the eastern extremity of the Abitibi Greenstone belt. Sous la direction de J. Guha et E. Chown et R. Daigneault. Geological Survey of Canada [cité].
- Guha, J., et Chown, E.H.** 1984. Chibougamau-stratigraphy and Mineralization: Proceedings of the Chibougamau Symposium and Field Trip. *Sous la direction de*, CIM.

- Hannington, M.D., Galley, A.G., Herzig, P.M., et Petersen, S.** 1998. 28. Comparison of the TAG mound and stockwork complex with Cyprus-type massive sulfide deposits. *Sous la direction de. Dans Proc Ocean Drill Program Sci Results*, pp. 389-415.
- Hannington, M.D., de Ronde, C.D., et Petersen, S.** 2005. Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems.
- Hart, T., Gibson, H., et Leshner, C.** 2004. Trace element geochemistry and petrogenesis of felsic volcanic rocks associated with volcanogenic massive Cu-Zn-Pb sulfide deposits. *Economic Geology* **99**(5): 1003-1013.
- Klein, E.M.** 2004. Geochemistry of the Igenous Oceanic Crust. *Dans Treatrise on geochemistry. Sous la direction de H.D. Holland et K.K. Turekian.* Elsevier, Amsterdam. pp. 433-463.
- Krogh, T.** 1982. Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **46**(4): 637-649.
- Lafrance, B.** 2003. Cadre géologique du camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde. Québec : Ministère des ressources naturelles, de la faune et des parcs,
- Lafrance, B., Brisson, T., McNichols, D., et Lambert, G.** 2006. Rapport sur le programme de forage 2005, Projet Lemoine. Woodruff Capital Management Inc. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, GM-62564.
- Large, R.R.** 1977. Chemical evolution and zonation of massive sulfide deposits in volcanic terrains. *Economic Geology* **72**(4): 549-572.
- Large, R.R., Maslennikov, V.V., Robert, F., Danyushevsky, L.V., et 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.
- Larouche, C.** 2016. Indian Lake Project. 2736-1179 Québec Inc. .

- Leclerc, F.** 2001. Géochimie et contexte tectonique du groupe de Roy et du complexe de Cummings dans la région de Chibougamau, Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.
- Leclerc, F., et Houle, P.** 2013. Géologie de la région du Lac Simon (32G15-200-0102). Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles.
- Leclerc, F., Bédard, J., Harris, L., Goulet, N., Houle, P., et Roy, P.** 2008. Nouvelles subdivisions de la Formation de Gilman, Groupe de Roy, région de Chibougamau, sous-province de l'Abitibi, Québec: résultats préliminaires. *Recherches en cours*, Commission géologique du Canada **7**: 20.
- Leclerc, F., Houle, P., et Rogers, R.** 2010. Géologie de la région de Chapais (32G15-200-0101). Ressources naturelles et faune Québec.
- Leclerc, F., Bedard, J.H., Harris, L.B., McNicoll, V.J., Goulet, N., Roy, P., et Houle, P.** 2011. Tholeiitic to calc-alkaline cyclic volcanism in the Roy Group, Chibougamau area, Abitibi Greenstone Belt—revised stratigraphy and implications for VHMS exploration. *Canadian Journal of Earth Sciences* **48**(3): 661-694.
- Leclerc, F., Harris, L.B., Bédard, J.H., van Breemen, O., et 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.
- Les Ressources Yorbeau Inc.** 2017. Yorbeau dévoile l'estimé des ressources minérales à son projet Scott - Les ressources ont plus que triplé par rapport à l'estimé précédent., Montréal.
- Leshner, C., Goodwin, A., Campbell, I., et Gorton, M.** 1986. Trace-element geochemistry of ore-associated and barren, felsic metavolcanic rocks in the Superior Province, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* **23**(2): 222-237.
- Lydon, J.** 1984. Some observations on the morphology and ore textures of volcanogenic sulfide deposits of Cyprus. *Geol. Surv. Canada, Curr. Res., Paper*: 601-610.

- Maslennikov, V., Maslennikova, S., Large, R., et Danyushevsky, L.** 2009. Study of trace element zonation in vent chimneys from the Silurian Yaman-Kasy volcanic-hosted massive sulfide deposit (Southern Urals, Russia) using laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICPMS). *Economic Geology* **104**(8): 1111-1141.
- McPhie, J.** 1993. *Volcanic textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks.*
- Mercier-Langevin, P., Lafrance, B., Bécu, V., Dubé, B., Kjarsgaard, I., et Guha, J.** 2014. The Lemoine auriferous volcanogenic massive sulfide deposit, Chibougamau camp, Abitibi Greenstone Belt, Quebec, Canada: geology and genesis. *Economic Geology* **109**(1): 231-269.
- Metz, S., et Trefry, J.H.** 2000. Chemical and mineralogical influences on concentrations of trace metals in hydrothermal fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **64**(13): 2267-2279.
- Mortensen, J.** 1993. U-Pb geochronology of the eastern Abitibi subprovince. Part 1: Chibougamau-Matagami-Joutel region. *Canadian Journal of Earth Sciences* **30**(1): 11-28.
- Nadoll, P., Mauk, J.L., Hayes, T.S., Koenig, A.E., et Box, S.E.** 2012. Geochemistry of magnetite from hydrothermal ore deposits and host rocks of the Mesoproterozoic Belt Supergroup, United States. *Economic Geology* **107**(6): 1275-1292.
- Nadoll, P., Angerer, T., Mauk, J.L., French, D., et Walshe, J.** 2014. The chemistry of hydrothermal magnetite: a review. *Ore Geology Reviews* **61**: 1-32.
- Pearson, V., et Daigneault, R.** 2009. Evolution of an Archean megacaldera cluster: the Blake River Group. Abitibi subprovince: *Precambrian Research* **168**: 66-82.
- Picard, C., et Piboule, M.** 1986. Pétrologie des roches volcaniques du sillon de roches vertes archéennes de Matagami-Chibougamau à l'ouest de Chapais (Abitibi est, Québec). 1. Le groupe basal de Roy. *Canadian Journal of Earth Sciences* **23**(4): 561-578.

- Piche, M., Guha, J., et Daigneault, R.** 1993. Stratigraphic and structural aspects of the volcanic rocks of the Matagami mining camp, Quebec; implications for the Norita ore deposit. *Economic Geology* **88**(6): 1542-1558.
- Pilote, P., et Guha, J.** 2006. Partie B—Métallogénie de l'extrémité est de la Sous-province de l'Abitibi. Le camp minier de Chibougamau et le parautochtone Grenvillien: métallogénie, métamorphisme et aspects structuraux: Geological Association of Canada, livret-guide d'excursion B **1**: 29-46.
- Pilote, P., Scott, C., Mueller, W., Lavoie, S., et Riopel, P.** 1999. Géologie des formations Val-d'Or, Héva et Jacola—Nouvelle interprétation du Groupe de Malartic. Ministère des Ressources naturelles du Québec, DV: 99-03.
- Reich, M., Deditius, A., Chryssoulis, S., Li, J.-W., Ma, C.-Q., Parada, M.A., Barra, F., et 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.
- Ross, P.-S., et 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.
- Salmon, B., et McDonough, B.** 2011. TECHNICAL REPORT ON THE MINERAL RESOURCE ESTIMATE OF THE SCOTT LAKE PROJECT, NORTHERN QUÉBEC, CANADA. Canada: Roscoe Postle Associates Inc.: 201.
- Sangster, D.** 1980. Quantitative characteristics of volcanogenic massive sulphide deposits. Metal content and size distribution of massive sulphide deposits in volcanic centers: *CIM Bulletin* **73**: 74-81.
- SIGEOM.** 2017. Examine, E-SIGEOM. Province of Québec on-line portal to access all the geoscientific information (bibliographic data reports and maps) contained in the Department's mining database. Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles. URL : <  
[http://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108\\_afchCarteIntr](http://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108_afchCarteIntr) >
- Scott, C.R., Mueller, W.U., et Pilote, P.** 2002. Physical volcanology, stratigraphy, and lithogeochemistry of an Archean volcanic arc: evolution from plume-related volcanism to arc rifting of SE Abitibi Greenstone Belt, Val d'Or, Canada. *Precambrian Research* **115**(1): 223-260.

