



UNIVERSITE CADI AYYAD

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES GUELIZ
MARRAKECH

Département des Sciences de la Terre

Laboratoire géo ressource. Unité associée au CNRST (URAC 42)

Licence Sciences et Techniques en Géologie Appliquée aux Ressources
Minières

***ETUDE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL DE
L'OUVRAGE MINIER RELIANT LE CORPS PRINCIPAL
ET L'OUEST DESCENDERIE DE LA MINE DE HAJJAR-
GUEMASSA-MAROC***

Réalisé par : Mlle. BENAZIZ Fatima Zahra
Mr. ABOUABILA Younes

Encadré par :

FST : Mme. A. REDDAD

Professeur à la FST Marrakech

Mr. A.RIZKI

Professeur à la FST Marrakech

Mr. A.KHALIFA

Cadre géologue (CMG)

Soutenu le jeudi 28 juin 2012

Devant le juré :

Mr. A. SAIDI

Professeur à la FST Marrakech

Mr. A. KHALIFA

Cadre géologue (CMG)

Mme. A.REDDAD

Professeur à la FST Marrakech

Mr. A.RIKZI

Professeur à la FST Marrakech

Remerciement

Le présent travail n'aurait pu avoir lieu sans la contribution de plusieurs personnes pour lesquelles nous tenons à exprimer ma profonde gratitude.

Nous tenant à remercier vivement la compagnie minière des Guemassa de nous avoir accueillies pour effectuer notre stage de fin d'étude au sein de son service géologique, nous offrant ainsi la possibilité d'acquérir une expérience professionnelle très enrichissante.

Nous ne saurions jamais comment exprimer nos profondes gratitudes à Mme A.reddad, professeur à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, qui a accepté notre encadrement, nous lui sommes très reconnaissants d'être toujours rendue disponible malgré ses préoccupations nous la remercions de nous avoir appris beaucoup de choses, pour ses conseils précieux, ses directives et pour ses corrections pertinentes qu'elle trouve ici le témoignage de notre profond respect.

Les termes nous manquent pour exprimer notre gratitude à Mr A.Rizki professeur à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, qui nous a initiés la géochimie, qu'il trouve ici l'expression de notre profond respect.

Une telle étude n'aurait pu être effectuée sans l'aimable participation de Mr A.Saidi, professeur à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, d'avoir consacré son temps à nous aider pour l'étude géo-structural et ces critiques constructives pour réaliser un bon travail.

On tient à remercier MR A.bachno, professeur à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, et Mr A.Knidiri, responsable technique de l'atelier des lames minces, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profond respect.

Stage fin d'étude

Nous remerciant tout particulièrement Mr. A. Khalifa, notre encadrant de stage à la compagnie minière de Guemassa, pour ses conseils et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer tout au long de ce stage.

Nous voudrions également remerciant Mr M.Outhounjite chef de service géologique CMG.

Notre gratitude va particulièrement aux gens du service géologie à savoir Mr. K. Boulhriss, Mr. M .Bouiroukten, Mr K. chobob, Mr A. Bouyshmane, Mr N. Loumadi, Mr T. Ait Oufkir et aussi l'équipe de la station de la préparation mécanique (Hamid, Mahfoud, Youssef).

Nous présentons nos gratitude à tout qui a contribué de proche ou de loin pour l'élaboration de ce modeste travail.

Enfin, nous dédions ce travail à nos parents, à nos famille ; à nos amis et a nous professeurs pour leur soutien ; leur encouragement et leurs conseils.

Table des matières

Chapitre I : présentation du travail et secteur d'étude

1. Introduction.....	10
2. Historique.....	11
3. Situation géographique.....	12
4. cadre géologique.....	13
4.1. Cadre géologique général.....	13
4.2. Cadre local.....	17
4.2.1. Présentation du gisement polymétallique da Hajar.....	18
4.2.2. Structuration.....	19
4.2.3. Métamorphisme.....	20
4.2.4. Volcanisme.....	21
4.2.5. Lithostratigraphie.....	21
4.2.6. Mode de mise en place.....	24
5. Méthodologie de travail.....	27

Chapitre II : étude lithostratigraphique, pétrographique et métallographique

1. Introduction	29
2. Etude lithostratigraphique.....	29
2.1 Sondage carotté FGC 79.....	30
2.2 Sondage carotté FGC 180.....	32
2.3 Sondage carotté FGC 82.....	34
3. Conclusion de l'étude lithologique.....	36
4. Etude pétrographique.....	37
4.1 Objectif d'étude.....	37
4.2 Étude des faciès.....	37
4.2.1 Métapelite.....	37
a) Description macroscopique.....	37
b) Description microscopique.....	37
4.2.2 Silt.....	38
a) Description macroscopique.....	38
b) Description microscopique.....	38
4.2.3 Facies volcanique.....	38
a) Description macroscopique.....	38
b) Description microscopique.....	38
4.2.4 Carbonates.....	39
a) Description macroscopique.....	39

Stage fin d'étude

b) Description microscopique.....	39
4.3 Les formes de sulfures.....	39
4.4 Conclusion de l'étude pétrographique.....	43
5. Etude métallographique.....	44
5.1 Objectif d'étude.....	44
5.2 Description des échantillons.....	44
5.2.1 Minéralisation massive.....	44
5.2.2 Minéralisation sub-massive.....	44
5.2.3. Minéralisation litée.....	45
5.2.4. Minéralisation dissiminée.....	45
5.3 Conclusion de l'étude métallographique.....	48

Chapitre III : étude géochimique et statistique

1. Introduction.....	50
2. Objectif.....	50
3. Etude chimique.....	50
3.1 Les analyses chimiques.....	50
3.2 Traitements des donnés.....	52
3.3 Interprétation.....	53
4. Etude géostatistique.....	54
4.1 Objectif.....	54
4.2 Traitements des donnés.....	54
4.3 Interprétation.....	56
5. Conclusion	57

Chapitre IV : étude structural

1. Introduction	59
2. Etude du niveau 400.....	59
2.1. La stratification.....	59
2.2. Les failles.....	61
2.3. La schistosité.....	62
3. Etude de niveau 520.....	65
3.1. La stratification.....	65
3.2. Les failles.....	66
3.3. La schistosité.....	67
4. Comparaison entre les niveaux 400 et 520.....	67
5. Conclusion.....	68

Chapitre V : modélisation géologique de la minéralisation Du corps extrême ouest descenderie

1. Introduction.....	71
2. Modélisation.....	72
3. Triangulation.....	74

Chapitre VI : Conclusion et recommandation

Conclusion générale.....	76
Références bibliographiques.....	78

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Carte géographique de la région des Guemassa (document interne CMG)

Figure 1.2 : Domaines structuraux marocains (cours géologie du Maroc)

Figure 1.3 : Carte géologique du massif des Guemassa et situation mine de Hajar (document interne CMG)

Figure 1.4 : Morphologie du gisement de HAJJAR (document interne CMG)

Figure 1.5 : Domaines Structuraux du Massif de Guemassa (HAIMEUR, 1989).

figure 1.6 : Log synthétique de Hajjar (document interne CMG)

Figure 1.7 : Stade 1 dans la genèse des amas sulfurés des Jbilet et Guemassa (Hibti, 2001)

Figure 1.8 : Stade 2 dans l'évolution des amas des Jbilet (Hibti, 2001)

Figure 2.1 : Plan de situation des sondages étudiés (document interne CMG)

Figure 2.2 : Log stratigraphique du sondage carotté FGC 79

Figure 2.3 : Log stratigraphique du sondage carotté FGC 180

Figure 2.4 : Log stratigraphique du sondage carotté FGC 82

Figure 2.5 : Coupe géologique montrant la position du sondage FGC180 par rapport au corps extrême ouest descenderie (document interne CMG)

Figure 3.1 Tableaux des analyses géochimiques

Figure 3.2 Diagramme de corrélation (Zn, Pb, Cu)

Figure 3.3 Diagramme de corrélation (Fe, Cu*100)

Figure 3.4 Diagramme de corrélation As

Figure 3.5 Matrice de corrélation

Figure 3.6 Cercle de corrélation

Figure 3.7 Diagramme de dispersion des éléments

Figure 4.1 : Projection stéréographique de la S₀ (niveau 400)

Figure 4.2 : Projection stéréographique pole moyen de la S₀ et son plan moyen (niveau 400)

Figure 4.3 : Plan de levée structural des failles du niveau 400 avec leur rosace directionnelle

Figure 4.4 : Projection stéréographique de la S₁ avec le pole moyen et son pôle moyen

Figure 4.5 : Projection stéréographique de la S₂ avec le pole moyen et son plan moyen

Figure 4.6 : Projection de la S₃ (niveau 400)

Figure 4.7 : Projection stéréograohique de la S₀ (niveau 520)

Figure 4.8 : Plan de levée structural des failles du niveau structural 520 avec leur rosace directionnelle

Figure 4.9 : Projection stéréographique de la S0 de niveaux 400 et 520 associée au plan moyen de la S1 (niveau 400)

Figure 4.10 : Plan montrant l'emplacement de la minéralisation au niveau de 400, 460 et 520 (donné service géologie CMG)

Figure 5.1 : Représentation de la morphologie globale des corps minéralisés par rapport au niveau 400(document interne CMG)

Figure 5.2 : Coupe montrant la position du corps minéralisé par rapport au sondage FGC

Figure 6.1 plan présentant l'allure général du corps minéralisé

Liste des planches

Planche 1

Planche 2

Planche 3

Chapitre I

Présentation du travail et

Secteur d'étude

1. INTRODUCTION

Ce travail entre dans le cadre du stage fin d'étude de licence « géologie appliquée aux ressources minière » à la faculté des sciences et technique de Marrakech. Ce stage a été effectué à la compagnie minière des Guemassa (CMG), qui est une filiale du groupe ONA.

Le groupe ONA est présent dans le domaine des mines depuis 1928. Dans le but de réunir l'ensemble des compétences au sein d'une même structure, le groupe ONA a regroupé l'ensemble de ces participations minières au sein de MANAGEM.

Aujourd'hui MANAGEM est composé de six sociétés d'exploitation minière :

- ✓ CMG : la compagnie Minière des Guemassa le gisement polymétallique de Zinc, plomb, cuivre, et argent de Hajjar, situé
- ✓ CTT : la compagnie de Tifnout Tiranime elle est spécialisée dans l'exploitation du cobalt primaire et d'argent.
- ✓ SMI : créée en 1969, elle exploite l'argent d'Imiter
- ✓ AGM : Akka Gold Mining, mine d'Or
- ✓ SAMINE : exploite le gisement d'EL Hammam située à 45Km de la ville de Meknès. Elle est parmi les premières entreprises minière productrices de Fluorine dans le monde.
- ✓ REMINEX : Elle représente le principal outil de recherche et de développement du pôle mine de l'ONA. Elle est spécialisée dans la recherche, et l'exploitation.

2. HISTORIQUE.

Depuis la découverte du gisement de Kettara, la province des Jebilets et de Guemassa a connu plusieurs travaux d'exploration visant la recherche d'autres gisements. En effet cette région a été le siège de plusieurs campagnes géophysiques depuis les années 1930 ; dans le cadre de programmes lancés par la direction de la géologie du ministère de l'énergie et des mines, BRPM et par BRGM. L'anomalie de Hajjar a été détectée lors de la campagne GEOTERREX en 1968. La vérification au sol de cette anomalie et d'autres situés dans le Guemassa n'a été entreprise qu'en 1984 dans le cadre d'une convention entre la direction de la géologie et le BRPM.

Dans le cadre de ce programme un premier sondage a été implanté sur une anomalie magnétique en Octobre 1984 et a recoupé 120 m de minerai massif et une trentaine de minerai fissural ou en stockwerk, dans des formations volcano-sédimentaires sous 120m de couverture moi-pliocène et quaternaire.

Jusqu'en Février 1988, le BRPM poursuit les travaux de recherche et de reconnaissance par sondage carottés (28 sondages) et travaux miniers (puits I et niveau 235).

La compagnie minière de Guemassa C.M.G avec 70 % ONA et 30 % BRPM créée en février 1988 reprend des travaux miniers de reconnaissance à savoir :

- Recherche minier (sondages carottés (fond et jour)) sondages percutants, travaux miniers (niveaux 620, 600, 580, 520, 380, rampe, descenderie et puits II....
- Travaux d'infrastructures
- Recherches hydrogéologiques
- Etude de faisabilité
- Valorisation (une usine pelote mobile 200 t /j).

Tous ces travaux ont favorisé un démarrage de production en 1992, avec une cadence de 2.400 t/j qui a été augmentée à 4.500 t/j en 1996.

3. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le gisement polymétallique de Hajjar se situe dans la plaine du Haouz, à 35 Km au sud de Marrakech. Il est localisé dans une zone où le socle paléozoïque est couvert par des couches Miopliocène et n'affleure que sous forme de boutonnières. Dans cette partie du Haouz, le paysage morphologique est constitué d'un ensemble de collines d'altitudes environnant 600 à 800m. (Figure 1.1)

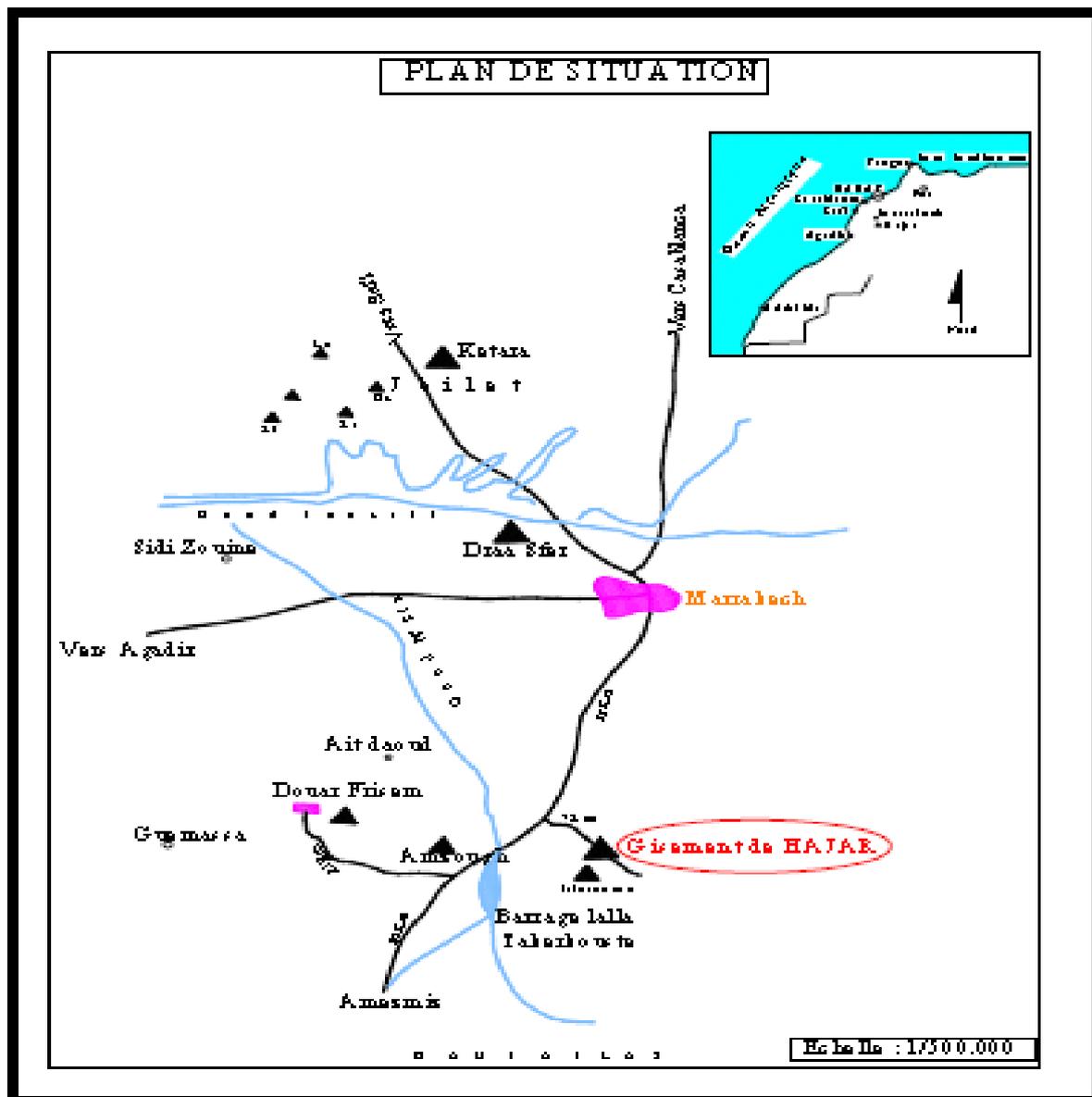


Figure 1.1 : Carte géographique de la région des Guemassa (document interne CMG)

