UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉTUDES DES CONTRÔLES STRUCTURAUX ET PARAGENÈSES DES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES DE LA PROPRIÉTÉ CUMERAL, SONORA, MEXIQUE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MAITRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR

JOCELYN PELLETIER

MAI 2018

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.10-2015). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

J'ai beaucoup de gens à remercier, malgré les deux pages suivantes, je n'arrive à peine à affleurer la gratitude que j'ai pour les gens qui m'ont aidé dans mon cheminement de géologue. Ces remerciements seront probablement non-conventionnels, car ils viennent du cœur et les choses authentiques rentrent rarement dans l'étroitesse des boites formelles.

Michel Gauthier est une source d'inspiration pour tous ceux qui le croise lors de leur cheminement en exploration. Dans les milliers de géologues que j'ai rencontrés, c'est de loin l'un des meilleurs avec qui j'ai travaillé. Pilier de la géologie au Québec, il marche hors des sentiers battus pour trouver les indices qui mènent à comprendre la formation des gisements. Géologue multidisciplinaire, habité par l'âme du prospecteur (*pro = avant, aspect = voir*), sa maîtrise de l'histoire lui permet de transcender le temps et reconstituer les contextes de la source des faits. Son sens de l'observation, son discernement, sa rigoureuse méthodologie, et ses solides fondations provenant de connaissances pratiques, font de lui un redoutable prédateur en Exploration. Tout au long de ma carrière, ses enseignements m'ont amené à voir plus loin. C'est lui qui m'a permis de réaliser un vieux rêve, celui de faire une maîtrise. Si j'ai autant voyagé, c'est probablement à cause de ses captivants récits d'aventure en contexte de travail. Pour ta façon unique de transférer la connaissance, ta rigueur, ta générosité, et ta précieuse amitié. Merci Michel.

André Saint-Michel est le socle stable de cette maitrise, par sa confiance et son appui, il est l'employeur qui a propulsé ma carrière en me confiant l'évaluation de ses propriétés. Géologue minier accomplis, il a une vision complète des étapes que l'entreprise devra franchir pour passer de l'exploration au l'exploitation. Président de compagnie, a plusieurs reprises, il a amené des petites entreprises à un autre niveau. Homme d'affaire d'expérience, il sait reconnaitre les bonnes opportunités. C'est de loin, le meilleur employeur qu'un travailleur puisse avoir. Grâce à son soutien à tous les niveaux, j'ai eu la chance de produire ce mémoire qui je l'espère nous donnera la compréhension pour révéler les possibles richesses de la propriété Cumeral. Pour votre hospitalité, votre amitié et votre soutien, Merci André et Maite.

André Ciesielski est l'un de mes principaux mentors en géologie avec qui j'ai eu la chance de travailler. Nos âmes de philosophe se sont croisées et enfin, quelqu'un pouvait m'accompagner dans les profondeurs des mystères de l'origine de la Terre. C'est l'une des personnes les plus érudites que j'ai eu la chance de côtoyer, sa maîtrise de l'étymologie et son souci de la pertinence des mots ont forgé la structure de mon langage. Sa grande stature et sa force légendaire ont été fortement appréciées lors de multiples projets d'exploration. Pour m'avoir soutenu depuis le commencement, nos palpitantes discussions et ta générosité. Merci André.

Normand Goulet est aussi un pilier de géologie au Québec. Il est l'initiateur des structures de ma vision géologique, et c'est à lui que je dois ce regard perspicace du structuraliste. Explorateur audacieux, sa passion l'a amené à parcourir le monde et à contribuer à de grandes découvertes qui brillent tels les diamants du Nord du Québec. À chaque fois qu'il le pouvait, il m'a amené sur le terrain (Canada, Maroc, Pérou) et cela a fait toute la différence dans ma formation. Il répétait l'importance de la composante structurale dans la formation des gisements, maintenant, je comprends. Pour tes enseignements, ton amitié et toutes ces grandes excursions. Merci Normand.

Alain Tremblay est un exceptionnel enseignant en Sciences de la Terre qui a une vue d'ensemble hors du commun. Son esprit critique et sa capacité de synthèse permet de cerner rapidement l'essentiel. Je le remercie de nous avoir amené sur le terrain pour transmettre sa vision de la tectonique et la structurale. Pour ses enseignements appliqués, son authenticité, sa rigueur et son professionnalisme. Merci Alain.

Michel Jébrak est un professeur généreux, un chercheur de calibre international et ambassadeur d'innovation, ses enseignements multidisciplinaires ont fait toute la différence dans notre formation universitaire. Sa vivacité intellectuelle combinée à sa capacité à avoir une vue d'ensemble, nous amène à clarifier les contextes géologiques et faire la synthèse des environnements métallogéniques. Pour son enthousiasme, ses précieux enseignements et ses excursions sur le terrain. Merci Michel.

Michel Préda est présent depuis mes premiers pas à en géologie. Chercheur multidisciplinaire, et expert de la diffractométrie, ces rayons font lumière sur les indices nécessaires à la compréhension des plus complexes assemblages minéralogiques. Superviseur de mes activités de laboratoire de recherche depuis 2000, il m'a permis d'approfondir les préceptes de la géochimie et a su alimenter mon insatiable passion pour la minéralogie. Après toutes ces années d'amitié et de collaboration, je suis toujours le bienvenu dans son laboratoire. Pour ta précieuse amitié, tes connaissances multiples et ton support. Merci Michel.

Michel Boily est un géologue dont j'admire la qualité de son travail. Il a été le géologue indépendant en charge de la rédaction des rapports NI-43-101 sur le projet Cumeral. Ses travaux ont changé ma vision des projets. J'adore lui partager mes opinions et les discussions qui résultent de nos échanges sont toujours dans la poursuite des travaux. Je le remercie pour m'avoir partagé ses informations basées sur de solides références qui ont été essentiels pour la production de ce mémoire. Pour nos échanges, ton point de vue et tes outils si significatifs. Merci Michel.

Jacques Marchand est un géologue hors du commun, c'est celui qui voit ce que les autres ont négligés de prendre en considération. Sa vision synthétique et sa méthodologie systématique ont eu raison de mon pointilleux souci du détail. Il m'a enseigné à me contenter de décrire, au lieu d'interpréter. Géologue de ressources hors pair, par ces connaissances pratiques en exploration et des logiciels GIS, il m'a transmis sa vision tridimensionnelle de l'espace. Pour ta générosité à tous les niveaux, ton humour unique et toutes ces opportunités. Merci Jacques.

Greg Hryniw et GTP qui ont développé une méthode révolutionnaire pour faire des concentrés d'échantillons de roche... tellement de réponses. J'espère que l'industrie bénéficiera bientôt de cette nouvelle technologie en exploration. Merci Greg.

Manon Valette, ma petite sœur structurale, est une jeune géologue remarquable qui démontre déjà l'étoffe des grands. Merci³ Manon pour ta précieuse aide.

Sandra Lopez, la femme de ma vie, sur qui je peux toujours compter, même dans les pires moments d'épreuve, elle trouve moyen de m'aider à en sortir gagnant.

MERCI à l'aide et la contribution de ces gens : Stéphane deSouza, Nicolas Mériaud, Jeffrey Hedenquist, Ricardo Vega, Jonathan Nourse, Viorel Horoi, Guillaume Augereau, Ariane Loisel, François Goulet, Olivier Nadeau, Robert Martin, Pierre-Alain Wülser, Raynald Lapointe, Yannick Daoudene, Marc Bardoux, Pierre Lacoste, Denise Fontaine, Jean-Sébastien Lavallée, François Auclair, Stephen Roach, Marie-Kim Lachapelle, Laurent Eustache, Robert Corbeil, Maite Del Campo, et mes chers légendaires compagnons de terrain Mexicain, **Gerardo Esparza** et **Arturo Aragon**.

Je REMERCIE **ma famille** pour être l'essence du moteur de ma motivation pour toujours aller de l'avant, mon père Robert, ma mère Françoise, ma femme Sandra, ma fille Estrella, ma sœur Sonia et son Martin. Merci pour m'avoir supporté durant mon long processus d'introspection et d'autodiscipline, nécessaire à la rédaction de ce mémoire pour accéder à la maîtrise. Comme diraient les anciens, un pas de plus sur le sentier rouge, celui qui transforme. Merci aussi à mes proches, comme Nina, Jacques, JC, Gino, Claude, Claudine, Jayco, les 2 Fred, Sis, Loup, pour ce qu'ils sont, et pour avoir compris que je devais m'éloigner pour revenir plus fort. Migwetch milles fois.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURESxii
LISTE DES TABLEAUXxxi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMESxxii
RÉSUMÉxxiv
ABSTRACTxxv
INTRODUCTION
0.1. Mise en situation1
0.2. Problématique
0.2.1. Sujet de la recherche
0.3. Localisation du projet
0.4. Méthodologie
0.4.1. Travaux de terrain
0.4.1.1. Travaux de terrain non-réalisés
0.4.1.2. Travaux de terrain comprementances
0.5 Structure du document
CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HISTORIQUE DES TRAVAUX
1.1. Contexte geologique
1.1.1. La province geologique du Basin and Range (B&R)
1.1.1.2. Mode extensif des dômes métamorphiques
1.1.1.3. Principaux types de structures accommodant l'extension
1.2. La géologie de l'état de Sonora15
1.2.1. La géologie du nord de Sonora17
1.2.2. Contrôles structuraux de la géologie de la région de Magdalena
1.3. Exploitation minière au nord du Mexique

1.3.1. Exploitation minières aurifères de la région de Magdalena	24
1.4. Historique des travaux effectués sur la propriété Cumeral	27
1.4.1. Anciens travaux miniers	27
1.4.2. Travaux d'exploration de Corem	30
1.4.3. Travaux d'exploration de VVC Exploration Inc.	31
1.4.3.1. Première campagne d'exploration de VVC (2009)	31
1.4.3.2. Campagne récente de cartographie et d'échantillonnage	33
1.4.3.3. Campagne de lorages de VVC en 2013	כנ
CHAPITRE II	35
LES PROTOLITHES DE LA RÉGION DE MAGDALENA DE KINO	35
2.1. Les grès quartzitiques Jurassiques	35
2.2. Les roches volcanites felsiques jurassiques	36
2.3. Les intrusifs felsiques	40
2.3.1. Leucogranite	40
2.3.3. Monzogranite à biotite	41
2.4. Les intrusifs mafiques	42
2.4.1. Les grès lithiques crétacés (SCG)	43
2.4.2. Les conglomérats crétacés	43
CHAPITRE III	45
LES LITHOLOGIES DÉFORMÉES DE LA PROPRIÉTÉ CUMERAL	45
3.1. Lithologies déformées	45
3.1.1. Schiste felsique à muscovite (SH1)	46
3.1.2. Schiste felsique à deux micas et quartz porphyroclastiques (SH2)	47
3.1.3. Schiste felsique à deux micas et feldspath porphyroclastique (SH3)4	48
3.1.4. Schiste à biotite (SH4)	19
3.1.5. Schiste à biotite et porphyroclastes millimétriques de feldspath (SH7)5	52
3.1.6. Schiste à muscovite et galets de quartzites (SH8)	53
3.1.7. Schiste à clastes felsiques (SH9)	54
3.1.7.1. Schiste à clastes felsiques profilés (SH9a)	54
3.1.7.2. Schiste a clastes leisiques anguleux (SH90)	24
3.1.8. Quartzite myionitique (HQM)	00
3.1.9. Bandes calcosilicatees (USB))/

3.2. Métamorphisme prograde et rétrograde
3.2.1. Lame mince de CU12-JP058b : Bande calcosilicatée métasomatisée (CSB)
3.2.2. Lame mince de CU12-JP185 : Les schistes à biotite et quartz (SH4) 59
3.2.3. Lame de CU12-JP212 : Schiste à biotites et feldspaths porphyroclastique (SH5)

CHAPITRE IV	
MÉTASOMATISME PÉRIMAGMATIQUE	
4.1. Altération hydrothermale d'origine périmagmatique	
4.1.1. Argilisation	
4.1.2. Argilisation avancée	64
4.1.3. Séricitisation et Phyllitisation	66
4.1.4. Silicification	68
4.1.4.1. Veines verticales	69

CHAPITRE V	72
PRINCIPAUX INDICES AURIFÈRES DE CUMERAL	72
5.1. Présentation des secteurs minéralisés de Cumeral	
5.2. Indice Betabel (Secteur B)	75
5.3. Indice Corales	
5.4. Indice Fuerte & Raul	
5.5. Indice Elegante	
5.6. Indice Altacobre	

5.6. Indice Altacobre	
CHADITDE VI	110
PHASES DE MINÉRALISATION AURIFÈRE ET CUPRIFÈRE	
6.1. Multiples phases aurifères de la propriété Cumeral	
6.1.1. Phase aurifère 1 : Phyllitisation	
6.1.2. Phase aurifère 2 : Les filonets discordants	
6.1.3. Phase aurifère 3 : Infiltration hydrothermale tardive	
6.1.4. Synthèse des phases aurifères	
6.2. Les minéralisations cupro-aurifères	

6.2.1. Phase 1 : Phyllitisation et Chloritisation
6.2.2. Phase 2 : Événement siliceux filonien141
6.2.3. Phase 2 ou 3 : Filonets hydrothermaux tardif
6.2.4. Paragénèse d'Altacobre
CHAPITRE VII
CONTEXTE STRUCTURAL DE CUMERAL
7.1. Evidences d'un dôme métamorphique sur la propriété Cumeral
7.2. Évolution du MCC et de la déformation sur la propriété Cumeral
7.2.1. Cisaillement ductile lié au détachement (D3a)
7.2.1.1. Officially content (D2h)
7.2.2. Cisaliement ductile-cassant (D3b)
7.2.3. Cisaillement en milieu cassant (D3c)
7.3. Relation chronologique des evenements hydrothermaux
7.4. Evidences de la mise en place de la mineralisation en regime extensir
7.4. Composante structurale du lineament Imuris
DISCUSSION
8.1. Récapitulatif de l'évolution tectonique du Nord de Sonora
8.1.1. Possibles minéralisations liées à D1167
8.1.2. Possibles minéralisations liées à D2167
8.1.3. Minéralisations liées à D3167
8.2. Synthèse des événements minéralisateurs
8.2.1. Minéralogie des minéralisations de Cumeral168
8.3. Comparaison avec des gisements similaires
8.3.1. Ada-Tepe, Bulgarie171
8.3.2. La Jojoba & la lluvia de Oro, Sonora, México
8.3.3. Sappes, Grèce
8.3.4. Mesquite, Californie, États-Unis
8.4. Comparaison avec les gîtes présentés
8.4.1 Similitudes entre Cumeral et Mesquite
8.5. Typologie du gîte Cumeral
8.6. Métallogénie du gîte de Cumeral

8.7. Proposition de modélisation des métallotectes de la propriété	Cumeral 182
8.7.1. Possible métallotecte lié à D3b	
8.7.2. Possible métallotecte liées à D3c	
8.8. Propositions d'optimisation de recherche en exploration	
CONCLUSION	
RÉFÉRENCES	
ANNEXE A	
Tableaux complémentaires au projet d'étude Cumeral	
ANNEXE B	
Cartes complémentaires au projet d'étude Cumeral	
ANNEXE C	
Sections complémentaires au projet d'étude Cumeral	

LISTE DES FIGURES

Figure Pag	;e
Figure 1 : Localisation de la propriété Cumeral sur une carte routière du nord de Sonora, Mexique	3
Figure 2 : Localisation sur une carte satellite des principaux blocs de claims de la propriété Cumeral.	4
Figure 3 : Localisation de Cumeral sur une carte géographique de la Province du Basin and Range (en hachuré) couvrant le sud-ouest des États-Unis et le Nord du Mexique, (modifié de USGS, 2003)1	0
Figure 4 : Modèle d'effondrement de la plaque océanique sous la plaque continentale générant un changement du volcanisme dans la Province du B&R, du Crétacé supérieur au Miocène (Rehrig, 1986)1	2
Figure 5 : Schématisation du dôme métamorphique de Santa Catalina (Arizona) comme exemple de contexte géologique du B&R, similaire à	
celui de Magdalena de Kino. (Spencer & Reynolds, 1986)	3 4
Figure 7 : Diagramme de la relation entre profondeur et type de déformation d'une faille de détachement (modifié de Gibson, 1977, et Lister &	4
Figure 8 : Subdivision de l'assemblage géologique du nord de Sonora, en	4
Figure 9 : Carte géologique du sud de l'Arizona et du nord de Sonora, montrant les roches sédimentaires du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur associées à des affleurements plus anciens d'arc Jurassique et de socle (Nourse, 2005)	8
Figure 10 : Géologie de la région de Magdalena-Imuris montrant des MCC exposant des roches jurassiques contrôlées par la faille de détachement de Magdalena (Boily, 2012, modifié de Nourse, 2005)	9
Figure 11 : Coupe stratigraphique montrant la relation entre les unités au contact de la faille de détachement, située au nord de la Sierra Magdalena (Nourse, 1995)	0
Figure 12 : Géologie de la région de Magdalena-Imuris, Sonora, Mexique (Nourse, 1995)	1
Figure 13 : Coupe géologique dans le MCC de Magdalena (Nourse, 1989)	3
Figure 15 : Localisation des anciens travaux miniers sur la propriété Cumeral.	8

Page

Figure 16 : Carte des indices d'or faite à partir de la campagne d'échantillonnage de 2011 et 2012 réalisée par VVC Exploration29
Figure 17 : Carte des positions des trous de forage et teneur sur les secteurs B
Figure 18 : Carte des anomalies aurifères de sol montrant les zones anomaliques et la position des échantillons de surface (Boily, 2012)
Figure 19 : Roche à grains fins, composée à plus de 95% de quartz, contenant de rares porphyroclastes de quartz et feldspath, CU12-JP236,
Figure 20 : Microphoto en lumière transmise naturelle montrant la disposition des grains de quartz et des biotites chloritisées CU12-IP223
Figure 21 : Rhyolite provenant de la Sierra El Pinito, Sonora, Mexique
Figure 22 : Roche felsique peu déformée ayant préservé le rubanement du
fluage magmatique d'une coulée de rhyolite, CU13-JP550
Figure 24 : Roche felsique à fragments monogéniques anguleux de taille
Figure 25 : Coupe stratigraphique montrant la relation de recoupement entre les unités du sud de la Sierra Magdalena (Nourse, 1995).
Figure 26 : Exemples de granite à deux micas (granite faiblement folié de la station CU12-JP372 et granite modérément folié de la station CU12-
JP295)
Figure 27 : Monzogranite a biotite et feldspaths porphyriques, CU12-JP38342
JP266
Figure 29 : Conglomérat cisaillé à matrice arénitique, et à clastes de rhyolite arrondis, CU12-JP258
Figure 30 : Unité à clastes felsiques consolidés, station CU12-JP266
Figure 31 : Microphotographie en lumière transmise montrant la composition typique des SH1 station CU13-IP233 46
Figure 32 : Microphotographie en lumière naturelle polarisée montrant un porphyroclaste (sphérule) de quartz dans une matrice de SH2, station CU13-JP290
Figure 33 : Forme profilée des porphyroclastes de feldspaths
Figure 34 : Porphyroblastes de grenat almandin dans une zone SH4
Figure 35: Agglomération d'orthose-quartz (fusion partielle) autour d'hématite spéculaire reposant dans une matrice intermédiaire de SH5 riche en biotite à porphyroclastes prismatiques remplacés par du feldspath. CU12-JP212
Figure 36 : Xénolite de schiste SH4, et porphyroblastes de microcline dans le schiste SH6 et SH4, CU11-JP225

Figure	37 : Porphyroclastes de feldspath altéré dans un schiste felsique riche	-
D '	en biotite, CU12-JP430.	52
Figure	38 : Metaconglomerat montrant des galets allonges de quartzite dans un schiste à muscovite, CU13-JP5275	53
Figure	39 : Clastes felsiques polygéniques dans une matrice intensément	.1
Figure	40 : Schiste à fragments monogéniques felsiques	5
Figure	41 : Quartzite mylonitisée montrant une oblitération des textures	6
Figure	42 : Microphotographie en lumière transmise montrant	57 57
Figure	43 : Lentille riche en quartz-chlorite-épidote dans un schiste riche en biotite (SH5), Station CU12-JP212	8
Figure	44 : Microphotographie en lumière transmise montrant des cristaux de grenat présents entre le quartz et d'épidote dans une CSB, station CU12-JP058b	9
Figure	45: Microphotographie en lumière transmise montrant un porphyroblaste de grenat traversé de lamelles de biotites, reposant dans la matrice riche en biotite chloritisée d'un schiste SH4, station CU13- JP185	0
Figure	46 : Microphotographie en lumière naturelle polarisée montrant un porphyroblaste prismatique de hornblende à texture poeciloblastique, schiste SH5, CU12-JP212	1
Figure	47 : Microphotographie en lumière naturelle polarisée montrant les vestiges d'un minéral rectangulaire remplacé par la microcline et montrant un cœur constitué d'un minéral formant des fines baguettes (sillimanite), schiste SH5, CU12-JP212	1
Figure	48 : Schiste à muscovites avec des cavités allongées au pourtour blanchi composées de quartz-feldspath-épidote, Station CU12-JP304. Figure 49 : Placage de kaolinite dans les plans des filonets discordants (Fl Corales, station CU13-JP001	D), 4
Figure	50 : Filonets pervasif conforme à la schistosité (FCp) avec l'encaissant blanchit par l'altération hydrothermale, station CU11-JP037	5
Figure	51 : Profile XRD montrant la signature minéralogique de CU13- JP009Bx, évaluant le ratio de concentration entre l'alunite, jarosite et rosenite	6
Figure	52 : Roche à grain fin riche en quartz, interprétée comme un sédiment quartzitique avec une altération phyllique de par la présence séricite poudreuse blachatre accompagnée de fines disséminations de pyrite, CU12-JP230b	7
Figure	53 : Profil XRF montrant la présence de séricite dans une zone d'altération de CU12-JP230b	8

Figure	54 : Front de silicification riches en pyrite, subconforme à la schistosité des schistes à muscovites et feldspaths blancs, Station CU13-JP516,
	Secteur A
Figure	55 : Vue rannrochée de l'échantillon CU13-JP047. Secteur B. 70
Figure	56 : Encaissant très riche en muscovite, et présence de cubes de pyrite oxydée dans les épontes et la veine, Station CU11-JP11271
Figure	57 : Carte simplifiée des six principales zones minéralisées de la propriété Cumeral et les grandes structures NO-SE74
Figure	58 : Minéralisation filonienne hématisée de Betabel, Station CU11- JP009, Snake Pit, Secteur B
Figure	59 : Carte géologique de l'indice minéralisé de Betabel. Secteur B
Figure	60: Veinules de quartz avec halo d'altération hydrothermal et
	séricitisation dans un schiste (SH7) à porphyroclastes de microcline et
	quartz, partie inférieure de Betabel, station CU11-JP009c, Snake Pit,
	Secteur B
Figure	61 : Micro-bréchification subtile dans la zone altérée à haute teneur aurifère (4.85g/t Au) de Betabel, station CU11-JP009b, Snake Pit,
	Secteur B
Figure	62 : Linéations d'étirement subhorizontale résultant du cisaillement
8	dans le schiste, station CU11-JP009b, Snake Pit, Secteur B
Figure	63 · Représentation stéréographique des principales structures
8	minéralisées de l'indice Betabel 80
Figure	64 · Section de l'interprétation géologique de la zone Betabel 82
Figure	65 : Carte géologique de l'indice minéralisé de Corales Secteur C 84
Figure	66 : Minéralisation aurifère liée à des veinules riches en pyrite (FD)
1 iguio	dans des schistes à muscovite et feldsnaths blancs (SH3) vue vers le
	sud-est Station CU11_IPO01 First Pit Corales (Secteur C)
Figure	67 : Réseau de veinules de quartz (FD) énousant la texture cassante de
I Iguit	l'encaissant échantillon CUILLIPOOLy Corales
Figure	68 : Filon ED à quartz drusique dans les cavités des zones minéralisées
Figure	CU11 10027 Corolog
Figure	60 : Deprécentation stérée graphique des principales structures
rigule	minéralisées de l'indiae Caralas
D.	70. Deale falsing malarities (IIOD) mentant l'ablitération de
Figure	70: Roche leisique mylomusee (HQP) montrant l'obliteration des
D '	textures originales du protoinine, Station CUII-JP229, Secteur C
Figure	71: Veine de quartz a pyrite oxydee subconforme au cisailiement,
-	Coralecita, Station CUTI-JP335, Secteur C
Figure	72: Interprétation géologique de la zone Corales, à partir de
	l'échantillonnage de surface et des forages
Figure	73: Carte géologique de l'indice minéralisé de Fuerte-Raul, Secteur F94
Figure	74 : Veines (FD) de quartz riches en pyrites oxydées recoupant avec la
	schistosité, dans un schiste (SH6) à biotites et feldspaths blancs,
	Station CU13-JP203C, Raul, Secteur F

Figure	75 : Crayon pointant dans l'axe du pli d'une bande riche en hornblende
	dans un schiste SH4, vue vers i est, zone situee dans le toit de l'indice
	Raul, Station CU12-JP402, Secteur F
Figure	76 : Veine (FCm) de quartz subconforme dans le schiste SH6, zone
	Fuerte, Station CU12-JP312, Secteur F
Figure	77 : Schiste (SH6) à biotite et feldspath porphyroclastique, Station
	CU12-JP570, zone Fuerte, Secteur F
Figure	78 : Bréchification tardive d'une veine minéralisée, Station CU12-
U	JP435. Fuerte. Secteur F
Figure	79 : Pyrite partiellement oxydée dans une veine de quartz aurifère.
0	Station CU12-IP426h Everte Secteur F 100
Figure	80. Représentation stéréographique des principales structures
I Iguit	minéralisées de l'indice Fuerte Raul
Figure	81 · Course géologique de la zone Deul avec la condece CU12 DC012
riguie	of Coupe geologique de la zone Raul avec le sondage COTS-RCOTS,
D '	vue vers le nord, Secleur F
Figure	82: Veinules FD recoupant la breche hydrothermale a tragments de
	schiste SH2, Station CU11-JP015
Figure	83 : Carte géologique de l'indice minéralisé d'Elegante, Secteur E 104
Figure	84 : Filons (FD) riches en pyrite oxydée recoupant la brèche
	hydrothermale contenant des fragments de schistes SH2 et des
	boxworks de pyrite, Station CU11-JP015, Elegante 105
Figure	85 : Représentation stéréographique des principales structures
	minéralisées de l'indice Elegante107
Figure	86: Brèche de faille (25cm), avec veinules de quartz (FD), vue vers
Ŭ	l'est. Station CU11-JP575, Secteur E
Figure	87: Interprétation géologique de la zone Elegante, à partir de
8	l'échantillonnage de surface et des forages 109
Figure	88: Excavation montrant une CSB pentée vers le Sud recoupant la
Inguie	schistosité de la roche encaissante pentée vers l'Est CU11_IP012 vue
	vom la Sud du Connar Dit Soataur A
Einen	Vers le Sud du Copper Fit, Secteur A
Figure	89 : Figure 1 : Carle geologique du secleur A 112
Figure	90: Aspect d'une epaisse MCSB riche en amphibole-grenat, montrant
	un placage de malachite en fracture, Station CU11-JP058, Altacobre 112
Figure	91: Aspect d'une mince MCSB métasomatisée riche en quartz-épidote,
	recoupée par des filonets de quartz-chrysocolle, Station CU11-JP057,
	Altacobre
Figure	92: Veine de quartz recoupant la texture bréchique d'une CSB
U	métasomatisée riche en quartz-épidote. Station CU13-JP556
Figure	93: À gauche : CSB bréchique à matrice riche d'oxyde de fer.
0	recouvert de calcédoine. Station CU13-IP555
Figure	94 · Représentation stéréographique des principales structures
inguic	minéralisées de l'indice Altacobre
	minor anovos de 1 mariee Anavoore

Figure	95 : Séricitisation trouvée au contact avec la MSCB, et appendice de la
	CSB fiche en grenat almandin discordant à la foliation, Copper pit,
T '	Station CUTI-JP012.
Figure	96: Interprétation géologique de l'indice Altacobre, fait à partir de l'échantillonnage de surface et du forage CU13-RC014
Figure	97 : Microphotographie en lumière naturelle polarisée montrant une
	fracture remplis de quartz-séricite recoupant l'encaissant, CU13-
	JP001x, Corales
Figure	98 : Analyse spectrale (MEB) confirmant la présence de Zn-Pb-Fe-S
-	dans les sulfures, et le Si-Al-K-Mg-S-O des minéraux d'altération,
	CU13-JP027
Figure	99 : Microphotographie (MEB) montrant des disséminations de pyrite.
8	galène et sphalérite dans une zone d'altération à sericite-quartz-chlorite
	et possiblement alunite-kaolinite. CU13-JP027
Figure	100: Microphoto (MEB) montrant un grain d'or et minéraux associés
- iBai e	CU13-IP001 122
Figure	101. Or et sulfosels associés à des amas de fins cristaux de séricite-
1.9410	alunite, CU13-IP009bx 123
Figure	102: Analyse spectrale (MEB) confirmant la présence d'or-argent
Baro	associé aux sulfosels de Bi-As-TI-S CU13-IP009Bx 123
Figure	103 · Vue de près de l'échaptillon CIII3-IP001x Indice Corales 124
Figure	104 : Microphotographie en lumière réfléchie d'un grain d'or dans la
Tiguio	nvrite oxvdée en hématite CU13-IP001A
Figure	105: Microphoto (MER) montrant un grain d'or dans une matrice
Inguie	d'oxydes de fer CU13-IPO01X 125
Figure	106 : Analyse (MER) du spectre géochimique fait sur le grain d'or
I Iguit	montrant une faible concentration d'argent CU113_IP001X 126
Figure	107: Microphotographie (MER) montrant la texture fluidale de grains
I Iguit	d'or et argent dans le quartz d'un filonet ED échantillon CU13
	IDO01Y 126
Figure	109 : Grains d'ar (électrum) et d'argent provenant d'un concentré de
riguie	minéreux lourde feit eu Lebereteire privé CTP CU12 ID001X 127
Figures	100. Microphotographic (MED) montront lo touture fluidele de graine
riguie	d'an at amount dans la quarte d'un filon at ED. CU12 ID001V 127
Figure	110. Mieronhotographie on lumière réfléchie d'en remobilisé done les
riguie	frostures de la numite curvidée en hémotite. CU12 ID001
Eimme	111. Micromhotographie en lumière réfléchie mentrent le subtilité des
Figure	filmete d'altération hudrathamala (EUTT) nomeligant la subtilité des
	finites d'alteration hydrothermale (FHTT) remplissant le systeme de
	ractures et les ragments de cristaux d'epidote ecrases, CU13-JP009B,
D:	
Figure	112: Microphotographie en lumiere reflechie montrant la subtilité des
	nionets d'alteration hydrothermale remplissant le système de fractures
	de veinule de quartz, CU13-JP009B, Betabel

Figure 113 : Différentiation morphologiques des grains d'or provenant du
concentré de minéraux lourds fait par GTP, CU13-JP001X131
Figure 114 : Famille de grains d'or et électrum de type A, globuleux et
homogène, issue du concentré de minéraux lourds fait par GTP, CU13-
JP001X
Figure 115 : Famille de grains d'or et électrum de type B, irrégulier et
hétérogène, issue du concentré de minéraux lourds fait par GTP,
CU13-JP001X
Figure 116 : Paragénèse des principaux événements aurifères de Cumeral
Figure 117 : Vue de près de l'échantillon CU13-JP058b, riche en malachite et
chrysocolle, Altacobre, Secteur A
Tableau 10: Teneurs des principaux métaux présents dans l'échantillon
CU11-JP058b, de l'indice Altacobre
Figure 118 : Microphotographie en lumière transmise polarisée montrant la
minéralisation de malachite, chrysocolle et oxyde de fer, CU13-JP058b135
Figure 119 : Microphotographie en lumière transmise naturelle montrant la
chrysocolle, la malachite et la chlorite formant des réseaux suivant la
fracturation, CU13-JP058b136
Figure 120 : Analyse spectrale révélant la présence de galène associée au
quartz, CU13-JP058b136
Figure 121 : Microphotographie (MEB) montrant des grains de galène et de
sphalérite sur de l'épidote inclus dans le quartz, CU13-JP058b 137
Figure 122 : Microphotographie (MEB) montrant des grains d'énargite et de
sulfosels de Bi-Pb-As (Au-Ag), CU13-JP058b138
Figure 123 : Analyse spectrale (MEB) montrant la composition de l'énargite
et cosalite sur du quartz, CU13-JP058b138
Figure 124 : Microphotographie MEB montrant des sulfosels Pb-Bi-Ag-As et
de tellurures Te-Bi-Ag-Au, CU13-JP058b139
Figure 125 : Microphotographie au MEB montrant le subtil encroutement d'or
sur le cristal de tellurure, CU13-JP058b140
Figure 126 : Microphotographie au MEB montrant la zonation des éléments
sur un grain de tellurure de bismuth, CU13-JP058b
Figure 127 : Microphotographie en lumière transmise naturelle montrant la
minéralisation de chrysocolle associée au quartz, CU13-JP058b142
Figure 128 : Microphotographie (MEB) montrant l'encroutement de
chrysocolle replissant la fracturation et les cavités de l'encaissant de
MSCB, CU13-JP058b
Figure 129 : Microphotographie (MEB) montrant les minéralisations de
chrysocolle, malachite et les sulfosels, CU13-JP058b143
Figure 130 : Analyse spectrale qui montre la présence de Cu et Si des
concrétions de chrysocolle, CU13-JP058b144
Figure 131 : Analyse spectrale révélant la présence de minéraux de Si-Ca-Cu-
Bi-As dans le quartz, CU13-JP058b144