- Scott, R.J., Meffre, S., Woodhead, J., Gilbert, S.E., Berry, R.F., et Emsbo, P.** 2009. Development of framboidal pyrite during diagenesis, low-grade regional metamorphism, and hydrothermal alteration. *Economic Geology* **104**(8): 1143-1168.
- Wilson, S.A., Ridley, W.I., et Koenig, A.E.** 2002. Development of sulfide calibration standards for the laser ablation inductively-coupled plasma mass spectrometry technique. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* **17**: 406-409.
- Winchester, J., et Floyd, P.** 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical geology* **20**: 325-343.
- Xiong, Y.** 2007. Hydrothermal thallium mineralization up to 300 C: A thermodynamic approach. *Ore Geology Reviews* **32**(1): 291-313.

## Annexes

## Annexe 1 : Analyses lithogéochimiques

# Analyse	# Echantillon	Projet	Type d'échantillon	Code lithologique	Secteur	SNRC (50-250K)	Zone UTM	Estant	Nordant
67800	-				QAQC				
67801	73		Dyke de gabbro aphyrique	I3A[Y,AP]	Duplicata Saw Mill	32G15	18	519576	5519257
67802	55		Filon-couche de gabbro aphyrique	I3A[AP]	David	32G16	18	541718	5527056
67803	57		Dyke porphyrique felsique	I1C[Y,PO]	David	32G16	18	541660	5527066
67804	60		Coulée mafique à brèches (hyaloclastites)	V3A[BQ,HY]	David	32G16	18	541528	5526815
67805	62		Filon-couche de gabbro aphyrique	I3A[AP]	David	32G16	18	541525	5526789
67806	30		Roche volcanoclastique intermédiaire	V2J[VC,TU,TC]	Chemin de fer	32G16	18	543690	5528457
67807	145		Roche effusive mafique aphyrique	V3A[AP]	Chrissie	32G15	18	511046	5511569
67808	1		Coulée coussinée variolaire mafique	V3A[CO,VA]	Hanzo	32H13	18	575610	5537058
67809	4		Roche volcanoclastique felsique	V1C[VC,TU]	UMA	32H13	18	575145	5537015
67810	6		Coulée massive mafique	V3A[CK]	ICON	32H13	18	578100	5537145
67811	110		Filon couche felsique à quartz	I1C[AN,QZ]	ICON	32H13	18	578100	5537145
67812	85		Roche volcanoclastique intermédiaire	V2J[VC,TU,TC]	Parc Allard	32G16	18	543754	5529505
67813	-				QAQC				
67814	63		Coulée massive et aphyrique mafique	V3A[CK,AP]	Saw Mill	32G15	18	519585	5519350
67815	65		Filon-couche de gabbro microporphyrique	I3A[MR,FP]	Saw Mill	32G15	18	519572	5519320
67816	66		Filon couche de gabbro porphyrique	I3A[PO,FP]	Saw Mill	32G15	18	519562	5519334
67817	68		Roche volcanoclastique intermédiaire	V2J[VC,TU,TX,TY]	Saw Mill	32G15	18	519551	5519327
67818	70		Roche volcanoclastique intermédiaire	V2J[VC,TU,TL,TX,TC]	Saw Mill	32G15	18	519569	5519275
67819	71		Dyke de gabbro porphyrique	I3A[Y,PO,FP]	Saw Mill	32G15	18	519569	5519275
67820	73		Dyke de gabbro aphyrique	I3A[Y,AP]	Saw Mill	32G15	18	519572	5519261
67821	122		Dyke intermédiaire méga-porphyrique	I2J[Y,MP]	Saw Mill	32G15	18	519598	5519194
67822	123		Filon couche de gabbro porphyrique	I3A[Y,AP]	Saw Mill	32G15	18	519590	5519192
67823	77		Roche effusive felsique	V1B[BF,MC,LB]	Indian Lake	32G15	18	517920	5516952
67824	78		Dyke intermédiaire à felsique aphyrique	I2J[Y,AP]	Indian Lake	32G15	18	517920	5516952
67825	-				QAQC				
67826	79		Dyke microporphyrique mafique à intermédiaire	I3A[Y,MP]	Indian Lake	32G15	18	517920	5516952
67827	81		Dyke microporphyrique intermédiaire	I2J[Y,MP]	Indian Lake	32G15	18	517920	5516952
67828	114		Turbidites (matériel volcanoclastique leucocrate)	V1B[TB]	Indian Lake	32G15	18	517890	5516967
67829	116		Dyke felsique aphyrique	I1B[Y,AP]	Indian Lake	32G15	18	517861	5517059
67830	117		Roche effusive felsique	V1B[PO,QZ,FP]	Indian Lake	32G15	18	517861	5517059
67831	118		Dyke de gabbro microporphyrique	I3A[Y,MP]	Indian Lake	32G15	18	517861	5517059
67832	126		Roche effusive felsique	V1B	Taché	32G16	18	568603	5532227
67833	-				QAQC				
67834	129		Roche effusive felsique à écoulement laminaire	V1B[FL,QZ]	Taché	32G16	18	568606	5532277
67835	130		Dyke felsique aphyrique boudiné	I1B[Y,AP,BO]	Taché	32G16	18	568606	5532277
67836	131		Coulée mafique massive et brèches	V3A[CK,BQ,AP,MG]	Taché	32G16	18	568606	5532277
67837	132		Coulée massive basaltique	V3A[CK]	Taché	32G16	18	568606	5532277
67838	134		Dyke porphyrique felsique	I1B[Y,PO,FP]	Taché	32G16	18	568606	5532277
67839	137		Roche volcanoclastique mafique	V3A[VC,TU,LP,MG]	Taché	32G16	18	568606	5532277
67840	141		Roche effusive mafique bréchifiée et altérée	V3A[BR,WK]	Taché	32G16	18	568691	5532207
67841	142		Roche effusive felsique à écoulement laminaire	V1B[FL,QZ]	Taché	32G16	18	568691	5532207
67842	143		Coulée mafique massive	V3A[CK,AP,MG]	Taché	32G16	18	568741	5532244
67843	35		Roche effusive felsique à écoulement laminaire	V1B[FL,QZ]	Montagne Taché	32G16	18	568324	5532262
67844	36		Filon-couche de gabbro aphyrique	I3A[AP]	Montagne Taché	32G16	18	568324	5532262
67845	38		Roche volcanoclastique mafique	V3A[VC,TU,LP]	Montagne Taché	32G16	18	568324	5532262
67846	40		Roche volcanoclastique mafique	V3A[VC,TU,TX,TL]	Montagne Taché	32G16	18	568324	5532262
67847	41		Filon-couche de gabbro aphyrique	I3A[AP]	Montagne Taché	32G16	18	568324	5532262
67848	49		Filon-couche de gabbro aphyrique	I3A[AP]	Km25	32G16	18	567257	5531442
67849	50		Roche volcanoclastique mafique	V3A[VC,TU,TC]	Km25	32G16	18	567257	5531442
67850	-				QAQC				
67851	53		Coulée mafique massive	V3A[CK,AP]	Km25	32G16	18	567257	5531442
67854	129		Roche effusive felsique à écoulement laminaire	V1B[FL,QZ]	Duplicata Taché	32G16	18	568606	5532277