4. CADRE GÉOLOGIQUE

4.1. Cadre géologique général

Géologiquement on distingue cinq grands domaines structuraux au Maroc (Piqué et Michard, 1989) (Figure 1.2) :

- ✓ **Domaine Saharien** : formé par des terrains d'âge protérozoïque inférieur, intensément déformés et métamorphisés durant l'orogénèse éburnéenne (2000 Ma). Ces séries protérozoïques sont couvertes au nord par les roches paléozoïques non déformées du bassin de Tindouf.
- ✓ **Domaine Anti-Atlasique** : constitué d'un socle structuré par l'orogénèse panafricaine (680 et 570 Ma) (Leblanc et Lancelot, 1980). Sa couverture protérozoïque terminale et paléozoïque est affectée par une déformation hercynienne relativement modérée.
- ✓ **Domaine Mésétien** : Le Domaine Mésétien a été défini par Gentil (1918) comme étant le domaine de la chaîne hercynienne du Maroc. Il est constitué d'un socle paléozoïque couvert en discordance par des séries méso-cénozoïques non déformées. Ce domaine est séparé en deux parties par le Moyen Atlas, (Termier, 1936; Michard, 1976) :
 - la Méséta Occidentale : dite marocaine. Elle est constituée de trois grands massifs paléozoïques, le Massif central ou Maroc central, les Rhamna et les Jebilet, qui apparaissent à l'affleurement au sein de la couverture méso-cénozoïque.
 - la Méséta Orientale ou Oranaise : Elle est composée de plusieurs boutonnières (Jerada, Debdou, Mekam et Midelt) dont les affleurements des terrains paléozoïques sont relativement plus restreints.

- ✓ **Domaine Atlasique** : Le domaine atlasique est constitué de deux chaînes de montagnes, le Haut Atlas et le Moyen Atlas (Michard, 1976). Le Moyen Atlas, de direction NE-SW, sépare la Méséta en deux. Ce domaine est formé d'une épaisse série permo-mésozoïque et cénozoïque, plissée au cours de l'orogénèse atlasique. Les phases de plissement sont d'âge jurassique-supérieur et tertiaire. En outre, il renferme des terrains paléozoïques tels que le bloc Paléozoïque du Haut Atlas occidental et les boutonnières du Haut Atlas central et oriental et celles du Moyen Atlas

- ✓ **Domaine Rifain** : Le domaine Rifain est le domaine le plus chaîne alpine périméditerranéenne. Il est formé de terrains allochtones chevauchant la Meseta. On y connaît aussi des terrains paléozoïques qui affleurent surtout dans la partie interne de la chaîne

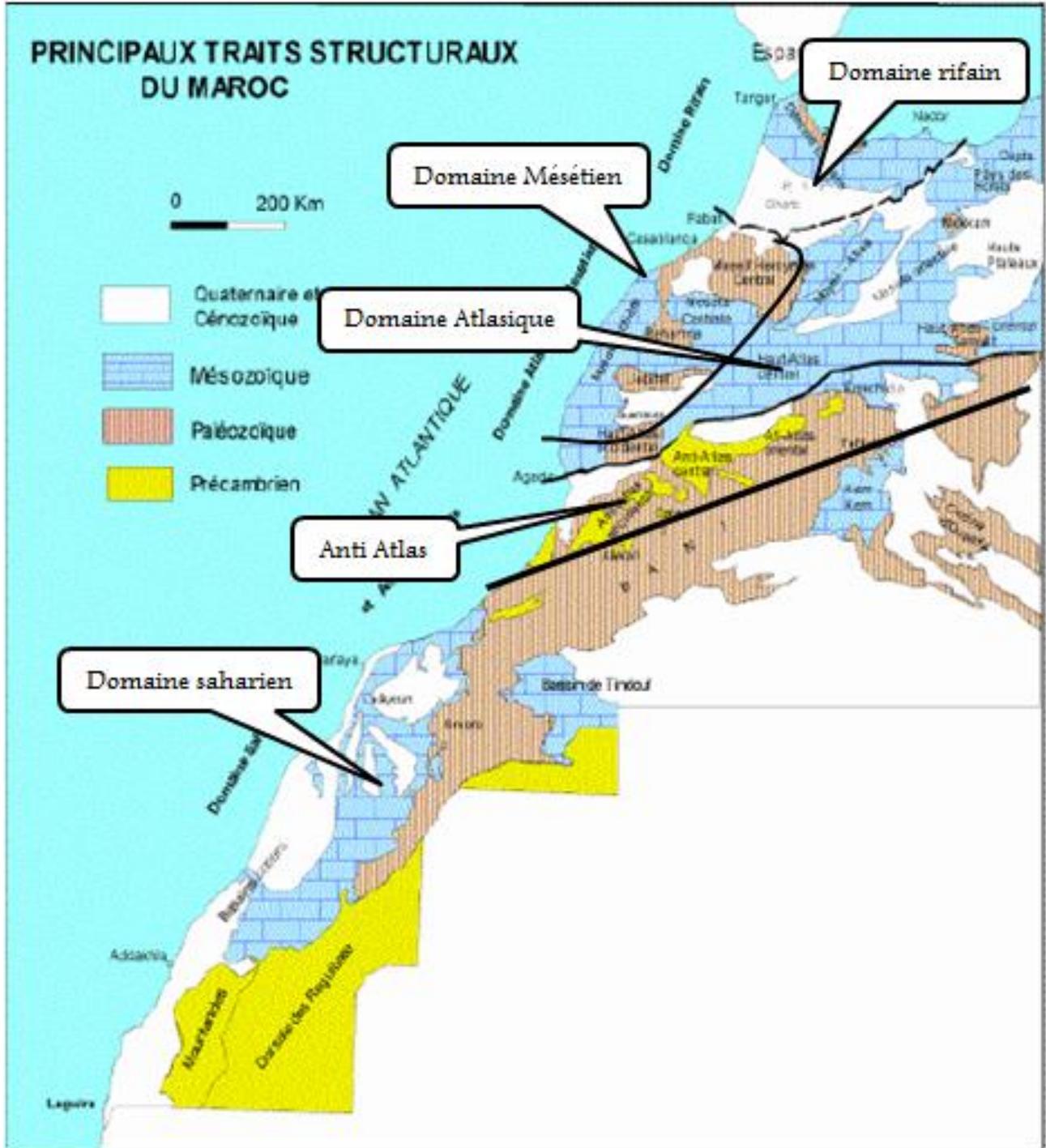


Figure 1.2 : Domaines structuraux marocains (cours géologie du Maroc)

4.2. Cadre local

Le gisement de Hajjar est situé dans le massif paléozoïque des Guemassa. Ce massif appartient à la Meseta centrale caractérisée par une sédimentation quasi-continue du Cambrien au Westphalien et par une phase tectono-métamorphique intra-westphalienne. Il représente un maillon important entre les grands massifs Mésétien au nord et ceux du Haut Atlas au sud et correspond à la surrection de roches paléozoïques au cœur de la plaine du Haouz. Dans cette zone, le socle d'âge viséen n'affleure que sous forme de boutonnières au sein d'une couverture d'âge Miopliocène et quaternaire. Ce dispositif de boutonnières apparaît aussi au nord de la plaine de la Bahira, d'où jaillit le massif des Rhamna. (Pfe El arbaoui-Tolob)

Les affleurements dans la zone de Hajjar présentent des faciès similaires à ceux de la série de Sarhlef dans les Jebilet (Piqué, 1994).

Le gisement polymétallique de Hajjar est situé sous 120m environ de couverture Miopliocène et quaternaire. Il est constitué de terrains sédimentaires et volcano-sédimentaire d'âge viséen supérieur- namurien (ROCH, 1950). Deux domaines y sont distingués (Figure 1.3) :

- le domaine des Guemassa (s.s) ou Guemassa occidentales : qui comporte une série schisteuse de type flysch caractérisée par des intercalations de roches acides sous forme de lames et/ou silts (volcanisme effusif et fissural), rarement sous forme de tufs et tuffites acides (MAÏER & al. 1986 ; GROS & al. 1986).
- le domaine d'Imarine ou Guemassa orientales : où s'inscrit l'amas sulfuré de Douar Lahjar, qui est constitué d'une série tuffitique mise en place par écoulement turbiditique au pied d'un talus ; le volcanisme s'y présente sous la forme de roches d'épanchements acides (laves, dômes et "débrisflows"), mises en place dans des sédiments plus ou moins lithifiés (GROS & al, 1986).

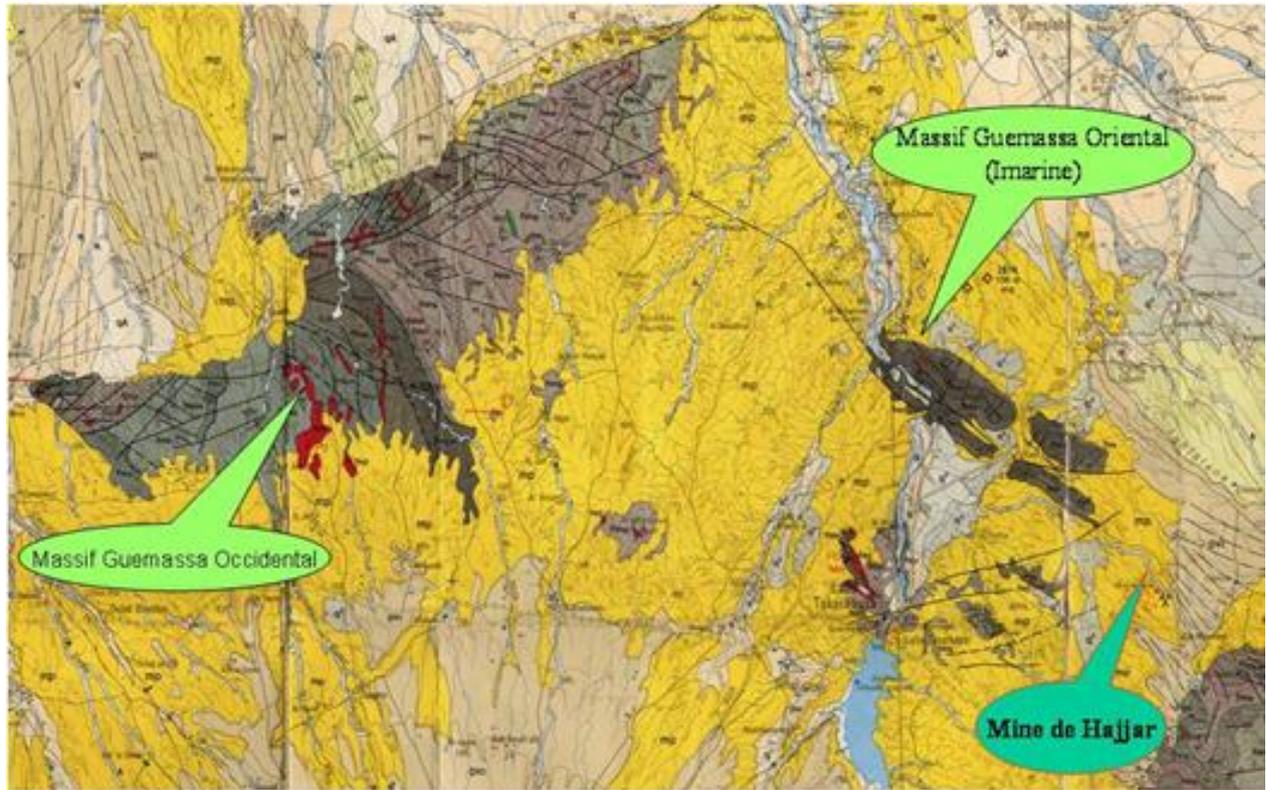


Figure 1.3 : Carte géologique du massif des Guemassa et situation mine de Hajar (document interne CMG)

4.1.1. Présentation du gisement polymétallique de HAJAR

Le gisement à Pb-Zn-Cu de Hajar (Douar Lahjar) est le premier de ce type (VMS) au Maroc. Il est classé parmi les 10 premiers gisements de Zn au monde. Il forme une masse économique de 16 M/t à 8% de Zn, 2 à 3% de Pb, 0,4 à 0.6% de Cu et 60 g/t Ag (Hibti, 2001). C'est un amas sulfuré à pyrrhotite-sphalérite encaissé dans une série volcano-sédimentaire viséenne épimétamorphique. Cet amas est caractérisé par une paragenèse sulfurée assez particulière par sa composition à pyrrhotite presque pure et sphalérite pauvre en fer avec chalcopryrite et galène subordonnées.

L'amas sulfuré est subdivisé en quatre corps minéralisés : le corps principal (CP), le corps Ouest descenderie (CWD), le corps extrême ouest descenderie (EXWD) (nouveau corps) et le corps Nord-Est (CNE), (Figure 1.4).

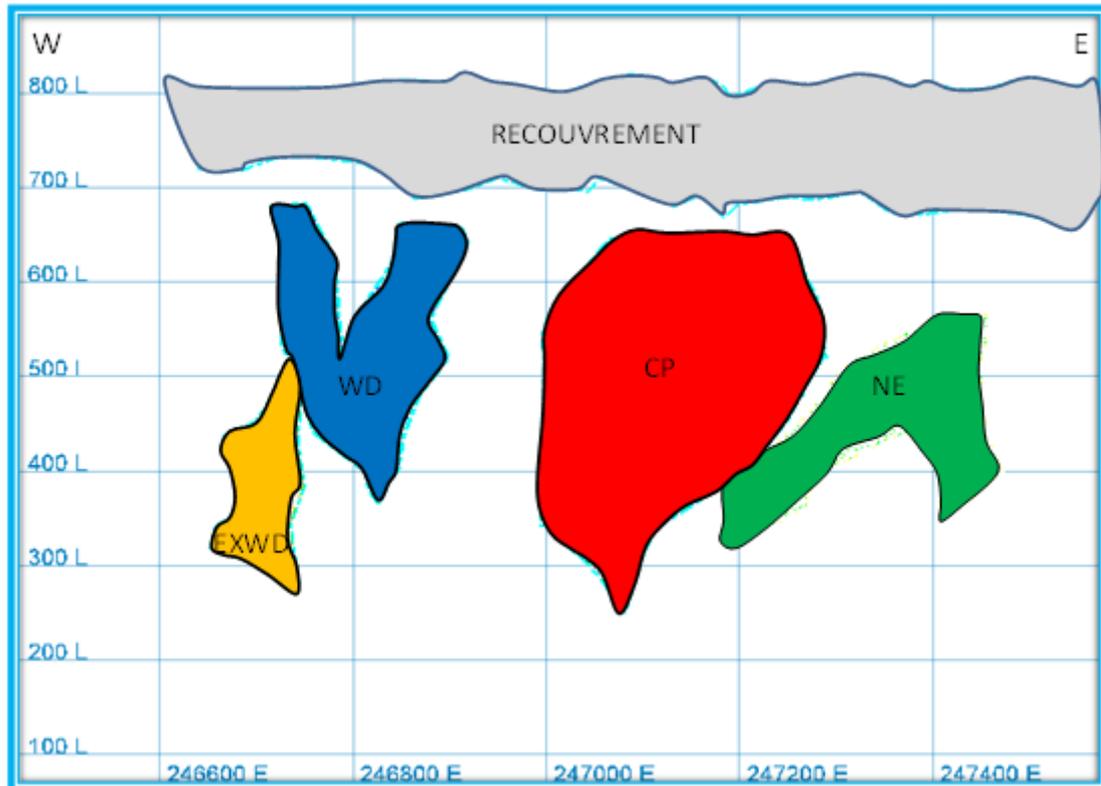


Figure 1.4 : Morphologie du gisement de HAJJAR (document interne CMG)

4.2.2. Structuration

Le massif de Guemassa a connu plusieurs travaux d'ordre structural (Gros et al, 1983,1986 ; Campi, 1984 ; Boummane, 1987 ; Soulaïmini, 1991 ; Hibti, 1993 ; Raqiq, 1997), ayant permis la définition de trois phases de déformations (Figure 1.5) :

- Phase distensive, associée à la formation des bassins dévono-carbonifères, matérialisée par la présence de failles normales de direction subméridienne (NS à NE-SW). Les slumps et les flexures donnent à cette phase un caractère synsédimentaire.