Figure	132 : Paragénèse des minéralisations cupro-aurifères de l'indice
	Altacobre
Figure	133 : Modèle isométrique des déformations liées à un MCC, observées
	sur la propriété Cumeral
Figure	134 : Fabrique CS autour d'un porphyroclaste de quartz montrant un
U	mouvement senestre dans une rhvolite cisaillée, où les muscovites
	s'orientent préférentiellement dans la schistosité et dans le cisaillement
	(SH2) CU12-IP086 150
Figure	135 : Schématisation du pendage des lithologies et schistosité présentes
I Iguit	sur le MCC de Magdalena
Figure	136 · Schématisation des linéations d'étirement sur l'interprétation
Figure	géologique du MCC de Magdalena
Figure	127 · Sahématication de l'intensité de la déformation associée à la
Figure	foille de détenhament de Magdelane
Figure	129. Estava fuelta des electes falsiones dere les SUO Sectors C
Figure	158: Forme fuselee des clastes feisiques dans les SH9, Secteur C,
E	CU12-JP091
Figure	139: Veine de quartz boudinee dans des sediments Tertiaires cisailles,
D '	Secteur D, CU11-JP146
Figure	140: Serie d'injections de dyke reisiques deformes dans les SH5,
	station CU11-JP212, Secteur B
Figure	141: Axe du plissement d'une bande riche en hornblende dans un
	schiste SH4, station CU12-JP402, Secteur F
Figure	142 : Indicateur cinématique dans le leucogranite mylonitisée,
	Magdalena, MF12-JP020
Figure	143 : La Faille de détachement de Magdalena représentée dans un
	affleurement montrant les bandes d'ultramylonite recoupant un
	leucogranite mylonitisé, au nord Magdalena de Kino, MF12-JP025155
Figure	144 : Coupe montant les indicateurs cinématiques enregistrées par les
	porphyroclastes asymétriques de l'ultramylonite, MF12-JP025156
Figure	145: Veines de quartz marquant le contexte tectonique ductile-cassant
	et le mouvement normal de cette zone de cisaillement dans un granite,
	CU12-JP462
Figure	146: Cisaillement recoupant la schistosité dans le SH6, CU11-JP147,
U	Secteur B
Figure	147 : Veine de quartz fracturée et démembrée par le cisaillement
U	associé à la faille de détachement de Magdalena, station CU13-JP533 157
Figure	148 : Structures et leur notion de recoupement, vue vers le SE, CU11-
- 0	JP009. Snake Pit. 158
Figure	149 · Réseaux de failles normales générant le boudinage en milieu
- Baro	cassant d'un wacke. MF12-IP012
Figure	150 : Fragments de dyke mafique dans une zone de brèche de faille
- iBuio	subhorizontale. CU12-IP258

Figure	151 : Clivage de fracture (S2) formant des kinks décalant la schistosité superposée sur la stratification dans un conglomérat Tertiaire, CU12- IP540
Figure	152 : Fracturation dans des veines verticales (VV) et brèche de faille à ciment de calcédoine témoignant de la réactivation des failles, CU11-JP190
Figure	153 : Fracturation sinueuse (anastomosé) et veinules de quartz influencé par l'héritage structural, encaissé dans un SH3 avec phyllitisation, Station CU13-JP358, Secteur D
Figure	154: Stockwork de veinules de quartz montrant une relation angulaire par rapport à la foliation, Station CU13-JP001, Corales
Figure	155 : Schématisation des déplacements verticaux et latéraux entres les blocs générés par le système de failles verticales affectant la propriété Cumeral
Figure	156 : Modélisation de l'évolution tectonique du Mésozoïque tardif au Cénozoïque moyen du MCC de Magdalena. Modifié de Nourse, 1989167
Figure	157 : Coupe transversale du gisement Ada Tepe montrant les filons empruntant le détachement et les failles normales recoupant la plaque supérieure (Marchev & Jelev, 2005)
Figure	158 : Carte géologique de Lluvia de Oro et La Jojoba montrant leur proximité à la faille de détachement et une structure cisaillante d'orientation ONO-ESE (NWM Mining Corporation, 2015)
Figure	159 : Schéma du gisement Sappes montrant la séparation entre les zones minéralisées : Viper, Demetrios et Scarp (Glory Resourc, 2013)175
Figure	160 : Section transversale montrant la géologie du secteur Big Chief du gisement de Mesquite (Willis, 1988)
Figure	161 : Relation entre les structures cassantes et la minéralisation du secteur Big Chief de la Mine Mesquite (Willis & Tosdal, 1992)
Figure	162 : Section transversale schématisant un système de failles transformantes durant une expérience avec du matériel homogène (Willis, 1998)
Figure	163 : Localisation de l'alignement NO-SE des PCS (systèmes de porphyre cuprifère) au SO des États-Unis et NO du Mexique (Del Rio-Salas & al, 2013)
Figure	164 : Modélisation structurale de la minéralisation dans la zone de faille détachement et incision dans la plaque inférieure (modifié de Long, 2004, Boily, 2012)
Figure	165 : Modèle de mise en place de système porphyrique cuprifère à épithermal durant la formation du dôme métamorphique (d'après Spencer & Reynolds, 1986)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau

Tableau 1 : Teneurs des principaux métaux présents dans l'échantillon CU11- JP047
Tableau 2: Échantillon de rainurage provenant de Betabel exposée dans le
Snake Pil, station CU13-JP009.
Tableau 5: Echantilions en rainure preieves sur Corales, evaluant le potentiel
aurifere dans le First Pit, Secteur C
Tableau 4: Echantillons en rainure prélevés sur la roche felsique mylonitisée
(HQP) dans la zone de Corales
Tableau 5 : Échantillons en rainure prélevés les veines de Raul, Secteur F
Tableau 6 : Échantillons en rainure prélevés sur les veines de quartz dans la
zone de Fuerte, secteur F
Tableau 7: Meilleures teneurs aurifères des échantillons en rainure prélevés de
la zone d'Elegante, Secteur E
Tableau 8: Meilleurs teneurs aurifères des échantillons en rainure prélevés sur
la zone d'Altacobre, Secteur A
Tableau 9 : Teneurs des principaux métaux présents dans l'échantillon CU11-
JP001x
Tableau 10: Teneurs des principaux métaux présents dans l'échantillon
CU11-JP058b, de l'indice Altacobre
Tableau 11 : Compilation des événements de minéralisations aurifères 169

Page

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

act	Actinolite
Ag	Argent
Al	Aluminium
amp	Amphibole
apy	Arsénopyrite
AT	de l'anglais; Air Track.
Ba	Barium
bar	Barite
Bi	Bismuth
bio	Biotite
Bx	Brèche
BxHT	Brèche hydrothermale
Ca	Calcium
cal	Calcite
ccl	Chrysocole
C1	Chlore
cld	Calcédoine
Cm	Centimètre
сру	Chalcopyrite
CRD	de l'anglais; Carbonate Remplacement Déposit
C/S	Cisaillement
CSB	de l'anglais; Calco-silicad Bands
Cu	Cuivre
°C	Dégrée Celsius
0	Dégrée Cartésien (Boussole 360°)
ena	Énargite
EO	Est-Ouest (axe)
FCm	Filon conforme massif
FCp	Filon conforme pervasif
FD	Filon discordant
fd	Feldspath
Fe	Fer
FHTT	Filonet hydrothermal tardif
FTL	Faille

Fx	Fracture
g/t	Gramme par tonne
goe	Goethite
grt	Grenat
GTP	Gold Treatment Procedure - Laboratoire privé de Greg Hryniw
Н	Hydrogène
hal	Halite
hbl	Hornblende
hem	Hématite
ICP	de l'anglais : <i>Inductively coupled plasma</i> pour les analyses géochimique faite par spectrométrie inductive.
kfd	Feldspath Potassique
km	Kilomètre
m	Mètre
mal	Malachite
MCC	de l'anglais; Metamorphic Core Complex.
MCSB	de l'anglais; Mineralised Calco-silicated Bands.
Mg	Magnésium
mic	Microcline
mm	Millimètre
Mn	Manganèse
Mo	Molybdénium
Moz	Million d'onzes
MSM	de l'anglais; Mojave-Sonora Megashear.
msv	Muscovite
MYL	Mylonite
Na	Sodium
NE	Nord-Est
NNE	Nord-Nord-Est
NNO	Nord-Nord-Ouest
NO	Nord-Ouest
ppb	Partie par milliard
ppm	Partie par million
RC	de l'anglais; Reverse Circulation.
μm	Micromètre

RÉSUMÉ

Dans la province géologique du Basin and Range, nombreux sont les gisements liés à des dômes métamorphiques, et rare sont les publications qui les caractérisent. Ce travail présente une étude structurale et une paragenèse des principaux indices aurifères de la propriété Cumeral, Sonora, Mexique. Cette propriété est située près de la frontière américaine, soit à 60km au sud de la ville de Nogales. Le gîte est lié à la faille de détachement de Magdalena, et est situé dans la partie basale du dôme. L'or et l'argent sont les principales substances d'intérêt économique qui sont contenus dans des filons tardifs particulièrement riches en pyrite. Les roches hôtes sont une suite de roches volcaniques felsiques jurassique recoupée par des intrusifs felsiques d'âge Crétacé et Tertiaire, tandis que les minéralisations seraient d'âge Miocène.

Les unités lithologiques sont principalement des schistes, où la texture originale est souvent oblitérée par le cisaillement, ce qui rend difficile l'identification des protolithes. Un granite porphyrique cisaillé, ayant l'aspect d'un gneiss œillé, est étroitement lié à la minéralisation. Exclusivement relié à des bandes calcosilicatées, un type de minéralisation à Cu-Au-Ag montre des teneurs économiques variables et semble s'être mis en place antérieurement au système filonien aurifère tardif.

Des altérations telles la phyllitisation et l'argilisation ont été reconnues. Des minéraux diagnostiques telles la séricite, l'alunite, la jarosite, l'énargite, les sulfosels de Cu-As-Bi-Pb-Ag-Au, tellurures et l'abondance de pyrite hydrothermale confirment la présence d'un gite épithermal. L'analyse approfondie de la minéralisation a permis de faire la distinction entre la superposition de multiples événements hydrothermaux et d'établir la paragenèse de trois phases de minéralisations aurifères.

L'analyse structurale montre l'évolution du détachement et le lien avec les événements minéralisateurs. Ce contexte géologique dynamique fournit les conditions structurales propices à la mise en place d'intrusifs felsiques porphyriques et à la capture de fluides hydrothermaux dans des zones stratoïdes. Les minéralisations aurifères à haute teneur sont piégées structuralement dans les unités cassantes et géochimiquement dans les unités riches en fer. L'aspect subhorizontal du gîte serait grandement dû à la fabrique structurale héritée du détachement. Nous soulignons les similitudes entre Cumeral et Mesquite, un gisement épithermal acide de Californie. Nous proposons différents modes de mise en place pour des gîtes épithermaux en contexte d'exhumation de dôme métamorphique.

Mots-clés : Or – Argent – Cuivre – Sulfures – Sulfosels – Paragenèse – Épithermal – Dôme métamorphique – Cisaillement – Hydrothermalisme– Altération – Stockwork – Bandes calcosilicatées – Rhyolite - Augen gneiss – Cumeral - Sonora.

ABSTRACT

In the Basin and Range Province, many deposits are hosted in metamorphic core complex, and rare are the published studies that treat their metallogeny. This work represents a structural and mineralogical study of the gold mineralisations present on Cumeral property, Sonora, Mexico. The property is located near the US border, 60km north of the town of Nogales. The deposit is related to the detachment fault of Magdalena de Kino, and is located basal part of metamorphic core complex. Gold and silver mineralisation are related to a system of quartz veins particularly pyrite rich. The host rocks are a sequence of sheared Jurassic volcanic rocks intruded by Tertiary felsic intrusives, and mineralisation appears to be Miocene.

The rock units are mostly schist, where the original texture is often obliterated by the detachment shear fabric, making protolith difficult to recognize. Deformed biotite rich granite porphyry sills, with an augen gneiss aspect, is closely related to the gold mineralisation. Exclusively hosted in hornblende rich calco-silica bands, a type of Cu-Au-Ag mineralisation shows discontinuous economic grades, and appears different from the main Au-Ag system.

A detail mineralogical study allows to distinguish the superposition between of multiple hydrothermal events, and to define three different mineralisation stages. Epithermal alteration such advanced argillisation and phyllitisation were recognized. Paragenesis of alunite, jarosite, sericite, enargite, and Cu-As-Bi-Pb sulfosalts, tellurides, and the abundance of hydrothermal pyrite confirms the presence of a high sulfidation epithermal system.

Structural study shows the evolution of the detachment fault and emplacement of the mineralising events. This dynamic geological setting furnishes suitable structural conditions for the porphyry intrusive emplacement and to the capture of hydrothermal fluids in stratiform zone. The high-grade gold mineralisation is trap by buffering along iron rich units and by narrow veinlets. The subhorizontal shape of the mineralised zone greatly influenced by the shear fabric inherited by the detachment. Even if there are similitudes between Cumeral and Mesquite (California), exploration is at an early stage for Cumeral. A model of epithermal deposit related to detachment fault during the exhumation stages of a metamorphic core complex is proposed.

Keywords: Gold - Silver - Copper - Sulfides - Sulfosalts - Epithermal - High Sulfidation - Metamorphic core complex - Stockwork - Mylonitisation - Augen gneiss - Calc-silica bands - Granite - Rhyolite – Paragenesis - Hydrothermalism -Cumeral - Sonora.

INTRODUCTION

0.1. Mise en situation

En 2011, la compagnie VVC Exploration m'a engagé pour poursuivre son exploration récemment entreprise sur la propriété Cumeral. L'étude a révélé la présence d'un gîte aurifère hors des modèles connus au sein de la propriété. Sous la supervision de Michel Gauthier, la compagnie m'a mandaté d'étudier son contexte géologique et métallogénique à l'aide d'une étude de terrain, des recherches en laboratoire, une synthèse des travaux antérieurs et de la contribution de certains professionnels de la géologie.

0.2. Problématique

Au nord de l'état de Sonora, dans la région de Magdalena de Kino, les indices d'or sont nombreux mais souvent méconnus. Les modèles de gisements proposés (tels que ceux des mines Herradura ou San Francisco), sont particulièrement flous ou inappropriés. Jonathan Nourse, Professeur honorifique en géologie à l'Université de Californie, a mené les recherches les plus approfondies sur la région de Magdalena. D'après ces travaux (Nourse, 1995), la propriété serait située à proximité d'une faille de détachement, dans un contexte d'extension lente générée par la formation d'un dôme métamorphique (MCC). Peu d'études mettent en lien l'emplacement de la minéralisation aurifère et l'environnement structural qu'offre un MCC, à l'exception de ceux de Keith R. Long (USGS) dont la dernière publication sur le sujet remonte à 2004. De plus, la métallogénie et la gîtologie du secteur Magdalena est inexistante.

Certains indices aurifères ont été visités par des compagnies d'exploration, mais peu

de publications documentent le type et potentiel de gisement. Seules des données à connotations économiques (teneurs en métaux, tonnage des éléments minéralisés, etc.) sont fournies dans les communiqués de presse. La compétition ainsi générée réduit l'accessibilité aux informations pertinentes pouvant faire évoluer le sujet.

0.2.1. Sujet de la recherche

Le but de ce projet est d'une part d'identifier et de localiser les structures contrôlant la distribution des indices aurifères, et d'autre part de déterminer le lien entre les différentes zones minéralisées par une analyse pétrographique. L'hypothèse de départ est que la genèse de ces minéralisations aurait lieu lors de la remontée de fluides hydrothermaux dans des zones de cisaillement préférentiel liées au changement de faciès métamorphique entre les milieux ductile et ductile-cassant.

En premier lieu, le protolithe des roches encaissantes est identifier afin d'enquêter sur la mise en place des minéralisations et sur le niveau de déformation subie sont définis. Ensuite, le type de minéralisation et son contrôle structural à l'échelle locale, ainsi que la paragenèse et la chronologie des altérations. Enfin, les résultats seront comparés avec ceux d'autres gîtes afin de déterminer si celui-ci appartient à une classe de gisement connue et d'entrevoir le potentiel associé. Cette étude a pour objectif d'orienter les futures investigations et de servir d'ouvrage référence dans l'exploration de gîtes Au-Ag dans le cadre d'un dôme métamorphique.

0.3. Localisation du projet

La propriété Cumeral est située au nord-ouest de l'état de Sonora, au Mexique.

Localisée à 8km au nord-ouest de la ville de Imuris (Figure 1), elle est accessible par un chemin de terre entretenu par les résidents agriculteurs.

La propriété Cumeral est constituée de cinq blocs de claims, de formes irrégulières et imbriquées (Figure 3). La portion visée par cette étude s'étend sur 2km au nord et 1km à l'est. Elle correspond au principal bloc de claims de Cumeral (*Lluvia de Oro*).



Figure 2 : Localisation de la propriété Cumeral sur une carte routière du nord de Sonora, Mexique.



Figure 3 : Localisation sur une carte satellite des principaux blocs de claims de la propriété Cumeral.

La propriété est centrée sur une borne géodésique, dont les coordonnées sont déterminées selon le système de projection UTM-WGS84, Zone 12N. Les coordonnées de cette borne (Punto de Control) sont 3411567N et 508351E. Les coordonnées des limites géoréférencées des polygones des claims sont fournies dans le document NI-43-101 de la propriété Cumeral (Boily, 2012).

0.4. Méthodologie

Cette étude repose sur la compilation d'informations géologiques à différentes échelles (microscopique à régionale) provenant de publications et de nouvelles observations recueillies.

0.4.1. Travaux de terrain

Assistée du technicien Arturo Aragon, l'étude s'est effectuée sur trois périodes entre novembre 2012 et mai 2013. Elle comprend une cartographie détaillée des différents indices minéralisés, la récolte de données structurales, et un échantillonnage pour une étude pétrographique.

La schistosité, les linéations d'étirement et les indicateurs cinématiques ont systématiquement été mesurés afin de comprendre la tectonique ductile. Les directions des veines verticales, stries, mylonites, failles normales et brèches de failles ont ensuite été identifiées. En outre, une chronologie relative fut déterminée par les relations de recoupement entre les veines.

La première série d'échantillons vise les zones minéralisées et la seconde cible des

lithologies représentatives de Cumeral. Pour l'étude des zones minéralisées, les lames polies ont été confectionnées à partir des échantillons de veines et d'encaissant dont les teneurs aurifères étaient élevées.

0.4.1.1. Travaux de terrain non-réalisés

L'étude géochimique n'a pu être effectuée en raison de l'altération supergène due au phénomène de météorisation (omniprésent en surface de milieux subdésertiques). De plus, les sections transversales des forages n'étaient qu'approximatives, n'étant basées que sur les <u>teneurs en or</u> et non sur les caractéristiques géologiques.

0.4.1.2. Travaux de terrain complémentaires

VVC Explorations autorisa (en compagnie de Michel Gauthier) quelques courtes excursions dans les environnements de MCC (de l'anglais, *Metamorphic Core Complex*), tels que la faille de détachement de Magdalena où trois échantillons de lames minces furent prélevés à titre de référence pour représenter la déformation. Un échantillon de lame mince fut aussi prélevé lors d'une visite du complexe rhyolitique de la Sierra El Pinito, afin d'avoir un représentatif du protolithe de la rhyolite Jurassique. Par ailleurs, l'évaluation de quelques propriétés (Escondida, Cerro-Blanco, Tres-Amigos, Samalayuca) de la compagnie permit de se familiariser avec l'aspect oxydé des minéralisations de plusieurs indices minéralisés.

0.4.2. Travaux de recherche

Toutes les données des stations, dont la localisation, les données structurales et l'échantillonnage sont la propriété de VVC et seulement les données utilisées dans cette étude sont disponibles. L'étude structurale fut effectuée à l'aide du logiciel Stereonet V6.

Pour l'étude pétrologique, les lames minces polies furent observées en lumière transmise afin d'identifier les minéraux translucides et en lumière réfléchie pour identifier les minéraux opaques. L'attention fut portée sur les textures et les altérations. La minéralogie des zones d'altération fut analysée à l'aide d'un diffractomètre-X au département de recherche des Sciences de la Terre de l'UQAM. Le microscope électronique à balayage (i.e. MEB) fut utilisé pour déterminer les compositions chimiques de certains minéraux de nature ambiguë ou de taille trop petite pour l'identification sur lames minces.

Des analyses géochimiques furent effectuées par méthodes fluorescence-X au département des Sciences de la Terre de l'UQAM pour obtenir les teneurs en cations pour les éléments majeurs, tels que Si-Al-Ca-Na-K-Mg-Fe-Ti, et les comparer avec les teneurs métallifères mesurées par d'autres méthodes. Des analyses géochimiques ICP-MS060 (multi-éléments) furent réalisées préalablement dans un laboratoire certifié pour évaluer le potentiel économique des indices minéralisés. Ces résultats pourraient fournir une signature géochimique caractéristique de gisements connus.

Les analyses du laboratoire GTP ltée permirent de récupérer un concentré de minéraux lourds des échantillons les plus aurifères. Une méthodologie confidentielle développée par Greg Hryniw (et ses associés), permet de broyer la roche sans endommager les minéraux et d'extraire un concentré de minéraux lourds par

hydrogravimétrie. Par cette méthode unique, la morphologie des particules d'or a pu être observée (Marchand et al., 2016). Le concentré de minéraux lourds (contenant sulfures, sulfosels, tellurures, séléniures, carbonates-phosphates de plomb et oxydes) a aussi été étudié à des fins de caractérisation du minerai (Pelletier, 2013).

0.5. Structure du document

Cette étude est composée de neuf chapitres.

Le Chapitre I est une mise en contexte présentant la géologie régionale et l'historique des travaux sur la zone d'étude.

Le Chapitre II présente les lithologies non-déformées de la région de Magdalena de Kino, pour définir les protolithes possibles des unités déformées de Cumeral.

Le Chapitre III présente les lithologies déformées de la propriété Cumeral. Ce chapitre met en perspective les assemblages de minéraux déterminant le niveau de métamorphisme prograde et/ou rétrograde, ainsi que leurs implications dans la mise en place des minéralisations.

Le Chapitre IV présente les indices en familles de minéralisations afin de déterminer leurs interrelations.

Le Chapitre V présente les altérations montrant des affinités périmagmatiques et leurs relations avec les zones minéralisées.

Le Chapitre VI présente les cinq principaux indices minéralisés de la zone d'étude, basé sur les observations de terrain. Ce chapitre est essentiel pour comprendre la chronologie et l'origine de ces minéralisations.

Le Chapitre VII présente les 3 phases aurifères reconnus dans les minéralisations étudiées en lame mince, diffraction à rayon-X et microscope à balayage électronique.

Le Chapitre VIII est consacré aux contrôles structuraux de la minéralisation de la propriété Cumeral et à la formation du dôme métamorphique. Une attention particulière est portée sur la direction des veines et sur le contexte structural des minéralisations.

Le Chapitre IX est dédié à la discussion. Il comprend une synthèse des événements minéralisateurs et des altérations liées, en se référant à d'autres auteurs et exemples de gisements liés aux MCC. Des modèles structuraux de mise en place de la minéralisation aurifère y sont présentés, intégrant les caractéristiques géologiques de la propriété Cumeral et sa position par rapport au MCC.

La Conclusion présente une synthèse intégrant les différentes parties de l'étude. Quelques recommandations sont proposées pour mener plus loin la compréhension de ce sujet d'étude.

En Annexe, sont donnés des tableaux de corrélation géochimique de l'échantillonnage, ainsi que des cartes géologiques et les coupes transversales des principaux indices minéralisés, en plus grand format.

CHAPITRE I

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HISTORIQUE DES TRAVAUX

1.1. Contexte géologique

La propriété Cumeral est située dans la Province du Basin and Range (Figure 4) soumise à régime extensif et caractérisée par une des croutes continentales les plus minces au monde (Froidevaux, 1986, Parson, 1995, Dickinson, 2002).

Figure 4 : Localisation de Cumeral sur une carte géographique de la Province du Basin and Range (en hachuré) couvrant le sud-ouest des États-Unis et le Nord du Mexique, (modifié de USGS, 2003).



1.1.1. La province géologique du Basin and Range (B&R)

Le B&R est une vaste région située entre la Faille de San Andréas et le front de chevauchement des montagnes Rocheuses (Dickinson, 2002). Elle s'étend ainsi des états du sud-ouest des États-Unis et du nord-ouest des états du Mexique. Bien que les chevauchements frontaux soient préservés à l'est, ce vaste domaine est aujourd'hui en extension. Au sud de cette région, la Sierra Madre représente une chaîne de montagne formée au cours du Mésozoïque jusqu'à l'Oligocène (orogenèse

Laraméenne) sur toute la bordure ouest de l'Amérique du Nord (Davis & Coney, 1979). Elle résulte de subduction de la plaque Farallon sous le continent nordaméricain. La chaine s'est écroulée au moment du remplacement de la subduction par une limite en décrochement (Wernicke, 1992).

1.1.1.1. Mode extensif de rift large

Le B&R est un exemple typique d'extension de rift large (Daoudene, 2011). La plupart des auteurs (Davis & Coney, 1979, Coney & Harms, 1984, Gomez & al., 2015) proposent comme moteur de ce mode d'extension l'effondrement postorogénique générant un apport de chaleur important provenant de la fusion adiabatique lors de la déshydratation des roches subductées (Rehrig, 1986). L'extension se manifeste par une succession de horsts et grabens contrôlée par la combinaison de failles normales N-S (Wernicke, 1992), accompagnée de volcanisme (Figure 5). Le Moho est plat sous la majeure partie du B&R, à une profondeur d'environ 30km (Dickinson, 2002). Des différences dans la rythmicité des failles peuvent être expliquées par un mécanisme d'instabilité de boudinage (Jolivet, 2003), développé par des contrastes rhéologiques en contexte d'extension.


Figure 5 : Modèle d'effondrement de la plaque océanique sous la plaque continentale générant un changement du volcanisme dans la Province du B&R, du Crétacé supérieur au Miocène (Rehrig, 1986).

1.1.1.2. Mode extensif des dômes métamorphiques

Les MCC sont caractéristiques d'une extension lithosphérique asymétrique, où la majorité de la déformation serait contrôlée par une zone de cisaillement à faible pendage (Wernicke, 1992). Ils sont associés à des gradients de température élevé et profond (Buck, 1991) et à des failles de détachement qui s'enracinent dans la transition ductile-cassante (Figure 6). Leurs structures sont marquées par les changements de conditions de déformations liées au détachement (Lister & Davis, 1989). Les roches métamorphiques et plutoniques qui les composent sont recouvertes par des roches antérieures à la formation du dôme dans le toit de la zone de cisaillement (Coney, 1974).



Model of Core Complex Formation (Santa Catalina-Rincon Mountains)

Figure 6 : Schématisation du dôme métamorphique de Santa Catalina (Arizona) comme exemple de contexte géologique du B&R, similaire à celui de Magdalena de Kino. (Spencer & Reynolds, 1986).

1.1.1.3. Principaux types de structures accommodant l'extension

Une faille de détachement est une structure cisaillante qui évolue dans le temps par l'exhumation progressive de roches métamorphisées activée par des contrastes de densité (Figure 7). L'extension en profondeur est accommodée par un flux coaxial conduisant à un amincissement crustal homogène (Jolivet, 2005). La hausse de température, la mylonitisation, les réactions métamorphiques (feldspath à micas) et la circulation hydrothermale (lubrification) viennent réduire la friction et favorise le cisaillement (Jolivet, 2004). Dans une faille de détachement, le cisaillement s'exprimera de différente manière en fonction de la profondeur et la zone affectée par la déformation aura tendance à s'élargir en profondeur (Figure 8).



Figure 7 : Zonation du cisaillement dans le MCC (Jolivet, 2000).



Figure 8 : Diagramme de la relation entre profondeur et type de déformation d'une faille de détachement (modifié de Gibson, 1977, et Lister & Davis, 1989).

Les MCC sont limités à la surface par des failles normales de même orientation que le détachement (Figure 7). Ces failles sont à l'origine de la « canalisation » d'importants volumes de roches volcaniques et de circulation de fluides hydrothermaux (Jolivet, 2000). Ainsi, la fusion de la croûte continentale et les conditions extensives rendent la Province du B&R favorable à la mise en place d'intrusifs felsiques et d'un système de circulation hydrothermale propice aux gisements épithermaux (Long, 2004).

1.2. La géologie de l'état de Sonora

Les provinces géologiques de l'état de Sonora sont divisées en quatre domaines séparés par le Mégacisaillement Mojave-Sonora (MSM) (Figure 9) et recoupés par des plutons et batholithes du Crétacé supérieur (Anderson & Silver, 1974, 1977; Silver & Chappell, 1988):

- Le domaine Papago-Sud, couvrant le nord et le nord-ouest de Sonora ;
- Le domaine Nogales-Cananea-Nacosari, couvrant le nord-est de Sonora ;
- Le domaine Mojave-Sonora, le long du MSM ;
- Le domaine Caborca, au sud du MSM.



Figure 9 : Subdivision de l'assemblage géologique du nord de Sonora, en quatre domaines distincts : 1) Carborca, 2) Mojave-Sonora, 3) Nogales-Cananea-Nacosari,
4) Southern Papago. (Anderson, 2005, Boily, 2012).

Le domaine du Mojave-Sonora forme une ceinture de roches volcaniques et sédimentaires du Jurassique moyen traversant la partie des domaines Papago-Sud et Nogales-Cananea-Nacosari, ainsi que des lits de roches fossilifères du Jurassique supérieur (Anderson and Silver, 1978). Le domaine du Mojave-Sonora se distingue par ces roches Jurassiques intensément déformées, principalement le long de la partie nord-est du MSM (Anderson & al., 2005). La région de Magdalena de Kino se situe à la limite entre les domaines de Papago-Sud et de Nogales-Cananea-Nacosari. Dans le Papago-Sud, la propriété Cumeral est située sur la bordure formant un arc magmatique du Jurassique (Tosdal & al., 1988).

1.2.1. La géologie du nord de Sonora

Au nord de Sonora, le socle est constitué principalement d'accrétions continentales de différents terrains continentaux injectés par des roches ignées du Mésozoïque moyen (Figure 10). À l'ouest de la propriété Cumeral, le domaine de Caborca serait le produit d'un rift d'arrière-arc développé sur une marge continentale du Protérozoïque supérieur (Anderson & Silver, 2005). Une épaisse séquence de sédiments marins carbonatés et terrigènes de faible profondeur fut déposée sur la marge continentale passive en discordance sur des formations volcaniques et volcanoclastiques. Au début de Jurassique moyen, la subduction de la plaque de Farallon sous la plaque nord-américaine, généra un arc magmatique composé de roches volcaniques, sédimentaires et plutoniques (Silver, 1974, Gomez et al, 2015). La marge de la plaque nord-américaine aurait été réactivée par le MSM au Jurassique moyen et supérieur (Anderson & Silver, 1974) – (Figure 8). Un mouvement dextre à l'échelle crustale le long de cette structure de cisaillement aurait superposé le domaine de Caborca sur la partie sud-est du craton nord-américain (Nourse & al., 2005).

De la fin du Crétacé au début du Tertiaire, l'orogène Laraméenne entraina une tectonique compressive créant des chevauchements majeurs enregistrés dans le front de la Sierra Madre occidentale (Nourse & al., 2005). Une ceinture de roche granitique à granodioritique calco-alcaline parallèle au front de subduction fut injectée dans les roches volcanosédimentaires. Durant le Tertiaire moyen, le magmatisme calco-alcalin devint plus felsique dans la Sierra Madre Occidentale, recouvrant la majorité des roches Laraméennes. A l'Éocène, la composition du volcanisme changea d'une série dacitique à une série rhyodacitique à rhyolitique (González-León & Ayala, 1988).

Au Miocène, la formation de failles normales suivies de failles coulissantes marque un mouvement de transtension (Vega, 2003). Enfin, au Tertiaire, le volcanisme



mafique évolue vers une composition bimodale (Rehrig, 1986, Nourse, 1995).

Figure 10 : Carte géologique du sud de l'Arizona et du nord de Sonora, montrant les roches sédimentaires du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur associées à des affleurements plus anciens d'arc Jurassique et de socle (Nourse, 2005). Les failles majeures reflètent des déplacements au Jurassique. La propriété Cumeral est indiquée sur cette carte.

1.2.2. Contrôles structuraux de la géologie de la région de Magdalena

Durant le Jurassique supérieur, une troncature de l'arc magmatique de la région de Magdalena se fait par le MSM, marqué par la déposition syntectonique du conglomérat Glance, puis la formation de batholithes granitiques au Crétacé supérieur (Anderson & Silver, 1974) (Figure 11). Nourse propose une coupe géologique schématisant la géologie de la région (Figure 12).



Figure 11 : Géologie de la région de Magdalena-Imuris montrant des MCC exposant des roches jurassiques contrôlées par la faille de détachement de Magdalena (Boily, 2012, modifié de Nourse, 2005). Les principaux blocs de claims de la propriété Cumeral sont indiqués.



Figure 12 : Coupe stratigraphique montrant la relation entre les unités au contact de la faille de détachement, située au nord de la Sierra Magdalena (Nourse, 1995).

Les MCC tertiaires ce seraient développés préférentiellement en zone de croûte amincie et fracturée (Figure 13) pendant le régime de transtension au Jurassique (Anderson & Nourse, 2005). Des failles nord-ouest à angles forts constitueraient les zones de faiblesse crustale où les MCC se développeraient, et par le fait même sont les hôtes de minéralisations du Tertiaire moyen (Nourse, 2005, Boily, 2012).



Figure 13 : Géologie de la région de Magdalena-Imuris, Sonora, Mexique (Nourse, 1995).

1.2.2.1. La géologie du secteur d'Imuris

Le secteur d'Imuris, situé dans au nord-est de la région de Magdalena, est traversé par une bande NO-SE de roches volcaniques du Jurassique peu déformées (Figure 14). Des intrusifs felsiques se seraient mis en place pendant l'exhumation progressive des MCC (Nourse, 1990). Ces roches métamorphisées au faciès schistes verts à celui des amphibolites correspondent à la plaque inférieure. Les paragneiss sont les constituants les plus profonds des MCC, dont les protolithes seraient des métasédiments possiblement d'âge Protérozoïque (Nourse, 1995). La faille SO-NE de détachement est exprimée par une zone de fabrique mylonitique montrant une vergence sud-ouest non-coaxiale et un déplacement minimal de 10km (Nourse, 1989). Cette zone est affectée par des cataclasites, accompagnées d'altération rétrograde, marquée par une zone de chloritisation et séricitisation liée à des microbrèches (Nourse, 1995).