# Analyse	# Echantillon	Projet	SiO2	Al2O3	Fe2O3(T	FeOT	MgO	MnO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	LOI	Total
67800	-		66,36	15,38	5,08	4,06	0,92	0,04	2,17	2,80	5,39	0,68	0,28	0,92	100,00
67801	73		53,54	15,73	9,93	7,94	3,85	0,19	8,89	3,82	0,73	1,72	0,67	1,36	100,40
67802	55		45,65	11,77	15,34	12,27	4,17	0,26	8,22	2,29	-0,01	1,71	0,29	8,96	98,68
67803	57		68,88	16,62	3,30	2,64	1,04	0,04	0,48	7,38	0,81	0,32	0,14	1,29	100,30
67804	60		45,92	13,68	17,17	13,74	5,48	0,32	5,48	0,17	1,25	1,43	0,14	7,74	98,78
67805	62		49,23	13,47	15,85	12,68	6,22	0,22	8,12	2,40	0,04	1,48	0,17	3,63	100,80
67806	30		67,07	13,64	7,91	6,33	1,91	0,06	1,98	0,16	2,87	0,56	0,08	3,96	100,20
67807	145		49,59	16,48	10,75	8,60	5,03	0,20	10,57	2,78	0,56	1,05	0,06	3,05	100,10
67808	1		48,69	13,66	13,40	10,72	9,06	0,15	10,50	2,04	0,07	0,52	0,02	2,58	100,70
67809	4		75,70	13,55	1,67	1,34	0,74	0,01	0,76	6,11	0,58	0,27	0,06	0,84	100,30
67810	6		49,34	14,65	11,70	9,36	8,41	0,19	11,02	1,79	0,14	0,68	0,05	2,88	100,80
67811	110		68,17	15,78	3,58	2,86	0,53	0,03	3,28	3,84	1,95	0,38	0,07	2,40	100,00
67812	85		41,15	14,04	23,36	18,69	7,37	0,12	1,54	2,10	-0,01	0,75	0,16	9,45	100,00
67813	-		99,47	0,10	0,05	0,04	-0,01	0,00	0,02	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,10	99,78
67814	63		53,36	13,06	14,31	11,45	2,67	0,39	6,53	3,94	0,40	2,22	1,23	1,37	99,47
67815	65		49,89	16,10	11,05	8,84	4,14	0,35	8,39	4,19	0,75	1,99	1,24	1,57	99,65
67816	66		53,83	18,47	8,07	6,46	2,63	0,18	7,91	4,30	1,49	0,96	0,38	1,55	99,76
67817	68		47,85	18,04	12,85	10,28	4,70	0,23	9,83	3,99	0,54	0,84	0,29	1,43	100,60
67818	70		46,95	18,77	9,85	7,88	6,43	0,21	9,18	1,32	3,16	0,96	0,32	2,89	100,00
67819	71		49,39	17,66	8,84	7,07	5,75	0,15	10,93	3,37	0,76	0,71	0,29	1,63	99,47
67820	73		54,48	15,64	9,83	7,86	3,65	0,19	8,57	3,94	0,74	1,67	0,75	0,95	100,40
67821	122		50,35	16,85	10,19	8,15	5,95	0,32	9,91	3,46	0,77	0,56	0,40	1,13	99,89
67822	123		54,07	17,14	9,07	7,26	3,82	0,27	9,50	2,39	1,01	0,93	0,17	1,47	99,86
67823	77		76,77	11,54	2,36	1,89	1,03	0,08	1,94	2,24	1,94	0,24	0,03	1,46	99,63
67824	78		47,19	18,08	8,29	6,63	5,93	0,18	9,28	1,59	3,81	0,61	0,64	3,12	98,73
67825	-		59,57	17,72	5,32	4,26	0,11	0,22	1,13	8,63	4,11	0,14	0,16	1,61	98,72
67826	79		48,15	16,35	8,90	7,12	7,50	0,30	8,71	1,83	2,90	0,70	0,25	3,73	99,32
67827	81		63,83	12,01	12,59	10,07	2,16	0,41	0,84	2,49	3,02	0,48	0,08	1,85	99,76
67828	114		63,60	17,75	4,41	3,53	2,42	0,09	3,00	4,99	1,68	0,35	0,18	2,30	100,80
67829	116		62,59	17,98	3,66	2,93	1,69	0,03	2,32	6,41	1,26	0,34	0,16	2,51	98,95
67830	117		69,89	16,64	1,80	1,44	0,80	0,02	3,14	6,03	0,64	0,29	0,09	0,97	100,30
67831	118		49,80	18,08	8,84	7,07	4,61	0,21	7,38	3,03	2,61	0,72	0,26	3,37	98,92
67832	126		65,24	18,86	2,37	1,90	0,25	0,04	0,69	10,26	0,27	1,20	0,17	0,88	100,20
67833	-		98,75	0,09	0,03	0,02	-0,01	0,00	0,02	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,09	99,02
67834	129		68,07	19,67	0,78	0,62	0,20	0,01	0,51	5,28	3,20	1,26	0,12	1,66	100,80
67835	130		63,03	16,59	4,47	3,58	1,57	0,04	0,67	8,00	0,14	2,61	0,01	1,51	98,64
67836	131		36,96	9,47	41,79	33,43	1,00	0,19	2,56	3,56	0,15	1,52	0,06	1,54	98,81
67837	132		41,35	12,04	24,31	19,45	7,36	0,30	6,71	2,61	0,07	1,40	0,17	2,64	98,96
67838	134		61,33	17,78	5,42	4,34	1,43	0,08	2,48	8,87	0,09	0,34	0,21	1,11	99,14
67839	137		51,54	12,03	17,02	13,62	4,49	0,32	5,20	5,57	0,10	1,76	0,25	1,24	99,51
67840	141		68,56	11,76	5,20	4,16	0,66	0,19	1,57	5,05	0,73	1,85	0,26	4,65	100,50
67841	142		45,82	13,24	22,26	17,81	6,55	0,51	2,18	1,73	0,01	1,45	0,13	6,92	100,80
67842	143		52,37	13,59	11,34	9,07	10,30	0,10	0,38	2,01	1,42	1,99	0,18	5,86	99,54
67843	35		61,49	21,67	1,51	1,21	0,24	0,02	0,60	8,39	2,28	1,45	0,29	1,64	99,58
67844	36		43,52	11,96	18,58	14,86	6,13	0,71	5,40	3,06	1,23	1,41	0,12	7,89	100,00
67845	38		41,28	10,21	28,45	22,76	5,51	0,30	4,23	2,74	0,06	1,73	0,47	4,46	99,44
67846	40		49,72	12,26	17,29	13,83	8,02	0,28	0,55	2,25	0,10	1,69	0,27	6,24	98,67
67847	41		38,94	9,99	24,60	19,68	5,43	0,32	7,58	1,08	0,99	1,55	0,60	7,79	98,88
67848	49		31,04	19,58	22,38	17,90	14,49	0,15	0,12	0,05	-0,01	1,75	0,13	8,99	98,67
67849	50		41,84	15,58	20,65	16,52	11,38	0,14	0,36	0,02	0,01	2,22	0,28	7,68	100,20
67850	-		53,76	13,57	13,57	10,86	3,47	0,20	7,08	3,18	1,76	2,23	0,36	0,00	99,16
67851	53		44,31	14,22	22,36	17,89	6,14	0,37	2,90	0,02	0,69	1,64	0,15	6,96	99,75
67854	129		67,33	16,58	4,63	3,70	0,94	0,06	0,63	4,77	2,11	1,19	0,11	2,15	100,50