- Phase de serrage post viséenne, caractérisée par une schistosité de flux de direction N10 à N50, des plis syn-schisteux et des jeux d'accidents décrochant. elle est responsable de la structuration principale de l'amas sulfuré et elle affecte aussi bien le niveau minéralisé que l'encaissant sédimentaire
- Phase tardive, post-schisteuse caractérisée par des plissements de direction NE-SW affectant la schistosité S1. Ce sont des plis isoclinaux qui engagent à la fois le minerai et l'encaissant.

Cette phase tardive développe une schistosité de fracture S2 de direction moyenne NE-SW avec un fort pendage vers l'ouest, matérialisée par la réorientation des sulfures étirés lors de la phase précédente.

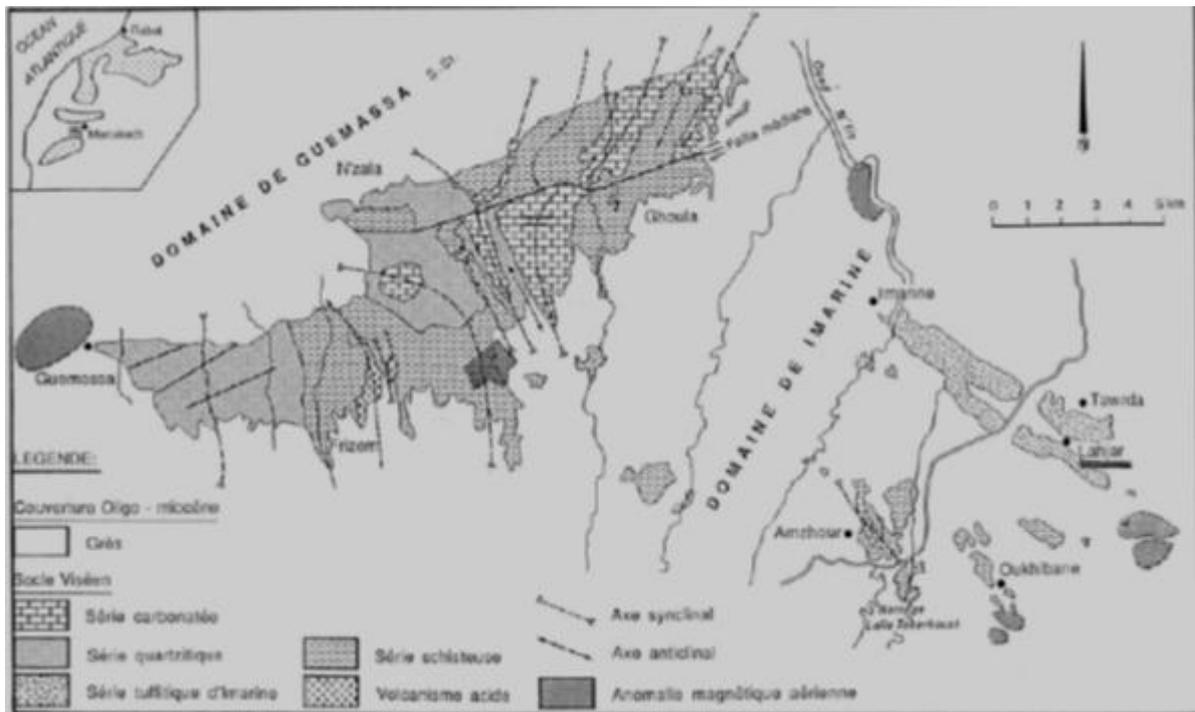


Figure 1.5 : Domaines Structuraux du Massif de Guemassa (HAIMEUR, 1989).

4.2.3. Métamorphisme

Le métamorphisme accompagnant la déformation est de type épizonal (Soulaïmani, 1991 ; Hibti, 1993 ; Haimeur 1997), avec une paragenèse à quartz, chlorite, albite et muscovite.

L'existence d'un métamorphisme de contact est probable parce qu'on note un développement de la biotite au dépens de chlorite précoce. (Hibti, 2001).

Cependant, les travaux de Gros et al, (1986) et Hibti, (1993), au niveau du gisement de Hajjar, témoignent d'un métamorphisme type péri-plutonique par la présence de biotites Post-schisteuses (Gros et al. 1986), ainsi que des taches de métamorphisme (Hibti, 1993).

4.2.4. Volcanisme

La mise en place de la minéralisation de la mine de HAJAR est associée à une activité volcanique. Cette activité se matérialise par des roches volcaniques essentiellement felsiques affectée par une bréchification hydroclastique indiquant une mise en place dans un milieu sous aquatique, il s'agit de :

- Laves rhyolitiques
- Brèches volcaniques
- Roches volcano-clastiques (les tufs acides et les coulées pyroclastiques) (Pfe Hankach-Ait rahou 2011).

4.2.5. Lithostratigraphie

Le gisement de Hajjar, se caractérise par un environnement lithostratigraphique qui passe depuis une partie basale jusqu'à une autre partie sommitale, tout en passant par une unité médiane formée essentiellement par le corps minéralisé. (figure 1.6)

Unité basale : caractérisée par l'association de tufs et tuffites avec des manifestations volcaniques, elle peut atteindre jusqu'au 400 m d'épaisseur. On distingue, du bas en haut (Hibti, 1993) :

- Silts chloriteux laminé;
- Laves rhyolitiques ;
- Laves bulleuses ;
- Silts fins à lamines de sulfures ;
- brèches volcaniques ;
- Horizon sommital formé de chloritite, cinérite (grenatite).

L'ensemble des horizons montre des variations latérales assez importantes. Ceci serait en relation avec les formes lenticulaires de ces horizons.

Unité médiane : Elle surmonte l'unité basale sous forme d'un corps minéralisé concordant, est d'une épaisseur variable entre 20 et 100 m. Il s'agit d'un amas massif riche en lambeaux d'encaissant sédimentaire et/ou volcanique dont les dimensions sont variables (centimétriques à pluri métriques). Latéralement la minéralisation disparaît et l'unité basale passe verticalement à l'unité sommitale.

Cette minéralisation sulfurée repose, au niveau des partie centrale, sur une zone bréchique de puissance et d'extension métrique (50 /30m environ) constituant ainsi la zone du stockwerk. Latéralement apparaissent des sédiments de nature pelitique (chlorite, biotite), soulignant généralement la base de la minéralisation sulfurée.

Minéralogiquement elles sont constituées essentiellement de pyrrhotite, laquelle est accompagnée selon leur ordre de décroissance de : sphalérite, galène, chalcopryrite, pyrite, et arsénopyrite. Cette minéralisation repose sur une cheminée, appelée stockwerk, qui avait le rôle de fournisseur de l'amas en éléments métalliques.

Les minéraux du toit et du mur du gisement ont les caractéristiques spécifiques suivantes :

- Le toit est caractérisé par la présence de l'arsénopyrite et la marcassite ;
- Le mur renferme des sédiments de nature pelitique (quartz, chlorite et biotite).

L'amas présente la puissance maximale dans sa partie centro-orientale, alors que dans la partie occidentale, on note l'intercalation de trois niveaux du corps minéralisé de puissance métrique par des sédiments altérés.

Unité sommitale : représente le toit de la minéralisation avec une puissance d'environ 200m. Elle est principalement constituée de dépôts silto-gréseux correspondant à un épisode de sédimentation détritique avec des intercalations de lentille calcaire.

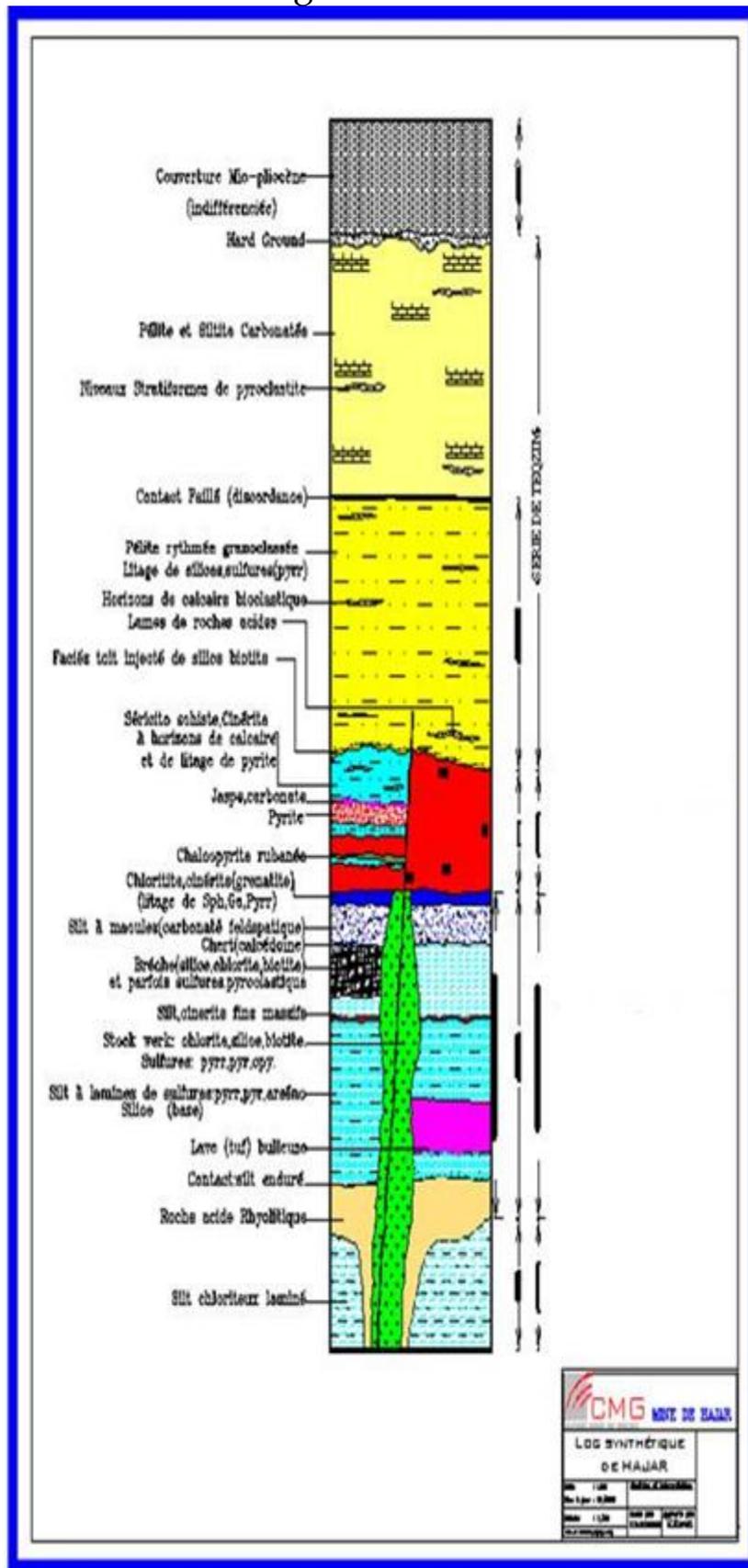


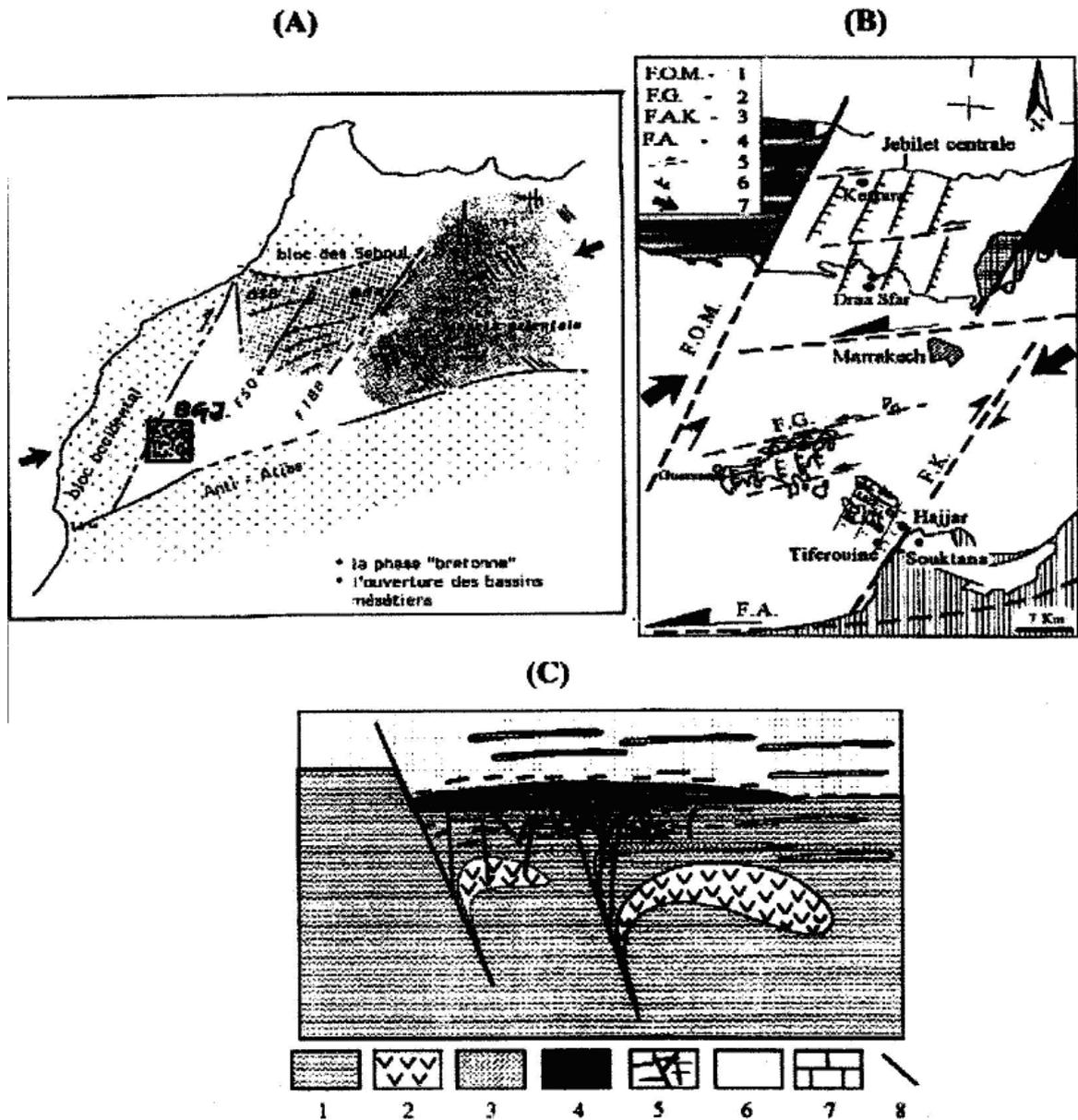
figure 1.6 : Log synthétique de Hajjar (document interne CMG)

4.2.6. Mode de la mise en place

Selon Hibti, (2001), le gisement est un amas sulfuré massif enraciné sur son stockwerk avec une zonalité caractéristique à l'intérieur de l'amas matérialisée par une prédominance du Zn et du Pb latéralement et au sommet du gisement. Ceci n'est pas toujours évident à cause de la complexité des dépôts et de la morphologie.