La plaque supérieure est constituée d'un conglomérat polymictique fluviatile appartenant à la Formation Cocspera (Jurassique supérieur à Crétacé inférieur), correspondant aux vestiges de bassins intracontinentaux (Nourse, 1995). Des sédiments marins paléocènes représentent une période de transgression marine.

Au nord de la Sierra Magdalena, la plaque inférieure du MCC de Magdalena-Madera montre une première fabrique ductile protomylonitique représentée par une linéation cristalloblastique (orientée NNE) dans les roches mésozoïques (Nourse, 1989). Cette fabrique semble légèrement plissée sur un axe E-W (Figure 14), en cohérence avec la déformation Laraméenne dans les régions avoisinantes (Davis, 1979, Nourse, 1992). Le détachement est indiqué par la zone d'ultramylonites (Nourse, 1989, Boily, 2012) représentée par une foliation dans les granites tertiaires, et indique un déplacement de la plaque supérieure vers le sud-ouest.



Figure 14 : Coupe géologique dans le MCC de Magdalena (Nourse, 1989).

1.3. Exploitation minière au nord du Mexique

Les mines et indices cupro-aurifères sont abondants dans la partie nord de l'état de Sonora. Le porphyre cuprifère de Cananea représente par ailleurs la plus grande mine du Mexique. Les gisements sont localisés sur un alignement de porphyres cuprifères traversant du nord au sud l'état de Sonora (Figure 15). La relation entre les porphyres cuprifères et les épithermaux a été démontrée (Silitoe, 1987, Leach et Corbett 1996).

1.3.1. Exploitation minières aurifères de la région de Magdalena

La mine Jojoba-Lluvia de Oro, située à 17km au sud-est de la propriété, est la mine d'or en exploitation la plus proche du projet Cumeral. Cette mine à ciel ouvert contient des réserves de 293 koz Au, mesurées et indiquées à une teneur de coupure à 0.3g/t Au (NWM Mining Corp, 2010). Ce gisement aurifère est lié à une faille de détachement et encaissé dans des roches sédimentaires de la plaque supérieure. Ces minéralisations Au-Ag-Cu prennent la forme de filons de quartz compris dans la zone de faille Lluvia, subsidiaire à la faille de détachement de Magdalena. Le chapitre 8 contient une présentation plus détaillée de ce gisement.

La mine Mercedes, située à 108km au sud-est de la propriété Cumeral, est une mine d'or souterraine en production depuis 2012. Yamana Gold rapporte des réserves de 1,20Moz Au et de 12,8 Moz Ag (prouvées et probables à une teneur de coupure à 0.3g/t Au). Ce gisement épithermal (acide) est contenu dans des roches volcanosédimentaires, ainsi que des volcanites andésitiques et felsiques. L'or est contenu dans des veines de quartz-alunite avec des disséminations de sulfures (Yamana Gold, 2011). La mine San Francisco est une mine d'or à ciel ouvert en production au sud-ouest de Santa-Ana et Magdalena de Kino, à 57km au sud de la propriété Cumeral. En 2012, Timmins Gold Corp. indique une production de 94,4 koz Au et 56,2 koz Ag et des réserves de 1.86 Moz Au (mesurées et indiquées à 0.57g/t avec une teneur de coupure à 0.3g/t Au). Ce gisement est classifié comme un gisement orogénique mésothermal compris dans des gneiss granitiques (Martinez, 1997). L'or est contenu dans des veines de quartz-carbonates avec des disséminations de pyrite.

La mine Herradura, située 190km à l'ouest de la propriété Cumeral, est une mine d'or à ciel ouvert en production à proximité de Caborca. Elle demeure la plus importante mine d'or du Mexique. Newmount-Penoles rapportent une production de 481.8 koz d'or en 2011 et des réserves de 2.33Moz (prouvées et probables à une teneur de coupure à 0.3gAu/t). Le gisement est classifié comme un gisement orogénique mésothermal, par contre le gisement est traversé de failles en forme de cuvette, rappelant une faille de détachement (visite avec Michel Gauthier, 2012). L'or est contenu dans des veines de quartz-carbonate avec des disséminations de pyrite (De la Garza, 1997). En 2012, des zones minéralisées liées à des intrusifs felsiques porphyriques furent trouvées à proximité de l'indice principal.

La mine Cerro Blanco (projet Las Estrellas), située 16km à l'est de la propriété Cumeral, est une exploitation artisanale d'or opérée durant les années 1950 à 1970. Des petites galeries exploitaient les zones à hautes teneurs en Au-Ag-Cu dans des filons de quartz encaissés dans le complexe rhyolitique Sierra el Pinito (Pelletier, 2012). La typologie du gisement n'est pas définie, mais semble correspondre à un gisement épigénétique de filons bonanza à Cu-Au-Ag. Les mineurs abandonnèrent le site suite à l'épuisement des ressources à haute teneur faciles d'accès.



Figure 15 : Localisation des gisements de type porphyre cuprifère (PCS) et les gisements aurifères à proximité de Cumeral, couvrant la partie sud de l'Arizona et l'état de Sonora (modifié de Valencia & al., 2006).

1.4. Historique des travaux effectués sur la propriété Cumeral

1.4.1. Anciens travaux miniers

Depuis le début du siècle, des travaux mineurs non-documentés d'exploitation ont été entrepris sur la propriété Cumeral. La plupart se trouvent sur le claim "Lluvia de Oro", au sud de la propriété, et ciblent des indices d'or à haute teneur (Figure 16). D'autres exploitations visant des indices de cuivre sont restreintes à la partie nord du claim "Lluvia de Oro". Les indices minéralisés furent récemment nommés afin de faciliter leur identification et repérage (Figure 17), en tenant compte de la première subdivision de l'ingénieur Luis Medrano.

Dans le secteur A d'anciennes exploitations superficielles suivent des bandes calcosilicatées minéralisées de l'indice cupro-aurifère d'Altacobre. De quelques mètres cubes d'excavation, le *copper pit* et la *malachite pit* exposent bien la minéralisation. Au nord du Claims "Lluvia de Oro" se trouve une ancienne galerie de mine, *bat gallery*, aujourd'hui fermée (Figure 16).

Dans le secteur B, on retrouve les plus importants travaux qui visent l'indice aurifère de Betabel, comportant quatre puis de 15 à 40m de profondeur. Le *Snake Pit* correspondant est une excavation de 4x8x2m permettant l'observation des relations entre les structures cisaillantes et la minéralisation. Le *Northern Shaft* (25m) était autrefois le principal puis d'exploitation, les matériaux excavés en faisant un monticule de plus de 100 tonnes (Pelletier, 2013). Remblayé par mesure de sécurité par la compagnie Corem, *Filled Shaft* aurait plus de 35m de profond et correspondait au puis le plus profond (Figure 14).



Figure 16 : Localisation des anciens travaux miniers sur la propriété Cumeral. Légende : En rouge, les travaux miniers artisanaux; en violet, les contours des zones minéralisée; en marron : les route; en noir, les courbes topographiques; en bleu, le réservoir d'eau.



Figure 17 : Carte des indices d'or faite à partir de la campagne d'échantillonnage de 2011 et 2012 réalisée par VVC Exploration. Une plus grande version de cette carte est disponible en annexe.

Le secteur C ne possède qu'une petite excavation *First Pit* (CU11-JP001) visant des veinules de quartz riches en or de l'indice Corales (Figure 16). Cette excavation de 6x2x2m offre un bon lieu d'observation des minéralisations aurifères de Cumeral.

Le secteur D est situé au sud du secteur C (Figure 17), et correspond à la jonction entre des veines verticales de quartz et du micro-plissement dans des unités plus ductiles. Aucune minéralisation significative n'a été identifiée, donc ce secteur ne sera pas visé par cette étude.

Le secteur E est situé au sud-ouest du secteur C (Figure 17). Un dynamitage superficiel à la station CU12-JP015 sur la carte géologique de l'indice Elegante (voir chapitre 5.5) et expose une veine décimétrique aux allures de brèche hydrothermale très riche en pyrite oxydée.

Le secteur F est situé au Nord le secteur C (Figure 17). L'excavation le long de la route expose d'importantes zones d'altération, et les indices aurifères de Raul et Fuerte (voir chapitre 5.4).

1.4.2. Travaux d'exploration de Corem

En 2005-2007, la compagnie canadienne d'exploration Corem Exploration Inc. réalisa une campagne d'échantillonnage de roches en surface visant les zones hématisées avec des pyrites oxydées. Leur analyse indiqua des teneurs importantes dans les secteurs B et C. Leurs données et résultats ne purent cependant pas être consultés. La compagnie réaménagea les chemins d'accès sur la propriété en vue d'un projet d'exploration abandonné en 2008 pour des raisons financières.

1.4.3. Travaux d'exploration de VVC Exploration Inc.

Depuis 2009, des travaux de cartographie et d'échantillonnage d'affleurement et de sol ont été menés par la compagnie MEUS Exploration pour VCC Exploration Inc. Situés principalement sur les claims "Lluvia de Oro" de la propriété, ils ciblent les minéralisations à hautes teneurs aurifères.

1.4.3.1. Première campagne d'exploration de VVC (2009)

En 2009, l'équipe de Luis Medrano fut engagée par VVC Exploration pour effectuer une campagne d'exploration comprenant les premiers forages sur la propriété (Figure 18). Medrano a réalisé tout d'abord une cartographie (non-disponible) concentrée sur la zone des anciens travaux miniers (Medrano, 2010). Il divisa le terrain d'étude en cinq zones d'intérêt: les secteurs A, B, C, D, E (Figure 17).

La même année, Medrano entreprit une campagne de forage AT (air-track) d'un total de 552m à faible profondeur dans les secteurs B et C (Dimmell, 2010). Les minéralisations du secteur B furent évaluées sur 14 trous (350m au total), les teneurs allant jusqu'à 1.45g/t Au et 4.94g/t Ag sur 14m pour le forage CUM01-10 (Figure 18). Le secteur C fut examiné sur 13 trous (202m au total), le forage CUM14-10 offrant les meilleurs teneurs à 0.34g/t Au et 0.87g/t Ag sur 26m (Figure 18). Des sections de certain de ces forages sont présentées pour les indices Betabel et Corales au chapitre 5.



Figure 18 : Carte des positions des trous de forage et teneur sur les secteurs B et C (Medrano, 2010). Les forages ayant intercepté la minéralisation sont en rouge. Les forages non-minéralisés en rose. Les forages interrompus avant d'atteindre la zone minéralisée sont en vert. Les propositions complémentaires de sondage sont bleues, mais ne furent jamais réalisées.

1.4.3.2. Campagne récente de cartographie et d'échantillonnage

Plusieurs campagnes de cartographie et d'échantillonnage de roches effectuées par J. Pelletier de 2011 à 2013 permirent de délimiter les zones minéralisées, révélant une importante zone aurifère dans le secteur F. Plusieurs types analyses géochimiques furent préalablement réalisées sur des échantillons entre 15 et 40kg par une pyroanalyse (fire-assay). Une carte des minéralisations en or fut produite pour en montrer la distribution (voir en annexe B).

En avril 2012, plus de 2km² furent couverts par une campagne d'échantillonnage de sol au nord de la zone d'étude. La moitié des 423 prélèvements visait la colonne de sédiment quaternaire et l'autre moitié visait la portion basale en contact avec le socle. Basée sur les différentes teneurs en or, une carte des anomalies aurifère (Figure 19) fut produite (Boily, 2012). Une cartographie de reconnaissance et un échantillonnage d'affleurement furent également réalisés (Pelletier, 2013).

1.4.3.3. Campagne de forages de VVC en 2013

En mai 2013, 14 forages percutants de type RC (circulation inverse) furent réalisés (Pelletier, 2013). Ceux-ci visaient les six principales zones minéralisées à des profondeurs de 40 à 100m (voir Annexe B). Les sections géologiques des zones minéralisées pour les *Secteur A, B, C, E, F*, sont fournies à l'Annexe B.



Figure 19 : Carte des anomalies aurifères de sol montrant les zones anomaliques et la position des échantillons de surface (Boily, 2012).

CHAPITRE II

LES PROTOLITHES DE LA RÉGION DE MAGDALENA DE KINO

Ce chapitre présente les lithologies non-déformées composant le socle de la propriété Cumeral, ainsi que les affleurements de la région exposant les protolithes les mieux préservés. Ces descriptions serviront de référence dans l'identification des lithologies déformées abordées dans le prochain chapitre. Les roches peu à moyennement déformées constituent des références lithologiques pour les protolithes suivants:

- Les grès quartzitiques jurassiques ;
- Les roches volcanique felsiques jurassiques ;
- Les intrusifs granitiques crétacés ;
- Les intrusifs mafiques tertiaires ;
- Les roches sédimentaires crétacés ;
- Les roches sédimentaires tertiaires.

2.1. Les grès quartzitiques Jurassiques

Le secteur de Cumeral est un complexe jurassique caractérisé par des alternances de rhyolite et d'arénite quartzitique (Nourse, 1989). La présence d'arénite est suggérée par des bandes homogènes contenant au moins 85% de grains de quartz sub-arrondis recristallisés (Figure 19), ainsi que des biotites orientées partiellement chloritisées (Figure 20). La porosité produite par la séricitisation et la chloritisation de ces unités les rend propices à la circulation hydrothermale. Ces bandes stratiformes de 10 cm à 2 d'épaisseur, reposent dans les schistes à quartz-mica (SH2).



Figure 20 : Roche à grains fins, composée à plus de 95% de quartz, contenant de rares porphyroclastes de quartz et feldspath, CU12-JP236.



Figure 21 : Microphoto en lumière transmise naturelle montrant la disposition des grains de quartz et des biotites chloritisées, CU12-JP223. Dans l'encadrement, une schématisation d'un quartzite en lame mince (Amadeus, 1920).

2.2. Les roches volcanites felsiques jurassiques

Située 16 kilomètres à l'est de la propriété, la Sierra El Pinito est principalement constituée de roches rhyodacitiques à rhyolitiques non-déformées du Jurassique (Gilmont, 1978). La rhyolite contient 10-20% de feldspaths porphyriques (souvent fragmentés) et 10-25% de sphérulites de quartz. La matrice felsique grise pâle contient 2 à 5% de biotite souvent chloritisée. Les textures de fluage magmatique sont fréquentes. De nombreuses similitudes avec les roches felsiques cisaillées (SH2) de

Cumeral y sont observées, telles que la présence de porphyres de quartz et de feldspaths blancs millimétriques (Figure 22).



Figure 22 : Rhyolite provenant de la Sierra El Pinito, Sonora, Mexique.

La station CU13-JP550 comprend l'une des séquences les plus épaisses, contenant les vestiges du fluage magmatique d'une coulée rhyolitique (Figure 23). Cette roche est caractérisée par 10 à 40% de porphyroclastes sphériques (sphérulites?) de quartz (1-4mm) et 5-20% de porphyres de feldspaths (1-3mm), reposant dans une matrice felsique microcristalline similaire à la rhyolite de la Sierra El Pinito.



Figure 23 : Roche felsique peu déformée ayant préservé le rubanement du fluage magmatique d'une coulée de rhyolite, CU13-JP550.

L'épaisse formation de roche felsique comprend de multiples horizons composés de fragments dans une matrice felsique indurée. Certains horizons sont métasomatisées et contiennent des fragments aplatis silicifiés et épidotisés flottant dans une matrice felsique. Ces fragments de 3 à 20cm de longueur sont de forme anguleuse à arrondie (Figure 24). Ces bandes de 1-3m d'épaisseur sont interprétées comme des horizons de tuf à blocs interlités avec des coulées rhyolitiques (Boily, 2012, Pelletier, 2013).



Figure 24 : Schiste felsique à fragments aplatis épidotisés et silicifiés, interprété comme un tuff à blocs, CU13-JP518.

Plusieurs horizons montrent des fragments monogéniques felsiques contenant des quartz et feldspaths porphyriques similaire aux rhyolites. Certains des clastes possèdent des bordures figées et fragments blanchis dans une matrice rappelant celle de tuf felsique (Figure 24). Souvent cisaillés et/ou métasomatisés, ces horizons sont continus et d'épaisseur inférieure à 2m sont interprétés comme des niveaux de tuf rhyolitique à lapillis (Boily, 2012, Pelletier, 2013).



Figure 25 : Roche felsique à fragments monogéniques anguleux de taille centimétrique, Station CU12-JP333.

La station CU11-JP106 montre un dyke rhyodacitique cisaillé possédant la même schistosité que son encaissant. Ses contacts francs témoignent d'une mise en place dans un domaine cassant. Les biotites du dyke sont légèrement chloritisées. L'orientation N112/88 du dyke est similaire à celle des grandes structures régionales. Des veines tardives de quartz au niveau du contact reflètent la différence de rhéologie. Le dyke contient 5 à 15% de porphyroclastes sphériques similaires aux rhyolites, et peu de feldspaths porphyriques. Cette composition très similaire aux autres intrusifs granitiques tertiaires suggère un dyke volcanique nourricier.

2.3. Les intrusifs felsiques

Nourse (1995) résume la mise en place des intrusions granitiques basée sur les recoupements et datations relatives (Figure 26).

2.3.1. Leucogranite

Les unités de leucogranites abondent sous forme de dykes tardifs dans la faille de détachement de Magdalena (Figure 26). Aucune indication de ces unités n'a été observé sur la propriété, mais leur variante cisaillée pourrait être représentée par des schistes à quartz-muscovite (SH1).



Figure 26 : Coupe stratigraphique montrant la relation de recoupement entre les unités du sud de la Sierra Magdalena (Nourse, 1995).

2.3.2. Granite à deux micas

D'après Nourse (1995), ces granites se mettent en place dans la faille de détachement de Magdalena du début à la fin du Miocène, expliquant leurs déformations. La roche massive de couleur gris-rosé est composée d'une matrice felsique de quartz-feldspath, avec 2-5% de biotite, 1-3% de muscovite et 1-6% de porphyres de microcline (1 à 4mm). Leur composition et niveau de foliation semblent varier d'un secteur à l'autre (Figure 27).



Figure 27 : Exemples de granite à deux micas (granite faiblement folié de la station CU12-JP372 et granite modérément folié de la station CU12-JP295).

2.3.3. Monzogranite à biotite

Le monzogranite à biotite homogène faiblement à moyennement foliée et possède une matrice felsique de quartz-feldspath, avec 10-25% de biotites et 3-10% de porphyres de microcline de 1 à 4mm (Figure 27). Cette unité massive grise foncée est décrite comme un monzogranite (Boily, 2012, Pelletier, 2013) et semblent être le protolithe

des schistes à biotites et feldspaths (SH5-SH6-SH7) décrits au chapitre suivant. Ces roches ressemblent aux intrusifs granitiques syn-détachement décrit par Nourse (1989) et serait d'âge Crétacé Tardif au Tertiaire Supérieur.



Figure 28 : Monzogranite à biotite et feldspaths porphyriques, CU12-JP383.

2.4. Les intrusifs mafiques

Présents abondamment sous forme de dykes de 10cm à 6m d'épaisseur, les gabbros possèdent une matrice mafique verte foncée à grains fins à moyen composée principalement de hornblende et plagioclase. Leur mise en place en milieu cassant est suggérée par des zones bréchiques à contacts francs et irréguliers, recoupant tous les unités rhyolitiques jurassique. L'affleurement CU11-JP098 montre un dyke de gabbro métrique à grain moyen, recoupé par un dyke plus jeune à grain plus fin. Ces roches sont probablement le protolithe des bandes calcosilicatées.

2.5. Les roches sédimentaires crétacés

A l'est de la propriété, les roches sédimentaires crétacées sont composées de conglomérat, grès et wacke. Ils ont été attribué à un contexte de bassins intracontinentaux d'arrière-arc constituant la base de la plaque supérieure du MCC (Anderson et al, 2005).

2.4.1. Les grès lithiques crétacés (SCG)

Les grès lithiques sont majoritairement déformés et possèdent une matrice arénitique variant de grès à wacke riche biotite (Figure 29). Les nombreuses interstratifications conglomératiques susmentionné, montre une granulométrie très changeante témoignant du dynamisme du paléo-environnement sédimentaire.



Figure 29 : Wacke montrant des variations de granulométrie, station CU12-JP266.

2.4.2. Les conglomérats crétacés

Ces conglomérats sont souvent cisaillés par le détachement, et constituent la base de la séquence du bassin intracontinental de Magdalena. Ils sont caractérisés par de nombreuses interstratifications et une matrice gris foncé de wacke à granulométrie variable riche en quartz et biotite. Des horizons décentimétriques (chenaux) contiennent des clastes arrondis à sub-anguleux de roche felsique qui possèdent une composition similaire aux rhyolites El Pinito (Figure 30).



Figure 30 : Conglomérat cisaillé à matrice arénitique, et à clastes de rhyolite arrondis, CU12-JP258.

2.4.3. Les roches bréchiques

Près du linéament d'Imuris situé à la limite est de la propriété, des roches bréchiques constituées de fragments anguleux faiblement chloritisés dans une matrice consolidée (Figure 31). Ces fragments sont monogéniques sont similaires aux rhyolites Jurassiques et aux intrusifs granitiques tertiaires. Ils ont été interprétés comme des colluvions (Pelletier, 2012) ou des conglomérats immatures (Medrano, 2010).



Figure 31 : Unité à clastes felsiques consolidés, station CU12-JP266.

CHAPITRE III

LES LITHOLOGIES DÉFORMÉES DE LA PROPRIÉTÉ CUMERAL

Ce chapitre présente les lithologies composant le socle de la propriété Cumeral et quelques affleurements pertinents dans la région. Une étude pétrographique des roches à différents niveaux de déformation et de métamorphisme met en évidence l'existence d'un dôme métamorphique (MCC).

3.1. Lithologies déformées

La zone d'étude est située au sud-est de la propriété (Figure 19). Les lithologies sont caractérisées par des schistes et mylonites, recoupés par des dykes mafiques et des veines de quartz. Ces dykes et veines se sont mis en place pendant et après la déformation cisaillante associé au détachement de Magdalena. Sous les schistes, la partie basale du détachement contient principalement des gneiss et des intrusifs felsiques foliés. Les lithologies cisaillées suivantes seront examinées:

- SH1 : Schiste felsique à muscovite ;
- SH2 : Schiste felsique à deux micas et quartz porphyroblastique ;
- SH3 : Schiste felsique à deux micas et feldspath porphyrique ;
- SH4 : Schiste à biotite ;
- SH5 : Schiste à biotite et porphyres tabulaires ;
- SH6 : Schiste à biotite et porphyroblastes centimétrique ;
- SH7 : Schiste à biotite et porphyroblastes de feldspath ;
- SH8 : Schiste à galets quartzite ;

- SH9 : Schiste à clastes felsiques anguleux ;
- HQP : Horizon quartzitique poreux ;
- CSB : Bandes calcosilicatées.

3.1.1. Schiste felsique à muscovite (SH1)

Le schiste felsique à muscovite (SH1) est grise pale, friable et comprenant des lentilles aplaties de microcline microcristalline et quelques porphyroclastes de quartz (sphérulite?). Elle possède une texture granoblastique et une composition à 60-68% de quartz, 20-30% de muscovite, 1-5% de microcline, 0-6% de biotite chloritisée (Figure 32). Grâce à sa porosité élevée, elle devient l'hôte de circulation hydrothermale formant des bandes verdâtres d'épidote, de chlorite, et d'oxydes de fer (hématite, goethite). Cette unité est souvent à proximité de minéralisation aurifère et semble avoir pour protolithe des horizons d'arénite quartzitique (Nourse, 1992), des dykes d'aplite (Medrano, 2010), des bandes de tuf à cendre fine (Boily, 2012, Pelletier, 2013) et des zones d'altération hydrothermale (Dimmell, 2010).



Figure 32 : Microphotographie en lumière transmise montrant la composition typique des SH1, station CU13-JP233. 3.1.2. Schiste felsique à deux micas et quartz porphyroclastiques (SH2)

Le schiste felsique à deux micas et quartz porphyroclastiques (SH2) est grise pâle, homogène et comprenant 6%-25% de porphyroclastes de quartz (sphérulites) mesurant 1-4mm (Figure 33). Elle possède une texture granoblastique à grain fin à moyen. Cette unité est la plus abondante de la zone d'étude et est composée de 60-65% de quartz, 20-25% de microcline, 1-3% de plagioclase, 2-6% de muscovite et 3-8% de biotite. Son protolithe est interprété comme étant une rhyolite massive (Nourse, 1989, Pelletier, 2013) ou un granite porphyrique (Servicio Geológico de México, 2012).



Figure 33 : Microphotographie en lumière naturelle polarisée montrant un porphyroclaste (sphérule) de quartz dans une matrice de SH2, station CU13-JP290.
3.1.3. Schiste felsique à deux micas et feldspath porphyroclastique (SH3)

Le schiste felsique à deux micas et feldspath porphyroclastique (SH3) est gris. Il contient des porphyroclastes de feldspath (1-4mm) montrant des textures de flasers ou de nodules aplatis (Figure 34). La roche est composée de 60-65% de quartz, 10-20% de microcline, 1-3% de plagioclase, 15-20% de muscovite et 3-6% de biotite. Elle possède une texture lépidoblastique à granoblastique à grain très fin à fin. Cette unité forme des horizons de 0.4 à 5m d'épaisseur, parallèles à la foliation à l'intérieur du SH2. C'est une lithologie encaissante dans plusieurs zones minéralisées (dont Corales). Son protolithe pourrait être un tuf à cendre ou un granite porphyrique.



Figure 34 : Forme profilée des porphyroclastes de feldspaths dans la matrice du SH3, CU12-JP236.

3.1.4. Schiste à biotite (SH4)

Le schiste à biotite (SH4), est gris foncé et montre une texture lépidoblastique à granoblastique. Elle est composée de 20-60% de biotite, 10-40% de quartz, 5-20% d'épidote, 0-15% de muscovite, 0-20% de feldspath potassique, 0-2% de grenat almandin, 0-4% de hornblende et 0-2% de tourmaline. Elle constitue l'unité la plus poreuse et la plus souvent métasomatisée. On y trouve des signes de métamorphisme prograde par la présence de porphyroblastes de grenats almandins de taille millimétrique (Figure 35) et rétrograde par ses bandes riches en quartz-chlorite. Cette unité est interprétée comme des zones d'altération hydrothermale anté-Tertiaire métamorphisées au faciès amphibolite inférieur, car elle est discordante à la stratification, mais est empreinte de la schistosité régionale (Pelletier, 2013).



Figure 35 : Porphyroblastes de grenat almandin dans une zone SH4 discordante riche en biotite, CU11-JP185.

3.1.5. Schiste felsique à biotite et porphyres prismatiques (SH5)

Le schiste felsique à biotite et porphyres prismatiques (SH5) est une roche intermédiaire schisteuse mélanocrate à texture lépidoblastique à granoblastique. Elle est composée de 25-30% de quartz, 26-32% d'orthose, 0-1% de plagioclase, 8-12% d'amphiboles chloritisées, 20-28% de biotite, ainsi que 1-5% d'épidote, 0-2% de chlorite et 2-10% d'oxyde de fer (hématite). Omniprésents dans toute la roche, des porphyres prismatiques (2-18mm) et allongés (Figure 36) sont constitués de petits cristaux d'orthose suggérant des textures de remplacement de sillimanite (voir chapitre 3.2.3 - Figure 48). Les zonations verdâtres produites par la présence d'épidote, de quartz et de chlorite témoignent du rétrométamorphisme (voir chapitre 3.2). Ces unités sont recoupées par de nombreux dykes felsiques affectés par la déformation ductile (voir chapitre 7.1.1 - Figure 141) et montrent des textures de fusion partielle.



Figure 36 : Agglomération d'orthose-quartz (fusion partielle) autour d'hématite spéculaire reposant dans une matrice intermédiaire de SH5 riche en biotite à porphyroclastes prismatiques remplacés par du feldspath, CU12-JP212. 3.1.6. Schiste felsique à biotite et porphyroclastes centimétriques de microcline

Le gneiss felsique à biotite et porphyroclastes centimétriques de microcline est une roche intermédiaire gneissique à schisteuse mélanocrate à texture lépidoblastique à granoblastique. Elle est composée de 30-42% de quartz, 15-20% d'orthose, 15-25% de microcline, 3-6% de plagioclase, 0-2% de hornblende, 20-25% de biotite et 1-3% d'oxyde de fer (hématite), trace de grenat. La majorité des cristaux de feldspath (2 à 40cm) sont profilés par le cisaillement. Des lentilles de schiste à biotite provenant de l'encaissant immédiat SH4 sont présentes dans l'unité (Figure 37). On retrouve des porphyroclastes de feldspath potassique dans les xénolites de SH4, qui confirment un important épisode de métamorphisme au faciès amphibolite. Le protolithe de cette unité peut être interprété comme un granite porphyrique (Nourse, 2005), augen gneiss (Nourse, 1995) ou des orthogneiss à microclines porphyroblastiques (Boily, 2012, Pelletier, 2012).



Figure 37 : Xénolite de schiste SH4, et porphyroblastes de microcline dans le schiste SH6 et SH4, CU11-JP225.

3.1.5. Schiste à biotite et porphyroclastes millimétriques de feldspath (SH7)

Le schiste felsique à biotite et porphyroclastes millimétriques de feldspath (SH7) est une roche intermédiaire foliée grise similaire à SH6, à grain fin à grossier, située au nord de la propriété. Cette roche lépidoblastique à granoblastique contient des feldspaths porphyroclastiques de 2 à 8mm, moins déformés que ceux de SH6 (Figure 38). La roche est composée de 34-44% de quartz, 30-40% de feldspath blanc, 25% de biotite et 1% d'oxyde de fer. La grande distinction entre SH6 et SH7 est la quantité de feldspath, l'intensité du cisaillement, et le niveau de métamorphisme. On y retrouve aussi des lentilles de schiste à biotite en bordure de ces unités provenant de SH4. Le protolithe de cette unité est probablement le même que SH6.



Figure 38 : Porphyroclastes de feldspath altéré dans un schiste felsique riche en biotite, CU12-JP430.

3.1.6. Schiste à muscovite et galets de quartzites (SH8)

Le schiste à muscovite et galets de quartzites (SH8) est un métaconglomérat polygénique de 2 à 15m d'épaisseur à l'est de la propriété, possédant une matrice schisteuse grise pâle et homogène, à grain fin à grossier. La roche est composée de 55% de quartz, 20% de feldspath, 22% de muscovite et 3% de biotite. Cette unité aux propriétés ductiles contient des clastes aplatis, subarrondis et profilés (Figure 39) de rhyolite, quartzite et grès. La schistosité de la matrice empêche d'en déterminer la granulométrie. L'allongement des clastes suggèrent un étirement pointant vers le SO. Cette unité métamorphisée aux faciès des schistes verts (Nourse, 1995) semble correspondre aux sédiments Crétacé provenant de l'érosion de l'édifice rhyolitique jurassique (Nourse, 1989).



Figure 39 : Métaconglomérat montrant des galets allongés de quartzite dans un schiste à muscovite, CU13-JP527.

3.1.7. Schiste à clastes felsiques (SH9)

3.1.7.1. Schiste à clastes felsiques profilés (SH9a)

Le schiste à clastes felsiques profilés (SH9a) est une roche intermédiaire schisteuse grise pâle à l'est de la propriété, à grain fin à grossier, contenant des fragments felsiques cisaillés. La roche est composée de 34-44% de quartz, 30-40% de feldspath blanc, 25% de muscovite et 1% d'oxyde de fer. Cette unité aux tendances ductiles

possède des clastes felsiques (15 à 45% de la roche) aplatis et profilés par le cisaillement dans une matrice à grain fin (Figure 40), de composition similaire de SH2, donc aux rhyolites à quartz porphyrique de la Sierra El Pinito. Ainsi, cette roche est interprété comme un tuf rhyolitique à blocs ou un conglomérat provenant de l'érosion des rhyolites Jurassiques (Pelletier, 2013).

Figure 40 : Clastes felsiques polygéniques dans une matrice intensément cisaillée, CU12-JP540.



3.1.7.2. Schiste à clastes felsiques anguleux (SH9b)

Le schiste à clastes felsiques anguleux (SH9b) est une roche felsique schisteuse grise moins cisaillée que SH9a, lépidoblastique à granoblastique, à grain fin à moyen. Elle contient 40 à 60% de clastes felsiques monogéniques, de composition similaire à SH2 et SH3, anguleux et profilés dans une matrice cisaillée felsique à deux micas (Figure 41). La roche est composée de 60-65% de quartz, 10-20% de microcline, 1-3% de plagioclase, 15-20% de muscovite et 3-6% de biotite. Localisées à l'intérieur des SH2, ces unités forment des horizons de 0.3 à 2m d'épaisseur, parallèles à la foliation et accueillent des zones minéralisées comme la zone Coralecita. Le protolithe a été interprété comme un tuf à blocs, des colluvions ou une zone de brêche tectonique (Pelletier, 2013).



Figure 41 : Schiste à fragments monogéniques felsiques anguleux (SH9b), CU12-JP333.

3.1.8. Quartzite mylonitique (HQM)

Des horizons poreux riches en quartz grenue (HQM) forment le sommet des collines à plusieurs endroits de la propriété. Lorsque minéralisés, leur matrice est séricitiséechloritisée-silicifiée et présente de fines disséminations de pyrites. Ces unités forment des bandes de 10 à 20 cm d'épaisseur pouvant être suivies sur plusieurs centaines de mètres. Elles sont caractérisées par une texture mylonitique, ou une forte schistosité poreuse (Figure 42). Les HQP sont composées à plus de 80% de quartz, le reste des minéraux étant dénaturé par le cisaillement et le métasomatisme. Ces unités sont interprétées comme des horizons de quartzites (Nourse, 1989), des horizons cisaillés de tuf à cristaux métasomatisée (Pelletier, 2013) et des mylonites (Boily, 2012, Gauthier, 2012). Elles possèdent une teneur métallifère jusqu'à 0.09g/t Au (voir phyllitisation dans le prochain chapitre), non-traitée par cette étude.