# Analyse	# Echantillon	Projet	Sr	Ba	Nb	V	Co	Ga	Ge	In	Sn	Cs	Pb	Be	Hf	Ta	W	Tl	Bi	Th	U	Rb	Y	Zr
67800	-		260,00	1393,00	18,10	55,00	7,00	24,00	1,70	-0,10	8,00	1,00	33,00	1,00	13,30	0,89	1,20	1,00	-0,10	107,00	2,44	242,00	25,40	552,00
67801	73		525,00	278,00	9,50	214,00	23,00	21,00	1,60	-0,10	-1,00	0,20	13,00	1,00	3,30	0,56	-0,50	0,11	-0,10	2,56	0,61	15,00	25,00	146,00
67802	55		57,00	7,00	10,10	290,00	36,00	20,00	1,50	0,10	1,00	-0,10	-3,00	-1,00	6,30	0,75	2,40	-0,05	-0,10	1,56	0,39	-1,00	59,40	239,00
67803	57		23,00	215,00	3,20	41,00	7,00	19,00	0,80	-0,10	-1,00	0,50	-3,00	-1,00	2,60	0,45	-0,50	-0,05	-0,10	3,77	1,13	21,00	8,30	101,00
67804	60		13,00	205,00	3,60	328,00	42,00	19,00	1,80	0,10	-1,00	0,70	-3,00	-1,00	2,50	0,26	3,70	-0,05	0,30	0,53	0,15	33,00	27,90	92,00
67805	62		202,00	29,00	3,60	350,00	45,00	20,00	2,00	-0,10	1,00	0,10	-3,00	-1,00	2,70	0,27	-0,50	-0,05	-0,10	0,54	0,16	-1,00	29,60	96,00
67806	30		21,00	248,00	2,80	100,00	16,00	15,00	1,20	-0,10	1,00	1,00	-3,00	-1,00	2,50	0,29	-0,50	-0,05	-0,10	1,41	0,36	57,00	10,00	89,00
67807	145		139,00	172,00	1,90	311,00	54,00	18,00	1,50	-0,10	-1,00	0,40	-3,00	-1,00	1,40	0,12	-0,50	-0,05	0,10	0,22	0,16	21,00	20,10	49,00
67808	1		123,00	9,00	0,60	246,00	61,00	13,00	1,60	-0,10	-1,00	-0,10	-3,00	-1,00	0,90	0,04	-0,50	-0,05	-0,10	0,10	0,04	1,00	15,20	29,00
67809	4		156,00	88,00	3,40	25,00	4,00	16,00	0,70	-0,10	-1,00	-0,10	-3,00	-1,00	3,20	0,43	-0,50	-0,05	-0,10	2,53	0,60	12,00	7,90	123,00
67810	6		191,00	52,00	1,00	248,00	48,00	14,00	1,90	-0,10	-1,00	-0,10	-3,00	-1,00	1,00	0,06	-0,50	-0,05	-0,10	0,12	0,04	2,00	16,60	33,00
67811	110		379,00	297,00	2,00	48,00	6,00	20,00	6,70	-0,10	-1,00	0,30	-3,00	-1,00	2,30	0,21	-0,50	5,64	-0,10	1,10	0,35	39,00	4,30	95,00
67812	85		122,00	16,00	5,50	143,00	36,00	19,00	1,20	-0,10	-1,00	0,10	56,00	-1,00	3,20	0,47	7,40	0,73	-0,10	1,67	0,50	-1,00	21,40	125,00
67813	-		-2,00	7,00	-0,20	-5,00	-1,00	-1,00	0,60	-0,10	-1,00	-0,10	-3,00	-1,00	2,20	-0,01	5,00	0,10	-0,10	0,33	0,27	-1,00	2,50	85,00
67814	63		433,00	136,00	17,80	53,00	18,00	23,00	1,70	0,10	-1,00	0,50	-3,00	2,00	2,50	1,12	2,00	-0,05	-0,10	2,53	0,65	7,00	48,30	90,00
67815	65		591,00	290,00	20,80	137,00	17,00	20,00	1,60	-0,10	-1,00	0,30	-3,00	1,00	1,50	1,18	-0,50	-0,05	-0,10	4,37	1,16	14,00	27,80	68,00
67816	66		577,00	526,00	4,80	150,00	21,00	19,00	1,10	-0,10	-1,00	0,30	-3,00	-1,00	2,60	0,32	3,80	-0,05	-0,10	2,54	0,70	28,00	14,70	99,00
67817	68		406,00	119,00	4,20	165,00	36,00	17,00	1,10	-0,10	-1,00	0,20	-3,00	-1,00	1,90	0,27	-0,50	-0,05	-0,10	1,83	0,39	10,00	12,70	78,00
67818	70		339,00	1053,00	5,40	193,00	43,00	20,00	1,10	-0,10	-1,00	0,90	7,00	-1,00	2,30	0,33	0,50	-0,05	-0,10	2,19	0,49	76,00	17,60	101,00
67819	71		708,00	179,00	3,70	142,00	28,00	17,00	1,50	-0,10	-1,00	0,20	-3,00	-1,00	1,70	0,22	-0,50	-0,05	-0,10	1,50	0,38	20,00	10,30	69,00
67820	73		506,00	251,00	9,40	211,00	22,00	20,00	1,30	-0,10	-1,00	0,30	9,00	1,00	3,20	0,57	-0,50	-0,05	-0,10	2,47	0,58	15,00	23,40	138,00
67821	122		634,00	333,00	4,00	123,00	23,00	18,00	1,30	-0,10	-1,00	0,20	10,00	2,00	3,00	0,50	-0,50	-0,05	-0,10	4,91	1,21	15,00	13,20	116,00
67822	123		347,00	248,00	4,10	153,00	28,00	19,00	1,00	-0,10	-1,00	0,20	-3,00	-1,00	2,20	0,28	-0,50	-0,05	-0,10	1,11	0,29	23,00	10,90	88,00
67823	77		191,00	240,00	12,30	5,00	1,00	12,00	1,30	-0,10	-1,00	1,10	30,00	1,00	5,70	0,88	-0,50	-0,05	0,30	9,22	2,86	57,00	25,80	239,00
67824	78		1791,00	707,00	5,00	136,00	31,00	19,00	1,20	-0,10	-1,00	1,50	15,00	1,00	3,00	0,30	-0,50	-0,05	-0,10	6,77	1,48	116,00	14,20	132,00
67825	-		798,00	632,00	202,00	-5,00	-1,00	34,00	1,40	-0,10	5,00	1,20	12,00	9,00	23,70	17,10	1,70	-0,05	-0,10	27,50	7,92	107,00	41,60	1220,00
67826	79		785,00	380,00	3,50	173,00	39,00	18,00	1,20	-0,10	1,00	0,70	339,00	1,00	1,90	0,16	-0,50	-0,05	-0,10	2,13	0,53	64,00	9,80	75,00
67827	81		137,00	469,00	4,00	81,00	14,00	13,00	0,80	-0,10	-1,00	5,40	115,00	1,00	2,80	0,44	1,10	0,84	0,20	5,20	1,35	110,00	15,00	111,00
67828	114		563,00	447,00	2,20	64,00	8,00	20,00	0,70	-0,10	-1,00	0,80	28,00	-1,00	2,70	0,17	-0,50	0,35	-0,10	3,41	0,90	46,00	4,60	109,00
67829	116		599,00	416,00	2,50	38,00	12,00	18,00	0,80	-0,10	-1,00	0,60	5,00	-1,00	2,30	0,20	0,80	0,11	0,10	4,64	1,03	35,00	5,90	89,00
67830	117		679,00	238,00	1,80	37,00	3,00	16,00	1,00	-0,10	-1,00	0,30	7,00	-1,00	2,00	0,17	0,60	-0,05	-0,10	2,91	0,71	17,00	5,20	75,00
67831	118		657,00	749,00	3,10	170,00	13,00	20,00	2,20	-0,10	1,00	1,20	-3,00	1,00	2,10	0,19	1,40	0,86	-0,10	2,85	0,64	69,00	12,50	80,00
67832	126		60,00	87,00	3,80	95,00	9,00	6,00	0,60	-0,10	-1,00	-0,10	-3,00	-1,00	2,70	0,35	0,70	-0,05	-0,10	0,79	0,11	4,00	5,20	100,00
67833	-		-2,00	7,00	-0,20	-5,00	-1,00	-1,00	0,70	-0,10	-1,00	-0,10	-3,00	-1,00	1,90	-0,01	-0,50	-0,05	-0,10	0,32	0,30	-1,00	2,70	74,00
67834	129		56,00	418,00	4,10	214,00	2,00	4,00	0,70	-0,10	1,00	0,20	-3,00	-1,00	2,70	0,36	1,00	-0,05	-0,10	1,48	0,12	43,00	3,80	102,00
67835	130		36,00	32,00	16,20	170,00	20,00	9,00	0,70	-0,10	1,00	-0,10	-3,00	-1,00	4,10	0,77	1,50	-0,05	-0,10	0,57	0,22	2,00	7,80	145,00
67836	131		80,00	39,00	2,80	75,00	89,00	19,00	0,90	0,40	1,00	0,20	-3,00	-1,00	2,80	0,24	0,70	-0,05	-0,10	0,50	0,22	2,00	7,40	104,00
67837	132		110,00	10,00	3,00	265,00	39,00	21,00	1,70	-0,10	2,00	0,30	-3,00	-1,00	2,40	0,20	-0,50	-0,05	-0,10	0,58	0,25	-1,00	57,50	85,00
67838	134		216,00	92,00	4,70	42,00	11,00	18,00	0,70	-0,10	-1,00	-0,10	-3,00	1,00	2,40	0,24	-0,50	-0,05	-0,10	4,24	1,12	-1,00	10,30	102,00
67839	137		33,00	26,00	6,80	200,00	46,00	23,00	1,60	-0,10	-1,00	0,40	-3,00	1,00	4,60	0,51	-0,50	-0,05	-0,10	1,05	0,36	2,00	68,70	164,00
67840	141		22,00	47,00	5,80	137,00	57,00	7,00	-0,50	0,10	-1,00	-0,10	-3,00	-1,00	2,80	0,38	-0,50	-0,05	-0,10	0,41	0,51	12,00	13,20	119,00
67841	142		14,00	16,00	3,90	273,00	67,00	17,00	2,50	0,10	1,00	-0,10	-3,00	-1,00	2,00	0,25	0,50	-0,05	-0,10	0,43	0,22	1,00	31,10	78,00
67842	143		10,00	75,00	5,40	405,00	107,00	16,00	2,30	-0,10	-1,00	1,40	-3,00	-1,00	3,00	0,37	-0,50	-0,05	-0,10	0,71	0,21	41,00	8,80	127,00
67843	35		59,00	497,00	5,50	391,00	14,00	6,00	2,50	0,10	2,00	-0,10	7,00	-1,00	2,80	0,39	2,50	-0,05	-0,10	1,06	0,21	24,00	7,70	125,00
67844	36		35,00	77,00	5,40	279,00	47,00	14,00	2,70	-0,10	2,00	2,50	-3,00	-1,00	2,10	0,28	-0,50	0,07	-0,10	0,55	0,28	37,00	29,50	83,00
67845	38		12,00	8,00	7,10	170,00	260,00	15,00	2,20	-0,10	1,00	0,10	-3,00	-1,00	3,30	0,40	-0,50	-0,05	-0,10	1,08	0,48	-1,00	37,80	128,00
67846	40		7,00	23,00	7,00	156,00	141,00	18,00	1,70	-0,10	1,00	0,30	-3,00	-1,00	4,20	0,51	-0,50	-0,05	-0,10	1,07	0,50	2,00	19,10	166,00
67847	41		21,00	108,00	5,40	287,00	46,00	18,00	1,80	0,20	2,00	1,60	-3,00	-1,00	3,30	0,36	-0,50	0,05	-0,10	1,37	0,98	18,00	23,90	133,00
67848	49		6,00	11,00	4,70	360,00	22,00	24,00	1,40	-0,10	1,00	-0,10	-3,00	-1,00	2,60	0,28	-0,50	-0,05	0,20	0,50	0,19	-1,00	36,30	107,00
67849	50		2,00	14,00	9,50	272,00	15,00	25,00	1,70	-0,10	4,00	-0,10	-3,00	-1,00	5,40	0,60	1,20	-0,05	-0,10	1,15	0,36	-1,00	65,30	217,00
67850	-		340,00	683,00	9,90	415,00	36,00	21,00	2,10	-0,10	2,00	1,00	10,00	2,00	4,10	0,69	-0,50	0,15	-0,10	5,85	1,74	46,00	34,10	175,00
67851	53		15,00	120,00	4,20	332,00	44,00	18,00	2,20	0,20	4,00	0,20	-3,00	-1,00	2,30	0,25	-0,50	-0,05	-0,10	0,45	0,14	10,00	30,00	94