Du point de vue géodynamique, la mise en place de la minéralisation de Hajjar s'intègre dans le modèle de mise en place des amas sulfurés des Jebilets et des Gue-massa (Hibti, 2001) qui se déroule en trois stades:

- **Stade 1** : La formation du bassin qui contient l'amas de Hajjar est liée à la distension du grand bassin Mésétien marocain. Pendant cette période, une activité volcanique, matérialisée par la mise en place d'un dôme rhyodacitique et d'une série volcano-sédimentaire constituée de tufs et de pélites gréseuses, se développe parallèlement à un magmatisme bimodal. La minéralisation sulfurée est le résultat de l'activité hydrothermale associée à cette activité volcanique. Les fluides hydrothermaux chargés en métaux circulent dans l'encaissant volcano-sédimentaire durant le Carbonifère. Le dépôt des sulfures se fait en même temps que la sédimentation dans un bassin à failles synsédimentaires. (figure 1.7)
- **Stade 2** : phase syn-cinématique : à l'échelle du bassin Mésétien, la compression hercynienne majeure (NW-SE) a provoqué un rejeu des structures synsédimentaires en failles inverses décrochantes (senestres et dextres) et le fonctionnement de zones de cisaillement ductile. Ce rejeu a engendré des basculements et des torsions des horizons minéralisés. (figure 1.8)
- **Stade 3** : phase post-cinématique : liée aux événements tardi-hercyniens et atlasiques et se traduit par des dislocations, des décalages et des remobilisations des sulfures. C'est un stade qui se traduit principalement par des failles remplies de brèches de quartz avec des sulfures remobilisés (pyrrhotite, chalcopyrite et traces de sphalérite et galène).



(A) La chaîne hercynienne du Maroc au Tournaisien (Bouabdelli, 1989) (BGJ- bassin des Guemassa et des Jebilet, BSB- bassin de Sidi Bettache, BAK- bassin d'Azrou-Khenifra, FSO- faille Smaïla-Ouelmes, FTBB - faille de Tazekka-Bsabis-Bekrit)

(B) Modèle d'ouverture du bassin des Guemassa et des Jebilet (1-faille Ouest- Mésetienne, 2- faille des Guemassa, 3- faille d'Ait Khaled, 4- faille d'Amzazit, 5- décrochement, 6-faille normale, 7-raccourcissement régional);

(C) Modèle schématique de formation des minéralisation sulfurées des Guemassa et des Jebilet. 1- séries volcano-sédimentaires ; 2- roches volcaniques ; 3- roches pyroclastiques ; 4 - minéralisations sulfurées ; 5- stockwerk et imprégnations ; 6- séries sédimentaires ; 7- niveaux carbonatés ; 8- structures faillées.

Figure 1.7 : Stade 1 dans la genèse des amas sulfurés des Jbilet et Guemassa (Hibti, 2001)

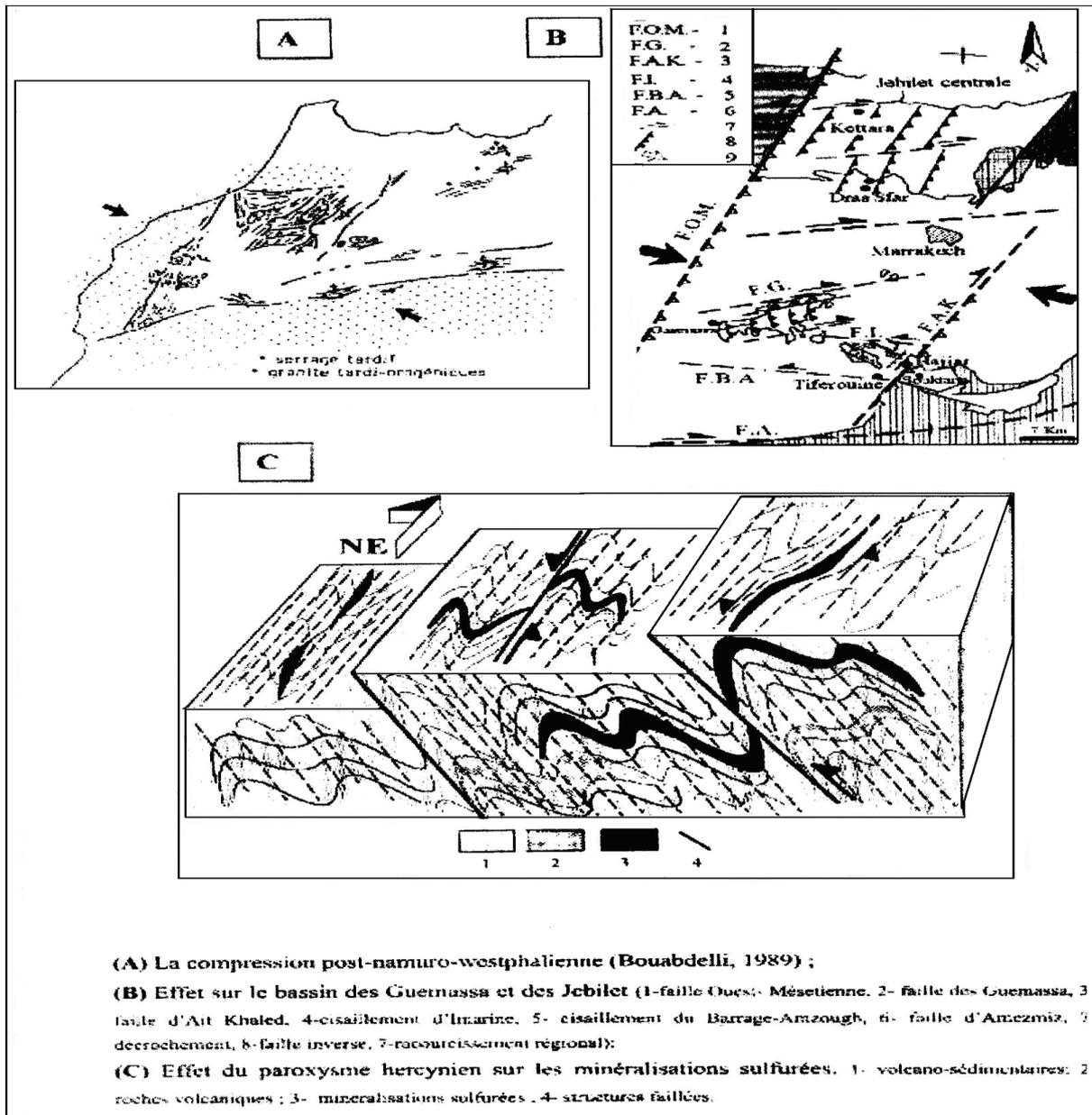


Figure 1.8 : Stade 2 dans l'évolution des amas des Jbilet (Hibti, 2001)

5. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL :

La réalisation de ce travail a impliqué des travaux sur le terrain et au laboratoire.

- Les travaux de terrain (jour), ont commencé par la réalisation d'une description macroscopique détaillée des faciès le long des carottes de sondage dont certains ont intercepté la minéralisation, et ceci en vue de l'établissement de logs stratigraphiques de ces sondages.

D'autre part, un levé détaillé (stratification, schistosité, failles) niveau 400 (fond) a été réalisé. Parallèlement, des échantillons ont été récoltés en vue des études de laboratoire.

Un levé de niveau 520 réalisés par les géologues de la mine ont été compilés avec nos données afin d'aboutir à des interprétations plus globales des données structurales et de suivre l'évolution de la minéralisation avec la profondeur.

- Les travaux de laboratoire ont été principalement focalisés sur les études pétrographiques, et métallographiques réalisés à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech (FST), sur des lames minces et sections polies confectionnées à partir d'échantillons de sondages et de la galerie. D'autre part, le traitement des données structurales, et aussi l'interprétation des analyses chimiques.

En fin la compilation des différents types de données acquises, sous forme de coupes et de cartes interprétatives,

Les résultats de notre étude seront présentés dans des parties qui se succéderont comme suit :

- une étude lithostratigraphique, pétrographique et métallographique.
- une étude structurale.
- une étude géochimique et géostatistique.
- une modélisation de la minéralisation du corps extrême ouest descendier.

Chapitre II

Etude lithostratigraphique, pétrographique et métallographique

1. INTRODUCTION

La caractérisation des différents faciès de niveaux 400 du corps extrême ouest descendrière de la mine de Hajjar nous suggère de faire une étude macroscopique et microscopique des différents échantillons prisent de la galerie ainsi que le Sandage, pour déterminer les paragenèses minérales des différent faciès, les type d'altération associées, les phases métalliques et leurs relation avec l'encaissant.

2. ETUDE LITHOLOGIQUE

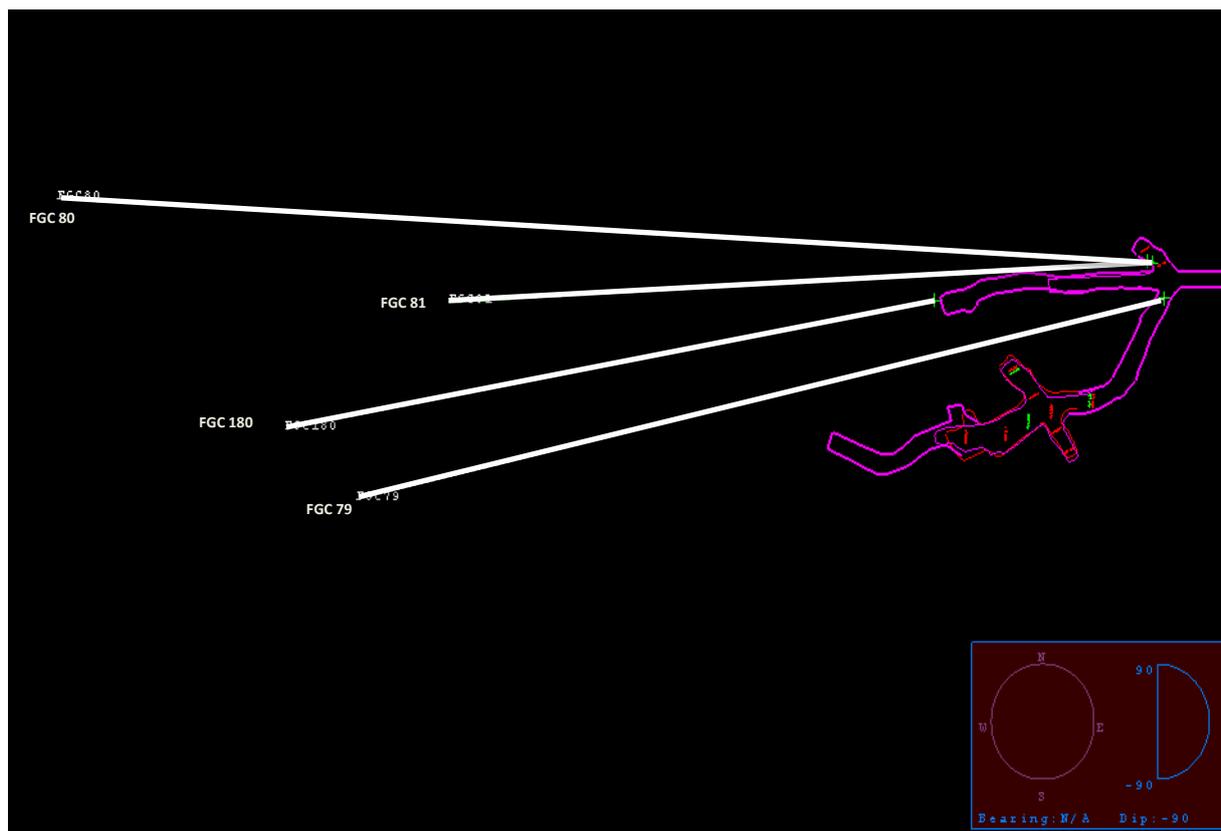


Figure 2.1 : Plan de situation des sondages étudiés (document interne CMG)

2.1 FGC 79

Données techniques du sondage :

- Coordonnées : $x = 246883,00$; $y = 89138,00$; $z = 395$
- Direction : Nord 257,50
- Pendage :
- Profondeur : 260,00m

L'observation macroscopique de la carotte de ce sondage montre une succession de plusieurs faciès recoupés par des niveaux minéralisés.

Pélites noires d'une épaisseur métrique à décimétrique, localement stratifiés, chloritisés, silicifiés et fracturés avec une remobilisation variable des sulfures et des passés carbonatés généralement associés à des failles.

Silts chloritisés avec des sulfures essentiellement la pyrrhotite et des traces de la chalcopirite et la sphalérite avec des traces d'arsénopyrite losangique parcourus par des veines remplis par des sulfures.

Laves rhyolitiques avec de la pyrrhotite, la pyrite, recoupées par des veines à remplissage carbonaté ou sulfuré.