Figure 42 : Quartzite mylonitisée montrant une oblitération des textures originales du protolithe, CU11-JP229, vue vers l'est, Corales, Secteur C.

3.1.9. Bandes calcosilicatées (CSB)

Les roches calcosilicatées (CSB) au nord du secteur A, comprenant des zones minéralisées (MCSB). Ces roches hétérogènes sont composées d'amphiboles, de plagioclase, de grenat, de biotite et de zones métasomatisées composé de quartz, d'épidote, de chlorite, et d'oxydes de fer (voir l'indice Altacobre). Riches en minéraux ferromagnésiens, ces unités correspondraient à des dykes mafiques métamorphisés et partiellement métasomatisées, se mettant en place au tout début de la formation du MCC. La lame mince de CSB CU13-JP198 montre l'altération pervasive d'un protolithe riche en amphibole par des fluides siliceux (Figure 43). Le quartz s'infiltre interstitiellement entre les autres minéraux. L'épidote ce serait formée à partir des plagioclases, les grenats à partir des amphiboles et plagioclases, et l'hématite à partir de la pyrite. Les hornblendes sont primaires et plus chloritisées que les actinolites. La goethite comble des cavités interstitielles.



Figure 43 : Microphotographie en lumière transmise montrant la composition typique des CSB, CU13-JP198, Secteur A.

3.2. Métamorphisme prograde et rétrograde

Le niveau de métamorphisme fut établi à partir des assemblages minéralogiques présents dans les lithologies étudiées. Les schistes à galets quartzitique (SH8), associent la plaque supérieure au faciès schiste vert par la présence de muscovite métamorphique. Dans la plaque inférieure, le grenat almandin semble être le seul minéral métamorphique ayant résisté aux conditions rétrométamorphiques durant l'exhumation du MCC. Dans le SH5, on retrouve des lentilles boudinées composées de quartz-épidote accompagnée de chlorite, de microcline et d'hématite qui démontrent l'intensité du rétrométamorphisme (Figure 44). Les CSB et les SH4 contiennent des grenats porphyroblastiques témoignant du métamorphisme au faciès amphibolite inférieur. Dans les CSB et SH5, les amphiboles auraient une origine métamorphique prograde au faciès amphibolite moyen. Dans les SH5, les cristaux tabulaires semblent être des reliques de sillimanite porphyroblastique et impliquerait un métamorphisme au faciès des amphibolites supérieures. Nous présenterons quelques exemples de lames minces confirmant ces observations.



Figure 44 : Lentille riche en quartz-chlorite-épidote dans un schiste riche en biotite (SH5), Station CU12-JP212.

3.2.1. Lame mince de CU12-JP058b : Bande calcosilicatée métasomatisée (CSB)

L'échantillon CU12-JP058b provient d'une portion métasomatisée dans les CSB. En lame mince, on peut observer la forme concave du grenat (jusqu'à 6% de la roche), cerné de quartz (Figure 45). Ces cristaux semblent avoir été rongés par l'hydrothermalisme, bien que certains grenats néosomes puissent se former aux dépends des minéraux hydratés (Walter, 1989). Abondants dans la matrice granoblastique, l'épidote et le quartz présentent des joints de recristallisation formés lors du métamorphisme rétrograde.



Figure 45 : Microphotographie en lumière transmise montrant des cristaux de grenat présents entre le quartz et d'épidote dans une CSB, station CU12-JP058b.

3.2.2. Lame mince de CU12-JP185 : Les schistes à biotite et quartz (SH4)

Les SH4 contiennent localement des porphyroblastes de grenat. Des inclusions de biotites sont non-parallèle à la foliation suggèrent une rotation de ces grenats durant le cisaillement et le métamorphisme prograde (Figure 46). Les indicateurs cinématiques indiquent un mouvement normal. La chloritisation de la biotite au sein des grenats implique du rétrométamorphisme.



Figure 46: Microphotographie en lumière transmise montrant un porphyroblaste de grenat traversé de lamelles de biotites, reposant dans la matrice riche en biotite chloritisée d'un schiste SH4, station CU13-JP185.

3.2.3. Lame de CU12-JP212 : Schiste à biotites et feldspaths porphyroclastique (SH5)

Les SH5 sont caractérisés par une matrice granoblastique riche en biotite, ainsi que la prédominance de porphyroclastes de feldspath (>5mm) et 5% d'amphiboles (2mm), suggérant une origine métamorphique prograde au faciès amphibolite. Partiellement rongés par le chlorite, des cristaux de hornblende montrent une texture poeciloblastiques avec des inclusions de quartz (Figure 47). Des cristaux rectangulaires (2 à 20mm) ont été partiellement remplacés par la microcline (Figure 35). Au cœur de ces porphyroclastes, on retrouve des vestiges de minéraux montrant des macles similaires à celle de l'orthose ou du plagioclase, ainsi que des amas de minéraux fibreux qui semblent correspondre à la sillimanite altérée (Figure 48). L'eau permettrait une réaction rétrométamorphique qui produit de la muscovite et du quartz:

Réaction :

Facies Amphibolite moyen ==> Facies Amphibolite supérieur Quartz + Muscovite ==> Sillimanite + Feldspath potassique + eau (évacuée) SiO₂ + KAl₂[(OH, F)₂|AlSi₃O₁₀] ==> Al₂O(SiO₄) + KAlSi₃O₈ + H₂O La présence de sillimanite impliquerait un facies amphibolites supérieur et un protolithe riche en aluminium. L'abondance de biotite et l'absence de grenat suggèrent le contraire. D'autres études seraient nécessaires pour mieux connaitre le protolithe et toutes les étapes pour arriver à former les schistes SH5.



Figure 47 : Microphotographie en lumière naturelle polarisée montrant un porphyroblaste prismatique de hornblende à texture poeciloblastique, schiste SH5, CU12-JP212.



Figure 48 : Microphotographie en lumière naturelle polarisée montrant les vestiges d'un minéral rectangulaire remplacé par la microcline et montrant un cœur constitué d'un minéral formant des fines baguettes (sillimanite ?), schiste SH5, CU12-JP212.

CHAPITRE IV

MÉTASOMATISME PÉRIMAGMATIQUE

La faille de détachement de Magdalena qui borde la propriété Cumeral au sud-ouest représente un couloir propice à la circulation hydrothermale. Cette zone de faille est représentée par des schistes et des zones de fracturation offrant une plus grande porosité. Des altérations associées à des intrusifs felsiques ont été identifiées et sont étroitement liées aux minéralisations aurifères de plus haute teneur. Dans les deux cas, les altérations restreintes à des lithologies ou certains types de structures. Le type d'altération nous informe sur la composition des fluides hydrothermaux et leur origine.

Dans ce chapitre, sont résumées tous les types d'altération hydrothermale observés. Un effort sera fait afin de distinguer entre le métasomatisme d'origine périmagmatique et rétrométamorphique.

4.1. Altération hydrothermale d'origine périmagmatique

L'étude des lames minces a permis de discerner des types d'altérations hydrothermale dont l'argilisation, l'argilisation avancée, la séricitisation et la phyllitisation. Il est connu que les gisements de porphyres cuprifères génèrent ce type d'altération impliquant de volumineuses zones d'hydrothermalisme (Hedenquist, 1990, 2013, Silitoe, 2010). À partir de la surface, le gîte de Cumeral montre des zones d'altération subtile, couvrant de grands volumes de roches poreuses, tandis que les zones minéralisées sont très localisées et restreintes à des structures cassantes. Voici une description des altérations observées.

4.1.1. Argilisation

Au-dessus des zones minéralisées, on observe souvent une unité stratiforme à grande porosité, témoin d'une importante circulation hydrothermale. Dans le secteur de Raul-Fuerte, la manifestation de cette altération produit des cavités ou nodules allongés composés de quartz-épidote-feldspath parallèles à la stratification. Le centre des nodules est friable et forme parfois des cavités, confirmant le remplacement des minéraux friable (Figure 49). L'unité montre des zones blanchies, ainsi qu'une matrice fragilisée par la présence de feldspaths altérés. Interprété comme un tuff à blocs, les cavités sont le résultat d'une dissolution des clastes associée à une altération hydrothermale acide. Juxtaposé à l'unité, un dyke de gabbro est rendu très friable par la kaolinisation des plagioclases et la chloritisation des amphiboles.



Figure 49 : Schiste à muscovites avec des cavités allongées au pourtour blanchi composées de quartz-feldspath-épidote, Station CU12-JP304.

L'altération argillique est restreinte et semble être antérieur aux événements minéralisateurs. Sur l'indice Corales, l'altération argillique est subtile dans l'encaissant localement friable et de la kaolinite est observé en périphérie des filons minéralisateurs (Figure 50).



Figure 50 : Placage de kaolinite dans les plans des filonets discordants (FD), Corales, station CU13-JP001.

4.1.2. Argilisation avancée

L'altération argillique avancée a été observée très localement sur la propriété, plus particulièrement près de l'indice Betabel et Altacobre. Cette altération est provoquée par un événement hydrothermal précoce, soit le lessivage par des fluides magmatiques très acides (Hedenquist, 2016). L'argillisation avancée est caractérisée un blanchiment dû au remplacement par un assemblage d'alunite, quartz et argiles hydrothermales (White & Hedenquist, 1990). Des filonets pervasif parallèles à la schistosité (FCp) sont bordés par un important halo de blanchiment, où le ratio "éponte/veine" est de l'ordre de 3 à 15 (Figure 51). Bien sûr, la porosité et la composition de l'encaissant viennent grandement influencer l'espace et l'intensité de la réaction hydrothermale. Les FCp sont peu aurifères et au cœur de ceux-ci, seul le

quartz et la pyrite subsistent, rappelant les caractéristiques de la partie centrale de l'argillisation avancée représentée par une silicification à texture rappelant celle de "vuggy silica" (Figure 51) décrit par Hedenquist (1990).



Figure 51 : Filonets pervasif conforme à la schistosité (FCp) avec l'encaissant blanchit par l'altération hydrothermale, station CU11-JP037.

Dans l'échantillon CU13-JP009Bx, l'alunite est particulièrement abondante et étroitement associée à la zone de friabilité. Une analyse au diffractomètre à rayons-X a permis de caractériser la composition minéralogique dans ces zones d'altération (Figure 52). Cette analyse montre un assemblage minéralogique qui correspond à la combinaison d'alunite (K Al₃ (SO₄)₂(OH)₆), jarosite (K⁺Fe³⁺₃(OH⁻)₆(SO₄²⁻)₂), la rosenite (Fe₂SO₄ S+ 4H₂O).

Le reste du profil de cette analyse montre du quartz (SiO₂), de la séricite (muscovite), $(KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2)$, de l'albite (NaAlSi_3O_8)(OH)_2 et de la pyrite (FeS₂). Il est très probable que la présence de séricite soit liée à un second événement hydrothermal telle la phyllitisation qui réemprunte couramment le même parcours pour s'y superposer (Hedenquist, 2016).



évaluant le ratio de concentration entre l'alunite, jarosite et rosenite.

4.1.3. Séricitisation et Phyllitisation

La séricitisation est présente à proximité de la majorité des indices minéralisés. Par exemple dans le secteur de Corales, les grès quartzitiques sont parcourus par différentes générations d'altérations, dont la séricitisation et la chloritisation. Ces altérations sont irrégulièrement distribuées dans l'unité. Dans les horizons les plus poreux, des zones riches en séricite poudreuse contenant de fines disséminations de pyrites sont interprétées comme des zones d'altération phyllique (Figure 53). Des teneurs métallifères très similaires ont été mesurées dans ces zones séricitisation. Séparées par plus 600m de distance, les stations CU12-JP272 et CU12-JP230 montrent des teneurs respectives de 0.09g/t Au, 1.1g/t Ag et 1140g/t Ba, et de 0.06g/t Au, 1.1g/t Ag, 980g/t Ba.



Figure 53 : Roche à grain fin riche en quartz, interprétée comme un sédiment quartzitique avec une altération phyllique de par la présence séricite poudreuse blachatre accompagnée de fines disséminations de pyrite, CU12-JP230b.

En lame mince et au MEB, nous pouvons distinguer les fines particules de séricite secondaire, des cristaux de muscovites plus grossières (voir chapitre 5.1 -Figure 101). Une analyse par diffraction à rayon X confirme aussi cette observation (Figure 54).



Figure 54 : Profil XRF montrant la présence de séricite dans une zone d'altération de CU12-JP230b.

La phyllitisation est présente dans la majorité des indices minéralisés et se distingue de la séricitisation, de par une texture poudreuse plus fine et très riche en pyrite disséminée (voir chapitre 5.1). La séricitisation forme des grandes zones d'altération métrique, tandis que phyllitisation semble emprunter des zones plus étroites.

4.1.4. Silicification

A proximité des zones d'altération argillique avancée, on retrouve des fronts très étroits de silicification intense. Difficile de déterminer, s'ils sont synchrones. Ces minces zones de silicification contiennent jusqu'à 15% de pyrite millimétrique (Figure 55). Le métasomatisme emprunte les horizons plus poreux subparallèles à la

schistosité ou cisaillement, propices à la circulation hydrothermale. Le centre de ces zones sont grisâtre et fortement silicifiée, tandis que les bordures sont blanchies et fragilisées. Localement, le cœur de ces zones d'altération montre des similitudes avec la texture de "vuggy silica". La station CU11-JP037 fournit un échantillon représentatif avec des teneurs faibles de <0.01Au, <0.5g/t Ag, 20g/t Cu et 1040g/t Ba, similaires aux basses teneurs dues au lessivage métallifère dans les zones d'altération argillique avancée.



Figure 55 : Front de silicification riches en pyrite, subconforme à la schistosité des schistes à muscovites et feldspaths blancs, Station CU13-JP516, Secteur A.

4.1.4.1. Veines verticales

Sur la propriété, il y a abondance de veines de quartz verticales (VV), dont les épontes sont fortement séricitisées. Dans la majorité des publications sur les gites épithermaux, la séricitisation est une altération pervasive aucunement reliée à des veines de quartz (communication personnel, Jeffrey Hedenquist, 2016). Il est très

probable que la mise en place de ces veines de quartz ne soit qu'un phénomène tardif de silicification réempruntant le même chemin que la séricitisation.

L'échantillon CU13-JP047 montre clairement l'intensité de la séricitisation dans la roche encaissante des VV L'encaissant est un schiste montrant des textures lépidoblastique et granoblastique, anormalement riche en micas (Figure 56). La foliation originale est oblitérée et les muscovites de taille plus grossières atteignant jusqu'à 2mm. L'abondance de cavités de taille micrométrique témoignent de la dissolution des feldspaths. Etrangement, la silicification n'a pas comblé la porosité. Les reliques de pyrite cubique témoignent de la météoritisation de l'éponte. Le quartz de la veine est cryptocristallin à microcristallin et contient de la pyrite, ainsi que des fragments séricitisée. Les résultats d'analyse suggèrent de l'hydrothermalisme ayant de faible teneur en or-argent et de haute valeur en baryum, ce qui n'est pas typique de séricitisation, mais plutôt de la silicification (Tableau 1).



Figure 56 : Vue rapprochée de l'échantillon CU13-JP047, Secteur B.

No.	A STATE TO A STATE	Dimension	Au	Ag	Cu	As	Bi	Ba	Pb	Fe
Échantillon	Station	(m)	(g/t)	(%)						
577033	СU11-JP047	0.3	0.03	1,2	138	0	10	560	60	2,78

Tableau 1 : Teneurs des principaux métaux présents dans l'échantillon CU11-JP047.

Les VV sont décimétriques à centimétriques (Figure 57) et traversent la propriété selon une orientation NO-SE. Distribués en essaim, les VV se mettent en place de façon parallèle dans un système de failles normales et témoignent de l'évolution postorogénique régionale. Leur mise en place perpendiculaire à la fabrique cisaillante.



Figure 57 : Encaissant très riche en muscovite, et présence de cubes de pyrite oxydée dans les épontes et la veine, Station CU11-JP112.

L'analyse d'un concentré de pyrite oxydée provenant des VV révèle 0.87g/t Au, 575g/t Ag, 529ppm Bi, 158ppm Cu, 1040ppm Mo, 540ppm Pb et 205ppm Zn. La majorité des échantillons possèdent des concentrations aurifères et argentifères presque nuls. En revanche, la VV de la station CU12-JP265 montre des teneurs métallifères de 12g/t Au, 30g/t Ag, 659ppm Bi, 96ppm Cu, 5ppm Mo, 300ppm Pb, 145ppm Zn, et suggérant ainsi des concentrations métallifères hétérogènes dans ces veines. De nombreuses textures bréchiques des VV sont associées à un ciment de calcédoine riche en oxydes de fer recouvrant tardivement le système de fracturation.

CHAPITRE V

PRINCIPAUX INDICES AURIFÈRES DE CUMERAL

Ce chapitre est dédié à la description des différents indices minéralisés observés dans la zone d'étude. Il existe cinq indices minéralisés principaux : Betabel, Corales, Fuerte-Raul, Elegante, Altacobre. Dans un premier temps, la localisation de chacun des indices sera donnée ainsi qu'une description précise des roches encaissantes et du type de déformation associé aux minéralisations. Les aspects des assemblages minéralogiques apparents, structuraux, des veines et des altérations associées à la minéralisation aurifère seront abordés dans ce chapitre. Nous fournirons les teneurs métallifères pertinentes des principaux indices minéralisés.

5.1. Présentation des secteurs minéralisés de Cumeral

Plusieurs sites montrent des indices de minéralisation aurifère sur la propriété Cumeral, mais la majorité des sites montrant les meilleurs teneurs aurifères se retrouve dans le Claim *Lluvia de Oro*. C'est donc sur cette partie de la propriété que se concentreront nos recherches. Actuellement, ce secteur étudié présente six zones minéralisées principales, réparties en six secteurs distincts d'étude ; A, B, C, D, E, F (Figure 58). Les indices Dividado & Doblado (secteur D) ne seront pas traités dans cette étude, faute de teneur métallifère économique.

L'ensemble des secteurs sont parcourus par une ou plusieurs structures minéralisées. Les minéralisations présentent des différences plus ou moins marquées pour chaque secteur, ce qui explique pourquoi elles ont été séparées en bloc. L'hétérogénéité de ces minéralisations est liée à leur roche encaissante et à leur répartition spatiale. La subdivision des zones minéralisées est donc totalement arbitraire et n'implique aucunement que les indices soient dissociés. Voici la liste des secteurs et leurs indices minéralisés respectifs en en fonction de leur importance :

- Betabel (Secteur B)
- Corales (Secteur C)
- Elegante (Secteur E)
- Fuerte-Raul (Secteur F)
- Altacobre (Secteur A)

Pour situer ces indices, nous présentons deux cartes. La première carte est une version simplifiée montrant la disposition des six principales zones minéralisées de la propriété Cumeral permettant de rapidement localiser les zones minéralisées (Figure 58). La seconde est une carte géologique avec les six principales zones minéralisées de la Propriété Cumeral, qui permet de faire l'association des minéralisations avec les lithologies et le contexte structural (voir Annexe B). Ces cartes sont présentées en plus grand format en annexe.



Figure 58 : Carte simplifiée des six principales zones minéralisées de la propriété Cumeral et les grandes structures NO-SE.

5.2. Indice Betabel (Secteur B)

L'indice de Betabel se localise dans le secteur B et constitue la principale zone d'intérêt, où l'on retrouve des filonets discordants (FD) à hautes teneurs aurifères (Figure 60). Situé dans le centre du Claim Lluvia de Oro, ce secteur circonscrit l'ensemble des minéralisations observées à Betabel ainsi que tous les anciens travaux réalisés pour étudier cet indice. Betabel affleure peu, car il représente une zone d'altération plus friable. D'après les deux puits réalisés, Shaft 25m (Nord) et Shaft 20m (Sud), Betabel semble représenter une zone d'au moins 110m de long. D'autres veines contenant des teneurs aurifères anomaliques se localisent autour de Betabel dans une enveloppe apparente d'une épaisseur de 5 à 12m parallèle à la schistosité.

Le Snake Pit est une petite excavation minière qui permet d'observer la minéralisation de Betabel (Figure 59). Cette excavation, d'une dimension de 10m de long, 2m de large et 2,5m de haut. En surface, il n'y a pas d'affleurement qui montre la continuité latérale de Betabel, car il correspond à une zone friable recouverte par du matériel quaternaire ou une zone d'excavation minière remblayée. D'après les gens locaux, une petite excavation à ciel ouvert annexée au Snake pit aurait été remplis par des débris de roche par mesure de sécurité.



Figure 59 : Minéralisation filonienne hématisée de Betabel, vue vers le sud, Station CU11-JP009, Snake Pit, Secteur B.



Figure 60 : Carte géologique de l'indice minéralisé de Betabel, Secteur B.

Betabel est une zone très cisaillée et très friable localisée au sein d'un schiste (SH6-SH7) à biotite et porphyroclastes de feldspath anormalement riche en muscovite (Figure 61). L'encaissant à l'aspect d'une zone de mésomylonite rendue fragile par une séricitisation, visible par le remplacement des biotites en séricite.



Figure 61 : Veinules de quartz avec halo d'altération hydrothermal et séricitisation dans un schiste (SH7) à porphyroclastes de microcline et quartz, partie inférieure de Betabel, station CU11-JP009c, Snake Pit, Secteur B.

Betabel montre une série de veinules millimétriques (FD) de quartz très riches en pyrites oxydées qui sont encaissées dans une zone de cisaillement mésomylonitique et localement de cataclasite. Les veinules ont un contact franc et anguleux avec l'encaissant subtilement bréchifié (Figure 62). Le réseau de veinules montre des alignements irréguliers et anguleux, typique de mise en place dans des conditions cassantes. Sur Betabel, le quartz des FD est drusique et montre des textures d'encroutement siliceux remplis d'inclusion de l'encaissant friable. La séricitisation et de l'argilisation sont suffisamment intenses pour rendre la roche localement presque méconnaissable. Ces altérations semblent antérieures aux filonets (FD).



Figure 62 : Micro-bréchification subtile dans la zone altérée à haute teneur aurifère (4.85g/t Au) de Betabel, station CU11-JP009b, Snake Pit, Secteur B.



Figure 63 : Linéations d'étirement subhorizontale résultant du cisaillement dans le schiste, vue vers l'Est, station CU11-JP009b, Snake Pit, Secteur B.

Une linéation d'étirement est clairement définie dans la zone de mylonite (Figure 63). Cette zone de l'encaissant est très friable, car les roches sont fortement altérées par l'argilisation ou la phyllitisation. L'hématisation se fait tardivement dans les zones de fracturation et les zones à grande porosité. La mise en place des veinules aurifères (FD) se fait dans cette zone de faiblesse, subconforme au cisaillement régional, dans un environnement cassant, donc lors d'un événement post-tectonique.

Si nous considérons Betabel comme un horizon et que l'on échantillonne transversalement, les teneurs sont de 1.14 g/t Au, 46.2 g/t Ag et 0.4%Pb sur 3,6m (Tableau 2). L'échantillon CU11-JP009b correspond au cœur de Betabel représenté par une zone de mylonite. La zone minéralisée est représentée par deux générations de veines minéralisées, soit les veines de quartz conformes (FCm) et les filonets discordant (FD) montrant des teneurs jusqu'à 10.7g/t sur 30cm.

		Long	Au	Ag	Cu	As	Bi	Ba	Pb	Fe
Échantillon	Station	(m)	(g/t)	(%)						
577044	CU11-JP009a	1.4	0.12	2,8	387	2	1	850	676	2,94
577045	CU11-JP009b	0.4	4,85	4	437	32	12	760	3820	4,45
JM1106252	CU11-JP009bx	0.2	0.333	309	92	637	1	10	621	1,82
VVC-test-	CU11-JP009bb									
CUM01	(duplicate)	0.3	10.7	10.8	74	26	74	1210	7150	5,96
577046	CU11-JP009c	2	1,07	2,5	215	2	10	1150	2670	3,33
Moyenne pondérée sur 3,6m			1.14	46.2	397.4	99.2	23.5	1358	4152	5.4

Tableau 2: Échantillon de rainurage provenant de Betabel exposée dans le Snake Pit, station CU13-JP009.

En 2010, des forages verticaux réalisés à proximité du Snake Pit révèlent des valeurs similaires, avec le forage CUM10-01 montrant des valeurs de 1,45g/t Au et 6,74g/t Ag sur 14m et le forage CUM10-01B montrant des valeurs de 0.3g/t Au et 1,9g/t Ag

sur 22m (Figure 65). En 2013, une autre série de forages faite pour intercepter Betabel à une profondeur de 30m n'a révélé que des teneurs discontinues qui pourraient correspondre à une extension latérale. Il est difficile de faire une relation entre les intersections minéralisées de la surface et des forages, car ces zones ne semblent pas s'aligner.

La schistosité est orientée N020° et montre un pendage de 25° vers l'est. La linéation d'étirement montre un faible plongement de 2° vers le sud à N202° (Figure 64). Les FCm (1 à 10cm) sont subparallèles à la schistosité, tandis que les FD (1-3mm) les recoupent avec une orientation N030/15, soit un pendage faible vers l'est. Montrant un léger mouvement normal, une faille recoupe la zone de Betabel, dont le plan montre une orientation N160/40°. Un groupe de VV (2 à 25cm) montre une orientation variant de N115 à N140° avec un fort pendage incliné vers le SO. Un groupe de veines verticales tardives à quartz-schorl-hématite réemprunte le système des VV, celles-ci font jusqu'à 1m d'épaisseur et semble stérile.



Figure 64 : Représentation stéréographique des principales structures minéralisées de l'indice Betabel. À l'heure actuelle, les anciens puits n'apportent que peu d'informations, car ils ne sont pas sécurisés, mais en surface, où l'on retrouve encore des fragments provenant des lithologies les plus métamorphisées. La périphérie du puis sur 25m est marquée par l'abondance d'oxydes de fer, où débutent les CSB de la zone A (Figure 60). Les fragments de schiste à biotite SH5 et SH6 proviennent des excavations minières artisanales. En alignement avec la Betabel, un intrusif granitique à microcline riche en biotite (SH7) a préservé des textures originales, station CU11-JP147 & CU13-JP545. Nous pensons que Betabel représente une zone de phyllitisation canalisée par une zone de faille subsidiaire (cisaillement cassant), puis captée par une bande riche en biotite servant de piège géochimique pour la fixation de la minéralisation d'origine hydrothermale.

La morphologie de Betabel est présentement inconnue, car elle affleure peu et les forages destructifs sont insuffisants pour la comprendre. L'ensemble des veinules (FD) de Betabel montre une orientation N035/15°, tandis que les veines (FCm) de Betabelita montrent une orientation de N020/25°. Une coupe transversale montre la disposition de la minéralisation et présente une interprétation géologique de Betabel (Figure 65). Les campagnes de forages supposaient que le corps minéralisé correspondait à une zone orientée à N020/20°E. Les sondages CUM01-10, CUM01b-10 et CUM11-10 suggèrent la continuité de la Betabel à faible profondeur (30m). Cependant, les sondages RC de 100m tentant de recouper l'extension de Betabel à plus de 60m latéralement ont montré des teneurs nettement plus faibles en profondeur. Des tranchées profondes et des forages carottés seraient nécessaires pour comprendre le potentiel métallifères et le contrôle structural de cet indice minéralisé.



Figure 65 : Section de l'interprétation géologique de la zone Betabel. Une plus grande version de la coupe est disponible en annexe C.

5.3. Indice Corales

Située dans le secteur C, Corales correspond à la seconde zone d'intérêt pour son potentiel et sa proximité de Betabel (Figure 58). Corales est le nom de la structure représentant la zone minéralisée, où se focalise des filonets (FD) aurifères et argentifères (Figure 66). Ce secteur est situé dans le centre du claim *Lluvia de Oro*, et permet de circonscrire la structure de Corales ainsi que tous les travaux associés. Corales affleure sur 30m de long, où se localise un stockwork de veinules FD sur une épaisseur d'environ 50cm. Corales est entourée de zones d'altération subparallèles contenant des teneurs anomaliques dans les HQP et la zone d'épidotisation. En supposant que Corales soit une structure similaire à Betabel, la forme du corps minéralisé serait stratiforme et aurait une épaisseur de 4m incluant les HQP.

Le *First Pit* est une petite excavation minière qui permet d'observer l'indice Corales sur 2m de profondeur. La minéralisation correspond à une série de veinules millimétriques de quartz très riche en pyrites oxydées, encaissée dans un SH3, soit un schiste felsique à microcline porphyroclastique (Figure 67). Structuralement similaire à Betabel, le système filonien est sub-parallèle à la schistosité subhorizontale, recoupant cette dernière avec un angle de 10 à 25°. Moyennement cisaillée, la roche hôte montre des muscovites plutôt grossières et des microclines de 1 à 3mm. Cette roche rappelle une blastomylonite, de par l'aspect porphyroblastique des feldspaths (Michel Gauthier, communication personnelle en 2012). Une linéation d'étirement est bien définie dans ces schistes.


Figure 66 : Carte géologique de l'indice minéralisé de Corales, Secteur C.



Figure 67 : Minéralisation aurifère liée à des veinules riches en pyrite (FD) dans des schistes à muscovite et feldspaths blancs (SH3), vue vers le sud-est, Station CU11-JP001, First Pit, Corales (Secteur C). Veuillez noter la présence d'argile blanche en bordure des veinules.



Figure 68 : Réseau de veinules de quartz (FD) épousant la texture cassante de l'encaissant, échantillon CU11-JP001x, Corales.

La minéralisation est représentée par de la pyrite oxydée qui est irrégulièrement distribuée dans un réseau de veinules qui montrent des angles très irréguliers et anguleux, typique de mise en place dans des conditions cassantes (Figure 68). Les veinules ont un contact franc et ne semble pas montrer de métasomatisme. Le quartz est parfois drusique à dendritique dans les cavités (Figure 69). La mise en place de ce système de veinules de quartz est subconforme au cisaillement et se met en place dans un environnement à cassant.



Figure 69 : Filon FD à quartz drusique dans les cavités des zones minéralisées, CU11-JP027, Corales.

A l'indice Corales, les roches encaissantes semblent peu métasomatisées par des fluides hydrothermaux, mais une séricitisation de faible intensité est omniprésente, et la matrice est légèrement friable par endroit. Des argiles blanches sont présentes en bordure des veinules FD, mais pas dans la matrice (Figure 67). L'hématisation est présente à proximité des zones riches en pyrite oxydées, spécifiquement où l'encaissant est le plus poreux (Figure 68). Le niveau de l'hématisation suggère une origine supergène, qui est donc contrôlé par le système de fracturation, la porosité liée au cisaillement et l'altération hydrothermale.

Un stéréogramme permet de visualiser les relations entre chaque type de veines et la schistosité (Figure 70). En surface, le plan de cisaillement est orienté N020° et montre un pendage de 25° vers l'est. La linéation d'étirement montre un plongement faible de 2° vers le sud à N202°. Des veines FCm de 5 à 10cm d'épaisseur montrent une orientation N025° et un pendage de 30° vers l'est.

Les veinules FD (1-3mm) sont irrégulières, mais montrent une orientation qui varie entre N020/02° et N050/16°. Une faille parcourue de FD de taille plus fine, montre une orientation N215/30° bifurquant vers N250/30°. La station CU11-JP092 montre une veine de 5cm riche en pyrite disposée N205/80°, qui pourrait correspondre à l'alimentation du système de FD. Cette disposition suggère une origine verticale, contrairement à l'origine suivant la linéation d'étirement provenant du sud-ouest.



Figure 70 : Représentation stéréographique des principales structures minéralisées de l'indice Corales. Comme partout dans le secteur C, un groupe de veines de quartz (VV), de taille décimétrique, montrant une orientation courbe** (**qui change graduellement d'orientation) variant de N115° à N140° avec un fort pendage incliné vers SO. Le même groupe de veines de quartz-schorl présent au sud de Betabel, s'étend jusqu'au nord de Corales selon un axe NO-SE. Du schorl de 1 à 5mm et de l'hématite oxydée de 1 à 40mm sont associés à ces veines allant jusqu'à 1m d'épaisseur. Ces veines ne semblent manifester aucun métasomatisme.

Le système filonien FD est subconforme à la schistosité, recoupant la schistosité avec un angle variant entre 5 et 25° (Figure 68). Cette relation de recoupement confirme que les veinules minéralisées se sont mises en place postérieurement au développement de la schistosité principale. La mise en place des veines de quartz semble correspondre au moins deux épisodes distincts, dans un environnement cassant. Le premier épisode est à l'origine de veinules millimétriques très riche en pyrites, tandis que le second correspond à la mise en place de veinules micrométriques dont les formes sont particulièrement irrégulières (Figure 68). Le second épisode de veinules recoupe la schistosité à 15°, 45° et 90°.

Au fond du First Pit, la présence d'une faille suggère un léger mouvement normal. Le plan de cette faille montre une orientation N190 et un pendage de 60°. Une série de fractures courbes** se sont développées à partir de cette structure cassante (Figure 69). À noter la présence de stries sur ce plan de faille qui indiquent un mouvement normal, mais aussi un mouvement latéral tardif montrant un plongement de 8° vers le sud, démontrant une composante coulissante décrochante. A première vue, l'altération riche en argile semble avoir emprunté cette structure subverticale.

En surface, la partie riche de Corales correspond à l'échantillon CU11-JP001e qui a donné des résultats de 4.2g/t Au et 4.9g/t Ag sur 40cm. Noter que CU11-JP001a et CU11-JP027b sont des équivalences de CU11-JP001e, ce qui confirme l'irrégularité

des teneurs métallifères. Un mur de l'excavation recoupe la minéralisation de Corales montre une série de veinules, où la partie supérieure (CU11-JP001b) et partie inférieure (CU11-JP001c). Dans le First Pit, la moyenne des teneurs pour Corales est de 1.41g/t Au, et 2.8g/t Ag sur 1,2m (Tableau 3). La station CU11-JP027 est la prolongation de Corales vers le sud.