# Analyse	# Echantillon	Projet	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Cd	Cu	Ag	Ni	Mo	Zn	S(ppm)	Au	As	Br	Cr	Fe	Ir	Na	Sc	Sb	Se	Mass
67800	-		193,00	472,00	54,00	199,00	26,20	2,30	11,80	1,17	5,40	0,91	2,45	0,30	1,62	0,23	-0,50	49,00	-0,30	19,00	-1,00	114,00	500,00	21,00	-0,50	-0,50	30,00	3,85	-5,00	2,50	6,80	-0,10	-3,00	27,90
67801	73		32,10	80,70	10,60	44,80	8,51	2,59	6,55	0,84	4,53	0,86	2,37	0,33	2,14	0,35	-0,50	52,00	0,40	16,00	-1,00	124,00	1400,00	-2,00	-0,50	-0,50	36,00	7,11	-5,00	3,34	24,90	0,40	-3,00	32,70
67802	55		15,90	40,70	5,79	28,10	7,90	1,90	8,87	1,53	9,45	2,05	6,19	0,94	6,29	0,99	-0,50	43,00	0,40	22,00	-1,00	193,00	2000,00	-2,00	-0,50	-0,50	18,00	10,90	-5,00	2,06	34,00	-0,10	-3,00	30,10
67803	57		18,10	39,30	4,52	17,40	3,14	0,92	2,21	0,30	1,47	0,25	0,69	0,09	0,60	0,09	-0,50	3,00	-0,30	14,00	-1,00	53,00	100,00	-2,00	-0,50	-0,50	16,00	2,12	-5,00	6,51	4,70	-0,10	-3,00	29,60
67804	60		5,74	14,90	2,27	11,00	3,64	1,23	4,32	0,75	4,76	0,99	2,93	0,44	2,83	0,48	-0,50	39,00	-0,30	69,00	-1,00	193,00	500,00	-2,00	-0,50	-0,50	97,00	12,30	-5,00	0,14	41,60	-0,10	-3,00	29,60
67805	62		5,94	15,80	2,35	11,60	3,59	1,60	4,70	0,81	5,26	1,08	3,19	0,49	3,22	0,49	-0,50	37,00	-0,30	59,00	-1,00	112,00	1200,00	-2,00	-0,50	-0,50	98,00	10,60	-5,00	2,05	47,40	-0,10	-3,00	32,90
67806	30		8,91	19,40	2,34	9,59	2,16	0,72	2,05	0,31	1,85	0,37	1,07	0,16	1,02	0,16	-0,50	38,00	0,30	35,00	-1,00	74,00	12000,00	-2,00	4,80	-0,50	48,00	5,25	-5,00	0,14	13,30	-0,10	-3,00	29,60
67807	145		3,08	7,60	1,11	5,70	2,09	0,76	2,78	0,49	3,09	0,69	2,01	0,31	2,02	0,32	0,60	156,00	-0,30	146,00	-1,00	101,00	17300,00	-2,00	-0,50	-0,50	265,00	6,42	-5,00	2,17	41,00	-0,10	-3,00	35,80
67808	1		2,77	4,94	0,80	4,15	1,35	0,55	1,90	0,35	2,49	0,54	1,57	0,24	1,59	0,24	-0,50	15,00	-0,30	168,00	-1,00	84,00	200,00	9,00	4,00	-0,50	618,00	9,60	-5,00	1,78	47,30	-0,10	-3,00	32,30
67809	4		27,00	53,90	5,71	20,10	3,26	0,43	2,36	0,31	1,56	0,28	0,82	0,12	0,72	0,11	-0,50	14,00	0,30	6,00	-1,00	35,00	100,00	-2,00	-0,50	-0,50	22,00	0,97	-5,00	5,33	5,20	-0,10	-3,00	30,90
67810	6		4,01	5,31	1,01	4,91	1,60	0,60	2,26	0,41	2,82	0,59	1,82	0,26	1,78	0,28	-0,50	65,00	-0,30	97,00	-1,00	64,00	-100,00	-2,00	-0,50	-0,50	209,00	8,18	-5,00	1,56	41,90	-0,10	-3,00	36,30
67811	110		9,18	19,50	2,17	8,00	1,57	0,59	1,15	0,15	0,79	0,16	0,45	0,06	0,40	0,06	-0,50	82,00	0,60	10,00	1,00	153,00	11300,00	37,00	9,40	-0,50	19,00	2,60	-5,00	2,61	4,60	-0,10	-3,00	31,50
67812	85		12,30	31,00	4,07	17,20	4,31	1,80	4,15	0,64	3,78	0,74	2,14	0,31	1,91	0,29	-0,50	22,00	1,20	158,00	26,00	113,00	80200,00	-2,00	30,90	-0,50	202,00	14,40	-5,00	1,44	16,60	0,30	-3,00	29,80
67813	-		2,11	3,21	0,44	1,81	0,39	0,10	0,41	0,07	0,43	0,09	0,28	0,04	0,33	0,05	-0,50	1,00	-0,30	-1,00	-1,00	4,00	200,00	-2,00	6,60	-0,50	-5,00	0,42	-5,00	0,06	0,60	-0,10	-3,00	29,30
67814	63		40,70	109,00	14,90	64,70	13,30	4,66	11,40	1,59	8,98	1,67	4,85	0,68	4,41	0,70	-0,50	4,00	-0,30	23,00	-1,00	109,00	200,00	-2,00	6,90	-0,50	-5,00	8,10	-5,00	2,44	21,00	-0,10	-3,00	33,60
67815	65		64,80	165,00	20,70	83,90	14,50	4,11	9,78	1,15	5,61	0,97	2,61	0,35	2,11	0,33	-0,50	2,00	0,50	16,00	1,00	77,00	200,00	10,00	8,70	-0,50	25,00	6,94	-5,00	2,74	15,90	-0,10	-3,00	33,50
67816	66		24,80	58,50	7,50	31,40	5,49	1,81	4,23	0,53	2,78	0,50	1,40	0,20	1,38	0,20	-0,50	2,00	-0,30	27,00	-1,00	58,00	100,00	-2,00	6,50	-0,50	23,00	5,14	-5,00	2,85	12,20	-0,10	-3,00	35,10
67817	68		15,90	39,70	5,07	21,30	4,13	1,35	3,43	0,45	2,50	0,46	1,28	0,17	1,14	0,18	-0,50	41,00	-0,30	69,00	1,00	57,00	400,00	7,00	5,60	-0,50	62,00	7,58	-5,00	2,51	15,00	-0,10	-3,00	35,20