Laves à bulles avec une dissimulation développée des sulfures tels que la pyrrhotite, la pyrite, et la chalcopirite. (Figure 2.2)

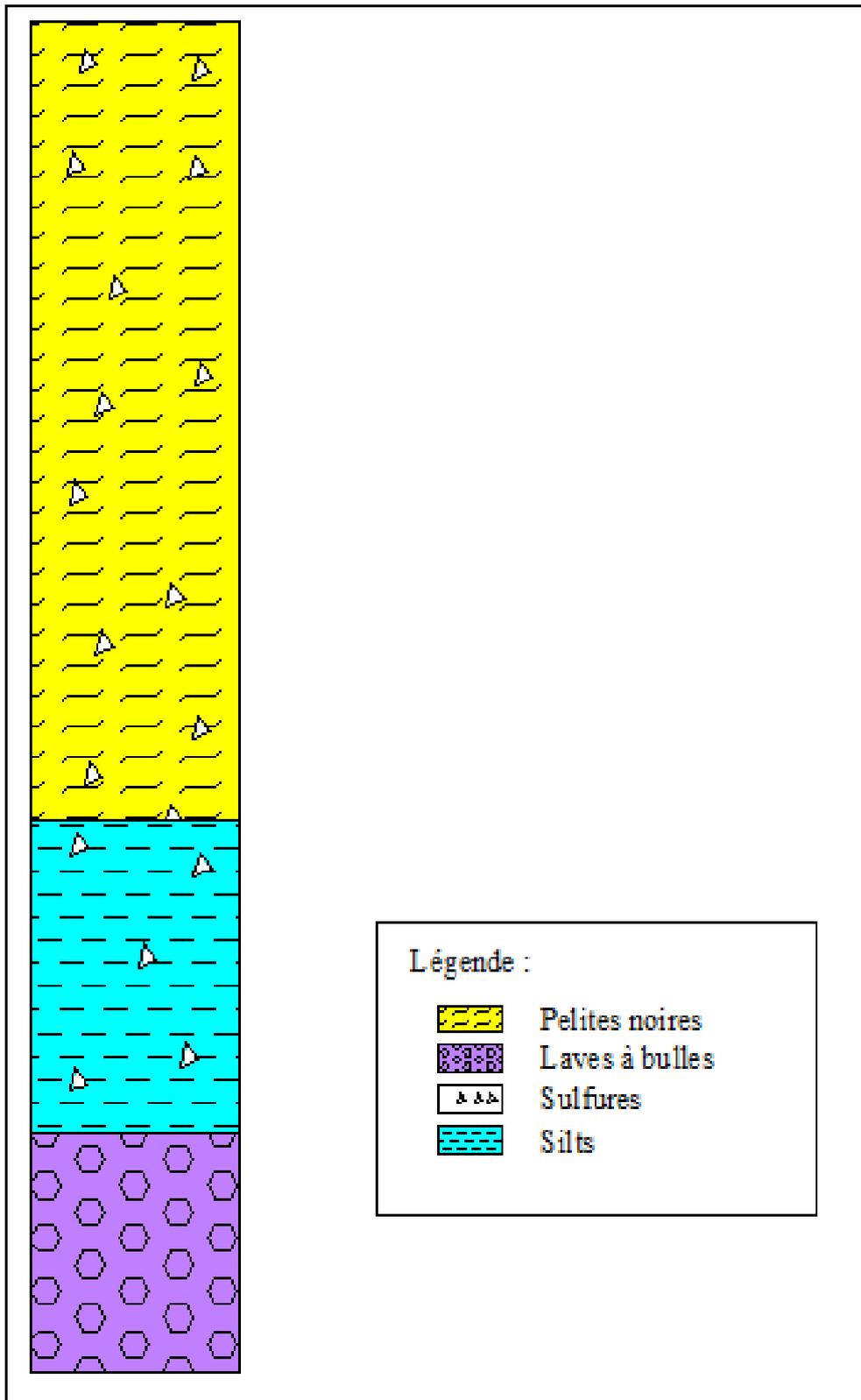


Figure 2.2 : Log stratigraphique du sondage carotté FGC 79

2.2 FGC 180

Données techniques du sondage :

- Coordonnées : $x = 246810,560$; $y = 89182,38$; $z = 401$
- Direction : Nord 257,50
- Pendage : (0°)
- Profondeur : 207.50

Le long de la carotte de ce sondage, on distingue quatre faciès avec deux qui se répètent, séparés par des bandes minéralisées, il s'agit de métapelite et de silts. Ce qui indique un plissement.

Métapelite stratifié avec des passés carbonatés pyriteux, associés à l'arsénopyrite automorphe, et de la pyrrhotite, pyrite, sphalérite disséminé et interceptés par des veinules carbonatées, pyrrhotite et pyrite de 30° par rapport à l'axe de la carotte. On note aussi la présence des veines de quartz avec de la pyrite secondaire qui sont subparallèles avec une chloritisation au niveau des fractures.

Silts chloritisés avec de la pyrrhotite, la pyrite et la sphalérite. Et aussi des traces d'arsénopyrite, la chalcopryrite et la galène qui sont soit disséminés soit en remplissage des veines qui ont un angle de 30° ou 150° par rapport à l'axe de la carotte.

Laves rhyolitiques avec une minéralisation plissée et dissiminée formée par la pyrrhotite, pyrite, arsénopyrite automorphe, des taches millimétriques à centimétriques de la chalcopryrite et aussi quelque trace de la galène et la sphalérite. Elles sont recoupées par des veines remplis par des carbonates et des sulfures à 55° ou 35° de l'axe.

Laves à bulles avec une minéralisation et dissiminée formée par la pyrrhotite, la pyrite secondaire et quelque trace de la chalcopryrite et la sphalérite.

La stratification change sa direction le long du Sondage de 0° , 30° , 60° , 150° .

La direction de la schistosité S1 est constante le long de la partie sédimentaire.

La minéralisation massive est rencontrée deux fois le long du sondage (de 92,30 à 97,00) et (de 136.50 à 137,40). Elle est composée de la pyrrhotite, la pyrite, l'arsénopyrite automorphe, sphalérite et de la galène ainsi que des taches de la chalcopryrite. (Figure 2.3)

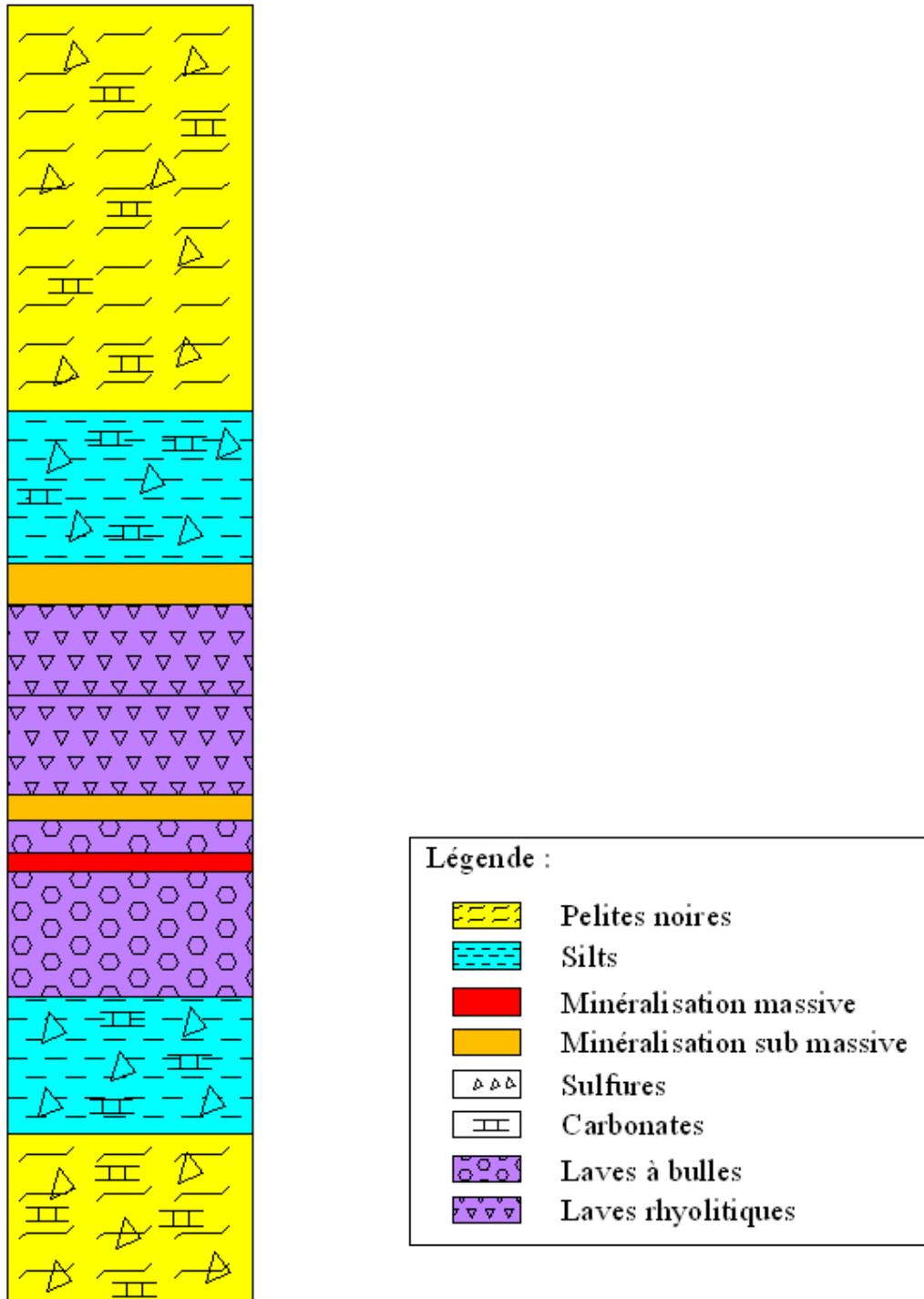


Figure 2.3 : Log stratigraphique du sondage carotté FGC 180

2.3 FGC 82

Données techniques du sondage :

- Coordonnées : $x = 246877,60$; $y = 89193,40$; $z = 396$
- Direction : Nord 267,00
- Pendage : (+7°)
- Profondeur : 276.50

L'observation macroscopique de la carotte de ce sondage montre une succession de trois facies :

métapelite noir : facies dominant, plus au moins chloritisé localement stratifié et fracturé à dissimulation des sulfures localement orientés suivant les plans de schistosité. Ces métapelite sont intercalés par des niveaux carbonatés localement plissés, à faible dissimulation de sulfure.

Silts : facies vers fortement chloritisé avec une faible remobilisation des sulfures essentiellement la pyrrhotite et la pyrite.

Laves à bulles : facies volcanique à concentration locale de quartz et remobilisation faible de sulfure (figure 2.4)

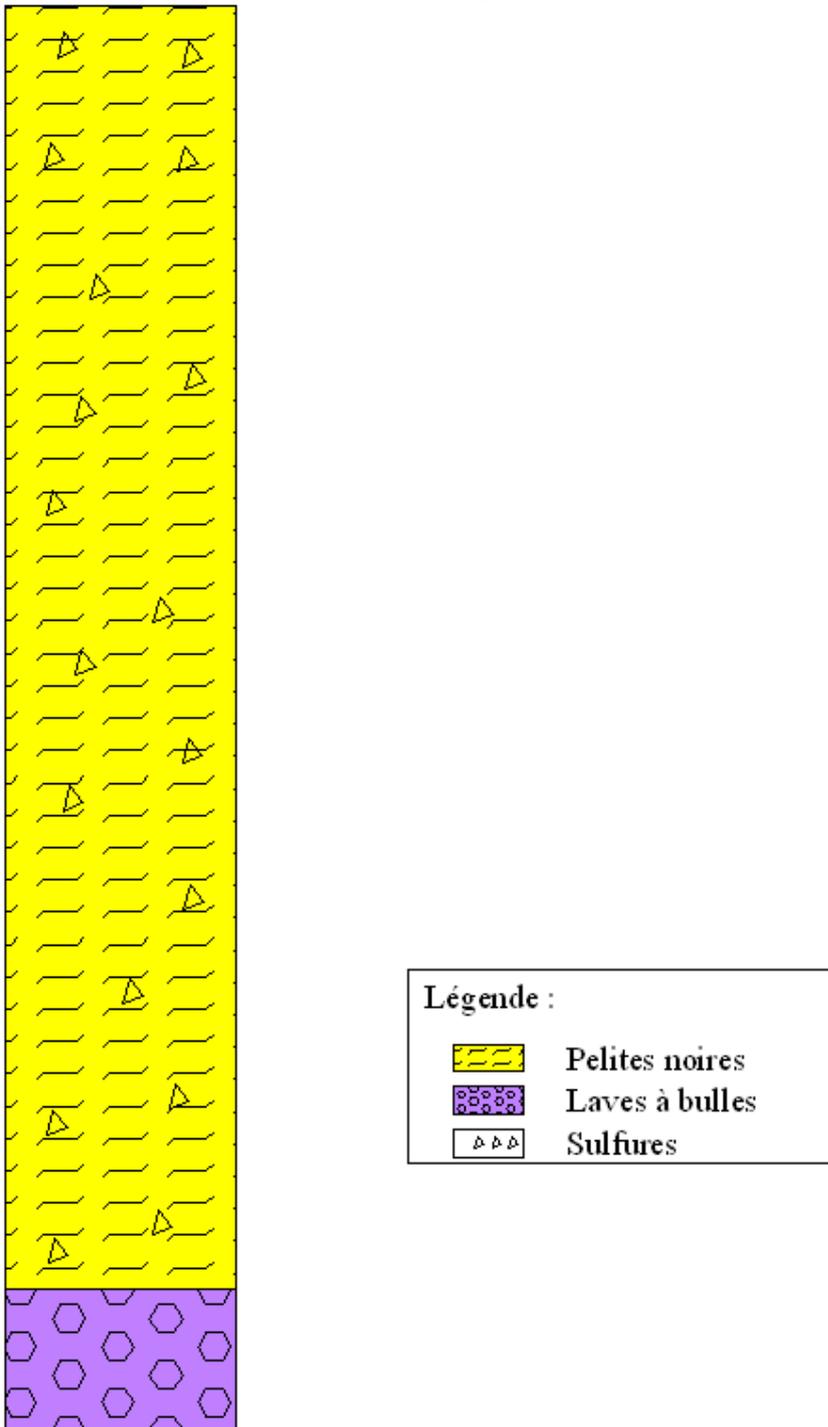


Figure 2.4 : Log stratigraphique du sondage carotté FGC 82

3. CONCLUSION DE L'ETUDE LITHOLOGIQUE

A la lumière de la description des trois sondages ;(FGC180, FGC79, FGC82) ; on remarque que la minéralisation se localise dans un encaissant de volcano sédimentaire. Cet encaissant a une lithologie fine, entrecoupé parfois par des veinules a remplissage carbonatées liées à l'activité hydrothermale.

On trouve aussi les slumps qui montrent la présence d'une structure pentée (Stow1986).

A l'aide de ces informations et de la coupe ci-dessous (figure 2.5) on constate que la minéralisation se situe au sein d'une structure plissée.

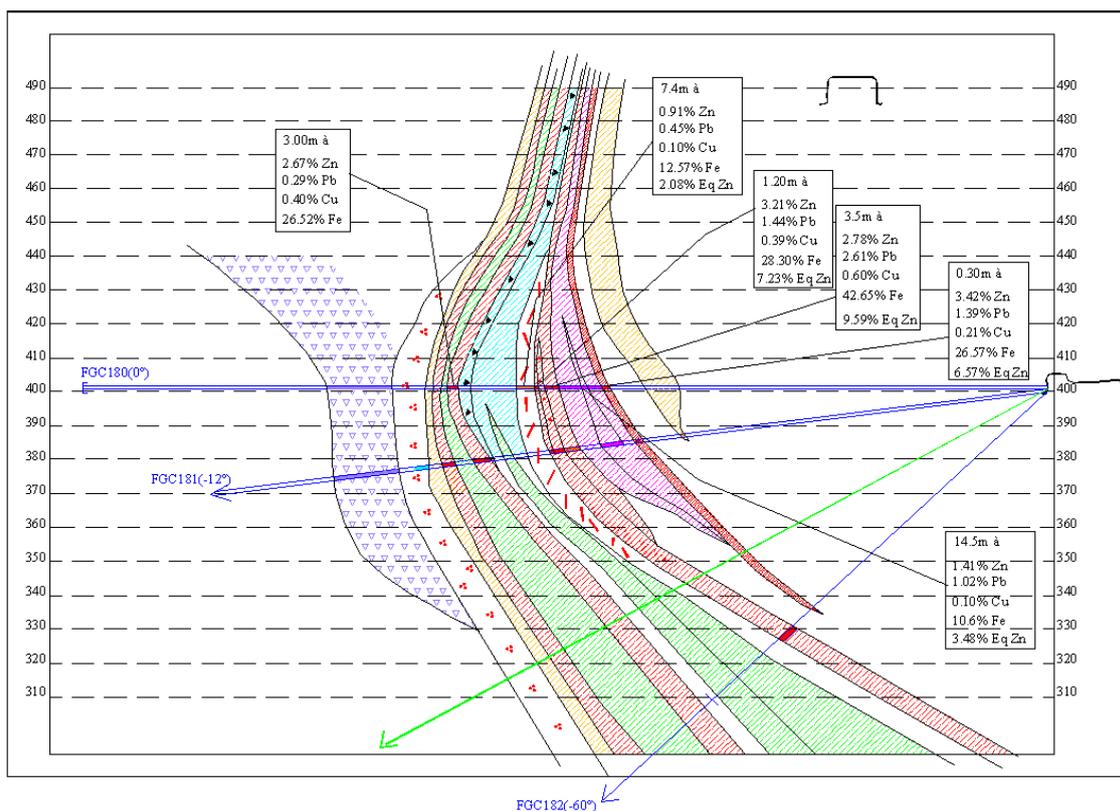


Figure 2.5 : Coupe géologique montrant la position du sondage FGC180 par rapport au corps extrême ouest descenderie (document interne CMG)

4. ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE

4.1 Objectif d'étude

Cette étude vise :

- ✓ La détermination et la caractérisation de la minéralogie et de la texture des différents faciès et des types d'altérations hydrothermale rencontrées.