		Long	Au	Ag	Cu	As	Bi	Ba	Pb	Fe
Échantillon	Station	(m)	(g/t)	(%)						
JM2011062251	CU11-JP001A	0.3	0.12	239	91	799	1	180	1635	3,71
577001	CU11-JP001B	0.3	0.78	5,6	242	7	2	990	28	2,95
577002	CU11-JP001C	0.6	1,57	1,6	56	2	1	1150	61	3,07
577003	CU11-JP001D	0.3	0.18	1,3	211	2	2	660	20	2,57
577249	CU12-JP001E	0.4	4,2	4,9	60	5	2	940	93	4,26
577017	CU11-JP027A	0.15	0.19	1,1	137	8	25	1800	36	2,47
577018	CU11-JP027B	0.1	14,55	4	177	2	18	500	40	3,38
Moyenne sur 1,2m			1,416	2,81	141,3	3,3	1,5	987,5	42,5	2,9

Tableau 3 : Échantillons en rainure prélevés sur Corales, évaluant le potentiel aurifère dans le First Pit, Secteur C. En bleu, la moyenne basée sur l'intersection de 1.2m composée de CU11-JP001 B-C-D/1.2m, JP001E/1.2m et JP027B/1.2m.

A la base d'indice Corales, des horizons riches en quartz ayant l'aspect de mylonite (HQP), montrent une forte schistosité et une texture poreuse (Figure 71). Représentant la partie basale de Corales, ces bandes contiennent des disséminations de pyrite oxydée montrant des anomalies aurifères pour les stations CU11-JP229, JP230, JP232 (Tableau 4). Ces bandes ont une épaisseur de 10 à 40cm.



Figure 71 : Roche felsique mylonitisée (HQP) montrant l'oblitération des textures originales du protolithe, Station CU11-JP229, vue vers l'est, Secteur C.

S. 57 8	8	Long	Au	Ag	Cu	As	Bi	Ba	Pb	Fe
Samples	Station	(m)	(ppm)	(%)						
577201	CU12-JP229	0,2	0,07	0,6	9	<5	5	1050	34	3,06
577202	CU12-JP230A	0,2	0,06	0,5	12	6	<2	980	49	3,5
577203	CU12-JP231A	0,2	0,03	<0,5	7	<5	2	1200	17	3,58
577204	CU12-JP230B	0,2	0,06	1,1	9	<5	3	1190	27	1,79
577205	CU12-JP232	0,2	0,02	0,5	5	<5	2	1390	53	2,87
577206	CU12-JP233	0,4	0,01	<0,5	4	<5	3	1130	19	3,33

Tableau 4: Échantillons en rainure prélevés sur la roche felsique mylonitisée (HQP) dans la zone de Corales.

Suivant l'axe N-S de la fabrique mylonitique, une série d'anomalies métallifères lié au HQP suggère la continuité de Corales. Une autre petite excavation située à 70m au nord de First-Pit a servi à tester les teneurs du prolongement de Corales vers le nord. En résumé, Corales affleure peu et les forages actuels sont insuffisants pour la comprendre. Pour ces raisons, il est difficile d'évaluer la morphologie et le potentiel de Corales. Coralecita est une série de veines de quartz massives sont conformes à la foliation (FCm), sont située à 25m structuralement au-dessus de Corales. La station CU11-JP335 montre une veine dont l'épaisseur varie de 8 à 20cm, dans un horizon de schiste à fragments anguleux (SH9b). Ces veines semblent tardi-tectoniques, car elles sont gondolées et fracturées (Figure 72). Au-dessus de Corales, quelques veines FCm (CU11-JP035) à pyrite disséminée montrent également des teneurs anormales de 0.09g/t Au, 0.5g/t Ag, 6g/t Cu. Cette même analogie de veines FCm minéralisées situées au-dessus d'un indice minéralisé est observé pour la zone Betabel.



Figure 72 : Veine de quartz à pyrite oxydée subconforme au cisaillement, Coralecita, Station CU11-JP335, Secteur C.

Les campagnes de forages précédemment réalisées supposaient que Corales correspondait à une zone stratiforme parallèle à la schistosité, N010/20°E. Le sondage CUM14-10 suggère que la zone de la Corales est continue à faible profondeur (30m). Il est donc possible d'effectuer l'extrapolation de la répartition des minéralisations entre la surface et le forage CUM-14 qui indiquent respectivement des teneurs de 1.03g/t Au et 2.5g/t Ag sur 1.2m et de 0.67g/t Au et 1.2 g/t Ag sur 10m de profondeur. Des sondages RC de 100m ont été effectués afin de recouper

l'extension latérale à plus de 50m de Corales. Les résultats de ces sondages ont mis en évidence des zones plus minces en profondeur. La section CU13-Corales est une interprétation géologique de Corales, schématisant les sondages et l'échantillonnage réalisés sur celle-ci. (Figure 73).



Figure 73 : Interprétation géologique de la zone Corales, à partir de l'échantillonnage de surface et des forages. Cette figure est disponible en en plus grand format en annexe C.

Spatialement, Corales est situé à 250m à l'est de Betabel. Suivant l'hypothèse des corps minéralisés ayant la forme de bande conforme à la schistosité régionale, Corales semble correspondre à une zone minéralisée parallèle à Betabel. Par contre, suivant l'hypothèse des failles normales recoupant la continuité des SH6-SH3, ces zones minéralisées correspondraient donc à un unique corps minéralisé. Par conséquent Corales représenterait la continuité de Betabel, qui serait décalée par une série de failles normales. Seule une campagne de forages DDH pourrait confirmer la morphologie et la répartition spatiale de Corales.

5.4. Indice Fuerte & Raul

Les indices Fuerte et Raul sont deux systèmes distincts de filons aurifères et argentifères (Figure 74). Le secteur F entoure Fuerte et Raul. Le secteur F est compris dans le Nord des claims *Lluvia d'Oro* et dans le Sud des claims *Lluvia de Oro 2*.

Raul est le nom du système de veines discordantes (FD) du secteur F (Figure 74). La zone Raul affleure sur 80m de long et 50cm d'épaisseur et montre des filons irréguliers de taille centimétrique. Les veines de quartz blanchâtres, où la minéralisation correspond à de la pyrite oxydée, dont les cubes atteignent jusqu'à 2cm. Ce système filonien est discordant, car il recoupe la schistosité subhorizontale avec des veines de 1 à 10cm d'épaisseur. Le contact avec l'encaissant est franc et très anguleux, typique de mise en place tardive dans des conditions cassantes (Figure 75). Aucune altération apparente n'est observée dans les épontes, ce qui est typique des FD. Les veines principales montrent de multiples appendices et des cavités drusiques rappelant les textures bréchiques de l'indice Elegante.



Figure 74: Carte géologique de l'indice minéralisé de Fuerte-Raul, Secteur F.

L'hématisation est présente qu'à proximité des zones riches en pyrite oxydée et des zones poreuses, ce qui confirme son origine météoritique. Les teneurs plus élevées de Raul proviennent de l'échantillon CU12-JP307 avec des teneurs de 14.95g/t Au et 83.2 g/t Ag sur 20 cm (Tableau 5).



Figure 75 : Veines (FD) de quartz riches en pyrites oxydées recoupant avec la schistosité, dans un schiste (SH6) à biotites et feldspaths blancs, Station CU13-JP203C, Raul, Secteur F.

Échantillon	Station	Long (m)	Au (ppm)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Fe (%)	Famille
577175	CU11-JP203A	0,2	3,48	6,1	38	17	7	1020	167	6,14	FD
577176	CU11-JP203B		10,7	41	20	5	10	290	56	3,01	FD
577270	CU12-JP203C	0,2	2,41	13,1	29	<5	12	970	642	2,72	FD
577271	CU12-JP203D	0,2	0,01	1,2	5	<5	<2	110	22	0,61	FD
577272	CU12-JP203E	-	3,09	10,2	8	7	10	370	93	3,45	FD
577276	CU12-JP307	0,2	14,95	83,2	8	<5	48	50	56	2,77	FD
577282	CU12-JP313A	1	0,59	3,1	80	<5	7	1030	140	2,47	FD
577283	CU12-JP313B	1	1,51	3,5	12	5	4	750	55	2,45	FD
577396	CU12-JP404A	0,25	3,13	3,3	11	<5	4	530	33	2,58	FD
155509	CU12-JP444B	2	0,01	0,5	5	<5	2	880	37	2,08	FD

Tableau 5 : Échantillons en rainure prélevés les veines de Raul, Secteur F.



Figure 76 : Crayon pointant dans l'axe du pli d'une bande riche en hornblende dans un schiste SH4, vue vers l'est, zone située dans le toit de l'indice Raul, Station CU12-JP402, Secteur F.

Comme Betabel, la zone Raul est située dans la partie supérieure de l'unité SH6, soit un schiste mélanocrate à biotite et feldspath porphyrique. Un horizon schisteux riche en biotite (SH4), est situé au contact sommital avec le SH6, et semble représenter une zone de métamorphisme de contact. Dans l'horizon SH4, on observe localement du plissement dans les lentilles riches en hornblendes situées dans les bandes riches en épidotes (Figure 76). Au-dessus du SH4, une bande de schiste leucocrate (SH1) avec des zones blanchies friables à nodules d'épidote-quartz-argiles témoignent d'une circulation de fluides hydrothermaux dans cette unité métasomatisée (Figure 94). Le même phénomène de métasomatisme d'un horizon poreux est observé au-dessus de Corales et Betabel. Fuerte est le nom d'un essaim de veines subconformes (FCm) de quartz minéralisé dans l'unité SH6 (Figure 77). La zone Fuerte affleure sur 180m de long et semble avoir une épaisseur de 45m et montre une série de filons de quartz parallèles de taille centimétrique.



Figure 77 : Veine (FCm) de quartz subconforme dans le schiste SH6, zone Fuerte, Station CU12-JP312, Secteur F.

Ce système filonien (FCm) est subconforme à la schistosité, mais la recoupe clairement avec un angle faible de 5° à 25° La roche hôte est un SH6 moyennement à peu cisaillée et correspond à un schiste riche en biotite et caractérisé par des porphyroclastes de feldspaths blancs de 1 à 40mm. Une linéation d'étirement est bien définie dans ces roches hôtes et les porphyroclastes centimétriques de microcline ont bien enregistré le mouvement normal du cisaillement ductile (Figure 78). De plus dans la zone Fuerte, l'altération semble absente. La mise en place de ces systèmes de veines de quartz (FCm) intervient tardi-tectoniquement dans un environnement cassant, subconforme au cisaillement.



Figure 78 : Schiste (SH6) à biotite et feldspath porphyroclastique, Station CU12-JP570, zone Fuerte, Secteur F.



Figure 79 : Bréchification tardive d'une veine minéralisée, Station CU12-JP435, Fuerte, Secteur F.

En surface, la zone Fuerte est partiellement recouverte par des sédiments quaternaires, et les veines minéralisées sont souvent mise en avant par leur relief positif. Les teneurs plus élevées de la zone Raul proviennent de l'échantillon CU12-JP444a avec des teneurs de 14,3g/t Au et 51,8g/t Ag sur 10cm (Tableau 6). La veine CU13-JP435 montre une texture bréchique, avec des teneurs de 1,06g/t Au et 3,9g/t

Ag sur 20cm (Figure 79). Ces veines sont nombreuses, et on en estime une douzaine de taille décimétrique pour une moyenne approximative de 0.21g/t Au et 0.87g/t Ag sur 47m, soit l'épaisseur du schiste mélanocrate (SH6).

Échantillon	Station	Long (m)	Au (ppm)	Ag (ppm)	Cu (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Fe (%)	Famille
577277	CU12-JP308	0,15	0,05	0,7	7	24	3	50	7	0,68	FCm+FD
155512	CU12-JP453	0,25	0,08	<0,5	50	38	3	1970	50	6,49	FCm+FD
577274	CU12-JP306A	0,1	6,43	17,1	15	<5	29	200	78	1,46	FCm
577278	CU12-JP309	0,12	0,02	0,7	12	<5	2	110	14	0,86	Fcm
577279	CU12-JP310	0,1	0,11	4,7	36	5	373	760	521	3,95	FCm
577281	CU12-JP312	0,3	0,04	0,5	11	<5	2	980	25	2,21	FCm
577397	CU12-JP430	0,25	0,26	4,2	9	<5	2	320	43	1,31	FCm
155502	CU12-JP435	0,25	1,06	3,9	8	7	3	140	17	2,85	FCm
155507	CU12-JP443	0,1	5,48	47,5	45	7	18	500	780	3,59	FCm
155508	CU12-JP444A	0,1	14,3	51,8	9	17	24	520	1210	7,69	FCm
155510	CU12-JP445	0,1	0,29	2,4	4	6	2	330	66	1,28	FCm
577273	CU12-JP304	0,5	0,01	<0,5	7	<5	<2	1230	16	1,81	Alt-FD
577275	CU12-JP306B	0,05	0,3	1,5	3	<5	11	800	33	3,15	VN-tor

Tableau 6 : Échantillons en rainure prélevés sur les veines de quartz dans la zone de Fuerte, secteur F.

Dans l'unité SH2 au-dessus de Fuerte, d'autres veines subconformes à la schistosité, donnent des teneurs intéressantes telle que par exemple l'échantillon CU13-JP426b, avec 2,97g/t Au et 5,8g/t Au sur 15cm. Dans une partie non-fracturée de la veine de quartz, de la pyrite fraîche de forme cubique a été observée, tandis que dans la partie fracturée, les cavités cubiques étaient remplies d'oxydes de fer (Figure 80). Ce qui confirme l'hypothèse de l'oxydation de la pyrite par la météoritisation.



Figure 80 : Pyrite partiellement oxydée dans une veine de quartz aurifère, Station CU12-JP426b, Fuerte, Secteur F.

En surface, la schistosité est orientée N022° et montre un pendage de 30° vers l'Est La linéation d'étirement montre un faible plongement de 12° vers le nord (N024°) et l'axe des plis parasites est similaire (Figure 81). La série de FCm de la zone Fuerte, les veines de 8 à 25cm d'épaisseur, montrent une orientation de N020/18°E à NE050/30°SE et donc un pendage vers l'est. Le système de veines de la zone Raul est complexe et plus ou moins orienté NNE-NNO avec un pendage de 5 à 30° et montre des appendices orthogonaux. D'importants groupes de veines verticales (VV), de taille décimétrique, bordent la limite nord et sud de la zone Raoul et montrent une orientation variant de N115 à N140°. Sur la route, une VV (N125/85°) recoupe des FCm (N020/10°), et les décalent par un léger mouvement normal.

La morphologie de la zone Fuerte apparait comme une série de veines (FCm) encaissées dans le schiste mélanocrate (SH6), soit une zone d'une épaisseur d'au moins 50m d'épaisseur, visible sur 300m de long en surface. La zone Fuerte serait orientée N-S avec un faible pendage de 20 à 30° vers l'est. Nous savons qu'il existe d'autres veines aurifères isolées au-dessus de Fuerte. La morphologie de Raul est zone d'au moins 1m constituée d'une série de veines (FD) au contact de la partie supérieure du SH6, visible sur 100m de long en surface. La zone Raul est orientée N-S avec un faible pendage 0 à 25° vers l'Est.



Les travaux de forages sont présentement insuffisants pour démontrer la continuité des zones minéralisées. La campagne de forages suppose que Fuerte-Raul était une zone subparallèle à la schistosité, N010/25°. Le sondage CU13-RC012 de 60m et CU12-RC013 de 50m tentaient de recouper la totalité de la zone Raul. Les teneurs des forages montrent des valeurs anomales en profondeur suggérant la continuité latérale des veines. La section CU13-RC013 est une interprétation géologique de la zone Raul, schématisant les sondages et l'échantillonnage réalisés (Figure 82).



Section CU13-RC013 - N3412330 (orientation OE) Interprétation du secteur F - Cumeral (CU12-JP203-Zona Raoul)

Figure 82 : Coupe géologique de la zone Raul avec le sondage CU13-RC013, vue vers le nord, Secteur F.

5.5. Indice Elegante

Situé au sud du Claim Lluvia de Oro, le secteur E circonscrit Elegante et la zone de mylonite quelle recoupe (Figure 84). Elegante est le nom d'un indice minéralisé montrant une brèche hydrothermale recoupée par des filons FD. Les minéralisations

sont présentes dans la brèche, mais surtout dans l'essaim de FD qui l'infiltrent (Figure 83). L'indice Elegante affleure sur plus de 250m et montre une épaisseur approximative de 2m, où se localisent de petits filons irrégulièrement disposés (Figure 84). Elegante est située à 300m au sud de l'indice Corales, mais ne semble par correspondre pas à sa continuité, car elle pente en sens inverse.



Figure 83 : Veinules FD recoupant la brèche hydrothermale à fragments de schiste SH2, Station CU11-JP015.

La brèche hydrothermale de l'indice Elegante est de 8 à 30cm d'épaisseur et est recoupée par des filons FD de 1 à 3cm d'épaisseur (Figure 83). La brèche est subhorizontale, mais discordante par rapport à la schistosité. Le quartz est blanchâtre. La brèche contient des fragments anguleux de taille centimétrique provenant de son encaissant, correspondant à un schiste (SH2) à muscovite et quartz porphyroclastique. Les fragments sont faiblement hématisés et séricitisés, où les porphyres de feldspaths faiblement altérés sont friables. Le quartz est localement drusique dans la brèche et on y observe des boxworks de pyrite cubique de taille millimétrique à centimétrique.



Figure 84 : Carte géologique de l'indice minéralisé d'Elegante, Secteur E.

Les filons FD sont particulièrement riches en pyrites oxydées (Figure 85), ce qui permet de les distinguer de la brèche. Les veinules FD ont un contact franc et anguleux avec l'encaissant. Le quartz est plus translucide que celui de la brèche et montre aussi des cavités drusiques. Les FD sont aussi majoritairement subhorizontaux. La mise en place de ces systèmes de veines de quartz est postérieure (post-tectonique) et discordant par rapport à la schistosité, puis se forme dans un environnement cassant.



Figure 85 : Filons (FD) riches en pyrite oxydée recoupant la brèche hydrothermale contenant des fragments de schistes SH2 et des boxworks de pyrite, Station CU11-JP015, Elegante. Identifié en rouge les filon discordants (FD), en bleu la brèche hydrothermale (BxHT), en jaune les fragments de SH2 de l'encaissant.

La roche hôte est un schiste (SH2a) recouvert d'un horizon de schiste leucocrate (SH1) plus riche en mica blanc (Figure 84). Cet horizon de SH1 d'une douzaine de mètres d'épaisseur, est plus friable et montre de la séricitisation à différents endroits. Contrairement à l'indice Corales, le schiste blanchi ne montre aucune trace d'épidotisation. Une moyenne calculée à partir de quatre échantillons (CU11-JP015,

CU12-JP245b, CU11-JP016a et JP016b) prélevés sur la veine principale de Elegante révèle 7,3g/t Au et 37,6g/t Ag sur environ 25cm. D'autres veinules de quartz parallèles, tel que celle de l'échantillon CU11-JP153b qui montre des teneurs jusqu'à 15,75g/t Au et 4,3g/t Ag sur 20cm (Tableau 7).

112	(Teste		Long	Au	Ag	Cu	As	Bi	Ba	Pb
Famille	Échant	Station	(m)	(ppm)						
FD	577198	CU12-JP153B	0,2	15,75	4,3	54	7	39	580	842
FD-BX	577131	СU11-JP016В	0,4	9,75	6,6	52	14	110	350	506
FD-BX	577006	CU11-JP015	0,2	9,15	88,5	192	8	62	120	161
FD	577127	СU11-JP156	0,15	8,12	2,6	57	42	90	270	314
FD-BX	577007	СU11-JP016А	0,5	3,94	12,4	112	11	123	40	218
FD	577191	CU11-JP162C	0,4	2,98	5	285	<5	29	810	423
FD	577213	CU12-JP245B	0,4	1,46	1	21	15	15	700	140
FD	577128	CU11-JP157	0,3	0,67	2,2	62	16	27	810	281
vv	577141	CU11-JP170	0,2	0,48	13,3	19	<5	14	600	79
FD	577126	CU11-JP155	0,2	0,46	0,8	18	9	8	970	52
FCm	462976	CU12-JP575	0,3	0,12	0,62	40,6	7,3	1,3	920	11,8

Tableau 7: Meilleures teneurs aurifères des échantillons en rainure prélevés de la zone d'Elegante, Secteur E. En beige, les échantillons prélevés sur le système de FD.

En surface, la schistosité est orientée N025° et pente de 35° vers l'est (Figure 86). La linéation d'étirement montre un plongement faible de 6° vers le Nord (N030°) et les porphyroclastes ont bien enregistrés le cisaillant ductile. Les veines d'Elegante montrent une orientation de N190 à N220° et un pendage de 20 à 35° vers l'Ouest. Le système de veines minéralisées est orienté S-N avec un pendage faible vers l'Ouest. Le système de veines recoupe donc la schistosité pentée vers l'est. La zone Elegante et l'altération disparaissent subitement au Sud-Ouest, en se butant sur une faille normale d'orientation NO-SE.



Comme partout sur la propriété de nombreuses veines de quartz (VV), de taille décimétrique, montrent une orientation NO-SE variant de 115 à 140° avec un pendage subvertical. La station CU13-JP575 expose une brèche de faille de (25cm) contenant des veines centimétriques de quartz discontinues. Cette station est située 15m sous Elegante et sont sub-parallèle à la schistosité, avec une orientation N012/30° (Figure 87). La station CU13-JP575 expose une faille aux textures cataclastiques, subparallèle à la schistosité et expose des veinules de quartz à pyrite (FD) avec des teneurs anomales de 0.12g/t Au et 0.6g/t Ag sur 30cm. Des éventuels décapages permettront de mieux évaluer l'épaisseur et les teneurs du système filonien d'Elegante.



Figure 87: Brèche de faille (25cm), avec veinules de quartz (FD), vue vers l'est, Station CU11-JP575, Secteur E.

En surface, la morphologie d'Elegante est celle de la brèche hydrothermale à laquelle se superpose une zone de stockwork de veinules de quartz recoupant la schistosité. En profondeur, les teneurs des forages RC suggèrent la possible continuité de la zone minéralisée. Les sondages RC de 40m à 80m tentaient de recouper son prolongement en profondeur. Une section géologique propose une interprétation géologique de l'indice Elegante schématisant les sondages et l'échantillonnage dans cette zone (Figure 88).



Figure 88: Interprétation géologique de la zone Elegante, à partir de l'échantillonnage de surface et des forages. Une représentation en plus grand format est fournie en annexe.

5.6. Indice Altacobre

La zone Altacobre correspond à une zone où se concentrent les bandes calcosilicatées (CSB) sur plus de 500m de long (Figure 90). Le secteur-A entoure les CSB, et est

situé au nord du secteur B (voir annexe B). Représentant une zone de 5 à 25m de largeur, la zone Altacobre est l'espace où se localisent les bandes calcosilicatées de tailles décimétriques propices aux minéralisations de Cu-Au-Ag (Bi-Pb). Il semble y avoir une corrélation entre les bandes calcosilicatées minéralisées en cuivre (MCSB) et le système filonien argento-aurifère.

Comme nous l'avons déjà mentionné au chapitre 1.4.1., le *Copper Pit* et le *Malachite Pit*, sont de petites excavations qui permettent de bien observer les MCSB de l'indice Altacobre. D'épaisseur décimétrique (5 à 60cm), les MCSB recoupent la stratification et la schistosité avec un angle souvent fort (Figure 89). Malgré la déformation et le métamorphisme, on peut constater un contact franc et anguleux avec les roches hôtes, typique de la mise en place dans des conditions cassantes, tels des dykes. De la séricitisation ou de l'argilisation affecte souvent la roche encaissante près des MSCB (Figure 96).



Figure 89: Excavation montrant une CSB pentée vers le Sud recoupant la schistosité de la roche encaissante pentée vers l'Est, CU11-JP012, vue vers le Sud du Copper Pit, Secteur A.



Figure 90 : Carte géologique du secteur A.

Les CSB sont affectées par la déformation ductile, donc leur mise en place est probablement antétectonique à syntectonique. La schistosité est moins bien développée dans la majorité des CSB, à l'exception de la station CU12-JP366, où localement un intense cisaillement, montre une zone d'altération intense à quartzchlorite-épidote-quartz interprétée comme du rétrométamorphisme. En surface, les CSB se séparent et se rejoignent comme un essaim de dykes rapprochés (Figure 90).

Les MSCB montrent une composition hétérogène, constituée de 10-40% quartz, 20-30% hornblende, 0-10% grenat almandin, 5-15% épidote, 2-15% biotite, 0-2% chlorite, 0-1% chrysocolle, 0-2% malachite-azurite, 1-10% goethite-hématite. Les contacts sont bordés de SH4 riche en biotite, très folié et d'épaisseur centimétrique. La composition varie en fonction de l'épaisseur de la bande, plus elle est épaisse, plus l'intérieur sera riche en amphibole et grenat (Figure 91), et par opposition, plus elle sera mince, plus elle sera riche en quartz, épidote, biotite (Figure 92).



Figure 91: Aspect d'une épaisse MCSB riche en amphibole-grenat, montrant un placage de malachite en fracture, Station CU11-JP058, Altacobre.



Figure 92: Aspect d'une mince MCSB métasomatisée riche en quartz-épidote, recoupée par des filonets de quartz-chrysocolle, Station CU11-JP057, Altacobre.



Figure 93: Veine de quartz recoupant la texture bréchique d'une CSB métasomatisée riche en quartz-épidote, Station CU13-JP556.

Les événements filoniens siliceux sont nombreux dans les CSB, mais les hautes teneurs en or sont liées à des zones métasomatisées riche en quartz, épidote, chlorite, séricite et argiles. On retrouve des zones de brèche, où les fragments sont fortement métasomatisées (Figure 93). Le contraste rhéologique représenté par le contact entre les CSB (plus compétent), et le schiste à muscovite (plus ductile), est propice à la circulation hydrothermale. Ces contacts constituent des corridors de prédilection offrant un milieu cassant servant de piège structural et géochimique propice à la capture de fluides hydrothermaux.

Des veines de quartz tardives recoupent verticalement la schistosité des CSB avec un contact franc (Figure 93). Dans les CSB aux textures bréchiques à proximité des veines tardives, il y a des cavités remplies d'amas d'oxydes de fer avec un ciment siliceux. Plus tardivement, des veinules forment de placage de calcédoine qui recouvre le tout (Figure 94) et témoigne d'un subtil événement siliceux tardif.



Figure 94: À gauche : CSB bréchique à matrice riche d'oxyde de fer, recouvert de calcédoine, Station CU13-JP555. À droite : Veine de quartz (VV) tardive recoupant une CSB riche en quartz-épidote, Station CU13-JP054.

Les teneurs aurifères dans les MSCB ne sont pas aussi hautes que dans les autres indices, par contre elles semblent plus constantes (Tableau 8). Les teneurs cuprifères sont irrégulières et ne montrent aucune corrélation avec l'or. Le plus remarquable des

		Long	Au	Ag	Cu	As	Bi	Ba	Pb	Fe
Échantillons	Station	(m)	(ppm)	(%)						
577155	CU11-JP183B	0,2	3,57	53,8	27	<5	1930	20	1250	0,94
577043	CU11-JP058B	0,4	1,34	272	24500	<5	408	220	125	6,58
462965	CU12-JP555B	0,2	1,29	76,9	10750	1,9	377	60	176,5	4,65
577162	CU11-JP136	0,18	1,09	211	16000	7	852	70	273	3,97
577041	CU11-JP057A	0,27	0,98	21,4	5290	<5	94	20	52	4,04
577169	CU11-JP195	0,7	0,89	135	14050	<5	977	50	96	3,36
577163	CU11-JP137	0,2	0,82	192	17550	10	752	110	197	4,56
577172	CU11-JP199	0,2	0,65	47,2	4550	54	498	470	1365	3,15
462967	CU12-JP556B	0,2	0,61	6,63	5030	0,4	216	70	15,6	4,4
577159	CU11-JP185B	0,2	0,44	62,7	4300	<5	492	340	3370	3,11
462953	CU12-JP524B	0,2	0,27	179	290	14,2	2050	70	1915	5,91
577105	CU11-JP012A	0,1	0,24	37	3610	<5	183	720	108	3,68
577042	CU11-JP058A	1	0,23	6,7	3670	<5	76	400	152	4,59
462968	CU12-JP557A	0,2	0,22	14,15	2340	3,5	203	130	84,6	4,81
462964	CU12-JP555A	0,2	0,14	18,3	2600	1	85,4	60	44,5	4,37
577161	CU11-JP012C	0,1	0,13	41,4	5750	5	248	30	62	4,23

échantillons d'Altacobre provient du Malachite Pit, avec des teneurs de 1,34g/t Au, 272g/t Ag, 2.45% Cu sur 40cm.

Tableau 8: Meilleurs teneurs aurifères des échantillons en rainure prélevés sur la zone d'Altacobre, Secteur A.

La schistosité est orientée N020° et montre un pendage de 25° vers l'est. La linéation d'étirement montre un faible plongement de 2° vers le nord à N025° (Figure 95). Les CSB forment un réseau orienté NNO à NNE avec un pendage variant de 20 à 65° vers l'ouest ou l'est. Les FCm (2 à 30cm) et les FCp sont subparallèles et montrent une orientation N025° et un pendage de 30° vers l'est (Figure 97), Le réseau de FD (1-3mm) est très irrégulier, mais montre une tendance NNE-SSO avec des pendages

variant de 5 à 25°, avec de rares appendices orthogonaux. Un groupe de VV (2 à 25cm) montrent une orientation variant de N115 à N140° avec un fort pendage incliné vers le SO. Allant jusqu'à 50cm d'épaisseur, une des veines verticales tardives à quartz-schorl-hématite se superpose sur le système des VV.



Figure 95 : Représentation stéréographique des principales structures minéralisées de l'indice Altacobre.

Depuis la surface, Altacobre correspond à une suite de CSB principalement orientées N-S avec un pendage moyen à fort en direction de l'ouest recoupant la schistosité. Cette relation est clairement exposée dans le *Malachite Pit*, où les CSB sont orientées E-O et pentent moyennement vers le sud, alors qu'à l'inverse la schistosité pente faiblement vers l'Est (Figure 90). La compilation des observations géologiques nous porte à croire que les CSB sont des dykes mafiques syntectoniques, métamorphisés et localement métasomatisés. Voici la synthèse proposée pour Altacobre et le secteur A:

- Mise en place de dykes mafiques dans le socle (en milieu cassant)

- Cisaillement et métasomatisme (en milieu ductile-cassant) transformant les dykes mafiques en CSB
- Circulation hydrothermale (en milieu cassant) captée par les CSB, et formant des MCSB à minéralisations cupro-aurifères (Figure 96)
- Mise en place des veines verticales (VV) liée aux failles normales
- Les veines de quartz-schorl-hématite
- Réactivation des failles normales et bréchification des VV
- Circulations hydrothermales à calcédoine dans les zones de brèches



Figure 96 : Séricitisation trouvée au contact avec la MSCB, et appendice de la CSB riche en grenat almandin discordant à la foliation, Copper pit, Station CU11-JP012.

Au sujet l'exploration, la morphologie de la zone Altacobre corresponds à des zones minéralisés (MCSB) dans le réseau de bandes calco-silicatées (CSB) orientée N-S. Les CSB sont majoritairement pentées vers l'ouest à 60°. Les MCSB sont donc des zones stratoïdes caractérisées par des fractures riches en malachite-chrysocolle, la récupération du matériel forée peut être incomplète. Le seul forage effectué dans ce secteur, montre la continuité des CSB en profondeur. La section du forage CU13-

RC014 est une interprétation géologique schématisant le sondage et l'échantillonnage visant la zone Altacobre (Figure 97).



Figure 97: Interprétation géologique de l'indice Altacobre, fait à partir de l'échantillonnage de surface et du forage CU13-RC014. Une représentation en plus grand format est fournie en annexe.

CHAPITRE VI

PHASES DE MINÉRALISATION AURIFÈRE ET CUPRIFÈRE

Dans ce chapitre, seront décrits l'habitus de l'or et les associations minéralogiques pour chacun des événements aurifères, pour proposer une paragénèse. Pour terminer, une interprétation des résultats sur la zone cupro-aurifère de l'indice Altacobre se proposée, et un parallèle sera fait entre les minéralisations cuprifère et aurifères.

6.1. Multiples phases aurifères de la propriété Cumeral

D'après nos études, les minéralisations aurifères du projet Cumeral sont le résultat de plusieurs événements hydrothermaux à apport métallifère distinct. Nous avons pu déterminer trois phases de mise en place de l'or qui ont formé les indices minéralisés, soit la phyllitisation, les filonets discordants, et l'infiltration hydrothermale tardive.

6.1.1. Phase aurifère 1 : Phyllitisation

La première phase aurifère est associée à la phyllitisation, qui a été présentée précédemment au chapitre 4.1.3. Ces zones ne comportent que de faibles anomalies en or, argent, plomb, zinc et baryum. La majorité des indices de la propriété Cumeral sont affectés par une séricitisation-silicification accompagnée de pyrite disséminée (Figure 98). Ces zones sont souvent stratiformes, car elles ont épousé la forme d'une unité poreuse, tels les schistes à muscovite (SH1) ou les zones de cisaillement. En lame mince, on observe des filonets remplissant la fracturation d'un matériel de fines particules hydrothermales particulièrement difficile à reconnaitre (Figure 98). Cette
phyllitisation remplit la fracturation discordante à la foliation. Les observations au MEB montrent que la sphalérite (>10 μ m) et la galène (>15 μ m) sont associées à la séricitisation-silicification (Figure 100). L'altération est caractérisée par de fins cristaux (10 à 100 μ m) de sericite-quartz-chlorite (Figure 101) et un assemblage microcristallin (>5 μ m) de minéraux peu denses composé de K-S-Al-Si-O (Figure 99).