67818	70		21,70	51,50	6,71	27,00	5,23	1,52	4,01	0,57	3,13	0,57	1,60	0,23	1,52	0,23	-0,50	39,00	-0,30	123,00	-1,00	85,00	2900,00	-2,00	7,80	-0,50	94,00	6,07	-5,00	0,86	17,80	-0,10	-3,00	35,20
67819	71		15,40	40,40	5,46	23,70	4,39	1,38	3,15	0,39	2,00	0,35	1,00	0,13	0,82	0,13	-0,50	12,00	-0,30	100,00	1,00	65,00	-100,00	-2,00	8,00	-0,50	117,00	5,72	-5,00	2,30	15,90	-0,10	-3,00	33,00
67820	73		31,10	79,60	10,40	43,90	8,27	2,45	6,46	0,79	4,47	0,81	2,33	0,34	2,00	0,31	-0,50	36,00	-0,30	17,00	-1,00	133,00	900,00	-2,00	3,50	-0,50	11,00	6,14	-5,00	2,58	19,60	-0,10	-3,00	36,60
67821	122		39,80	93,20	11,50	46,50	8,46	4,89	5,56	0,57	2,76	0,45	1,27	0,18	1,03	0,15	-0,50	3,00	0,30	93,00	-1,00	91,00	-100,00	-2,00	4,90	-0,50	102,00	6,17	-5,00	2,22	12,90	-0,10	-3,00	37,40
67822	123		11,70	26,60	3,30	13,60	2,83	1,36	2,56	0,38	2,11	0,37	1,06	0,16	0,98	0,16	-0,50	3,00	-0,30	76,00	-1,00	80,00	-100,00	-2,00	-0,50	-0,50	79,00	5,90	-5,00	1,90	16,60	-0,10	-3,00	34,20
67823	77		54,90	125,00	14,70	54,40	8,76	1,45	6,09	0,81	4,60	0,88	2,51	0,37	2,59	0,40	0,80	11,00	0,80	4,00	4,00	140,00	300,00	9,00	-0,50	-0,50	108,00	1,60	-5,00	1,80	4,50	0,40	-3,00	35,70
67824	78		81,30	194,00	23,50	93,20	14,30	3,42	7,60	0,71	3,06	0,48	1,22	0,15	0,92	0,14	-0,50	73,00	0,40	45,00	-1,00	80,00	6400,00	-2,00	15,50	-0,50	42,00	5,10	-5,00	1,20	12,10	0,40	-3,00	34,50
67825	-		152,00	267,00	24,70	77,40	11,70	3,47	8,60	1,28	7,58	1,38	4,01	0,58	3,88	0,59	-0,50	6,00	2,80	3,00	7,00	227,00	-100,00	-2,00	2,40	-0,50	-5,00	3,20	-5,00	6,90	0,50	0,80	-3,00	28,50
67826	79		23,90	58,00	7,63	31,30	5,56	1,70	3,55	0,42	2,02	0,34	0,92	0,12	0,78	0,13	5,30	38,00	0,60	79,00	-1,00	901,00	21900,00	-2,00	7,10	-0,50	125,00	5,90	-5,00	1,40	20,00	0,40	-3,00	32,20
67827	81		22,90	47,40	5,49	20,90	3,93	0,97	3,36	0,47	2,67	0,51	1,52	0,24	1,63	0,23	-0,50	3,00	0,40	39,00	2,00	59,00	3700,00	-2,00	7,50	-0,50	88,00	8,10	-5,00	2,00	10,90	-0,10	-3,00	29,80
67828	114		26,50	38,60	4,48	17,10	2,75	0,97	1,64	0,18	0,88	0,15	0,45	0,06	0,42	0,07	-0,50	21,00	0,40	28,00	1,00	104,00	3600,00	-2,00	7,00	-0,50	33,00	2,80	-5,00	3,80	6,60	-0,10	-3,00	31,60
67829	116		34,40	67,80	7,27	26,20	3,57	1,16	2,14	0,23	1,15	0,21	0,59	0,08	0,53	0,09	-0,50	108,00	0,30	30,00	2,00	29,00	4900,00	-2,00	1,40	-0,50	25,00	2,10	-5,00	5,20	5,20	-0,10	-3,00	30,30
67830	117		20,20	41,50	4,55	16,10	2,32	0,80	1,50	0,19	1,00	0,19	0,53	0,08	0,50	0,07	-0,50	13,00	-0,30	18,00	2,00	19,00	600,00	-2,00	-0,50	-0,50	79,00	1,10	-5,00	5,20	4,30	-0,10	-3,00	31,00
67831	118		26,90	59,00	7,36	30,50	5,57	1,68	3,83	0,46	2,41	0,43	1,24	0,18	1,13	0,18	-0,50	106,00	-0,30	18,00	-1,00	32,00	26800,00	-2,00	7,20	-0,50	-5,00	6,10	-5,00	2,45	17,20	-0,10	-3,00	33,00
67832	126		5,94	14,40	2,07	9,02	2,00	0,90	1,72	0,20	1,01	0,18	0,54	0,08	0,53	0,08	-0,50	452,00	0,40	2,00	1,00	34,00	1600,00	-2,00	-0,50	-0,50	54,00	1,23	-5,00	8,38	6,30	-0,10	-3,00	33,20
67833	-		1,73	3,24	0,44	1,68	0,36	0,08	0,43	0,07	0,44	0,09	0,29	0,05	0,34	0,05	-0,50	10,00	-0,30	-1,00	-1,00	4,00	100,00	-2,00	-0,50	-0,50	-5,00	-0,01	-5,00	-0,01	0,20	-0,10	-3,00	29,90
67834	129		5,61	13,10	1,74	7,90	1,61	0,70	1,34	0,15	0,71	0,13	0,37	0,06	0,42	0,07	-0,50	79,00	-0,30	2,00	-1,00	14,00	500,00	-2,00	-0,50	-0,50	71,00	0,54	-5,00	3,92	10,30	0,20	-3,00	29,40
67835	130		3,27	7,35	1,05	5,02	1,66	2,25	1,89	0,25	1,39	0,26	0,80	0,13	1,03	0,19	6,10	2970,00	1,80	6,00	-1,00	1300,00	8100,00	-2,00	-0,50	-0,50	46,00	2,65	-5,00	5,93	14,40	-0,10	-3,00	31,80
67836	131		1,35	3,11	0,37	1,59	0,45	0,35	0,61	0,12	0,94	0,23	0,82	0,16	1,17	0,23	1,30	7320,00	4,10	22,00	-1,00	424,00	31300,00	-2,00	-0,50	-0,50	21,00	20,10	-5,00	2,13	9,00	0,40	-3,00	39,50
67837	132																																	