La détermination des différentes formes que peuvent avoir les sulfures au sein de l'encaissement volcano-sédimentaire la différenciation entre les différentes zones en se basant sur la dominance et la rareté des minéraux dans chaque zone.

4.2 Étude de faciès

4.2.1 Description des échantillons

L'encaissement de la minéralisation comprend quatre faciès :

Les métapelites, les silts, les laves rhyolitiques et les carbonates

L'échantillonnage s'est effectué dans deux zones :

- ✓ La galerie d'étude au niveau 400 où on a collecté huit échantillons.
- ✓ Au niveau du sondage où on a récolté cinq échantillons.

4.2.2 Métapelite

a) Description macroscopique

Métapelite : de couleur noire sur patine et grise sur cassure fraîche à grains fins avec une stratification horizontale ou oblique et avec la présence des figures sédimentaires « slumps » (planche 1, photo 1)

b) Description microscopique

Faciès gréseux-pelitique à gréseux formé par une matrice fine à quartz primaire et des cristaux de biotites plus au moins chloritisées (planche 2 photo 1). On note la présence des horizons à quartz secondaires seule qui indiquent une silicification des métapelites, ou des horizons à quartz associés à des cristaux de calcites (planche 2 photo 2).

Stage fin d'étude

Au contact des carbonates, on note une forte biotitisation (planche 2, photo 3) qui est le résultat de la transformation du chlorite précoce sous l'effet d'un métamorphisme de contact (Hibti 2001). On note également une séricitisation qui suit la schistosité S_1 (planche2, photo 4).

4.2.2 Silts

a) Description macroscopique

Faciès de couleur verdâtre à grains très fins, affecté par une importante fracturation (planche 1, photo 2).

b) Description microscopique

Faciès formé par une matrice fine à quartz primaire et biotite. On note la présence de quartz secondaire associé à la minéralisation. Ces silts sont affectés par une séricitisation, biotitisation et une forte chloritisation qui est la transformation de la biotite primaire, sous l'effet de l'altération hydrothermale. Cette dernière est généralement localisée au contact des veines et fractures à remplissage carbonaté, (planche2, photo 5).

4.2.3 Faciès volcanique

Il comprend deux faciès : des laves rhyolitiques et des laves à bulles ou tufs rhyolitiques.

a) Description macroscopique

Les laves rhyolitiques (planche 1, photo 3): faciès qui comprend des veines silicifiées remplies par la pyrrhotite d'une taille centimétrique avec de la chalcopyrite dissiminée et aussi des cristaux d'arsénopyrites losangiques de différente taille.

Les laves à bulles (planche 1, photo 4) : avec un remplissage siliceux qui donne une teinte claire au faciès et la présence de la pyrrhotite dissiminée.

b) Description microscopique

Les Laves : faciès volcanique microcristallin qui comprend une texture microolithique avec des cristaux de quartz, biotites et microlites de plagioclases (planche2, photo 6) et des veines silicifiées remplies par des sulfures entourés par des cristaux de biotites plus au moins chloritisés.

4.2.4 Carbonate

a) Description macroscopique

Ce faciès se présente soit sous forme de lentilles où montrant une alternance rythmique avec des métapelites noirs ou bien sous forme de remplissage des fractures. On note la présence de sulfures dissiminés.

b) Description microscopique

Ce faciès est formé par des grands cristaux de calcites avec quelques cristaux de quartz et de biotites. (Planche 2, photo 3)

4.3 Les formes des sulfures

La minéralisation dans l'encaissant prend plusieurs formes, on distingue:

- Minéralisation syngénétique stratiforme (planche 1, photo 5).
- Minéralisation syngénétique moulée par les slumpes à pyrrhotite et sphalérite (planche 1, photo 1).
- Minéralisation dissiminée et orientée selon S_1 à pyrrhotite et pyrite (planche 2, photo 4).
- Minéralisation plissée (planche 1, photo 6).

Stage fin d'étude
Planche 1



Photo 1



photo 2



Photo 3



photo 4

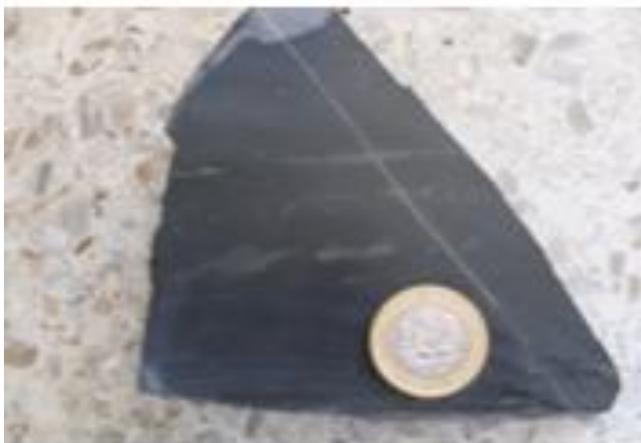


Photo 5



photo 6

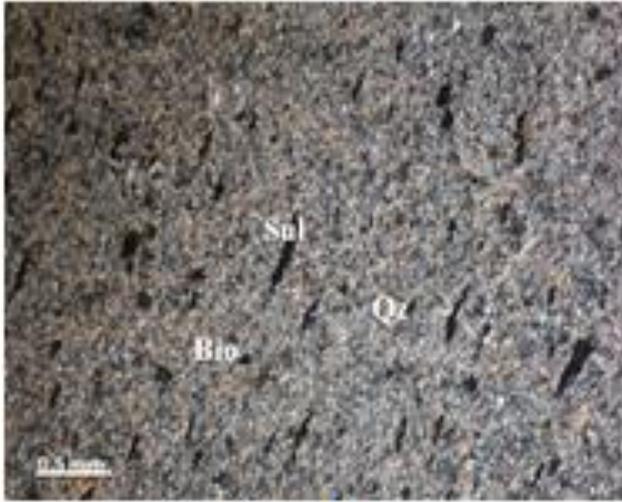


Photo 1

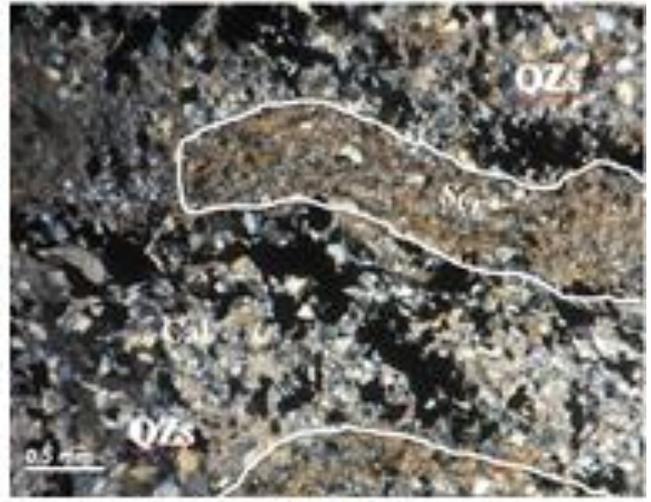


Photo 2

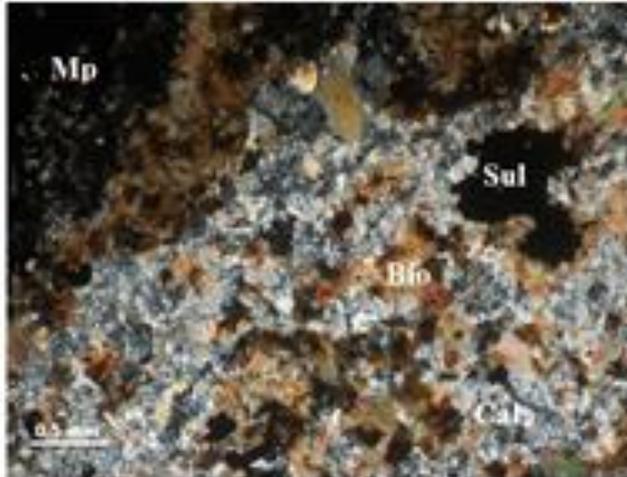


Photo3

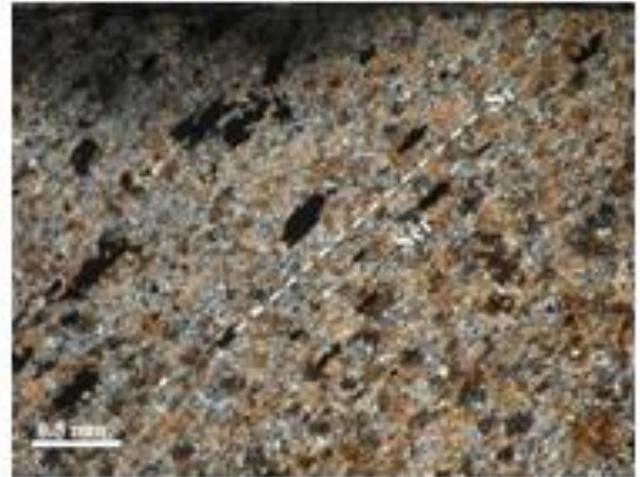


Photo 4

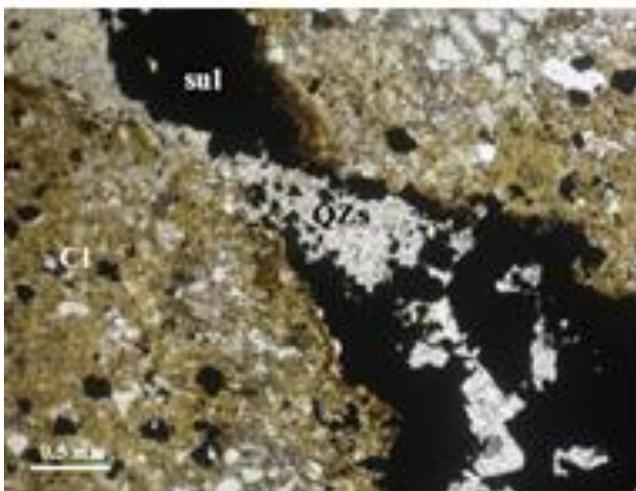


Photo 5

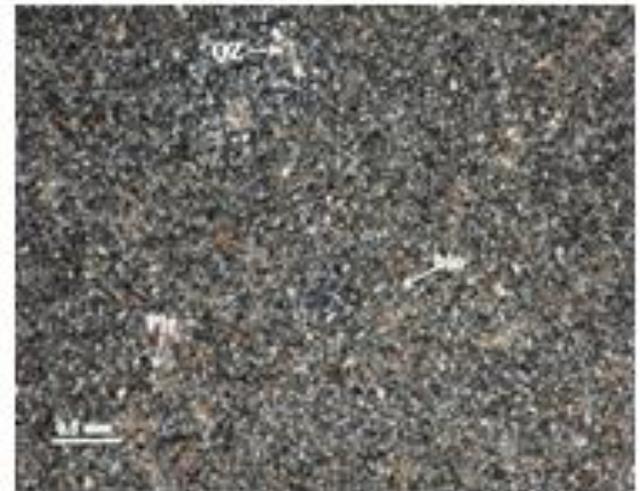


photo 6

Planche 2

Photo 1 : faciès gréseux pelitique avec une matrice fine.

Photo 2 : l'alternance entre des niveaux gréseux avec des niveaux pelitique.

Photo 3 : contacte entre les métapelites et les carbonates sur une lame.

Photo 4 : une orientation de la séricite et les sulfures suivant la S_1 .

Photo 5 : chloritisation au contact de veine a remplissage de sulfure et quartz.

Photo 6 : faciès volcanique avec des cristaux fins.

Liste des abréviations :

Mp : Métapelite

Qz : Quartz primaire

Qzs : Quartz secondaire

Sér : Séricite

Sul : Sulfures

Cl : Chlorite

Bio : Biotite

Cal : calcite

4.4 Conclusion de l'étude pétrographique

Cette étude a révélé que les sulfures sont encaissés dans un encaissant volcano-sédimentaire qui comprend :

Les métapelites, les silts, les laves à bulles, les laves rhyolitiques et les carbonates.

Ces faciès sont affectés par une altération hydrothermale qui se manifeste par :

La chloritisation : Elle est relativement réduite, mais elle est parfois très développée dans certains faciès fortement hydrothermalisés, ou elle se présente sous forme de lamelle.

La biotitisation : Elle est très développée dans tous les faciès encaissant la minéralisation. Les biotites sont présentées sous forme de taches parfois très abondantes. Elles seraient d'origine précoce métamorphique.

La séricitisation : les séricites sont très abondantes dans tous les échantillons étudiés. Il s'avère difficile de distinguer les séricites métamorphiques de celles issues de l'altération hydrothermale. En règle générale, la séricitisation apparaît aussi bien au niveau du mur que du toit de la minéralisation. Les séricites sont rencontrées également dans les taches de la minéralisation dissiminée, où elles semblent accompagner le dépôt du minerai.

La silicification : altération toujours présente dans les faciès étudiés, elle est souvent associée aux phases métalliques, et localisée au niveau des fracturer tardives.

La carbonatation : altération d'importance moindre par rapport aux précédentes. Elle se matérialise par des plages plus ou moins grandes de carbonates et des fissures à carbonates. Elle est principalement développée au niveau du toit de la minéralisation.

5. ETUDE MÉTALLOGRAPHIQUE

5.1 Objectif de l'étude

Cette étude a pour but la caractérisation des différentes phases minérales et leur chronologie.

5.2 Description des échantillons

Description microscopique

Cette étude a porté sur une dizaine de sections polies recueillies sur les zones minéralisées interceptées par les sondages et a permis de mettre en évidence quatre types de minéralisations : massive, sub-massive, litée, dissiminée.

5.2.1 Minéralisation massive :

C'est la minéralisation la plus importante du point de vue économique. Il s'agit d'une minéralisation grossière riche en lambeaux d'encaissant.

L'observation microscopique révèle une dominance de la pyrrhotite qui présente des macles de pression témoignant de sa déformation et de l'arsénopyrite automorphe fracturé. La sphalérite sous forme de tache ou remplissage des fractures de l'arsénopyrite et de la pyrrhotite, des taches de la chalcoppyrite dans la pyrrhotite et la sphalérite. Aussi elle remplit les fractures de l'arsénopyrite et la sphalérite, la galène sous forme de petites taches dans la pyrrhotite et la sphalérite et quelques cristaux de pyrite rondes en relation avec la pyrrhotite (planche 3, photo 1).

5.2.2 Minéralisation sub-massive :

La minéralisation sub-massive est également importante économiquement, elle apparaît sous forme de bandes plissés suivant la stratification S_0 (planche 3, photo 2). Elle est à dominance de pyrrhotite avec des cristaux de l'arsénopyrite losangique et quelque tache de la chalcoppyrite par foi entoure la sphalérite (planche 3, photo 3).

5.2.3 Minéralisation litée :

Il s'agit d'une minéralisation pauvre économiquement, interstratifiée correspondant à l'alternance de fines couches polymétalliques avec des niveaux de métapelite. L'observation microscopique montre une dominance de la galène avec des taches de la chalcopryrite, pyrrhotite, sphalérite et quelques traces de la pyrite (planche3, photo4).

5.2.4 Minéralisation dissiminée :

Il s'agit d'une minéralisation d'intérêt économique mineur, elle se présente sous forme de taches millimétriques à centimétrique de sulfures étirés suivant la schistosité (S_1).

Microscopiquement, ces taches de sulfures sont composées essentiellement de pyrrhotite, pyrite, et des cristaux de sphalérite galène et de chalcopryrite dans les stockwerk (planche 3, photo 5).