Figure 98 : Microphotographie en lumière naturelle polarisée montrant une fracture remplis de quartz-séricite recoupant l'encaissant, CU13-JP001x, Corales.



Figure 99 : Analyse spectrale (MEB) confirmant la présence de Zn-Pb-Fe-S dans les sulfures, et le Si-Al-K-Mg-S-O des minéraux d'altération, CU13-JP027.



Figure 100 : Microphotographie (MEB) montrant des disséminations de pyrite, galène et sphalérite dans une zone d'altération à sericite-quartz-chlorite et possiblement alunite-kaolinite, CU13-JP027.

Malgré la petite taille des particules du matériel hydrothermal présent dans les filonets, nous avons pu déterminer leur aspect et leur composition à l'aide du MEB. De taille millimétrique, les cristaux de muscovites de la roche encaissante sont beaucoup mieux développés et volumineux que la séricite d'origine hydrothermale (Figure 101). La muscovite-biotite sont tabulaires et souvent rongées par l'hydrothermalisme, tandis que la séricite est souvent aciculaires ont crû en lamelles formant des éventails. Dans la muscovite, on observe des zones plus denses marquées par la présence d'oxyde de fer entre les feuillets, probablement d'origine météoritique. De l'or fin (5µm) est associé exclusivement aux amas de séricite les plus fins. Nous observons que trois familles de tailles de particules prédominent (Figure 98 et Figure 101) dans les zones séricitisées :

- La granulométrie originale de l'encaissant de taille supérieure à 80 μm
- Le groupe de séricite de taille, variant entre 10 à 50µm
- L'assemblage d'une altération antérieure de taille inférieure à 5µm



Figure 101: Microphoto (MEB) montrant un grain d'or et minéraux associés, CU13-JP001. À noter la différence de taille entre la séricite (ser) et la muscovite (msv), ainsi que les feldspaths-micas altérés en sericite (et alunite?).

L'or semble étroitement associé aux amas de fines disséminations de sulfosels de bismuth et au quartz-séricite hydrothermale. Les sulfosels cryptocristallins sont disposés en amas hétérogène et leur taille ne permet pas leur différentiation. Une analyse au spectromètre du MEB sur ces particules plus denses, nous suggère une composition d'Au-Ag-Bi-Tl-As-S, dans une matrice de Si-Al-Na-K-S-O (Figure 103). Au MEB, l'or libre apparait nettement plus dense que les sulfosels (Figure 102).



Figure 102: Or et sulfosels associés à des amas de fins cristaux de séricite-alunite, CU13-JP009bx.



Figure 103: Analyse spectrale (MEB) confirmant la présence d'or-argent associé aux sulfosels de Bi-As-Tl-S, CU13-JP009Bx.

6.1.2. Phase aurifère 2 : Les filonets discordants

La deuxième phase aurifère est associée aux filons discordants (FD), qui sont des veinules de quartz particulièrement riche en pyrite. Les échantillons prélevés proviennent de la surface et la majorité des sulfures sont oxydés. La pyrite cubique se distingue par la morphologie des boxworks et la composition des minéraux secondaire qui remplissent ces cavités.

L'exemple type des minéralisations FD est l'échantillon CU13-JP001x, provenant du de l'indice Corales (Figure 104). Représentant 5% de la roche, les veinules de quartz recoupent la schistosité, tandis que les boxworks cubiques de pyrite oxydée (\leq 3mm) représentent 2% de la roche. Les veinules montrent beaucoup de cavité de dissolution et sont chargés de particules fines provenant des zones d'altération. Le contact des veinules est franc et les épontes ne semblent pas montrer d'altération. Les filons sont tardi-détachement, car ils ne sont pas déformés et peu fracturés. On observe une relation étroite entre l'Au et l'Ag-Pb-Ba (Tableau 9).



Figure 104 : Vue de près de l'échantillon CU13-JP001x, Indice Corales.

Échantillon	Station	Dimension (m)	Au	Ag	Cu	As	Bi	Ba	Pb	Fe
			(g/t)	(%)						
577249	CU12-JP001x	0.4	4,2	4,9	60	5	2	940	93	4,26

Tableau 9 : Teneurs des principaux métaux présents dans l'échantillon CU11-JP001x.

L'or est présent sous forme de particules globuleuses dans les pyrites (Figure 105), mais aussi en texture fluidale dans le quartz des veinules en compagnie de l'argent (Figure 108). Cette morphologie suggère une mise en place libre de contrainte, telle une exsolution dans la pyrite ou dans le quartz. Au MEB, les grains d'or montrent aussi une forme globuleuse (Figure 106) et une composition plutôt pure (Figure 107).



Figure 105 : Microphotographie en lumière réfléchie d'un grain d'or, dans la pyrite oxydée en hématite, CU13-JP001A.



Figure 106: Microphoto (MEB) montrant un grain d'or dans une matrice d'oxydes de

fer, CU13-JP001X.



Figure 107 : Analyse (MEB) du spectre géochimique fait sur le grain d'or, montrant une faible concentration d'argent, CU13-JP001X.



CU13-JP001X - AuAg in quartz 2013/01/18 17:06 HL D9.3 x500 200 um Figure 108: Microphotographie (MEB) montrant la texture fluidale de grains d'or et argent dans le quartz d'un filonet FD, échantillon CU13-JP001X.

Les analyses du laboratoire privé GTP ont permis de récupérer des concentrés de minéraux lourds (Pelletier, 2013). Par des observations du concentré à la binoculaire, plusieurs grains d'or et d'électrum montrent une morphologie globulaire, soit une apparence très similaire à ce qui a été observé au MEB et en lames minces (Figure 109). On peut observer les variations de composition métallique par la couleur des grains, avec des contrastes plus doré (aurifère) ou plus argenté (argentifère).



Figure 109 : Grains d'or (électrum) et d'argent provenant d'un concentré de minéraux lourds fait au Laboratoire privé GTP, CU13-JP001X.

L'abondance de pyrite et la présence de séricite dans le quartz de ces filonets confirment qu'ils reprennent le même chemin que la phyllitisation, et qu'ils exercent une remobilisation métallique au sein des zones d'altération phyllique (Figure 110). Les veinules sont discordantes à la foliation, montrent des textures dentritiques et remplissent des zones de fracturation, tels les impulsions siliceuses tardives dans les systèmes épithermaux (White & Hedenquist, 1990).



CU13-JP001X - Gold in quartz 2013/01/18 17:43 HL D9.6 x500 200 um Figure 110: Microphotographie (MEB) montrant la texture fluidale de grains d'or et argent dans le quartz d'un filonet FD, CU13-JP001X.

6.1.3. Phase aurifère 3 : Infiltration hydrothermale tardive

La troisième phase aurifère est associée à un subtil événement hydrothermal siliceux à épidote-pyrite-or qui s'infiltre dans toute la fracturation disponible. Cette phase montre une signature minéralogique similaire de l'épisode rétrométamorphique au faciès des schistes verts. L'exemple type est la lame mince de l'échantillon CU13-JP001, où de l'or libre est présent dans la fracturation des pyrites contenues dans les FD (Figure 111). Cet événement hydrothermal était inconnu avant cette étude et nous en ignorons l'ampleur, car il a été observé dans la plupart des zones minéralisées.



Figure 111: Microphotographie en lumière réfléchie d'or remobilisé dans les fractures de la pyrite oxydée en hématite, CU13-JP001.

Le terme infiltration est très approprié, car nous observons de fins filonets hydrothermaux tarifs (FHTT) qui empruntent la fracturation des FD et les zones d'altération phyllique (Figure 112). On distingue les FHTT par l'assemblage de particules microcristallin de quartz-épidote-chlorite-pyrite-or libre (Figure 113). La fracturation de la roche encaissante montre des surfaces irrégulières très anguleuse qui représentent un piège cassant (Figure 112).



Figure 112 : Microphotographie en lumière réfléchie montrant la subtilité des filonets d'altération hydrothermale (FHTT) remplissant le système de fractures et les fragments de cristaux d'épidote écrasés, CU13-JP009B, Betabel.

L'épidote, la pyrite, l'or libre sont les éléments plus grossiers dans ces micro-veinules (Figure 111). Les grains d'or reposent en fine dissémination (>20 μ m) dans une matrice aphanitique, formant souvent des trainés de particules près de la pyrite et de

l'épidote. Les cristaux d'épidote et de pyrite sont souvent fragmentés, ce qui suggère de l'écrasement causé par des mouvements de réajustement tectonique. L'épidote est particulièrement réfléchissante en lame mince, et nous soupçonnons qu'elles contiennent des inclusions de fines particules de rutile ou d'hématite (Figure 113). D'origine météoritique, l'hématite-goethite est interstielle et tardive.



Figure 113: Microphotographie en lumière réfléchie montrant la subtilité des filonets d'altération hydrothermale remplissant le système de fractures de veinule de quartz, CU13-JP009B, Betabel.

En observant plus en détail le concentré de minéraux lourds préparé par GTP (laboratoire privé), on semble distinguer deux familles de grains d'or (Figure 114). La morphologie des grains A (phase 2) sont globuleux (Figure 115), tandis que les grains B (phase 1 ou 3) montrent une surface plus irrégulière avec de subtiles appendices (Figure 116). Les grains A montrent une composition plus aurifère, tandis que les grains B sont plus hétérogènes et plus argentifères. La taille des grains A varient de

0.05 à 0.3mm (Figure 108), tandis que celle des grains B varient de 0.01 à 0.1mm (Figure 113). La distinction entre les grains d'or de type A et B, est en accord avec l'hypothèse d'au moins deux phases aurifères.



Figure 114 : Différentiation morphologiques des grains d'or provenant du concentré de minéraux lourds fait par GTP, CU13-JP001X.



Figure 115 : Famille de grains d'or et électrum de type A, globuleux et homogène, issue du concentré de minéraux lourds fait par GTP, CU13-JP001X.



Figure 116 : Famille de grains d'or et électrum de type B, irrégulier et hétérogène, issue du concentré de minéraux lourds fait par GTP, CU13-JP001X.

6.1.4. Synthèse des phases aurifères

D'après nos observations, la séquence des événements minéralisateurs aurifères significatifs se présenterait comme suit (Figure 117) :

Phase 1 (Phyllitisation): Altération phyllique représentant la fin d'un système épithermal pendant la formation du détachement. L'or est lié aux sulfures (pyrite, sphalérite, galène) et aux sulfosels dans les zones de phyllitisation, qui semble se superposer aux zones préalablement affectées par l'argilisation/argilisation avancée.

Phase 2 (FD): Mise en place de veinules (FD) de quartz riche en pyrite et or-argent libre pendant le stade avancé du détachement. Les filonets se superposent sur les zones de phyllitisation et contiennent des particules des épontes altérées. C'est un système de veines tardives (minéralisé ou non) qui crée de la remobilisation dans la phyllitisation, ou qui constitue un nouvel apport aurifère du système épithermal. Phase 3 (FHHT): Événement de fracturation avec subtil événement hydrothermal (minéralisé ou non), impliquant l'infiltration de micro-filonets de quartz contenant de la pyrite, épidote et or libre se superposant sur la minéralisation précédente. Il est probablement généré par le rétrométamorphisme durant le stade avancé du détachement. A noter, que les VV et les FCM sont probablement des réceptacles cassants des phases aurifères 2 et 3 (voir le chapitre 8 - Discussion).

		Précoce Échelle de temps relatif											
MINÉRALOGIE		OGIE Phyllitisation		ion	FD				FHTT				
ALTERATION	Quartz (veine) Quartz Séricite Kaolinite Epidote Chlorite Hématite				Ren	nobilis	sation	n = n =	-	-	-	-	-
MINERALISTION	Au (or libre) Ag (argent natif) Pyrite Sphalerite Galena Enargite Sulfosels					-	-			-	-	-	-
ACCESSOIRE	Barite Fluorite Apatite Jarosite Rosenite					-					-		· -

Figure 117 : Paragénèse des principaux événements aurifères de Cumeral.

6.2. Les minéralisations cupro-aurifères

Les minéralisations cupro-aurifères ont été observées seulement les bandes calcosilicatées minéralisées (MCSB) de l'indice Altacobre. On y trouve des teneurs polymétalliques anomales de Cu-Au-Ag-Bi-Pb-Ag (Tableau 7). Ces minéralisations semblent le produit du métasomatisme de roche mafique, celle-ci interprétée comme des dykes de diabase. L'échantillon type est le CU13-JP058b (Figure 118). Le processus de minéralisation montre de flagrantes similitudes avec les autres indices.



Figure 118 : Vue de près de l'échantillon CU13-JP058b, riche en malachite et chrysocolle, Altacobre, Secteur A.

	The second	Dimension	Au	Ag	Cu	As	Bi	Ba	Pb	Fe
Échantillon	Station	(m)	(g/t)	(%)						
577043	CUI1-JP058B	0.4	1,34	272	24500	<5	408	220	125	6,58

Tableau 10 : Teneurs des principaux métaux présents dans l'échantillon CU11-JP058b, de l'indice Altacobre.

6.2.1. Phase 1 : Phyllitisation et Chloritisation

L'encaissant est fortement affectés par la phyllitisation à proximité des MCSB (Figure 96). La roche calcosilicatée (CSB) est granoblastique et composée de quartz,

épidote, grenat et amphibole chloritisée où les grains ne sont pas équigranulaires (Figure 119). L'observation d'extinction roulante des cristaux de quartz, ainsi que plusieurs contacts à 120° entre les cristaux, témoignent d'une recristallisation métamorphique. Les grenats sont porphyroblastiques et rongés par le quartz et la biotite. De la séricite microcristalline a cheminé subtilement dans la fracturation remplissant les interstices entre les grains, confirmant la phyllitisation (Figure 119). Nous exposerons les autres évidences que les MCSB seraient des CSB phyllitisées.



Figure 119 : Microphotographie en lumière transmise polarisée montrant la minéralisation de malachite, chrysocolle (ccl) et oxyde de fer, CU13-JP058b.

Les amphiboles et les biotites sont chloritisés, mais on trouve aussi un réseau de fractures remplie par la chlorite (Figure 120), impliquant une circulation hydrothermale. Il semble y avoir un lien de zonalité avec la phyllitisation en périphérie (Figure 92) et la chloritisation au centre des MCSB (Figure 91).



Figure 120 : Microphotographie en lumière transmise naturelle montrant la chrysocolle (ccl), la malachite (mal) et la chlorite (chl) formant des réseaux suivant la fracturation, CU13-JP058b.

Se présentant en essaim de petits cristaux (1 à 20µm) de galène (Figure 121) et de sphalérite sont associés à des fins cristaux d'altération de quartz, séricite et chlorite (Figure 122). Les zones séricitisées et chloritisées représentent des zones moins denses qui apparaissent plus foncées sur l'image MEB (Figure 122). En général, il y a beaucoup plus de galène que de sphalérite.



Figure 121 : Analyse spectrale révélant la présence de galène (PbS) associée au quartz (SiO₂), CU13-JP058b.



Figure 122 : Microphotographie (MEB) montrant des grains de galène et de sphalérite sur de l'épidote inclus dans le quartz, CU13-JP058b.

Les sulfosels reposent dans les filonet de quartz-séricite à proximité des zones de quartz riches en séricite et chlorite. L'énargite (Cu_3AsS_4) est le sulfosel le plus abondant et le plus volumineux. Les autres sulfosels apparaissent en amas de particules cryptocristallines (Figure 123). Une analyse (Figure 124) montre l'association de l'énargite avec un minéral de Pb-S-Bi, qui pourrait correspondre à la cosalite ($Pb_2Bi_2S_5$) ou une association la galène (PbS) et bismuthinite (Bi_2S_3). D'autres sulfosels tels la tennantite (Cu, Fe)₁₂ As_4S_{13}) sont probablement présents.



Figure 123 : Microphotographie (MEB) montrant des grains d'énargite et de sulfosels de Bi-Pb-As (Au-Ag), CU13-JP058b.



Figure 124 : Analyse spectrale (MEB) montrant la composition de l'énargite et cosalite sur du quartz, CU13-JP058b.

Les métaux précieux ont été observés dans les filonets de quartz-séricite, en association avec les sulfosels et les tellurures. On distingue ces fines disséminations denses disposées de façon clairsemées dans les filons de quartz-épidote remplissant la fracturation (Figure 125). La composition de ces minéralisations composées de Ag-Pb-Bi-Au-Te-As-S (Figure 124 et Figure 127), suggère la présence de sulfosels et de tellurures de bismuth. Il est fastidieux d'analyser chacune de ces particules. La distribution des sulfosels et tellurures s'apparente aux essaims de grains d'or-argent observés dans les autres échantillons, soit des fines trainées de petits grains isolés.



CU13-JP058b (Au-Ag-Te-Bi-As) 2014/02/25 18:59 HL D7.9 x200 500 um Figure 125 : Microphotographie MEB montrant des sulfosels Pb-Bi-Ag-As et de tellurures Te-Bi-Ag-Au, CU13-JP058b.

Trouver dans le quartz, de rares cristaux de tellurures ont permis de constater la présence de métaux précieux en placage (Figure 126). Une analyse spectrale faite au MEB permet de bien discerner la zonation de Bi-Te-Au-Ag-Pb-Si dans le cristal de tellurure et sur sa surface (Figure 127).



Figure 126 : Microphotographie au MEB montrant le subtil encroutement d'or sur le cristal de tellurure, CU13-JP058b.



Figure 127 : Microphotographie au MEB montrant la zonation des éléments sur un grain de tellurure de bismuth, CU13-JP058b.

6.2.2. Phase 2 : Événement siliceux filonien

Les filonets FD typiques n'ont pas été observés dans les CSB, par contre nous avons remarqué d'importantes veines de quartz similaire à celle de l'indice Raul. Ces veines de formes irrégulières contiennent des disséminations de pyrite de taille centimétrique. Des inclusions provenant des épontes sont aussi abondantes quand les filons sont plus étroits.

6.2.3. Phase 2 ou 3 : Filonets hydrothermaux tardif

La chrysocolle est souvent dans les échantillons à haute teneur aurifère de l'indice Altacobre. Liée à un événement siliceux, la chrysocolle est trouvée en association avec le quartz (Figure 128). Tel les FHTT, la combinaison de la chrysocolle et le quartz suivent un subtil réseau qui se superpose dans la fracturation des zones de phyllitisation et de chloritisation. La chrysocolle apparait sous forme de placage et concrétion de taille allant jusqu'à 400µm remplissant des cavités interstitielles de zone riche en quartz (Figure 129). La chrysocolle ((Cu, Al)₂H₂Si₂O₅(OH)₄·nH₂O) est associée au quartz, tandis que la malachite (Cu₂(CO₃)(OH)₂) est associée aux oxydes de fer secondaires (météoritisation). D'origine météoritique la malachite, l'hématite, la goethite sont aussi interstitielles et s'infiltrent dans les fractures pour remplir les cavités plus tardivement (Figure 120 et Figure 128).



Figure 128 : Microphotographie en lumière transmise naturelle montrant la minéralisation de chrysocolle associée au quartz, CU13-JP058b.



Figure 129 : Microphotographie (MEB) montrant l'encroutement de chrysocolle replissant la fracturation et les cavités de l'encaissant de MSCB, CU13-JP058b.

Beaucoup de sulfures et sulfosels ont été préservés dans les zones siliceuses de chrysocolle-quartz et d'encroutement supergène de malachite (Figure 130). Des sulfosels de As-Cu-Bi-Au-Ag seraient associés à la chrysocolle, surtout dans les cavités drusiques. La majorité de ces minéralisations apparaissent sporadiquement dans les parties les plus silicifiées des MCSB. La présence de l'épidote, de la pyrite et de la chlorite manque pour faire l'analogie avec les FHTT de l'indice Corales, donc cet événement pourrait être lié aussi à la phase 2 de minéralisation. L'absence de ces minéraux pourrait simplement être liée à la nature du protolithe (communication personnelle, Stéphane de Souza, 2017).



Figure 130 : Microphotographie (MEB) montrant les minéralisations de chrysocolle (ccl), malachite (mal) et les sulfosels (sulfosalts), CU13-JP058b.

Malgré leur aspect similaire en imagerie MEB, l'analyse spectrale permet de faire la distinction entre les minéralisations cuprifères tardive ; la minéralisation associée au chrysocolle-quartz montre un important ratio de silice (Figure 131), tandis que la

malachite montre une grande quantité de calcium et carbone. Une analyse spectrale au MEB faite sur l'encroutement de malachite a montré localement une composition de Si-Ca-C-Cu-Bi (Figure 132).



Figure 131 : Analyse spectrale qui montre la présence de Cu et Si des concrétions de chrysocolle, CU13-JP058b.



Figure 132 : Analyse spectrale révélant la présence de minéraux de Si-Ca-Cu-Bi-As dans le quartz, CU13-JP058b.

6.2.4. Paragénèse d'Altacobre

Après toutes les observations recueillies sur la minéralisation de l'indice Altacobre, une paragénèse spécifique à ce secteur est proposée. Contrairement aux autres types de minéralisation, les bandes calcosilicatées minéralisés (MCSB) sont des roches qui piègent efficacement les fluides hydrothermaux. De par leur disposition discordante par rapport à la stratification, les CSB seraient originalement des dykes mafiques. De par leur composition riche en hornblende et grenat, les CSB auraient été préalablement métamorphisés et possiblement métasomatisés.

D'après nos observations, la séquence des évènements minéralisateurs aurifères dans les CSB se présenterait comme suit (Figure 133) :

Phase 1 (MCSB): Altération phyllique représentant la fin d'un système épithermal pendant la formation du détachement. L'or est lié aux tellurures (Te, Bi), aux sulfures (sphalérite, galène), aux sulfosels (énargite) dans les zones riches en séricite.

Phase 2 (FD?): Les filons (FD) sont observés que très localement sur la zone Altacobre et semble négligeable dans le cas des MSCB.

Phase 3 (FHTT): Événement de fracturation avec subtil événement hydrothermal (minéralisé ou non), impliquant l'infiltration de micro-filonets de chrysocolle-quartz se superposant sur la minéralisation précédente, probablement généré par le rétrométamorphisme durant le stade avancé du détachement.



Figure 133 : Paragénèse des minéralisations cupro-aurifères de l'indice Altacobre.

CHAPITRE VII

CONTEXTE STRUCTURAL DE CUMERAL

Le but de ce chapitre est de démontrer l'existence d'un MCC (dôme métamorphique) et de corréler son évolution avec les manifestations structurales à partir de la synthèse de Nourse (1995, 2005). Il comprend l'étude de la cinématique, de la mise en place des veines, et propose une chronologie relative.

7.1. Evidences d'un dôme métamorphique sur la propriété Cumeral

Nous présentons les évidences d'un dôme métamorphique (MCC) à l'aide d'une figure (Figure 134), car nous y ferons référence tout au long de ce chapitre :

- a) Sur la majorité des lithologies, une fabrique mylonitique (cisaillement ductile) est représentée par des linéations d'étirement plongeant faiblement vers le SO.
- b) Localement, des bandes de mylonite sont subparallèles à la fabrique protomylonitique, ou les linéations d'étirement plonge doucement vers le SO.
- c) Clastes de sédiments tertiaires (plaque supérieure) sont étirés dans le même sens que les linéations d'étirement plongeant doucement vers le SO.
- d) Cisaillement des roches plus anciennes (plaque inférieure), dont des roches ayant un faciès métamorphique plus élevé, sous le détachement.
- e) Intrusifs felsiques discordants (plaque inférieure), moins cisaillé, marqués d'une foliation montrant des linéations minérales étirées plongeant doucement vers le SO.
- f) Système de failles normales orientées NO-SE, donc perpendiculaire au sens de l'extension vers le SO.

g) Dyke mafique dans les zones de faiblesse, présent dans la zone de détachement et le système de failles normales.



Figure 134 : Modèle isométrique des déformations liées à un MCC, observées sur la propriété Cumeral.

7.2. Évolution du MCC et de la déformation sur la propriété Cumeral

Trois types de déformation (post-orogénique) en lien avec la formation d'un MCC sur la propriété Cumeral seront présentées:

- D3a : Le cisaillement ductile lié au détachement ;
- D3b : Le cisaillement ductile-cassant lié au détachement ;
- D3c : Les failles normales liées à la formation du MCC.

7.2.1. Cisaillement ductile lié au détachement (D3a)

Les roches felsiques sont affectées par une schistosité omniprésente sur la zone d'étude. La schistosité est orientée nord (N010) et très faiblement penté (5°) vers l'est. Une linéation d'étirement est aussi bien développée et marquée par des textures de flasers autours des porphyroclastes. Les linéations d'étirement plongent vers le SSO (4°->N204) dans le secteur de Elegante, alors qu'elle plonge vers le NNE (5°->N022) dans le secteur de Altacobre.

Des indicateurs cinématiques sont bien développés et inclus des fabriques C/S, des ombres de pression et des textures de flasers, surtout autour de quartz des SH2 (Figure 135). Ils indiquent tous un mouvement vers le SO, malgré la plongé variable de la linéation d'étirement. Une foliation est omniprésente dans les intrusifs felsiques confirment leur mise en place contemporaine à la formation du MCC. En cassure les biotites de ces intrusifs sembles formées des linéations minérales pointant vers le SO.

Les zones de cisaillement mylonitique sont bien développées surtout dans les SH1, et se superposent à la schistosité à l'indice Corales.





Figure 135 : Fabrique CS autour d'un porphyroclaste de quartz montrant un mouvement senestre dans une rhyolite cisaillée, où les muscovites s'orientent préférentiellement dans la schistosité et dans le cisaillement (SH2), CU12-JP086. Encadré : Schématisation d'un cisaillement simple senestre.

Sur la propriété, les plans de cisaillement et la schistosité sont généralement inclinés vers l'est, tandis que les linéations d'étirement sont orientés SO (Figure 137). Au sud de la propriété la schistosité pente vers le SO (Figure 136) et les linéations d'étirement plonge vers le SO (Figure 137). Cette différence en due à l'exhumation progressive du MCC, la remonté des roches métamorphiques entraina une flexure de la faille de détachement générant une structure en "piggy back" (Spencer, 1986). Le bombement du dôme redresse la schistosité vers les bordures du MCC (Figure 136) pendant son exhumation (Jolivet, 2005) et modifie l'orientation et le plongement des linéations d'étirement (Vega, 2013). Le détachement est la structure la plus probable quand t'à l'origine des minéralisations aurifères, car elle s'ancre profondément dans le manteau terrestre (Nourse, 1995). Par contre, le linéament d'Imuris (Figure 137), est une structure verticale qui s'enracinerait jusqu'au magma et pourrait aussi constituer la source d'intrusifs porphyriques cuprifères (Nourse, 2005).



Figure 136 : Schématisation du pendage des lithologies et schistosité présentes sur le MCC de Magdalena.



Figure 137 : Schématisation des linéations d'étirement sur l'interprétation géologique du MCC de Magdalena.

La zone d'étude couvre la zone de contact entre les roches sédimentaires crétacés et les roches volcaniques jurassiques qui correspondent respectivement au toit et au mur de la faille de détachement du MCC de Magdalena. Cumeral correspond à une zone de protomylonite représentée par des schistes à muscovite épaisse d'environ 1000m, où la foliation s'intensifie vers l'est jusqu'au contact avec les roches sédimentaires crétacés (Figure 138). Les différences rhéologiques entre les lithologies affectent l'intensité du cisaillement. La protomylonitisation est plus intense dans les SH8 et SH9. Les SH9 ont bien enregistré le cisaillement ductile, où la forme fuselée des clastes felsiques épouse les contraintes du glissement (Figure 39) et où les galets des conglomérats (Figure 39) sont allongés sur un axe ENE-OSO (5°->195°).



Figure 138 : Schématisation de l'intensité de la déformation associée à la faille de détachement de Magdalena.

Les évidences d'un MCC abondent sur la propriété. La fabrique de cisaillement ductile a profilé les clastes des roches fragmentaires (Figure 139). Des veines de quartz syn-détachement sont souvent boudinées par le cisaillement enregistré dans les sédiments schisteux (Figure 140). Un cisaillement plus intense du SH6 le convertit en SH5. A la station CU13-JP212, un horizon de SH5 riche en biotite est recoupé par des injections de dykes felsiques syntectoniques au MCC, plissés et boudinés par le comportement ductile de l'encaissant (Figure 141). Les SH4 sont plissés et boudinés par le cisaillement ductile, où le plissement est caractérisé par des axes perpendiculaires à l'étirement indiquant un léger plongement vers l'SSO (Figure 142). Au Nord de Magdalena de Kino, des leucogranites exposent des feldspaths montrent des évidences de rotation et sont profilés par le cisaillement (C'). Le quartz remplit les ombres de pression autour des feldspaths potassiques migrant dans les plans C et S (Figure 143).



Figure 139 : Forme fuselée des clastes felsiques dans les SH9, Secteur C, CU12-JP091.



Figure 140 : Veine de quartz boudinée dans des sédiments Tertiaires cisaillés, Secteur D, CU11-JP146.





Figure 141 : Série d'injections de dyke felsiques déformés dans les SH5, station CU11-JP212, Secteur B

Figure 142 : Axe du plissement d'une bande riche en hornblende dans un schiste SH4, Crayon pointant vers le NOO, station CU12-JP402, Secteur F.



Figure 143 : Indicateur cinématique dans le leucogranite mylonitisée, Magdalena, MF12-JP020.

7.2.1.1. Ultramylonite

Les ultramylonites n'ont pas été observées sur la propriété Cumeral. Par contre, à deux kilomètres au nord de la ville de Magdalena, la faille de détachement de Magdalena est indiquée par une zone affectée par la déformation ductile-cassante superposée sur la déformation ductile. Cette coupe routière est décrite dans le livret-guide de la SEG (Clark, 1998). On peut observer des bandes d'ultramylonite qui recoupent les granites mylonitisés (Figure 144) qui forment des lambeaux d'épaisseur variant entre 0.10 à 3m. Les bandes d'ultramylonites sont de couleur mélanocrate malgré qu'elles se forment à partir d'intrusifs felsiques leucocrates (Figure 144). Que ce soit dans l'ultramylonite ou les mylonites, les indicateurs cinématiques montrent un mouvement vers le SO (Figure 145).



Figure 144 : La Faille de détachement de Magdalena représentée dans un affleurement montrant les bandes d'ultramylonite recoupant un leucogranite mylonitisé, à 2km au nord Magdalena de Kino, MF12-JP025.


Figure 145 : Coupe montant les indicateurs cinématiques enregistrées par les porphyroclastes asymétriques de l'ultramylonite, MF12-JP025.

7.2.2. Cisaillement ductile-cassant (D3b)

Un peu partout sur la propriété des structures montrent un mouvement de cisaillement ductile-cassant faiblement penté et parallèle à la fabrique mylonitique. Parfois des veines de quartz suivent cette fabrique structurale et comblent le vide généré par le mouvement de cisaillement recoupant la schistosité (Figure 146). On distingue un réseau de structures anastomosées dans les unités hôtes plus compétentes, ainsi qu'une décoloration due à la circulation hydrothermale.



Figure 146: Veines de quartz marquant le contexte tectonique ductile-cassant et le mouvement normal de cette zone de cisaillement dans un granite, CU12-JP462. Plus subtilement, le cisaillement (C) se manifeste en petits échelons (R) où les extrémités se fondent dans la foliation (S1) du SH6 (Figure 147).



Figure 147: Cisaillement recoupant la schistosité dans le SH6, CU11-JP147, Secteur B.

Des veines de quartz démembrées par le cisaillement témoignent du mouvement extensif vers le SO. À la station CU13-JP533, on trouve une telle veine de quartz (350/25°) décalée par des plans de glissement parallèles à la schistosité (N018E/16°). La schistosité de clivage (S2) est N115E/78° et la fracturation dans la veine sont perpendiculaire à l'extension vers le SO. La morphologie de la veine forme des paliers suivant la schistosité (S1) et le cisaillement qui témoigne de sa mise en place (Figure 148) dans un domaine ductile-cassant.



Figure 148 : Veine de quartz fracturée et démembrée par le cisaillement associé à la faille de détachement de Magdalena, station CU13-JP533.

Betabel montre un cisaillement plus évolué, où un cisaillement ductile-cassant formant un réseau anastomosé de fragments en écailles (formant des escaliers) se superpose sur la linéation d'étirement minéral de la zone de mylonite (Figure 149). Des veines syntectonique (FCm) ont emprunté les plans de faiblesse de cette fabrique structurale, suivi des veinules minéralisées (FD). Recoupant tous les éléments cités, des stries de failles reflètent un mouvement normal et tardif, en milieu cassant.



Figure 149 : Structures et leur notion de recoupement, vue vers le SE, CU11-JP009, Snake Pit. En Blanc : fabrique mylonitique, en Bleu, veine de quartz subconforme à la schistosité (VC), en Noir, stries de faille normale.

7.2.3. Cisaillement en milieu cassant (D3c)

Lors de l'exhumation du MCC, un système de failles normales listriques d'orientation SE se développe majoritairement dans le toit de la faille de détachement pour accommoder le régime extensif par des failles listriques (Figure 150). Ce système de failles sert de canalisation pour les intrusifs Tertiaires progressivement déformés par l'accommodement tectonique (Nourse, 1998). Des dykes mafiques tardifs empruntent le système de failles et ceux-ci sont fragmentés par la brèche de faille conforme au cisaillement (Figure 151). Les contacts francs témoignent d'un régime cassant.



Figure 150 : Réseaux de failles normales générant le boudinage en milieu cassant d'un wacke, MF12-JP012.



Figure 151 : Fragments de dyke mafique dans une zone de brèche de faille subhorizontale, CU12-JP258.

Un clivage tardif (Figure 152) est associé à ces failles normales perpendiculaires aux linéations d'étirement, la majorité des VV emprunte ces structures verticales. Des stries de failles indiquent des mouvements normaux, et localement latéraux indiquant des composantes coulissantes postérieurs au mouvement d'effondrement. Des veines verticales (VV) bréchifiées témoignent de la réactivation de ces failles (Figure 153). Souvent, on y observe de la calcédoine et des concrétions d'oxydes de fer (hématitegoethite) qui cimentent les fragments des brèches.