## Annexe 2 : Analyses La-ICP-MS

Source file	Secteur	Temps d'analyse (s)	As_ppm_m75	Se_ppm_m82	Sb_ppm_m121	Tl_ppm_m205	Ratio Se/Tl
144-1.	Chrissie	25,772	34,95905	3,79848	0,0814625	0,064239	59,1304348
144-2.	Chrissie	16,793	35,89005	3,71469	0,05586	0,01335985	278,04878
144-3.	Chrissie	53,788	43,98975	4,324495	0,07448	0,040964	105,568182
144-4.	Chrissie	46,057	54,7428	5,08326	0,238336	0,2015615	25,2193995
144-5.	Chrissie	46,306	44,92075	4,08709	0,147098	0,1047375	39,0222222
29-1.	David-RR	65,76	53,067	48,0396	1,43374	3,728655	12,8838951
29-2.	David-RR	34,085	79,08845	68,00955	4,24536	9,454305	7,19350074
29-5.	David-RR	51,128	137,5087	51,71705	6,838195	4,3757	11,8191489
29-4.	David-RR	49,881	29,74545	72,618	1,92717	1,410465	51,4851485
29-3-14Hz.	David-RR	13,218	111,9062	54,04455	1,522185	0,21413	252,391304
56-1-1-14Hz.	David-RR	34,667	674,975	27,4645	17,0373	0,0300713	913,312693
56-1-2-14Hz.	David-RR	20,534	105,6685	60,515	0,1531495	0,00283955	21311,4754
56-1-3-14Hz.	David-RR	25,024	35,23835	25,09045	4,71086	0,06530965	384,176764
61-2-3A.	David-RR	13,135	2,136645	1,0241	0,0889105	0,095893	10,6796117
61-1-4.	David-RR	19,37	181,0795	1,64787	2,1413	0,0067963	242,465753
56-2-2.	David-RR	24,691	50,274	29,9782	8,01591	0,1065995	281,222707
56-2-1.	David-RR	31,425	56,2324	44,2225	0,0656355	0,00063308	69852,9412
61-1-3A.	David-RR	35,332	13,35985	10,7996	0,6517	0,182476	59,1836735
61-1-3B.	David-RR	19,038	8,4721	2,322845	0,58653	0,22344	10,3958333
56-2-3.	David-RR	43,313	377,5205	8,42555	27,7438	0,02313535	364,185111
61-2-2.	David-RR	43,978	11,4513	1,9551	0,00544635	0,001512875	1292,30769
61-2-4.	David-RR	49,133	1,56408	4,04985	0,0182476	0,105203	38,4955752
61-1-1.	David-RR	49,881	0,3724	3,49125	0,1019445	0,0931	37,5
61-2-2BIS.	David-RR	54,869	1,42443	4,315185	0,05115845	0,0526015	82,0353982
61-1-2.	David-RR	106,91	1,959755	5,92116	0,10241	0,0768075	77,0909091
61-2-1.	David-RR	165,44	3,02575	5,599965	0,0259749	0,098686	56,745283
7-1.	ICON	39,399	1001,2905	26,02145	0,031654	0,00067032	38819,4444
7-2.	ICON	34,943	876,071	31,60745	0,162925	0,00049343	64056,6038
7-3.	ICON	16,651	265,335	22,344	4,70155	34,02805	0,65663475
7-4.	ICON	42,916	518,567	23,7405	0,1457015	0,00056791	41803,2787
7-5.	ICON	39,164	1014,79	49,94815	0,20482	0,0190855	2617,07317
7-6.	ICON	60,271	1089,27	32,53845	0,026999	0,00128478	25326,087
84-2-3.	Indian Lake	19,121	394,744	1,98303	0,13965	0,01862	106,5
84-1-2.	Indian Lake	31,259	472,948	2,24371	13,1271	2,993165	0,7496112
84-1-1.	Indian Lake	36,746	404,054	1,60132	0,0796005	0,00395675	404,705882
84-2-4B.	Indian Lake	48,966	388,6925	1,87131	0,209475	0,00190855	980,487805
84-2-4A.	Indian Lake	49,05	556,2725	2,239055	19,8303	3,542455	0,63206307
84-1-4.	Indian Lake	39,572	427,329	1,764245	7,7273	5,31601	0,33187391
84-1-3.	Indian Lake	63,848	398,9335	2,006305	8,5652	1,56408	1,2827381
84-2-1.	Indian Lake	53,539	554,4105	1,75028	17,44694	2,57887	0,67870036
84-2-2.	Indian Lake	128,36	541,842	2,15992	19,50445	2,136645	1,01089325
113-1.	Indian Lake	20,628	94,4965	2,33681	0,242991	0,059584	39,21875
113-2.	Indian Lake	39,061	52,55495	2,071475	0,364021	0,0963585	21,4975845
113-4.	Indian Lake	31,161	37,37965	2,127335	0,2071475	0,0656355	32,4113475
113-3.	Indian Lake	64,663	71,687	2,192505	0,2788345	0,1624595	13,495702
119-3.	Indian Lake	41,572	90,72595	3,51918	0,02220435	0,0507395	69,3577982
119-1.	Indian Lake	50,748	31,9333	2,29026	0,0870485	0,023275	98,4
119-2.	Indian Lake	57,395	72,2456	2,25302	0,4203465	0,229957	9,79757085

Source file	Secteur	Temps d'analyse (s)	As_ppm_m75	Se_ppm_m82	Sb_ppm_m121	Tl_ppm_m205	Ratio Se/Tl
51-2.	Km25	15,297	38,171	0,42826	0,423605	0,00053067	807,017544
51-1.	Km25	22,197	16,3856	0,907725	0,0132202	0,00134995	672,413793
51-4.	Km25	26,686	41,1502	0,94031	0,033516	0,01484945	63,322884
51-3.	Km25	102,59	52,6946	0,851865	0,01410465	0,000498085	1710,28037
48-2.	Km25	25,374	104,272	54,6497	0,0628425	0,00019551	279523,81
48-4.	Km25	38,763	41,895	53,2532	0,023275	0,000146162	364343,673
48-1.	Km25	43,07	50,274	51,8567	0,00181545	0,00097755	53047,619
48-3.	Km25	39,044	97,42915	51,205	0,0210406	0,00796005	6432,74854
52-2.	Km25	40,636	5,81875	172,7005	0,00162925	0,00097755	176666,667
52-1.	Km25	47,096	0,75411	141,2327	0,001419589	0,000535325	263826,087
52-3.	Km25	52,901	8,14625	174,60905	0,0049343	0,00098686	176933,962
52-4.	Km25	54,212	1,75028	145,7015	0,0015827	0,00033516	434722,222
146-5.	Lemoine	33,145	71,08185	4,091745	0,2816275	0,040033	102,209302
146-1.	Lemoine	42,073	0,053998	5,53014	0,11172	1,931825	2,8626506
146-4.	Lemoine	51,871	107,065	4,4688	1,32202	0,479465	9,32038835
146-3.	Lemoine	41,385	100,548	5,17636	0,432915	0,0572565	90,4065041
146-2.	Lemoine	52,953	0,0889105	14,37464	0,267197	3,46332	4,15053763
147-1.	Lemoine	21,254	60,515	78,6695	0,619115	0,0479465	1640,7767
147-3.	Lemoine	22,19	148,5876	41,66225	41,4295	0,2927995	142,289348
147-4.	Lemoine	24,063	129,73485	28,16275	44,8742	0,433846	64,9141631
147-5.	Lemoine	32,396	224,371	44,36215	0,26999	0,00237405	18686,2745
147-6.	Lemoine	51,029	163,5767	95,893	38,7296	0,373331	256,857855
147-2.	Lemoine	61,421	273,2485	170,373	10,38065	0,0656355	2595,74468
86-1.	Parc Allard	61,021	229,81735	2,816275	2,40198	0,3449355	8,16464238
86-2.	Parc Allard	33,005	263,0075	4,07778	2,76507	0,3682105	11,0745891
86-3.	Parc Allard	27,268	9,07725	1,848035	0,001219377	0,000498085	3710,28037
86-4.	Parc Allard	52,126	16,15285	2,173885	0,0122892	0,00851865	255,191257
86-5A.	Parc Allard	28,432	12,9409	1,996995	0,022344	0,000786695	2538,46154
86-5B.	Parc Allard	17,957	216,923	3,19333	1,4733075	0,758765	4,20858896
43-1.	Portage	31,674	26,48695	69,7319	0,0293265	0,0061446	11348,4848
43-2.	Portage	29,014	62,23735	84,20895	0,001099418	0,00040964	205568,182
43-3.	Portage	29,845	26,30075	68,56815	0,0203889	0,0053067	12921,0526
43-4.	Portage	45,142	49,1568	71,54735	0,0217854	0,00219716	32563,5593
45-1B.	Portage	17,409	1145,13	2,22509	0,014896	0,00019551	11380,9524
45-2.	Portage	16,093	237,405	4,11502	0,1112545	0,000367745	11189,8734
45-1A.	Portage	11,119	1377,88	2,341465	0,63308	0,00209475	1117,77778
45-3.	Portage	18,539	667,527	4,836545	0,796005	0,00084721	5708,79121
27-1-1a.	Saw Mill-KM08	20,872	118,237	1,298745	0,015827	0,00125685	1033,33333
27-1-1B.	Saw Mill-KM08	15,903	256,025	3,4447	0,21413	0,0052136	660,714286
27-1-2.	Saw Mill-KM08	24,859	75,8765	1,065995	0,0349125	0,015827	67,3529412
27-1-3A.	Saw Mill-KM08	38,93	121,03	2,59749	0,0311885	0,0033516	775
27-1-3B.	Saw Mill-KM08	51,594	148,5876	3,31436	0,1382535	0,082859	40
27-1-4.	Saw Mill-KM08	37,288	162,925	2,909375	0,030723	0,0581875	50
27-2-1A.	Saw Mill-KM08	17,589	134,995	1,605975	0,019551	0,00256025	627,272727
27-2-1B.	Saw Mill-KM08	15,244	79,6005	0,94031	0,0218785	0,00218785	429,787234
27-2-2.	Saw Mill-KM08	40,337	55,3945	7,8204	0,0404985	0,01540805	507,55287
27-2-3.	Saw Mill-KM08	65,195	174,097	6,800955	0,026068	0,0162925	417,428571
27-2-4.	Saw Mill-KM08	70,12	50,7395	6,679925	0,01568735	0,0302575	220,769231
67-1-3.	Saw Mill-KM08	13,8	40,964	2,965235	0,034447	0,0063308	468,382353
67-1-1A.	Saw Mill-KM08	23,86	20,9475	5,990985	0,628425	0,00200165	2993,02326
67-1-1B.	Saw Mill-KM08	18,373	82,3935	4,641035	0,026999	0,00044688	10385,4167
67-1-4.	Saw Mill-KM08	29,513	59,1185	4,091745	0,016758	0,002793	1465
67-1-2.	Saw Mill-KM08	35,499	61,446	8,132285	0,870485	0,01838725	442,278481
67-2-2.	Saw Mill-KM08	45,724	33,516	3,37953	0,0442225	0,0386365	87,4698795
67-2-4.	Saw Mill-KM08	50,962	16,33905	3,905545	0,02732485	0,0149891	260,559006
67-2-1.	Saw Mill-KM08	66,008	14,4305	5,81875	0,0656355	0,0330505	176,056338
67-2-3.	Saw Mill-KM08	67,921	15,6408	11,96335	0,116375	0,0270921	441,580756
72-1.	Saw Mill-KM08	18,29	141,0465	4,585175	0,1242885	0,00684285	670,068027
72-4.	Saw Mill-KM08	35,831	94,031	3,896235	0,118237	0,00600495	648,837209
72-2.	Saw Mill-KM08	38,408	29,6058	6,875435	0,49343	0,0423605	162,307692
72-3.	Saw Mill-KM08	40,736	134,5295	6,60079	0,38171	0,00665665	991,608392
96-3.	Saw Mill-KM08	12,582	0,0349125	2,72783	0,00889105	0,650769	4,19170243
96-4.	Saw Mill-KM08	13,752	0,042826	2,29026	0,00591185	17,284015	0,13250741
96-1A.	Saw Mill-KM08	21,945	0,2248365	4,352425	0,1131165	2,266985	1,91991786
96-1B.	Saw Mill-KM08	65,98	0,0283955	2,425255	0,00796005	0,458983	5,28397566
96-2.	Saw Mill-KM08	41,987	0,0805315	3,31436	0,02425255	0,3300395	10,0423131