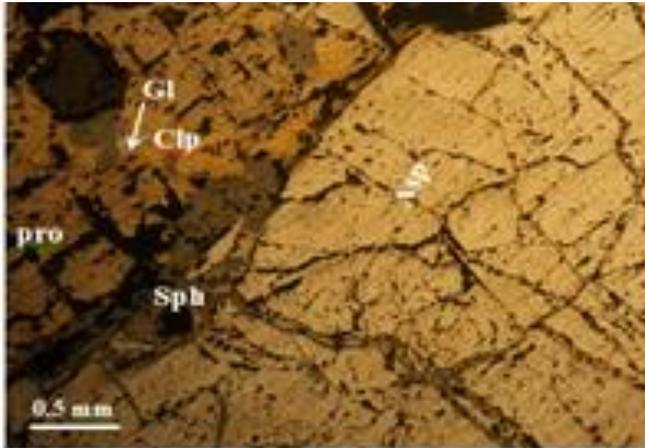


Photo 1



photo 2



Photo 3

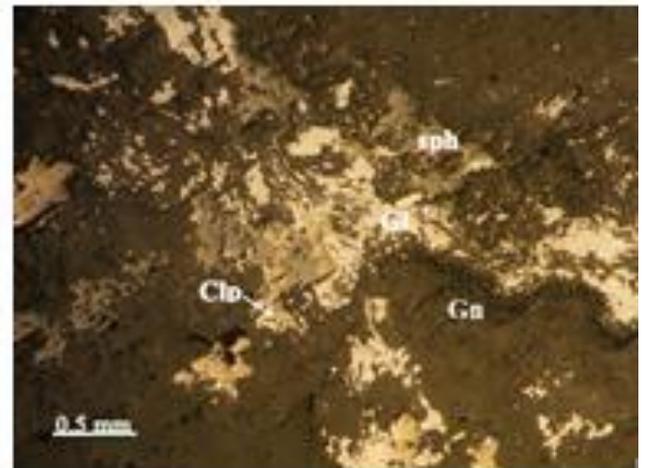


photo 4



Photo 5

Photo 1 : minéralisation massive à arsénopyrite, pyrrhotite, sphalérite, chalcopryrite et la galène.

Photo 2 : minéralisation plissé.

Photo 3 : montre un minéral de l'arsénopyrite losangique associé à la pyrrhotite.

Photo 4 : un litage entre la minéralisation et la gangue.

Photo 5 : dissimulation de sulfure.

Liste des abréviations :

Asp : Arsénopyrite

Pro : pyrrhotite

Gn : gangue

Gl : galène

Clp : chalcopryrite

Sph : sphalérite

5.3 Conclusion de l'étude métallographique

L'étude métallographique menée sur les sections polies confectionnées à partir des carottes de sondages et de la galerie a montré une population d'espèces métalliques riches et variées :

La pyrrhotite représente le sulfure de fer dominant au niveau du gisement de Hajjar. Elle est présente dans pratiquement tous les échantillons. Parfois, elle représente jusqu'à 80% du volume minéralisé. La pyrrhotite est souvent en association avec la pyrite.

La sphalérite et la chalcopryrite sont les phases les plus abondantes après la pyrrhotite, ce sont les minéraux les plus exploités

La galène est la deuxième cible pour l'exploitation après la sphalérite et la chalcopryrite mais sa présence est secondaire ; ceci est montré par l'étude des sections polies.

L'arsénopyrite et la pyrite sont des minéraux non exploités et n'ont qu'une étendue limitée.

Chapitre III

Etude géochimique et statistique

1. INTRODUCTION

L'étude géochimique de la zone étudiée se base sur l'interprétation des analyses chimiques de sondage FGC 180 faite par Reminex. Cette étude nous à permet de réaliser :

- Une corrélation entre les éléments : Cu, Pb, Zn et As
- La relation entre l'évolution de ces éléments avec la nature des faciès et la profondeur.

2. OBJECTIF

Interprétation des analyses chimiques des sondages, pour distinguer les différentes affinités qui existent entre le Cu, Pb, Zn , Fe et l'évolution de l'As.

3. ETUDE CHIMIQUE

3.1 Les analyses chimiques

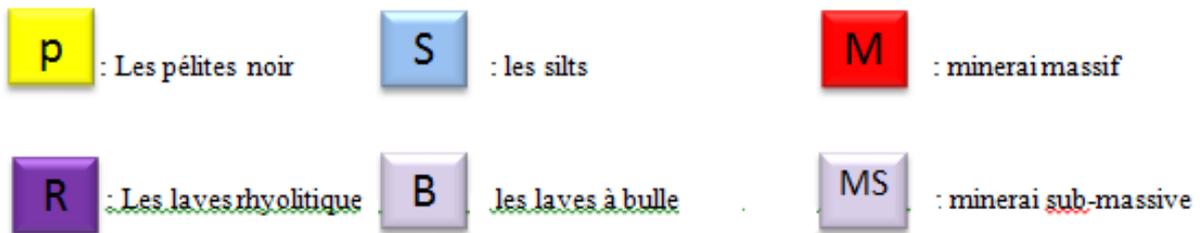
Le tableau en dessous présente les différentes teneurs des éléments en fonction de la lithologie et la profondeur du sondage FGC 180. Que l'on va traiter.

profondeur	lithologie	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Fe (%)	Ag (%)	Co (%)	As (%)
25.20 - 26.00	P1	0,0775	0,0356	0,0225	4,45	0,0007	0,0029	0,0127
26.00 - 27.00	P2	0,0978	0,0393	0,0074	2,78	0,0002	0,0019	0,002
27.00 - 28.00	P3	0,0349	0,0101	0,004	2,16	0,0001	0,0023	0,002
28.00 - 29.00	P4	0,0134	0,0086	0,0024	1,74	0,0001	0,0014	0,002
53.80 - 55.00	P5	1,54	1,07	0,0308	9,04	0,0007	0,0043	0,1508
55.00 - 56.00	P6	0,94	0,42	0,0234	7,58	0,0001	0,0029	0,0529
56.00 - 57.00	P7	0,7	0,44	0,0296	8,36	0,0001	0,0027	0,002
57.00 - 58.00	P8	0,37	0,18	0,0234	4,65	0,0001	0,0024	0,002
58.00 - 59.00	P9	0,17	0,12	0,0267	4,96	0,0001	0,0024	0,002
59.00 - 60.00	P10	0,71	0,38	0,0283	5,75	0,0001	0,0026	0,0078
60.00 - 61.00	P11	0,88	0,53	0,0367	7,81	0,0001	0,004	0,1457
61.00 - 62.00	P12	0,59	0,59	0,0266	6,87	0,0001	0,0036	0,0679
62.00 - 63.00	P13	0,8	0,62	0,0356	7,14	0,0001	0,004	0,3951
63.00 - 64.00	P14	0,96	0,29	0,0349	5,93	0,0001	0,0027	0,002
64.00 - 65.00	P15	1,18	1,32	0,0402	8,15	0,0001	0,0066	0,8925
75.30 - 75.70	S16	1,01	0,5	0,0687	5,91	0,0006	0,0026	0,0063
76.00 - 77.00	S17	1,4	0,65	0,0909	8,84	0,0004	0,0041	0,002
77.00 - 78.00	S18	1,6	1,03	0,092	9,46	0,0011	0,0031	0,002
78.00 - 78.90	S19	0,94	0,58	0,19	8,19	0,0004	0,002	0,01
78.90 - 79.50	S20	1,45	0,99	0,0636	8,89	0,0005	0,0018	0,0169
81.50 - 82.50	S21	0,71	0,51	0,0912	10,17	0,0003	0,0016	0,018
82.50 - 83.50	S22	0,51	0,65	0,0641	8,43	0,0008	0,0017	0,0101
83.50 - 84.50	S23	2,32	0,92	0,0909	11,82	0,0004	0,0019	0,0174
84.50 - 85.50	S24	1,3	1,26	0,13	11,8	0,0009	0,0044	0,25
85.50 - 86.50	S25	0,77	0,66	0,1	9,14	0,0006	0,0024	0,03
86.50 - 87.50	S26	1,97	1,19	0,11	12,06	0,0006	0,0024	0,08
87.50 - 88.50	S27	1,84	0,69	0,0833	9,9	0,0006	0,0021	0,018
88.50 - 89.50	S28	1,92	1,84	0,0811	11,31	0,0011	0,0022	0,7015
89.50 - 90.50	S29	1,79	1,32	0,0657	8,96	0,0007	0,0013	0,0126
90.50 - 91.50	S30	1,06	1,34	0,0717	11,44	0,0005	0,0019	0,0692
91.50 - 92.50	S31	1,6	1,63	0,16	17,68	0,0009	0,0011	1,98
92.50 - 93.50	M32	2,91	3,26	0,29	40,05	0,0018	0,0033	0,12
93.50 - 95.00	M33	2,78	2,37	0,64	44,82	0,0022	0,0011	0,05
95.00 - 96.00	M34	2,64	2,33	0,84	41,98	0,0022	0,0091	2,32
96.00 - 96.60	M35	0,14	0,26	0,28	20,18	0,0005	0,0017	0,01
96.60 - 97.30	M36	1,9	1,6	0,36	38,84	0,0021	0,0133	1,85
97.30 - 98.30	R37	0,4	0,44	0,16	15,72	0,0002	0,0021	0,07
98.30 - 98.75	R38	3,49	2,76	0,18	30,47	0,0006	0,0021	0,02
98.75 - 99.50	R39	3,1	0,9	0,47	27,4	0,0003	0,0031	0,03
99.50 - 100.50	R40	1,71	0,69	0,18	24,8	0,0005	0,0014	0,13
100.50 - 101.50	R41	0,74	1,03	0,0928	10,7	0,0008	0,0072	0,6422
101.50 - 102.50	R42	1,21	0,74	0,13	15,06	0,0009	0,0028	1,03
102.50 - 103.50	R43	1,44	1,41	0,11	12,71	0,0009	0,002	0,39
103.50 - 104.50	R44	0,24	0,038	0,11	14,02	0,0003	0,0013	0,33
104.50 - 105.50	R45	0,0649	0,0112	0,0736	12,8	0,0004	0,0033	0,2125
105.50 - 106.30	R46	0,79	0,0332	0,077	13,46	0,0004	0,0028	0,1944
106.30 - 107.10	R47	1,23	0,058	0,15	10,72	0,0007	0,0041	0,92
107.10 - 107.90	R48	1,74	0,0084	0,079	10,52	0,0003	0,0023	0,0329
110.20 - 111.20	R49	0,0426	0,0113	0,18	14,36	0,0004	0,0074	0,02
111.20 - 112.20	R50	0,0195	0,0119	0,23	13,87	0,0004	0,005	0,29
112.20 - 113.50	R51	0,0193	0,0358	0,18	24,82	0,0008	0,0084	0,38
115.30 - 116.30	R52	0,0171	0,0186	0,18	19,65	0,0005	0,0103	0,87
116.30 - 117.30	R53	0,0149	0,016	0,52	27,08	0,0006	0,0096	0,28
117.30 - 118.30	R54	0,0208	0,0123	0,34	33,9	0,0006	0,0103	0
118.30 - 119.30	R55	0,0131	0,011	0,33	31,71	0,0005	0,0096	0,01
119.30 - 120.30	R56	0,0352	0,0157	0,22	31,31	0,0007	0,0122	0,25
120.30 - 121.00	R57	0,028	0,0327	0,43	34,53	0,0007	0,0456	9,5
121.00 - 122.00	R58	2,83	0,0341	0,4	28,77	0,0005	0,0261	3,31

118.30 - 119.30	R55	0,0131	0,011	0,33	31,71	0,0005	0,0096	0,01
119.30 - 120.30	R56	0,0352	0,0157	0,22	31,31	0,0007	0,0122	0,25
120.30 - 121.00	R57	0,028	0,0327	0,43	34,53	0,0007	0,0456	9,5
121.00 - 122.00	R58	2,83	0,0341	0,4	28,77	0,0005	0,0261	3,31
122.00 - 123.00	R59	2,63	0,82	0,44	25,41	0,0042	0,0193	1,03
123.00 - 124.00	R60	2,56	0,0297	0,35	25,37	0,0007	0,0186	0,27
124.00 - 124.90	R61	0,0629	0,0188	0,3	27,37	0,0004	0,0194	0,12
124.90 - 125.90	R62	0,026	0,0405	0,2	7,95	0,0005	0,0057	0,2
125.90 - 126.50	R63	0,0232	0,0169	0,096	10,35	0,0003	0,0077	0,2109
126.50 - 127.50	SB64	0,18	0,17	0,35	49,45	0,0015	0,0398	0,24
127.50 - 128.50	SB65	0,0826	0,0717	0,34	36,53	0,0011	0,0304	0,47
128.50 - 129.50	SB66	0,034	0,0196	0,33	42,09	0,0009	0,0297	0,15
129.50 - 130.50	B67	0,0245	0,0169	0,33	31,12	0,0003	0,0218	0,41

Figure 3.1 Tableaux des analyses géochimiques

Légende :



3.2 Traitements des données

A l'aide des données des analyses chimiques, on a essayé de déterminer la relation entre les différents éléments à partir des courbes de corrélations :

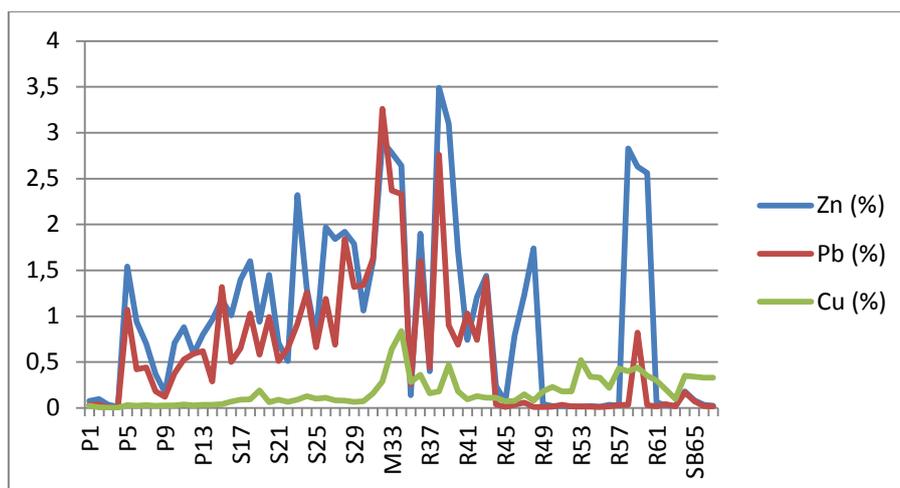


Figure 3.2 Diagramme de corrélation (Zn, Pb, Cu)

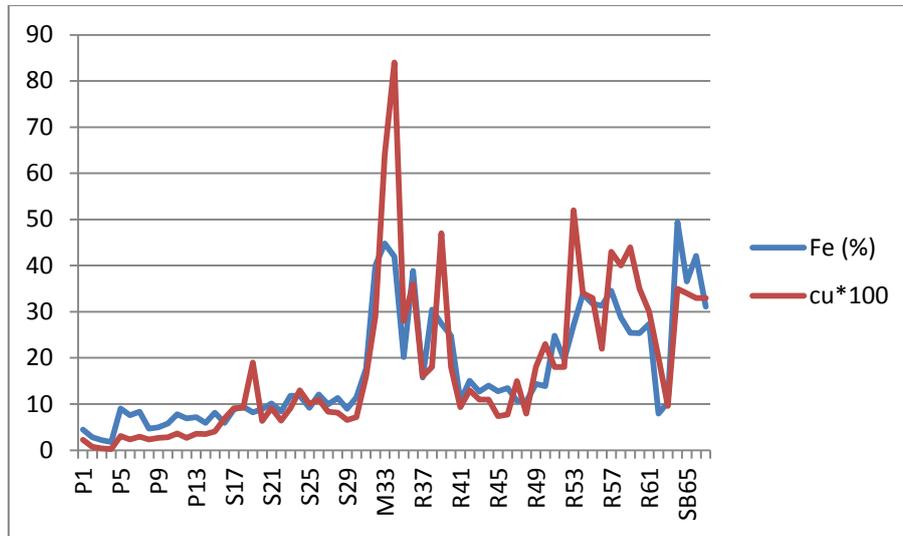


Figure 3.3 Diagramme de corrélation (Fe, Cu*100)