Figure 152 : Clivage de fracture (S2) formant des kinks décalant la schistosité superposée sur la stratification dans un conglomérat Tertiaire, CU12-JP540.



Figure 153 : Fracturation dans des veines verticales (VV) et brèche de faille à ciment de calcédoine témoignant de la réactivation des failles, CU11-JP190.

7.3. Relation chronologique des événements hydrothermaux

Les veines ont été classifiées en ordre chronologique de mise en place :

- D3a : Phase de cisaillement ductile (syn-détachement)
 - Veines de quartz boudinées
- <u>D3b : Phase de cisaillement ductile-cassant (syn-détachement)</u>
- Veines de quartz en palier (tardi-détachement)
- D3c : Phase de cisaillement cassant (tardi-détachement)

D3c avant évènement minéralisateur :

- Veinules précoces de quartz-feldspath-tourmaline ;
- Génération des bandes calcosilicatées par rétrométamorphisme (CSB) ;
- Veines verticales de quartz-pyrite reliées aux failles normales (VV) ;
- Filons aurifères massifs subconformes au cisaillement (FCm).

D3c pendant l'évènement minéralisateur :

- Altération hydrothermale acide (argillique-argillique avancée) ;
- Filonets pervasifs siliceux de quartz-pyrite (FCp-AAA) ;
- Minéralisation cupro-aurifère dans les roches calcosilicatées (MCSB)
- Phyllitisation dans les horizons poreux (HQP-Phyllique) ;
- Filonets aurifères discordants au cisaillement (FD) ;

D3c après évènement minéralisateur:

- Veines tardives de quartz-tourmaline-spécularite (automorphe) ;
- Veines de calcédoine (avec ou sans amas d'oxydes de fer).
- Infiltration hydrothermal tardive (FHTT- filonet-qtz-ccl)

7.4. Évidences de la mise en place de la minéralisation en régime extensif

Les différentes minéralisations liées à la déformation D3c recoupent la schistosité et montrent des caractéristiques de mise en place sous conditions cassantes. La phyllitisation et les FD suivent l'héritage structural (C, R, R', S1) des zones de cisaillement (Figure 154). Dans le secteur de Corales, les FD ont un aspect de stockwork remplissant de quartz un système de fractures orthogonales (Figure 155).



Figure 154 : Fracturation sinueuse (anastomosé) et veinules de quartz influencé par l'héritage structural, encaissé dans un SH3 avec phyllitisation, Station CU13-JP358, Secteur D. En-dessous : le dessin identifiant les différents éléments structuraux présents. En orange, le cisaillement (C) ; en rouge, les reidels synthétiques ; en bleu, les reidels antithétiques ; en cyan, les fentes de tension blanche ; en blanc, la direction des forces et de la cinématique.



Figure 155: Stockwork de veinules de quartz montrant une relation angulaire par rapport à la foliation, Station CU13-JP001, Corales.

7.4. Composante structurale du linéament Imuris

Le réseau de VV marque l'importance du système de faille normale de Cumeral d'orientation NO-SE qui est une conséquence de l'extension vers le SO. Certaines lithologies moins communes représentent des horizons marqueurs pour évaluer les déplacements sur les failles verticales. Sachant que les lithologies sont orientées N020 et faiblement inclinées approximativement à 25°, il est possible de faire une évaluation relative du déplacement entre les blocs séparés par d'importante failles normales. D'après le bloc composite, il semble y avoir une composante principalement normale entre les blocs, ainsi qu'une composante latérale sur certaines failles (Figure 156). Une des failles verticales au SE suggère un mouvement latérale dextre d'au moins 2km, ce qui impliquerait un mouvement de décrochement probablement lié au linéament Imuris (Nourse, 1995).



Figure 156 : Schématisation des déplacements verticaux et latéraux entres les blocs générés par le système de failles verticales affectant la propriété Cumeral.

CHAPITRE VIII

DISCUSSION

Le but de cette étude est de caractériser les minéralisations aurifères de la propriété Cumeral et de comprendre leur contrôle structural. Cette discussion abordera tout d'abord l'origine et la mise en place des minéralisations. Une interprétation de leurs caractéristiques et du processus de piégeage sera suivie d'une synthèse des événements minéralisateurs. Une brève description de gîtes métallifères similaires à Cumeral sera ensuite fournie, ainsi qu'une typologie des caractéristiques du gîte et de sa position par rapport au MCC. Les origines possibles des minéralisations de Cumeral seront enfin explorées, avant de proposer des recommandations en relation aux gisements similaires pour guider la suite de l'exploration.

8.1. Récapitulatif de l'évolution tectonique du Nord de Sonora

Du Jurassique au Crétacé, la région de Magdalena a enregistré la transition d'un arcmagmatique sous-marin vers un régime en transtension causant une transgression marine (Anderson, 2005). Depuis le Crétacé, la région est soumise à un régime de rift large, avec des zones de MCC. Nourse (1995,2005) distingue trois régimes de déformation enregistrés dans les lithologies de la propriété (Figure 157):

- D1 : Régime transformant ;
- D2 : Orogène Laraméen ;
- D3a : Régime extensif post-tectonique
- D3b : Formation de MCC.



Figure 157 : Modélisation de l'évolution tectonique du Mésozoïque tardif au Cénozoïque moyen du MCC de Magdalena. Modifié de Nourse, 1989.

8.1.1. Possibles minéralisations liées à D1

Lors du Jurassique Moyen, après la subduction de la plaque Farallon, la tectonique se convertit en décrochement (D1a). La fusion de la plaque océanique généra beaucoup de volcanisme et plutonisme. Des porphyres cuprifères d'âge jurassique prennent place dans ces structures verticales (Spencer et al., 1989), formant des gisements tels que les mines Herradura et San Francisco (Martinez, 1997, Nourse, 2005, 2006). À Cumeral, les zones discordantes à biotite-grenat et biotite-sillimanite dans le socle métamorphisé pourraient correspondre à d'anciennes zones d'altération potassique.

8.1.2. Possibles minéralisations liées à D2

Du Tardi-Crétacé au Paléocène, la tectonique de décrochement à subduction produit l'orogène Laraméen. Les zones de chevauchement sont propices aux gisements d'or orogénique et le volcanisme de bassin d'arrière-arc est propice aux gisements hydrothermaux (Nourse, 2005, 2006). Les gisements Laraméens sont mieux préservés loin des zones d'influences des MCC. Ainsi, aucune minéralisation liée à ce type de régime n'est répertoriée dans le secteur de Magdalena.

8.1.3. Minéralisations liées à D3

Toutes les minéralisations aurifères de Cumeral sont liées à la formation du MCC de Magdalena (D3), en particulier les conditions ductile-cassante à cassante. Le contexte tectonique régional de Magdalena offre un régime extensif à partir de la fin du Tertiaire (Nourse, 1995, 2005, 2006). Les CSB (bandes calcosilicatées), altérations rétrométamorphiques et les FCm (filons conformes minéralisés) se formeraient

pendant l'exhumation du MCC au début de l'Éocène. Les altérations périmagmatiques et les FD (filonets aurifères discordants), se seraient mis en place, pendant l'Oligocène, car peu affecté par le cisaillement. Les FHTT (filonets hydrothermaux tardif) semble un événement hydrothermal mineur qui surviendrait qu'après l'Oligocène (possiblement due au rétrométamorphique dans la zone de détachement et dans la plaque inférieure lié aux derniers mouvements d'exhumation). La discontinuité dans les zones minéralisées suggère une source verticale indépendante au détachement.

8.2. Synthèse des événements minéralisateurs

La description des indices, l'étude microscopique, les études structurales sur le terrain, et la littérature géoscientifique, ont permis d'établir une chronologie relative de la mise en place des minéralisations. De plus, l'étude minéralogique a permis de définir la paragenèse et les processus de formation des minéralisations (Tableau 11)

8.2.1. Minéralogie des minéralisations de Cumeral

La minéralisation aurifère de Cumeral montre une minéralogie similaire à un système épithermal. La pyrite accompagne toutes les familles de minéralisation, soit la phyllitisation, les veines comme dans les épontes. La galène est le second sulfure le plus abondant, tandis que la sphalérite est accessoire. L'or et l'argent natifs sont présents sous forme de particules microcristallines libres dans les zones de phyllitisation, ainsi que dans les filonets FD et FHHT. Il existe une corrélation entre l'Ag et le Pb, ainsi qu'entre le Bi et l'Au (voir Annexe A).

Famille de Minéralisation	Abréviation	Interprétation	Événement Géologique	Age Proposé	Structures impliquées	Emplacement	Roche Hôte	Caractérisation	Paragénèse	Teneur
Veine Conforme et massive	FCm	Rétro- métamorphisme	Rétro-métamorphisme Syn-MCC	Fin Oligocène	Faille de Détachement de Magdalena	Secteur B, C, F	Zone de cisaillement	Veines de quartz et pyrite conformes à la schistosité	qtz py (Au-Ag)	Basse teneur Au-Ag
Filonet Conforme et pervasif	FCp	Altération Argillique Avancée	Épithermal Précoce	Miocène	Structures cassantes subhorizontales	Secteur B	SH4, SH5, SH6,	Altération hydrothermale acide à zones silicatées (vuggy silicates)	qtz, alu, py, kao, argiles	Basse teneur Au-Ag
Horizon Quartzitique Métasomatisé	НОР	Phyllitisation	Épithermal	Début à Milieu Oligocène	Faille de Détachement de Magdalena	Secteur C	SH1	Bandes silicatées à dissémination de pyrites fines	qtz, chl, epi (py-Au?)	Basse teneur Au-Ag
Veine Verticale	W	Phyllitisation	Épithermal	Début Miocène	Failles Normales tardives liées au MCC	Propriété Cumeral	Toutes les unités	Veines de quartz perpendiculaire à la schistosité	qtz, ser, py, chl Au?	Basse teneur Au-Ag
Bande Calcosilicatée Minéralisées	MCSB	Phyllitisation Tardive	Épithermal Tardif	Début à Fin Oligocène	Faille de Détachement de Magdalena	Secteur A	ßB	Bandes de minéraux calcosilicatés à disséminations cuprifère	qtz, chl, epi, py, ena, Au	Haute teneur Cu-Au
Filonet Discordant	FD	Filonet discordant tardif	Épithermal Tardif	Miocène	Structures cassantes discordantes et subhorizontales	Secteur C, E	SH2, SH4, SH5, SH6	Veinules de quartz riche en pyrite discordant à la schistosité	qtz, ser, py, Au?	Haute teneur Au-Ag
Brèche à Chalcédoine & Hématite	ВхСН	Propylithique externe	Post-MCC (Réactivation du Linéament Imuris ⁹)	Après le Miocène	Brèche de failles normales	Secteur A, D, E	Brèches dans les failles normales	Calcédoine et oxydes de fer dans les brèches de failles	cld, hem, goe (Au? Ag?)	Basse teneur Au-Ag
Filonet Hydrothermaux Tardif	FHTT	Rétro- métamorphisme	Rétro-métamorphisme Syn-MCC	Miocène	Micro-fracturation dans les roches cassantes	Secteur A, B, C, E, F	SH1, SH4, SH5, SH6	Infiltration de quartz-chlorite- epidote-pyrite-or dans les microfractures	qtz, epi, chl, alb, cal, (Au?)	Haute teneur Au
Oxydation	Ox	Enrichissement Supergène	Post-MCC (m été oritisation)	Miocène à Aujourd'hui	Toutes les zones perméables	Propriété Cumeral	Tous les unités perméables	Oxydation des sulfures en minéraux secondaires.	goe, hem, mal, ccl	Basse teneur Au-Ag

Tableau 11 : Compilation des événements de minéralisations aurifères de la propriété Cumeral.

Les sulfosels sont typiques des gisements épithermaux. L'énargite (Cu₃AsS₄) est le sulfosel le plus abondant dans ce type de gisement (Hedenquist, 2016). Le chapitre 4.9 montre l'association de l'énargite avec un minéral de Pb-S-Bi, pouvant correspondre à la cosalite (Pb₂Bi₂S₅) ou une association de galène (PbS) et de bismuthinite (Bi₂S₃). La cosalite est typique des gisements hydrothermaux de température moyenne (200-300°C) de Sinaloa, Mexique (Cook, 1997). Les autres sulfosels sont composés de S-As-Cu-Pb-Bi-Tl-Ag. Le Tl et Hg sont présent dans les amas de particules cryptocristallines riche en sulfosels des indices de Cumeral. Tous deux volatiles, Tl et Hg indiquent souvent une source magmatique (Plumbee, 1986, Jébrak, 2002). L'apport de sulfosel dans les roches felsiques de Cumeral est lié à l'hydrothermalisme, et plusieurs évidences suggèrent un système épithermal. Étant donné l'absence de shale noir dans la région, la source des métaux la plus probable constituant les sulfosels serait d'origine magmatique intermédiaire.

Les tellurures ont exclusivement été observés dans les MCSB de l'indice Altacobre. Des particules d'or et d'argent sont juxtaposées aux cristaux de tellurure dans les FHTT. Les analyses en laboratoire montrent une corrélation flagrante entre Bi et Au, pouvant être expliquée par la tétradymite (Bi₂Te₂S). La tétradymite est un minéral trace commun dans le gisement épithermal acide de la mine de San Martín de Porres, Yécora, Sonora (Cook, 2009). De subtiles anomalies en Séléniure et Tellurure ont été identifiés dans les analyses XRF pour les minéralisations de type FD (Pelletier, 2012). Dans la même lignée de pensée, les tellurures et séléniures comme les sulfosels suggèrent aussi une origine magmatique.

La présence de séricite, d'alunite et de kaolinite dans certaines zones aurifères est une signature typique des gisements épithermaux acides (Plumbee, 1986, Hedenquist, 1990, Leach & Corbett, 1993). La séricite semble se superposer sur les zones à alunite. Le jarosite et la rosenite sont des minéraux secondaires formées à partir de l'alunite, l'argile et la pyrite oxydée. La malachite et la chrysocolle sont des minéraux

secondaires provenant de l'altération des sulfures de cuivre. La malachite se forme à partir de la météoritisation. Le chrysocolle est un minéral reconnu comme supergène, par contre il peut se former à partir de fluides hydrothermaux silicatés (calcédoine) de basse température en altérant les minéraux de cuivre (Shawe, 1984, Hariu, 2013). L'hématite et la goethite se forment à partir de la détérioration de la pyrite.

La combinaison de quartz-épidote-pyrite dans les filonets FHTT remplissant la fracturation augmente la possibilité d'une origine rétrométamorphique postérieure aux autres minéralisations.

8.3. Comparaison avec des gisements similaires

Bien que la paragenèse des minéralisations possède de nombreuses similitudes avec celle des gisements épithermaux acides, la morphologie des minéralisations de la propriété Cumeral diffèrent de ceux-ci. Actuellement, la majorité des gisements aurifères liés à des MCC sont reconnus comme des épithermaux (Marchev, 2005). Des exemples de gisements en relation avec des MCC sont présentés ci-dessous.

8.3.1. Ada-Tepe, Bulgarie

Ada Tepe est un gisement de classe mondiale qui représente un corps minéralisé de 6,15 Mt à 4,6g/t Au (Marchev, 2005). Ada-Tepe est un gisement de type épithermal neutre lié à un MCC dans le Massif de Rhodope en Bulgarie. Il est encaissé dans des roches sédimentaires clastiques d'un hémigrabben développé au-dessus d'un détachement (Marchev, 2003). Les roches sédimentaires paléogène (80 à 60Ma) constituent l'unité principale de la plaque supérieure. La minéralisation aurifère se

présente sous deux formes, soit un corps massif de forme tabulaire subhorizontale lié à la faille de détachement (Figure 158), ainsi que dans une série de failles listriques présentes dans le toit du détachement (Marchev & Jelev, 2005). Le système de failles normales dans la plaque supérieure fournis des zones de brèche et fracturation propices à la capture de fluides hydrothermaux (Christova, 1996). Le système de failles normales est perpendiculaire à direction de l'extension.



Figure 158 : Coupe transversale du gisement Ada Tepe montrant les filons (en bleu) empruntant le détachement et les failles normales recoupant la plaque supérieure (Marchev & Jelev, 2005).

8.3.2. La Jojoba & la lluvia de Oro, Sonora, México

Dans le secteur de Magdalena (Sonora), les gisements *La Jojoba* et *Lluvia de Oro* présentent le plus de similitudes avec Cumeral. Ces deux gisements situés à quelques kilomètres l'un de l'autre (Figure 159) correspondraient à des gisements épithermaux liés à une faille de détachement (NWM Mining Corporation, 2015). Ces gisements sont décrits très sommairement, car l'emphase est faite seulement sur la mise en valeur de leurs ressources économiques (Rodney & al., 2006). Le type de gîte n'a pas été défini. La minéralisation, sous forme de fine pyrite disséminée, se présenterait

sous forme de zone d'altération stratiforme très friable et les teneurs récupérées ont été évaluées à 0,2 à 1 g/t Au, tel un épithermal acide à minéralisation disséminée (Miguel Cardona de Minera Alamos, communication personnelle en 2016, 2018).



Figure 159 : Carte géologique de Lluvia de Oro et La Jojoba montrant leur proximité à la faille de détachement et une structure cisaillante d'orientation ONO-ESE (NWM Mining Corporation, 2015).

Le gisement Lluvia de Oro est situé dans des roches sédimentaires d'âge crétacé, situé dans la plaque supérieure, donc au-dessus du détachement. Lluvia Shear Zone est une zone minéralisée représentée par un cisaillement pouvant être suivi sur 1700m de long. Deux enveloppes stratiformes minéralisées ont été reconnues, et s'unissent en profondeur. Dans les deux zones, la minéralisation à Au-Ag-Cu disséminée est liée à l'imprégnation hydrothermale. Une faille verticale NE-SO, qui est perpendiculaire aux failles normales de la plaque supérieure viendrait s'enraciner dans le détachement à 225m de profondeur. Les zones à haute teneur sont contrôlées structuralement.

Le gisement Jojoba montre des minéralisations à Au-Ag-Cu similaires à Lluvia de Oro (Rodney & al., 2006). La zone Northeast est associée à des brèches et des structures verticales à subhorizontales qui recoupent la roche encaissante dans plusieurs directions. La minéralisation se présente sous forme de sulfures disséminés dans des veines, et leur faciès oxydé d'origine supergène. Des veines de sidérite à hématite spéculaire, des veines à quartz-calcite pyrite, et des brèches silicatées à oxydes de cuivre sont couramment associées aux structures aurifères et aux zones à dissémination de sulfures/oxydes.

8.3.3. Sappes, Grèce

Le gisement d'or de Sappes est un gisement épithermal acide associé à un MCC dans le Massif de Rhodope en Grèce. Sappes est définie comme un gisement épithermal acide encaissé dans des roches volcaniques et représente des corps minéralisés d'un total de 2.2Mt, à 8.9g/t Au, 5.2g/t Ag et 0.2% Cu (Glory Ressources, 2012). Le gisement, de forme tabulaire subhorizontale, est tronqué par deux failles normales (Bridges & al., 1997). Sappes représentant la partie affleurant et Viper la partie enfouie (Figure 160). Le secteur de Viper forme un empilement de zones minéralisées subhorizontales en stockwork associé à d'importantes zones d'altération hydrothermale. Les zones minéralisées sont marquées par des brèches hydrothermales, des zones de silicification intense (vuggy silica) et des filonets dans les zones d'altération séricitique et d'argilisation (Bridges & al., 1997). La minéralisation est contenue dans trois paragénèses minéralogiques distinctes :

Veinules à dissémination de sulfures et tellurures, où les minéraux caractéristiques sont le quartz-améthyste, pyrite, chalcopyrite, arsénopyrite, galène, sphalérite, marcassite, semseyeite, petzite, altaïte et tétradymite.

- <u>Veinules à dissémination de sulfosels et trace d'or libre</u>, où les minéraux caractéristiques sont le quartz, l'énargite, tétraédrite, tennantite, et or natif.
- <u>Filons tardifs de quartz-barite</u>, où les minéraux accessoires sont l'hématite, goethite, limonite, covellite, bornite, gypse, titanite, woodhouseite (CaAl₃(PO₄)(SO₄)(OH)₆) et or libre.



Figure 160 : Schéma du gisement Sappes montrant la séparation entre les zones minéralisées : Viper, Demetrios et Scarp (Glory Resources, 2013).

8.3.4. Mesquite, Californie, États-Unis

Situé au sud-est de la Californie, la mine Mesquite est un gisement épithermal acide lié à un environnement de MCC. Dans les années 1990s, Mesquiste représentait l'une des plus grandes exploitations aurifères des États-Unis, soit un gisement de 37Mt à 1,74g/t Au (Willis, 1988), qui fait 2km de long par 300m de large. Le gisement est situé dans une structure de décrochement dextre d'âge Oligocène (Figure 162). Le gisement de Mesquite comprend deux corps minéralisés subhorizontaux et subparallèles, sectionnés par un système de failles complexe (Willis, 1988). Les minéralisations sont encaissées dans des gneiss à biotite et hornblende, sous des schistes à muscovite (Figure 161). La minéralisation aurifère provient du faciès oxydés (supergène) d'un système de veines et veinules à pyrite recoupant une zone de séricitisation. Fait remarquable, les épontes montrent peu d'altération (Manske & al., 1987). Certaines de ces zones minéralisées présentent un faciès silicaté (vuggy silica) typique d'un épithermal acide. Le gisement est recouvert par une fine couche de conglomérats tertiaire, ainsi que par des alluvions quaternaires (Willis, 1988).



Figure 161 : Section transversale montrant la géologie du secteur Big Chief du gisement de Mesquite (Willis, 1988).

La région de Mesquite est recoupée par des structures secondaires du système de failles de San Andres d'âge néogène (Willis & Tosdal, 1992). Ce système de décrochement dextre a imposé des alternances de conditions de transtension et

transpression (Swanson, 1990), et est marqué par des structures en "fleur négative" (Figure 163). Au milieu du Miocène, le gisement aurait été démembré par un système de failles dextres, générant des chevauchements et des décrochements latéraux dans la zone minéralisée (Figure 162).



Figure 162 : Relation entre les structures cassantes et la minéralisation du secteur Big Chief de la Mine Mesquite (Willis & Tosdal, 1992).

8.4. Comparaison avec les gîtes présentés

Nous estimons que les minéralisations de Cumeral se sont mises en place après l'Éocène (34Ma), parce qu'elles sont contenues dans la plaque inférieure d'un MCC qui a pris naissance à la fin du Paléocène (55Ma) (Nourse, 2005), et qu'un MCC prend en moyenne 20-30Ma pour être exhumé (communication personnelle, Ricardo Vega de Universidad de Sonora, 2014). Par analogie, l'âge relatif des minéralisations

de Mesquite est Oligocène (23 à 34Ma) et auraient été démembrées au cours du Miocène (5 à 23Ma) (Willis & Tosdal, 1992).

Cumeral est situé dans la plaque inférieure, contrairement au gisement d'Ada Tepe et Lluvia de Oro, qui sont localisés dans la plaque supérieure au-dessus du détachement. Par la morphologie stratiforme des minéralisations subparallèles au détachement, il est possible d'envisagé des structures subsidiaires faisant une incision dans la plaque inférieure (Spencer & Reynolds, 1986, Lister & Davis 1989, Long, 2004). La minéralisation de la propriété Cumeral sont encaissées dans le socle métamorphisé, cisaillé, marqué par des altérations typiques de gisements épithermaux acides (puis démembrés par le régime extensif, comme les gisements de Mesquite (Willis & Tosdal, 1992) et Sappes-Viper (Marchev, 2003, Marton & al., 2009).

8.4.1 Similitudes entre Cumeral et Mesquite

La relation entre les unités géologiques hôtes et la minéralisation de Cumeral, tels les gneiss à biotite sont aussi très similaires aux gisements de Mesquite ou Sappes. Tous comprennent des minéralisations aurifères accompagnées d'altération argillique avancée et phyllique. Une description par Willis (1988) du contexte géologique et de la minéralisation montre des similitudes flagrantes entre Mesquite et Cumeral :

- Les roches hôtes sont des gneiss à biotite ou schiste à biotite
- Les gneiss à hornblende-biotite forment des bandes et sont préférentiellement affectées par des altérations hydrothermales
- Les veines bréchique à hautes teneur aurifère
- Le faciès silicaté à texture de "vuggy silica"
- Big Chief, zone principale de Mesquite, comprend que des veinules de quartz à pyrite, où l'éponte est peu affectée par l'altération (Willis, 2002)

- Les roches felsiques sont moins perméables à la circulation hydrothermale, résultant qu'elles sont moins affectées par la séricisation
- Des schistes à muscovite sont situés au-dessus des zones minéralisées

Les VV de Cumeral suggèrent une mise en place liée à un système décrochant dextre. Montrant un filons FD faible pendage, les cheminent progressivement à travers l'héritage structural du MCC. La disposition disparate des minéralisations aurifères de Cumeral pourrait être expliquée un contexte tectonique en transpression formant une fleur positive (Figure 163) comme pour Mesquite (Swanson, 1990). Le linéament d'Imuris à proximité de la propriété Cumeral correspond à un couloir structural parallèle au MSS et pourrait représenter un décrochement. Ces structures verticales NO-SE font partie du gigantesque système de la faille de San Andreas (Nourse, 2005), où les systèmes épithermaux abondent (Misra, 2000).

Figure 163: Tiré de Willis, 1998. Section

transversale schématisant un système de failles transformantes durant une expérience avec du matériel homogène. A) Formation de grès et calcaire par Barlett et al. (1981). B) Boites de sable, par Naylor et al. (1986). C) Structure en fleur positive et fleur négative formée dans des zones en transpression et transtension (modifié de Harding, 1985). Les cercles avec un point indiquent un mouvement qui sort de la page, et en opposition, les cercles avec des croix indiquent un mouvement entre dans la page.



8.5. Typologie du gîte Cumeral

La propriété Cumeral se situe dans un grand couloir de gisements de type porphyrique-épithermal entre l'Arizona et le sud du Sonora (Figure 164).

Figure 164 : Localisation de l'alignement NO-SE des PCS (systèmes de porphyre cuprifère) au SO des États-Unis et NO du Mexique (Del Rio-Salas & al, 2013). Points rouges : PCS. Zone rouge : l'enveloppe du couloir propice aux PCS.



Les grandes failles verticales décrochantes sont propices à la mise en place de système porphyrique cuprifère (Silitoe, 2010). Le linéament d'Imuris serait une grande structure décrochante parallèle au Mégacisaillement de Sonora-Mojave et à la structure Cananea-Milpillas (Nourse, 1989). La région de Magdalena est parsemée de multiples intrusifs formés dans des régimes tectoniques différents (Nourse, 2005).

Les caractéristiques suivantes soutiennent l'hypothèse d'une origine épithermale des minéralisations aurifères de Cumeral :

- Le couloir de gisements de type porphyre-épithermal
- Les multiples épisodes d'intrusions granitiques granodioritique
- La présence d'altération argillique et phyllique
- Les sulfosels et tellurures marqueurs de gisement périmagmatique
- L'anomalie géochimique en Au-Ag-Cu-Bi-Pb-Zn-Mo-Ba
- La mise en place de veinules aurifères de quartz en milieu cassant

- Le quartz drusique dans les cavités des filons minéralisés
- La brèche hydrothermale sur la zone Elegante
- La superposition d'un système de calcédoine tardif.

Des analyses faites au diffractomètre-X et au MEB sur les échantillons de Corales et Betabel montrent des minéraux d'altération se formant typiquement dans les conditions de gisement épithermal acide, incluant l'assemblage d'alunite-jarositerosenite. Les minéralisations aurifères sont associées à un assemblage de quartzpyrite et de sulfures-sulfosels. L'or est présent sous forme d'électrum d'or libre dans le quartz et les pyrites des FD. L'or est cependant particulièrement fin dans les microfractures liées aux altérations hydrothermales phylliques et les FHTT.

Les observations suivantes sont en défaveur d'un gisement épithermal acide conventionnel et économique :

- Les zones d'altération d'apparence très restreinte ;
- Les zones de minéralisation en apparence très limitée ;
- L'absence de vestige de soufrière;
- L'absence de lithocap bien défini;
- L'hétérogénéité des minéralisations et des teneurs

Comme dans le cas de Mesquite, les zones d'altération sont confinées aux bordures de la fracturation à cause de l'imperméabilité et de la composition felsique de l'unité principale. Les zones de minéralisation forment des enveloppes subhorizontales où l'on retrouve des réseaux de veinules sont aussi subhorizontales, alors qu'il devrait exprimer une verticalité. L'activité hydrothermale des gisements épithermaux est généralement manifestée par une source d'eau chaude, des travertins, une soufrière, brèche hydrothermale cuprifère (Hedenquist, 2016). À Cumeral, ces manifestations semblent avoir été érodées et recouvertes par les sédiments quaternaires.

181

L'hétérogénéité et subtilité des zones minéralisées rend difficile leur association aux mêmes événements hydrothermaux à grand volume que sont normalement les gites épithermaux acides (Einaudi et Hedenquist, 2003, Sillitoe, 2010).

8.6. Métallogénie du gîte de Cumeral

La métallogénie étudie les mécanismes de formation des gisements métallifères et se propose de définir des outils méthodologiques utilisables par les explorateurs et prospecteurs miniers. Les minéralisations aurifères de la propriété Cumeral présentent des minéraux indicateurs de gisements épithermaux acides. Le nord du Mexique représente une marge continentale active, où la région de Magdalena-Imuris est soumise à un régime d'extension post-orogénique très avancé accompagné de failles de détachement (Nourse, 2005). Ces faiblesses lithosphériques offrent des structures de prédilection pour la mise en place de gisements épithermaux et de porphyres cuprifères (Marchev, 2003). La région du Mexique, reconnue comme province métallifère argentifère, pourrait en outre posséder un héritage plomb-argentifère dans son socle (Camprubi, 2009, Gauthier, 2012).

8.7. Proposition de modélisation des métallotectes de la propriété Cumeral

Basé sur les sections réalisées à partir des forages et de la géologie de surface, nous proposons un modèle montrant trois possible métallotectes ayant pu générer la minéralisation sur la propriété Cumeral et dans la région de Magdalena (Figure 166):

- Un premier lié à la faille de détachement (D3b) ;
- Un second lié aux failles normales (D3c) ;
- Un troisième lié à une faille de décrochement (D4).

8.7.1. Possible métallotecte lié à D3b

A l'Éocène, lors de la formation de la faille de détachement de Magdalena, le gradient thermique augmente graduellement, amorçant la déshydratation des lithologies (Reynolds & Lister, 1987). Des intrusifs font leur remontée en suivant l'accident crustal lors d'important déplacement crustaux ancrés profondément dans la lithosphère (Nourse, 2005). Des dykes viendront emprunter le détachement pour s'approcher de la surface. Qu'ils soient d'origine magmatique ou métamorphique, les fluides hydrothermaux ainsi générés empruntent la voie du détachement et le système de failles normales dans la plaque supérieure (Figure 166 - B). Appelée incision crustale, des failles subsidiaires au détachement (Figure 165) peuvent se développer dans la plaque inférieure (Lister & Davis, 1989; Spencer et Welty, 1986; Long, 2004; Marchev, 2005, Nourse, 2005) fournissant des pièges structuraux pour la minéralisation stratiforme (Boily, 2012; Pelletier, 2013).



Lower-plate metamorphic rock

Potential site of mineralization Modified after Long (2004)

Figure 165 : Modélisation structurale de la minéralisation dans la zone de faille détachement et incision dans la plaque inférieure (modifié de Long, 2004). En encadré la correspondance des structures minéralisés de Cumeral (Boily, 2012).



Model of Core Complex Formation and emplacement of Porphyry Copper System

Step B: The metamorphic protodome (10-20 Ma)



Step C: Dome Exhumation (30-40Ma) + Slick n slide fault reactivation



Step C': Dome Exhumation (30-40Ma) + New Detachment fault



Figure 166 : Modèle de mise en place de système porphyrique cuprifère à épithermal durant la formation du dôme métamorphique (d'après Spencer & Reynolds, 1986).

Les sédiments Tertiaires de Bisbee-Sonora se formant à partir des volcanites felsiques mésozoïques liées à des bassins d'arrière-arc, il est possible que des placers s'y soient formés (Spencer & Welty, 1986). La déshydratation de ces lithologies détritiques, le cas échéant pourrait fournir des fluides fertiles remontant le long du détachement. Les conglomérats offrent une grande porosité pour la circulation hydrothermale. Les anomalies aurifères dans les veines syn-détachement subconformes au cisaillement (FCm), pourraient être expliquées par une origine rétrométamorphique.

Les gîtes épithermaux viennent normalement se former à 1km de la surface grâce à un intrusif intermédiaire situé à moins de 4km plus bas (Sillitoe et Hedenquist, 2003, Sillitoe, 2010). Une faille de détachement est associée à un dôme métamorphique qui vient augmenter le gradient thermique, ce qui fait en sorte que l'intrusif pourrait monter plus près de la surface (Figure 166 - B). De plus, le détachement offre une canalisation de prédilection pour les fluides magmatiques pour exercer leur hydrothermalisme, ce qui pourrait augmenter la profondeur d'un gisement épithermal.

8.7.2. Possible métallotecte liées à D3c

A titre hypothétique, un second détachement pourrait se développer à l'arrière ou à l'avant du premier (Tirel, 2009), sur l'un des flancs du dôme métamorphique (Figure 166 – C'). L'amincissement lithosphérique augmente le gradient géothermique permettant la circulation hydrothermale (Spencer & Reynolds, 1989, Jolivet & al., 2005). Similaire au premier détachement, cette structure s'enracinerait dans la lithosphère et permettrait aussi la montée d'intrusifs intermédiaires à felsiques.