Source file	Secteur	Temps d'analyse (s)	As_ppm_m75	Se_ppm_m82	Sb_ppm_m121	Tl_ppm_m205	Ratio Se/Tl
14-2.	Scott	26,031	118,56285	1,810795	0,7448	0,1065995	16,9868996
14-2B.	Scott	87,709	56,18585	1,862	1,3034	0,619115	3,0075188
14-3.	Scott	23,217	52,6015	1,43374	0,432915	0,054929	26,1016949
14-4.	Scott	20,872	48,83095	2,024925	0,140581	0,0423605	47,8021978
14-5.	Scott	68,479	63,4942	1,894585	0,51205	0,177821	10,6544503
13-1.	Scott	45,731	66,4734	1,34995	2,3275	0,17689	7,63157895
13-2.	Scott	41,509	25,4163	2,19716	3,170055	0,33516	6,55555556
13-3.	Scott	29,08	2,304225	4,222085	0,395675	0,022344	188,958333
13-4.	Scott	13,836	87,9795	1,26616	0,665665	0,0218785	57,8723404
16-1-1.	Scott	61,678	215,992	8,411585	1,345295	0,59584	14,1171875
16-1-2.	Scott	34,474	10,84615	3,82641	1,000825	0,25137	15,2222222
16-1-3.	Scott	41,744	59,1185	4,35708	4,31984	1,354605	3,21649485
16-1-4.	Scott	36,584	36,2159	3,961405	0,62377	0,181545	21,8205128
16-2-1.	Scott	35,646	1,36857	4,55259	0,11172	0,069825	65,2
16-2-2.	Scott	37,054	4,4688	4,156915	0,080066	0,045619	91,122449
16-2-3.	Scott	41,509	7,8204	4,29191	0,1010135	0,025137	170,740741
17-1.	Scott	13,602	380,779	1,335985	0,5586	0,0017689	755,263158
17-2.	Scott	18,996	0,0265335	2,890755	28,9541	2,229745	1,29645094
17-3.	Scott	54,642	162,925	1,568735	0,172235	0,0572565	27,398374
18-1.	Scott	45,496	61,446	22,01815	0,91238	0,107996	203,87931
18-2.	Scott	36,35	49,343	21,73885	0,535325	0,020482	1061,36364
18-3.	Scott	43,151	805,315	47,6672	0,851865	0,044688	1066,66667
18-4.	Scott	20,872	40,4985	26,999	0,62377	0,0321195	840,57971
19-2.	Scott	17,354	432,915	126,1505	1,317365	0,171304	736,413043
19-3.	Scott	22,044	68,894	113,1165	0,94031	0,084721	1335,16484
19-4.	Scott	36,819	243,4565	105,203	1,90855	0,108927	965,811966
20-1.	Scott	54,877	679,63	24,9508	0,498085	0,04743445	526,005888
20-2.	Scott	45,731	39,102	23,70326	0,151753	0,1177715	201,264822
20-3.	Scott	48,076	37,24	22,79088	0,1354605	0,109858	207,457627
139-4.	Taché	20,411	21,45955	35,51765	0,0516705	0,038171	930,487805
139-1.	Taché	38,576	17,689	36,8676	0,0290472	0,0311885	1182,08955
136-3.	Taché	46,815	125,685	25,2301	0,488775	0,144305	174,83871
139-3.	Taché	43,351	20,24925	32,81775	0,058653	0,053067	618,421053
139-2.	Taché	48,969	23,8336	33,6091	0,0302575	0,0163856	2051,13636
136-4.	Taché	52,339	74,0145	29,5127	0,0243922	0,0038171	7731,70732
136-1.	Taché	54,867	16,24595	30,30405	0,0311885	0,002164575	14000
136-2.	Taché	63,2	37,7055	26,30075	0,041895	0,00488775	5380,95238
125-3.	Taché	20,628	0,088445	14,04879	0,01270815	0,00265335	5294,73684
125-1.	Taché	31,308	0,182476	15,01703	0,0112651	0,03724	403,25
125-2.	Taché	31,308	0,0712215	14,146545	0,0080066	0,097755	144,714286
125-4.	Taché	15,946	0,200165	13,401745	0,0116375	0,016758	799,722222
131-2.	Taché	9,0704	0,0544635	27,32485	0,00730835	0,0125685	2174,07407
133-1.	Taché	9,5093	0,38171	17,5028	0,0101479	0,00377055	4641,97531
133-2.	Taché	4,3889	0,265335	22,01815	0,00571634	0,0040033	5500
133-3A.	Taché	6,5834	0,38171	21,73885	0,03724	0,040964	530,681818
133-3B.	Taché	8,7778	0,488775	24,34565	0,0200165	0,0209475	1162,22222
133-4.	Taché	10,972	0,386365	26,95245	0,1038065	0,0191786	1405,33981
128-1.	Taché	20,921	3,635555	25,7887	0,00470155	0,0237405	1086,27451
131-1.	Taché	24,578	0,0526015	27,4645	0,004449761	0,030723	893,939394
128-2.	Taché	51,058	17,689	38,31065	0,0553945	0,067032	571,527778
128-3.	Taché	57,787	17,27005	37,5193	0,00889105	0,0256025	1465,45455
128-4.	Taché	49,595	17,54935	35,61075	0,00432915	0,0073549	4841,77215
39-1-1A.	Taché	10,095	0,256025	18,66655	0,0321195	0,00283955	6573,77049
39-1-1B.	Taché	9,5093	0,69825	22,85605	0,0665665	0,0053067	4307,01754
39-1-2.	Taché	10,68	1,028755	21,1337	0,0321195	0,0010241	20636,3636
39-1-3.	Taché	13,313	0,712215	30,9092	0,0488775	0,01419775	2177,04918
5-3.	UMA	32,598	0,115444	179,82265	0,067032	0,0014896	120718,75
5-4.	UMA	45,496	0,0600495	175,81935	0,076342	0,0349125	5036

**Rapport-Gratuit.com**