8.7.3. Possible métallotecte liée à D4

Le linéament d'Imuris borde la frontière nord du MCC de Magdalena, à l'opposé du sens du détachement. La composante dextre dans le système de failles normales de Cumeral témoigne que le *Linéament de Imuris* soit une structure décrochante. Une telle structure pourrait expliquée les rhyolites *del Pinito* (Anderson & Silver, 1974) et les dykes intermédiaires près de l'indice aurifère de l'indice *Cerro Blanco* (SGM, 2006, Pelletier, 2012) La mise en place des intrusions felsiques à intermédiaire, aurait pu générer un système porphyrique cuprifère (Figure 166 - C). Le mouvement coulissant crée un système de structures en fleur négative (Figure 163) qui façonnerait le système épithermal, telle la disposition hétérogène des structures minéralisées du gisement Mesquite (Willis & Tosdal, 1992).

8.8. Propositions d'optimisation de recherche en exploration

La majorité des structures minéralisées sont subhorizontales et légèrement discordantes par rapport à la schistosité héritée du détachement de Magdalena. La distribution des minéralisations est difficile à cerner et rappelle celles de gisements de Mesquite et de Sappes-Viper.

Des veines verticales (VV) NO-SE omniprésentes sur la propriété sont un excellent guide pour de nouvelles cibles d'exploration. Très irrégulièrement minéralisées, elles pourraient représenter la première manifestation d'altération phyllique ou des fluides siliceux issus du gradient thermique élevé sous le MCC. En effet, les VV peuvent entrainer une remobilisation en recoupant les minéralisations primaires de l'encaissant métasomatisé. Des décapages au-dessus des zones minéralisées permettraient de voir l'étendue et la disposition de la minéralisation par rapport aux zones d'altérations. Ces fenêtres géologiques permettraient de mieux comprendre la morphologie des filons et le zonage des indices.

Suivant l'hypothèse d'un contrôle structural semblable à celui du gisement Mesquite, les minéralisations subhorizontales s'enracineraient dans une faille de décrochement (Willis & Tosdal, 1992). Les structures de fracturation en fleur négative générées durant le régime en transtension pourraient expliquer l'étrange distribution des minéralisations (Figure 163). Des dislocations en échelon dans les VV suggèrent un déplacement senestre lors de leur mise en place, pouvant indiquer une réactivation latérale (décrochement) du Linéament d'Imuris.

Suivant l'hypothèse d'un contrôle structural semblable à Sappes-Viper, la source des minéralisations subhorizontales de Cumeral pourrait aussi se trouver au niveau d'une faille normale séparant les volcanites felsiques et les gneiss à biotite (Glory Ressources, 2012). Les contacts entre des unités semblables sont fréquents sur la propriété et une attention particulière pourrait être portée sur l'altération hydrothermale. En effet, il existe une corrélation spatiale entre les zones minéralisées et les failles normales servant de canalisation hydrothermale.

CONCLUSION

Cette étude montre que le gîte de Cumeral est le résultat d'une superposition d'événements hydrothermaux liés au contexte structural du dôme métamorphique de Magdalena et du linéament d'Imuris. La propriété représentée le flanc NE du dôme métamorphique (MCC) de Magdalena. Le contact entre la plaque inférieure et supérieure est affecté par le détachement, représenté par une fabrique cisaillante ayant évolué pendant l'exhumation. La principale phase de minéralisation a lieu tardivement dans des conditions cassantes à la fin ou après l'exhumation du dôme. L'étude minéralogique montre que les minéralisations et les altérations s'apparentent à celles des gisements épithermaux. L'étude pétrologique expose la similitude entre les lithologies de Cumeral et celles de Magdalena décrites par Nourse (2005). La cartographie indique que les schistes riches en biotite sont étroitement liés aux minéralisations et correspondent à une lithologie-clé dans les gisements épithermaux acides liés aux MCC.

Trois épisodes hydrothermaux contribuent à la formation du gîte aurifère. Le premier est la phyllitisation liée au cisaillement, qui contient des disséminations de pyrite, de sulfures de Cu-Pb-Zn, des sulfosels Cu-Bi-Pb-As-Au-Ag, des tellurures et de l'électrum, suggérant un apport magmatique. Le second est lié aux filonets discordants (FD) de quartz riches en pyrite contenant de l'or et de l'argent libre. Le troisième épisode correspond à un épisode de fracturation et de l'hydrothermalisme tardif (FHTT) représenté par des minces filonets de quartz-épidote-pyrite-or libre superposés sur les filonets FD. Les indices Betabel et Corales témoignent de la haute teneur aurifère de ces minéralisations, montrant parfois une texture de vuggy silica riche en pyrite. Elegante implique un épisode de brèche hydrothermale (BxHT) à disséminations de pyrite, antérieures aux deux principaux épisodes minéralisateurs. Les filonets FD sont associés à un événement épithermal tardif, tandis que les FHHT sont associés à une altération rappelant celle du rétrométamorphisme ou hydrothermale rétrograde.

La minéralisation aurifère est souvent liée à des unités riches en biotite et feldspath porphyrique (SH3-SH6), décrites comme un augen gneiss granitique (Nourse, 1989). Ces unités ductiles et riches en minéraux ferromagnésiens sont caractérisées par une plus grande perméabilité aux fluides hydrothermaux. Les SH3-SH6 sont présentent sur les indice Fuerte-Raul, Betabel et Corales. Des unités similaires se retrouvent dans d'autres gisements épithermaux acides en contexte de MCC tels que Mesquite (Californie) et Sappes-Vipers (Grèce). L'indice Altacobre, en revanche, est un piège géochimique composé de roche plus ferromagnésienne. Il implique une minéralisation d'origine hydrothermale riche en cuivre (sulfures) remobilisée par une circulation hydrothermale plus siliceuse.

Selon l'hypothèse d'un contrôle structural proposé dans notre modèle, la disposition subhorizontale des minéralisations aurait pour source le détachement. Un gisement épithermal de type acide ("high sulfidation") se formerait à environ 1km de la surface se superposant sur les dykes granitiques porphyriques cisaillés. Deuxième événement minéralisateur, les réseaux de filonets FD s'aurait enrichit par leur passage dans les zones de phyllitisation. Le troisième épisode minéralisateur représente de la remobilisation à petite échelle, due au métasomatisme ou au rétrométamorphisme généré par la chaleur sous le dôme métamorphique due à l'amincissement de la croute.

Selon l'hypothèse d'un contrôle structural semblable à celui du gisement Mesquite, la disposition subhorizontale des minéralisations prendrait racine dans une faille de décrochement. Les structures de fracturation en fleur positive pourraient expliquer

l'étrange distribution des minéralisations en régime de transpression ou transtension. Dans les veines verticales (VV), des figures de dislocation et en échelon suggèrent un déplacement senestre lors de leur mise en place, suggérant une réactivation du décrochement NO-SE d'Imuris.

Selon l'hypothèse d'un contrôle structural semblable à celui du gisement Sappes-Viper, la disposition subhorizontale des minéralisations aurait pour source une faille normale. Des veines verticales (VV) NO-SE omniprésentes sur la propriété sont très irrégulièrement minéralisées. Si ces veines se révèlent postérieures à la minéralisation, elles constitueraient un excellent guide pour l'exploration.

D'après la signature géochimique de certaines minéralisations, les fluides hydrothermaux auraient une origine magmatique. La faille de détachement de Magdalena, ou le Linéament d'Imuris (faille de décrochement) pourrait représenter des conduits pour ces fluides.

Problèmes en suspens

L'exploration des gisements liés à des MCC est méconnue, gardée précieusement confidentielle par les compagnies d'exploration minière. Les publications sur le sujet sont donc minimales et évasives. Tant qu'une compagnie minière n'aura pas démontré le potentiel économique d'un gîte, son origine ne sera pas clarifiée. Cet ouvrage est une incitation à améliorer la compréhension de ce type de gîte et du contexte géologique lié aux MCC, comme l'ont fait les géologues-chercheurs, dont K. Long de l'United-States Geological Survey (USGS), suivi de J.E. Spencer et R. Titley de l'Arizona Geological Survey (AGS), ainsi que Marchev P. et Jelev D., de l'université de Bulgarian Academy of Sciences.

D'autres études seraient nécessaires pour comprendre plus en détails les mécanismes et conditions de formation du gîte Cumeral. Plusieurs aspects, tels que la datation des lithologies et des minéralisations, mériteraient d'être approfondis pour améliorer la chronologie relative des minéralisations. Par exemple, une datation des micas blancs des six familles de minéralisation et des zones de métasomatisme permettrait d'établir leur relation temporelle avec l'évolution du MCC. Il est très probable que des minéralisations à basse teneur aurifère soient d'origine rétrométamorphique et liées aux principales zones de cisaillement dans la faille de détachement (Communication personnelle de Michel Gauthier en 2012). Des minéralisations cupro-aurifère d'origine hydrothermale pourraient aussi avoir été formées avant la fin du Jurassique alors que de grands décrochements généraient des régimes en transtension.

Une étude des inclusions fluides permettrait en outre de déterminer une origine magmatique des filons pour confirmer l'hypothèse d'un gisement épithermal acide. Les zones de silicification conformes (FCp) montrent des textures de vuggy silica et des épontes intensément altérées en assemblage à alunite-séricite-kaolinite. Les filonet FD et les VV ont possiblement une origine synchrone et les inclusions fluides pourrait être un autre outil pour déterminer des affinités. Une telle étude plus approfondie des veines pourrait nous renseigner sur l'origine du système hydrothermal. Enfin, une étude géophysique régionale à une échelle kilométrique permettrait d'identifier des zones altération potassique et possiblement des intrusions riches en hématite ou magnétite.

Merci, je reste disponible à l'avancement de la compréhension de ce type de gîte.

Jocelyn Pelletier, P.geo.
RÉFÉRENCES

- Amadeus W. Grabau, 1920. *Quartzite texture (thin section)*. Textbook of Geology. Boston. D.C. Heath & Co. (1920), page 455.
- Anderson & Silver, 1974, Late Cretaceous plutonism in Sonora, Mexico, and its relationship to circum-Pacific magmatism. Geological Society of America Abstract with Programs, Volume 6, 484 pages.
- Anderson & Silver, 1977, U-Pb ages of granitic plutons near Cananea, Sonora. Economic Geology, Volume 72, pages 827-836.
- Anderson and Silver, 1981, An overview of Precambian Rocks in Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de geología, Revista Volumen 5, No 2, pages 131-139.
- Anderson and Silver, 2005, *The Mojave-Sonora Megashear Field and analytical studies leading to the conception and evolution of the hypothesis*. Geological Society of America Special Paper #393, Chapter 3, pages 1-96.
- Anderson, T. H. and Nourse, J.A. 2005. Pull-apart basins at releasing bends of the sinistral Late Jurassic Mojave-Sonora fault system, Principal structures within the southwestern North America borderland, in Anderson, T. H., Nourse, J. A., McKee, J., and Steiner, M. The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis, Development, Assessment, and Alternatives, Geological Society of America Special Paper #393, Chapter 3, pages 97-122.
- Barbarin B., 1996. Genesis of the two main types of peraluminous granitoid. Geology GSA, page 295-298.
- Bilodeau W.L., 1982. Tectonic models for Early Cretaceous rifting in the south-eastern Arizona, Geology, Volume 10, pages 466-470.
- Bilodeau W.L., 1983. Early Cretaceous Tectonics and sedimentation in southern Arizona, southwestern New Mexico and Northern Sonora. Mesozoic Paleogeography of the West-Central United States: Rocky Mountain Symposium 2, 1983, pages 173-188.

- Bridges P.S., Gordon M.J., Michael C., Ambatzioglou M., 1997. Gold Mineralisation at Sappes, North Greece. In Europe's major gold deposits, Irish Association for Geology, Abstract Volume, page 95-107.
- Boily M. 2012. Technical Report 43-101: The Cumeral Gold Property Northern Sonora State, Mexico for VVC Exploration Corporation, June 2012, 188 pages.
- Boullier A-M., Bouchez JL, 1978. Le quartz en rubans dans les mylonites. Bulletin Société géologique de France, 1978, v. 7, tome XX, no. 3, pages 253-262.
- Buck W.R., 1991, *Modes of Continental Lithospheric Extension*. Journal of Geophysics, Res 96 Book12, pages 161-178.
- Camprubi A. 2009, Major metallogenic provinces and epochs of Mexico. Society for Geology applied to mineral deposits, SGA News, Number 25, June 2009. Pages 7-15.
- Christova J., 1996. Temperature, composition and salinity of the gold bearing fluid systems in pre-Alpine and Alpine ore deposits in Bulgaria (according to microthermometric studies of quartz). Comptes rendus de l'Académie Bulgare des Sciences 49, pages 85-88.
- Clark K.F., 1998. Gold deposits of the northern Sonora, Mexico. Guidebook prepared for the Society of Economic Geologists. Guidebook Series, Volume 30. Field Conference, 19-24 Octobre 1998. 252 pages.
- Coney P.J. 1974, Structural analysis of the Snake range "decollement", east-central Nevada. Geological Society of America 85, pages 973-978.
- Coney PJ & Davis GH 1981. Cordilleran metamorphic core complexes. Geological Society America Memoir, Boulder, pages 7-31.
- Coney P.J., Harms T.A. 1984. Cordilleran metamorphic core complexes, Cenozoic extensional relics of Mesozoic compression. Geology 12, pages 550-554.
- Cook, N.J., 1997. Bismuth and bismuth-antimony sulphosalts from Neogene vein mineralisation, Baia Borsa area, Maramures, Romania. Mineral. Mag. 61, 387-409.
- Cook, N.J., Ciobanu, C., Wagner, T., Stanley, C.J., 2007. Minerals of the system Bi-Te-Se-S related to the tetradymite archetype: Review of classification and compositional variation. Can. Mineral., 45, 665-708.
- Corbett, G.J., Leach, T.M. 1996, Southwest Pacific Rim gold copper systems: structure, alteration and mineralization. Short course manual, 318 pages.

- Daoudene Y. 2011. La tectonique extensive en Mongolie orientale au Mésozoïque supérieur, modalités et implications géodynamiques. Thèse d'Université de Renne 1.
- Davis G.H, 1979, Laramide Folding and faulting in Southeastern Arizona. American Journal of Sciences, Volume 279, pages 543-569.
- De la Garza V., Noguez B., Novelo I., Mayor J., 1997. Geology of La Herradura gold deposit, Caborca, Sonora, Mexico. Gold deposits of the Northern Sonora, Mexico. Guidebook prepared for the Society of Economic Geology 1998. SEG Guidebook series, Volume 30, page 133-148.
- Del Rio-Salas R., Ochoa-Landín L., Ruiz J., Eastoe C., Meza-Figueroa D., Zuñiga-Hernández H., Quintanar-Ruiz F., 2013. Geology, stable isotope, and U-Pb geochronology of the Mariquita porphyry copper and Lucy Cu-Mo deposits, Cananea District, Mexico: A contribution to regional exploration. Journal of Geochemical Exploration, Volume 124, January 2013, Pages 140-154.
- Dickinson W.R., Klute M.A, 1987. *Mesozoic rocks of southern Cordillera*. Arizona Geological Societt Digest, Volume 18, 394 paper.
- Dickinson W.R. (2002), The Basin and Range Province as a Composite Extensional Domain. International Geology Review, Vol. 22, 2002, pages 1–38.
- Dills H.D., (2002), The geology of aluminium phosphates and sulphates of the alunite group minerals: a review. Earth-Science Reviews 53 (2001), pages 35-93.
- Dimmell P. 2010. Summary Report on the Cumeral Project, Sonora State, Mexico for. VVC Exploraciones de México de S. de R.L. de C.V., Internal Report; 12 pages.
- Froidevaux C. 1986. Basin and Range large-scale tectonics, contraints from gravity and reflection seismology. Geophysic. RES, 91, pages 3625-3632.
- Gauthier M., 2012. Introduction à la métallogénie régionale. Cours de métallogénie régionale, Sciences de la Terre, UQAM 2012.
- Gómez-Valencia A.M., Vidal-Solano J.R., López M.M., Vega R.G., Pallares C. 2015. Petrography, geochemistry and geochronology of the orogenic magmatism in Rayon: petrological characteristics of the last subduction-related magmas in Sonora, Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 32(2) July 2015, pages 219-238.
- Glory Resources, 2012, ASX announcement from 28 August 2012. Eldorado Gold Corporation, 28 pages.

- González-León C.M., Jacques-Ayala C., 1988, La secuencia del Cretácico Temprano del área de Cerro de Oro, Sonora: Implicaciones paleo geográficas. Resúmenes, 2nd Simposio sobre geología y miera de Sonora, Hermosillo, Sonora, pages 23-25.
- Hariu T., Arima H., Sugiyama K., 2013. The structure of hydrated copper-silicate gels, an analogue compound for natural chrysocolla. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences (2013), Volume 108, pages 111-115.
- Hedenquist J.W., White N.C., Siddeley G., 1990. Epithermal gold mineralisation of the cirum-pacific: Geology, geochemistry, origin and exploration: Preface and acknowledgements. Journal of Geochemical Exploration, Feb 1990, 24 pages.
- Hedenquist J.W., M. Aoki · A. Arribas · E. Izawa · Y. Matsuhisa · H. Shinohara · S. Taguchi · Y. Taran · Y. Urashima · Y. Watanabe. 2013. Formation of advanced argillic lithocap: Related high-sulphidation Au-Cu and porphyry Cu-Au ore, and application to exploration (slides), Conference Paper, June 2013.
- Hedenquist J.W., 2014. Variable Characteristics of Ore Deposits in the Epithermal Environment: Causes, and Exploration Implications. Acta Geológico Sinica, 18 pages.
- Henry C., Aranda-Gomez, J. (1992). The real southern Basin and Range: Mid- to late Cenozoic extension in Mexico. Geology, Retrieved from General Science Abstracts (H.W. Wilson) data base. pages 701-714.
- Jacques-Ayala C., 1989, Arroyo Sasabe Formation (Altian-Albian), Northwestern Sonora, Mexico-marginal marine sedimentation in the back-arc basin. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, Volumen 8, No 2, page 171-178.
- Jacques-Ayala C., González-León C.M., Roldán-Quintana J., 1990, Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent Sectors: Boulder, Colorado. Geological Society of America, Special Paper, 301, pages 167-178.
- Jébrak Michel et Wulser Pierre-Alain, 2013. Gites épithermaux (Volcanisme aérien felsique). Cours de gîtes métallifères, Sciences de la Terre, UQAM 2002.
- Jolivet L, Faccenna C., Huet B., Labrousse L., Le Pourhiet L., Lacombe O., Lecomte E., Burov E., Denèle Y., Brun J.P., Philippon M., Paul A., Salaün G., Karabulut H., Piromallo C., Monié P., Gueydan F., Aral I., Okay J, Oberhänsli R., Pourteau A., Augier R., Gadenne L., Driuss O., 2013. Aegean tectonics, Strain localisation, slab tearing and trench retreat. Tectonophysics 597–598, Elsevier, pages 1–33.

- Jolivet L., Famin V, Mehl C, Parra T, Aubourg C, Hébert R, Philippot P, 2004. Strain localization during crustal-scale boudinage to form extensional metamorphic domes in the Aegean Sea. Geological Society of America, Special Paper 380. pag 185-210.
- Kunov A., 1991. Secondary quartzites from the northeastern periphery of the Borovitsa volcanic Secteur. I. Geological-petrographic characteristics of the hydrothermally altered zones: Bulgarian Academy of sciences, Geochemistry Mineralogy and Petrology, volume 28, pages 46-72.
- Kunov A., Stamatova V., Atanasova R., Petrova P., 2001. The Ada Tepe Au-Agpolymetallic occurrence of low-sulfication (adularia-sericite) type in Krumovgrad district. Mining and Geology, 2001(4), pages 16-20.
- Lawton T.F, Olmstead G.A., 1995, Stratigraphy and structure of the lower part of the Bisbee Group, northeastern Chiricahua Mountains, Arizona. Studies of the Mesozoic of Sonora and Adjascent Secteurs. Geological Society of America, Special Paper 301, page 21-39.
- Lindgren W., 1933, Lead and Zinc deposits, Mineral Deposits, pages 432-513.
- Lister G.S., Davis G.A. 1989. The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region, U.S.A. Jour. Struct. Geol. 11, pages 65–94.
- Long K.R., 2004. Preliminary descriptive deposit model for detachment fault related mineralisation, USGS publications.
- Lucas & Lawton T.F, 2000, *The geology of New Mexico: A geologic History*. New Mexico Geological Survey. Special publication 11, 2004.
- Manske S.L., Matlack W.F., Springett M. W., Strakele A. E. Jr, Watowich S. N., Yeomans E., 1987, *Geology of the Mesquite Deposit, Imperial County, California*, Society of Mining Engineers Preprint 87-107, 9p.
- Marchev, P., Jelev D., Hasson S., 2005. Ada Tepe sedimentary-hosted, low-sulphidation epithermal Au deposit, SE Bulgaria. Ore Geology Reviews. Pages 1-5.
- Marchev P., Singer B.S., Jelev D., Hasson S.S., Moritz R., Bonev N., 2004. The Ada Tepe deposit: a sediment-hosted, detachment fault-controlled, low-sulfidation gold deposit in the Eastern Rhodopes, SE Bulgaria. Swiss Journal of Geosciences Supplement.

- Martinez A. H., 1997. Geology and Mineralisation of the San Francisco Gold Deposit. Gold deposits of the Northern Sonora, Mexico. Guidebook prepared for the Society of Economic Geology 1998. SEG Guidebook series, Volume 30, page 49-58.
- Marton I., Moritz R., Spikings R., 2010. Application of low-temperature thermochronology to hydrothermal ore deposits: Formation, preservation and exhumation of epithermal gold systems from the Eastern Rhodopes, Bulgaria. Tectonophysics 483, Elsevier, pages 240-254.
- Matlack W.F., Springett M.W., 1985. Gold mineralisation and trace element geochemistry of the Mesquite District, California, unpublished report for Gold Fields Mining Corp.
- Medrano L.M., 2010, Resumen del Programa de Barrenacion, Proyecto Cumeral, Sonora, Mexico. VVC Exploraciones de Mexico de S. de R.L. de C.V., Internal Report, 37 pages.
- Melfos V., Vavelidis M., Bogdanov K., 2003. Occurrence mineralogy and chemistry composition of primary gold from Tertiary ore mineralisation in the Rhodope Massif (Greece-Bulgaria). In: Eliopoulos D. & al., (Eds), Mineral Exploration and Sustainable Development, Milpress, Rotterdam, pages 1201-1204.
- Michael C., Perdicatsis V., Dimou E., Marantos I., 1995. Hydrothermal alteration and ore deposition in epithermal precious metal deposits of Agios Demetrios, Konos Secteur, Northern Greece. Proceedings XV Cogress of the Carpathian-Balkan Geological Association, Geological Society of Greece Special Publication, No. 4, pages 778-782.
- Nabelek P.I., Liu M., 2004. Petrologic and thermal constraints on the origin of leucogranites in collisional orogens, Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences, 95, pages 73–85.

New Gold, 2016. Website: http://www.newgold.com/operations/mesquite/default.aspx Basée sur *Mineral Reserves and Resources Summary as of December 31, 2014.*

- NWM Mining Corporation, 2013. New gold producer in northwest Mexico. Winter 2013 corporation report. http://www.infomine.com/index/pr/PB289231.PDF
- Nourse J.A, 1989. Geological evolution of two crustal scale shear zones, II: The Magdalena metamorphic core complex. California Institute of Technology, Pasadena. Ph.D thesis, 396 pages.

- Nourse J.A., 1990. Tectonostratigraphic development and strain history of the Magdalena metamorphic core complex, Sonora, Mexico; in Gehrels, G. and Spencer, J., editors, Geologic excursions through the Sonoran Desert region, Arizona and Mexico, Arizona Geological Society Special Paper #7, pages 155-164.
- Nourse J.A., 1992. Geologic transect through the Magdalena-Madera metamorphic core complexes, northern Sonora, Mexico, in Clark, K. F., Roldan-Quintana, J. and Schmidt, R. H., editors, Geology and Mineral Resources of Northern Sierra Madre Occidental, Mexico, Guidebook for the 1992 Field Conference, El Paso Geological Society, pages 359-366.
- Nourse J.A., Anderson T.H., Silver L.T., 1994. Tertiary metamorphic core complexes in Sonora, northwestern Mexico, Tectonics, Volume 13, no. 5, pages 1162-1184.
- Nourse J.A., 1995. Jurassic-Cretaceous paleogeography of the Magdalena region, northern Sonora, and its influence on the positioning of Tertiary metamorphic core complexes in Roldan-Quintana, J., Jacques-Ayala, C., and Gonzalez-Leon, C. eds., Studies of Mesozoic Geology in Sonora, Mexico and Adjacent Regions, Geological Society of America Special Paper 301-06, pages 59-77.
- Nourse J.A., 2001. Tectonic insights from an upper Jurassic-Lower Cretaceous stretched-clast conglomerate, Caborca-Altar region, northwestern Sonora, Mexico, Journal of South American Earth Sciences, v. 14, n. 5, pages 453-474.
- Nourse J.A., 2005. Preliminary analysis of stratigraphy, structure, and mineral potential at the Juarez-San Francisco gold property, northwest Sonora, Mexico, submitted to Colibri Resource Corporation, pages 1-10.
- Nourse J.A., Premo W. R., Iriondo A., Stahl E.R., 2005. Contrasting Proterozoic basement provinces near the truncated margin of Laurentia, northwestern Sonora-Arizona border region, in Anderson, T. H., Nourse, J. A., McKee, J., and Steiner, M eds., The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis, Development, Assessment, and Alternatives, Geological Society of America Special Paper #393, Chapter 4, pages 123-182.
- Nourse, J.A., 2006. Preliminary model for structurally controlled gold mineralization at the Juarez-San Francisco concession, northwest Sonora, Mexico, submitted to Colibri Resource Corp., 16 pages plus illustrations.
- Nourse J.A., Stubbe P., 2008. Summary of structure and mineralization at La Variedad, La Bellota, and Las Amarillas prospects, Leon Property, central Sonora, Mexico, submitted to Colibri Resource Corp., 10 pages plus illustrations.

- Marchand J., Hryniw G., Pelletier J., 2016, Preliminary Study of Coarse rejects and Pulps of Guiro Project, Burkina-Faso. Special Ore Study, Komet Resources Inc. http://kometgold.com/guiro-burkina-faso/, GTP Report, pages 1-56.
- Misra C. Kula, 2000. Metallogenesis of Gold Deposits Age distribution & Paleotectonic settings. Understanding Mineral Deposits. Volume 1., Chapter 16.6.3., pages 749-756.
- Parsons, T., 1995, *The Basin and Range Province*, in Continental Rifts: Evolution, Structure and Tectonics, Chapter 7, Olsen, K., ed., Amsterdam, Elsevier, ISBN 044489-566-3, pages 277-324.
- Pelletier J., 2012. Visit Report of Las Estrella Project and Cerro Blanco Mine, Sonora, Mexico. Exploracion MEUS de Mexico SA de CV., Internal Report, July 2012, 18 pages.
- Pelletier J., 2013. *Exploration activities report of Cumeral Project during 2012*. VVC Exploration Corporation, Internal Report, February 2013, 114 pages.
- Pelletier J., 2013. RC drilling report of Cumeral Project, Sonora, Mexico. VVC Exploration Corporation, Internal Report, Mai 2013. 46 pages.
- Plumlee Geoffrey S., Kathleen S. Smith, John E. Gray, Donald B. Hoover (1986) *Epithermal quartz-alunite deposits*, USGS Publication 1995, (MODEL 25e; Berger, 1986) Epithermal deposit, Chapter 19.
- Rehrig W.A.1986. Progresses of regional Tertiary extension in the western Cordillera, Insight from the metamorphic core complexes. Extensional Tectonics of southern United States – A perspective on Processes and Kinematics: Geological Society of America, Special Paper 208, pages 97-122.
- Reynolds S.J., Lister G.S, 1987. Structural aspects of fluids-rock interactions in detachment zones. Geology, Volume 15, pages 362-366.
- Rodney A, Blakestad J.D., 2006. *Lluvia de Oro Gold Project, Sonora, Mexico*. 43-101 Technical Report prepared for Columbia Metals Corporation Limited, 106 pages.
- Segerstrom L., 1987. Geology of the Planchas de la Plata Secteur, Northern Sonora, Mexico: Arizona Geological Society Digest, Volume 18, pages 153-164.
- Shawe Daniel. R, Foord E. E., Conklin N.M., 1984. Huebnerite veins near round mountain, Nye County, Nevada. U.S. Geological Survey Professional Paper 1287, pages 1-42.

- Silitoe R.H., 1987. Copper, gold and subduction: a trans-Pacific perspective. Pacific Rim Congress 87, 26-29 August 1978, Gold Coast, Queenland, Parkville. The Australasian institute of Mining and Metallurgy, page 399-403.
- Silitoe R.H., 2010. Porphyry Copper System. Economic Geology, Volume 105, pages 3-41.
- Silver L.T., Chappel B.W., 1988. The Peninsular Ranges batholith: An insight into the evolution of the Cordilleran Batholiths of the southwestern North America. Transaction of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences, Volume 79, page 105-121.
- Silver, L.T., Nourse, J.A., Jacobson, C.E., Wood D., 1995. Rand Mountains-Southern Sierra Nevada-Tehachapi Mountains, A geologic field excursion for the Tehachapi Penrose conference, October 10, USGS.
- Singleton J.S., Mosher S. 2012. *Mylonitization in the lower plate of the Buckskin-Rawhide detachment fault, west-central Arizona*, Implications for the geometric evolution of metamorphic core complexes Volume 39, June 2012, pages 180–198.
- Spencer J.E., Reynolds S.J., 1986. Geology and Mineral resources of the Buckskin and Rawhide Mountains, West Central Arizona. Arizona Geological Survey Bulletin 198, pages 168-183.
- Spencer J.E., Welty J.W., 1986. Possible control of base-and-precious metal mineralisation associated with Tertiary detachment faulting in the lower Colorado River trough, Arizona and California, Geological, Volume 16, pages 195-198.
- Spencer J.E., Reynolds S.J., 1989. Some aspects of the middle Tertiary tectonics of Arizona and southeastern California. Frontiers in geology and ore deposits of Arizona and the southwest: Tucson, Arizona Geological Society Digest, Volume 16, pages 102-107.
- Swanson M.T., 1990. Extensional duplexing in the York Cliffs strike-slip fault system, southern coastal Maine. Journal of Structural Geology, Volume 12, pages 499-512.
- Tirel C, Gauthier P, Van Hinsbergen D.J.J. Wortel M.J.R., 2009. Sequential development of interfering metamorphic core complexes, numerical experiments and comparison with the Cyclades, Greece. The Geological Society, London, Special Publications, 311, pages 257–292.
- Titley S.R., 1976. Evidence for a Mesozoic linear tectonic pattern in southeastern Arizona. Arizona Geological Society Digest, Volume 10, pages 71-101.

- Vandenberg L. C, Lister G S, 1996. Structural analysis of basement tectonites from the Aegean metamorphic core complex of Ios, Cyclades, Greece. Journal of Structural Geology Elsevier, Vol. 18, No.12, pages 1437-1454.
- Vega R. G., Calmus T., 2003. Mazatan metamorphic core complex (Sonora, Mexico): structures along the detachment fault and its exhumation evolution. Journal of South American Earth Sciences 16 (2003), Elsevier, pages 193–204.
- Voudouris P., Melfos V., Vavelidis M., Arikas K., 2003. Genetic relation between the Tertiary porphyry Cu (±Mo) and the epithermal Au (±Ag) deposits in the Rhodope metallogenic province, Thrace region, Northern Greece. In: Eliopoulos D. & al., (eds), Mineral Exploration and Sustainable Development, Milpress, Rotterdam, pages 541-544.
- Waters, D.J., 1988. Partial melting and the formation of granulite facies assemblages in Namaqualand, South Africa. J. Metamorphic Geol., Vol 6, pages 387-404
- Wernicke B., 1992. Cenozoic extensional tectonics of the U.S. Cordillera. The Cordilleran Orogen; Conterminous U.S. The Geology of North America vol. 3. Geological Society of America, Boulder, CO, pages 553-581.
- Weldon R.J. Meisling K.E., Alexander J., 1993. A speculative history of San Andreas fault in the central Transverse Range, California. Powell R.E, Weldon R.J., Matti J.C, The San Andreas fault system: Displacement, palinspatic reconstruction, and geologic evolution: Boulder, Colorado, Geological Society of America Memoir 178, page 161-198.
- Willis G.F., 1988, Geology of the Big Chief orebody, Mesquite district, Imperial County, California, Society of Mining Engineers Preprint 88-16, 6p.
- Willis G.F., Tosdal R.M., 1992, Formation of Gold Veins and Breccias during Dextral Strike-Slip Faulting in the mesquite Mining District, Southeastern California, Economic Geology, Volume 87, 1992, pages 2002-2022.
- Winter J.D., Prentice Hall, April 2007. An introduction to igneous and metamorphic petrology, 796 pages.
- White N.C., Hedenquist J., 1990. Epithermal environment and style of mineralisation: Variations and their causes, and the guidelines for exploration. Journal of Geochemical Exploration 36, pages 445-474.

ANNEXE A

Tableaux complémentaires au projet d'étude Cumeral

Tableau des corrélations entre les éléments provenant de l'échantillonnage sur l'ensemble des échantillons prélevés sur Cumeral.

Tableau des corrélations entre les éléments provenant de l'échantillonnage sur les minéralisations de type FD prélevés sur Cumeral.

Tableau des corrélations entre les éléments provenant de l'échantillonnage sur les minéralisations de type CSB prélevés sur Cumeral.

Tableau des corrélations entre les éléments provenant de l'échantillonnage sur les minéralisations de type FCm prélevés sur Cumeral.

ANNEXE B

Cartes complémentaires au projet d'étude Cumeral

Carte simplifiée des secteurs du projet Cumeral Carte géologique du secteur A Carte géologique du secteur B Carte géologique du secteur C Carte géologique du secteur E Carte géologique du secteur F Carte géologique du projet Cumeral avec secteurs minéralisés

ANNEXE C

Sections complémentaires au projet d'étude Cumeral

Section géologique de l'indice Altacobre Section géologique de l'indice Betabel Section géologique de l'indice Corales Section géologique de l'indice Elegante Section géologique de l'indice Fuerte-Raul