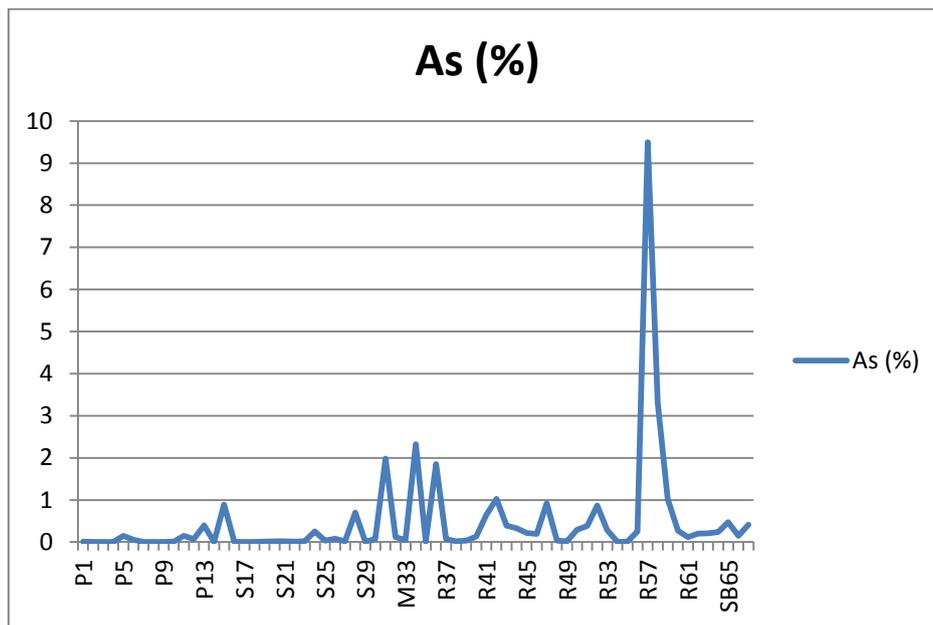


Figure 3.4 Diagramme de corrélation As

3.3 Interprétation

D'après les corrélations réalisées (les graphes en dessus), on constate que :

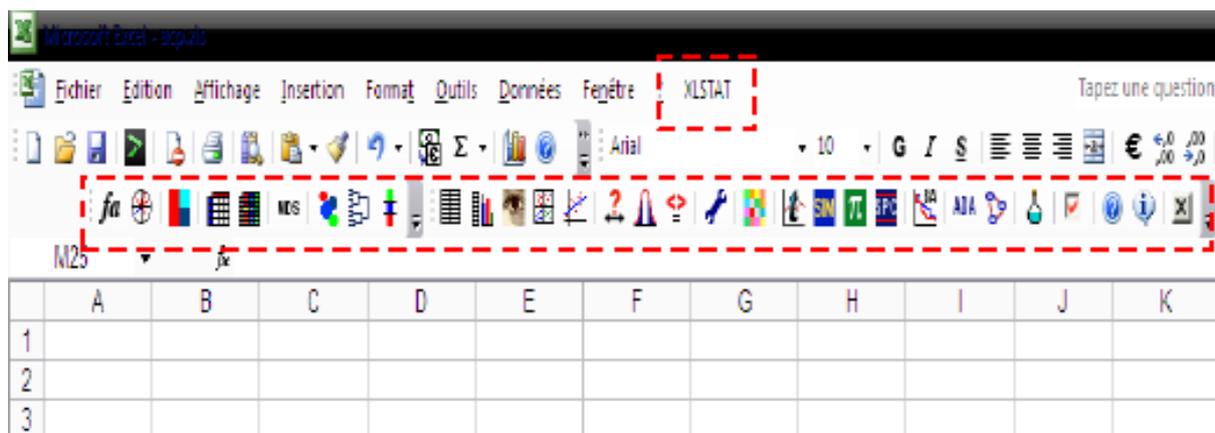
Le Zn et le Pb présentent une affinité entre eux. Par contre le Cu ne présente aucune affinité avec ces deux derniers, mais il présente une corrélation proportionnelle avec le Fr, celui-ci est probablement due à la formule chimique du minéral (la chalcoprite) qui contient le cuivre qui est $CuFeS_2$. On note également que l'As ne présente aucune corrélation avec les autres éléments même s'il présente des teneurs très élevées.

La teneur de Cu est élevée dans les laves et faible dans les métapelites et les silts. Ainsi que les teneurs de Pb et Zn sont moyennes dans les métapelites du toit de sondage, et fort dans les silts. Par contre, la teneur en As ne présente aucune affinité lithologique.

4. ETUDE GÉOSTATISTIQUE

Cette analyse permet d'avoir une photographie mathématique fidèle de la répartition des points correspondants aux prélèvements dans l'espace défini par les facteurs qui sont les éléments analysés.

Le traitement en ACP est effectué à l'aide de XL-STAT, un logiciel lié à l'Excel et qui facilite l'analyse des données.



4.1 Objectif

Trouver des espaces de dimensions plus petites dans lesquels ils soient possibles d'y observer « au mieux » les individus. Et aussi pour des raisons de facilité la visualisation, les espaces retenus seront à deux (plan) ou trois dimensions.

4.2 Traitements des données

A l'aide des données des analyses chimiques, on a essayé de déterminer les corrélations qui existent entre les différents éléments à l'aide de l'analyse à composante principale:

	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Fe (%)	Ag (%)	Co (%)	As (%)
Zn (%)	1	0,739	0,271	0,202	0,438	-0,172	0,043
Pb (%)	0,739	1	0,190	0,219	0,459	-0,283	0,003
Cu (%)	0,271	0,190	1	0,851	0,589	0,519	0,366
Fe (%)	0,202	0,219	0,851	1	0,548	0,652	0,307
Ag (%)	0,438	0,459	0,589	0,548	1	0,286	0,187
Co (%)	-0,172	-0,283	0,519	0,652	0,286	1	0,586
As (%)	0,043	0,003	0,366	0,307	0,187	0,586	1

Figure 3.5 Matrice de corrélation

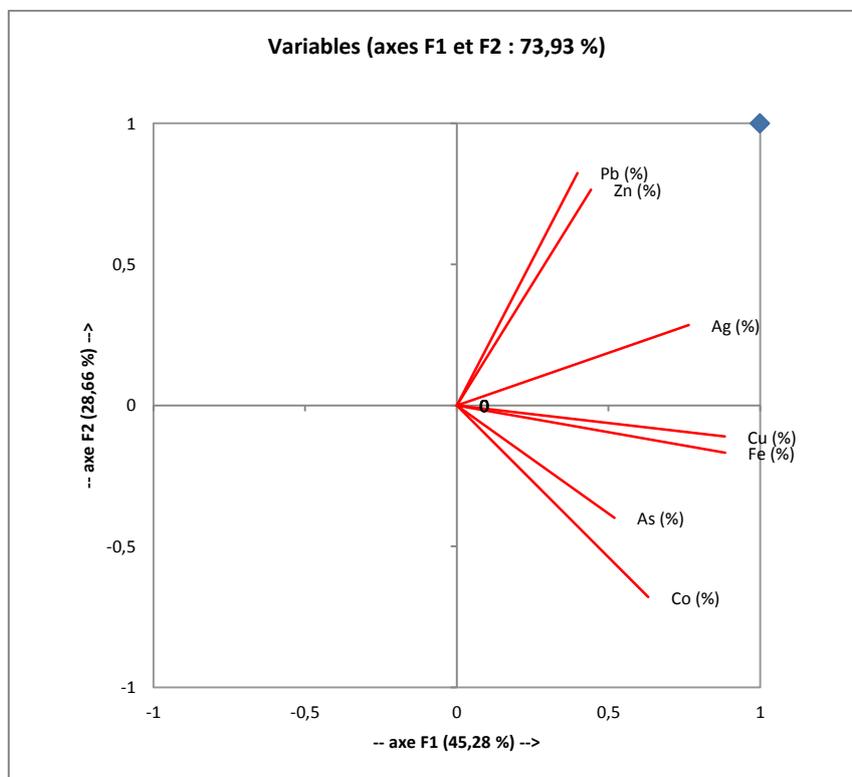


Figure 3.6 Cercle de corrélation

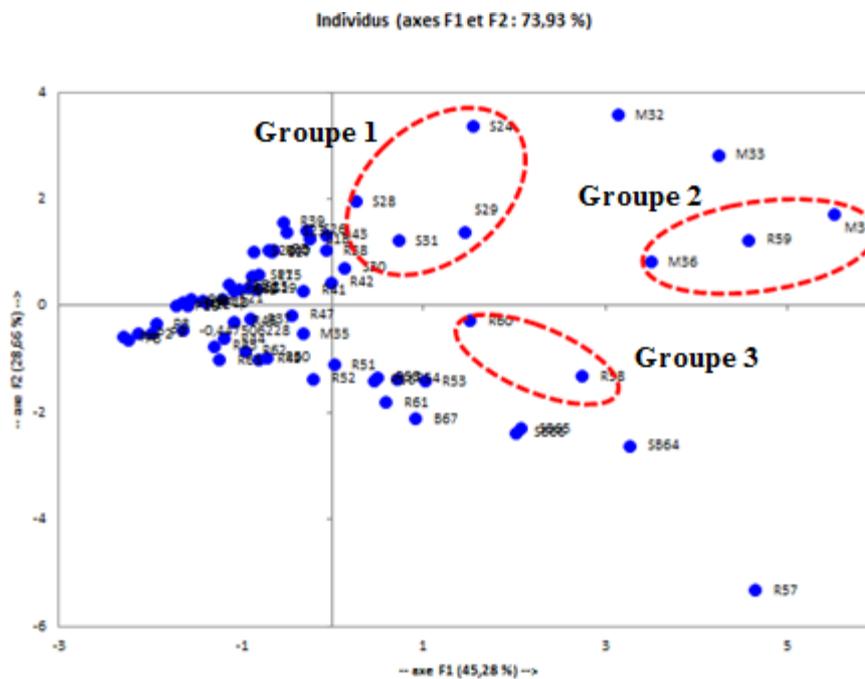


Figure 3.7 Diagramme de dispersion des éléments

4.3 Interprétation

Deux axes factoriels ont été retenus puisqu'ils présentent 73,93% de la variance totale, avec un coefficient de corrélation égale 0.739 entre le Pb et le cuivre, et 0.851 entre le Cu et le Fe. La projection des individus sur le plan factoriel F1-F2 montre l'individualisation de trois groupes principaux :

Groupe 1 : situé du côté positif de l'axe F1, il est constitué par des échantillons de minerai massif. Il est caractérisé par une concentration élevée en Ag.

Groupe 2 : situé à moitié distance du côté positif des deux axes F1 et F2. Ce groupe rassemble des échantillons de silts, et il est caractérisé par concentration élevée à la fois de Zn et Pb.

Groupe 3 : situé du côté négatif de l'axe F1 et s'oppose au groupe 1 selon l'axe F1. Il est constitué par des échantillons de lave rhyolitique. Ces derniers sont riches en Cu et Fe.

5. CONCLUSION

A la lumière des interprétations précédentes, il apparaît qu'on a :

Une zonation au niveau du sondage telle que :

- Les sulfures de Zn et Pb se situent dans les silts et les pélites de l'amont du sondage.
- Les sulfures de Cu se situent dans les laves rhyolitiques sous forme de stockwerk.
- Une concentration d'Ag dans le minerai massif.

L'arsénopyrite qui est un élément indicateur pour l'Or, présente des teneurs très élevées.

Chapitre IV

Etude structurale

1. INTRODUCTION

Dans le but d'établir une comparaison avec les niveaux supérieurs et de compléter l'étude lithostratigraphique, pétrographique et métallographique de l'ouvrage minier reliant le corps principale et l'extrême ouest descendrière (nouveau corps minéralisé), un levé structural a été réalisé au niveau 400 (au fond). Tout en tenant compte de l'abondance des données et des informations géologiques (sondages ; levé structural ; travaux minier), la zone à comparer a été prise dans le niveau 520 (données service géologique CMG)

Ce chapitre portera sur une description de la schistosité, des failles ainsi que la stratification afin d'aboutir à une conception en coupe synthétique illustrant la structure générale du corps minéralisé déformé. Les résultats de cette étude seront présentés pour chaque niveau pour en faire une synthèse générale à la fin. L'étude des différents éléments structuraux relevés sur le terrain ont été reportées par projection stéréographique sur un canevas de wulff et sur des rosaces directionnelles.

2. ETUDE DU NIVEAU 400

2.1 La stratification

La stratification est marquée par une minéralisation synsédimentaire à l'intérieur des métapelites.

Au niveau du parement de la galerie, la stratification apparaît parfois plissée

Les mesures des valeurs de direction et de pendage de la stratification ont été prises au fond (niveau 400). La projection stéréographique de ces valeurs (canevas de Wulff, hémisphère inférieur) montre des directions plus ou moins homogènes, (Figure 4.1 et figure 4.2)

La S_0 est globalement orientée NE – SW (N50 à N60) avec des pendages moyens à fort vers le NW. On note également des directions NW – SE avec des pendages très fort vers le NE.

La projection des pôles de la S_0 confirme les résultats précédents, et se concentre autour d'un pôle moyen (30° au N160), qui correspond à un plan moyen de S_0 orienté N70, 60NW.

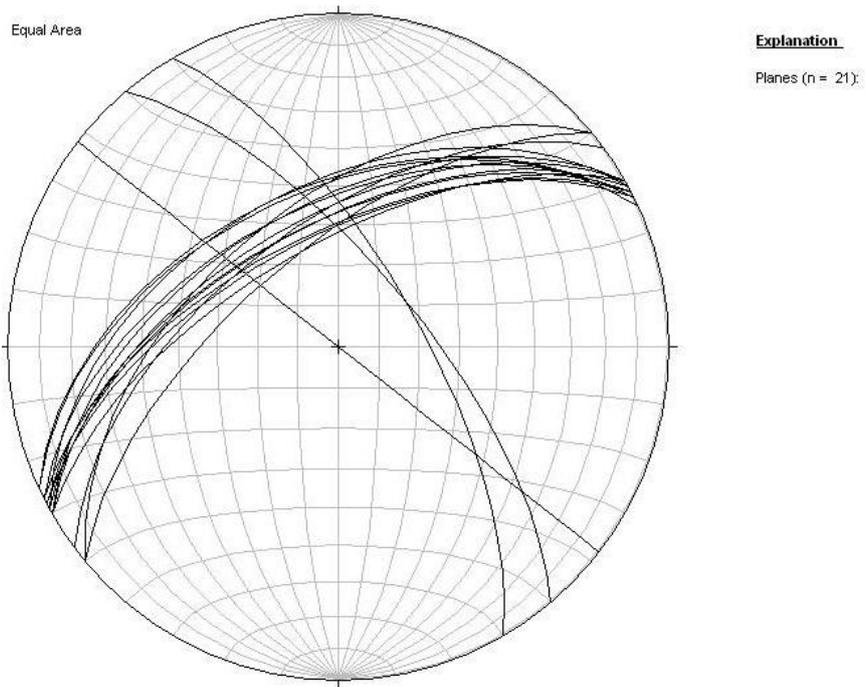


Figure 4.1 : Projection stéréographique de la S_0 (niveau 400)

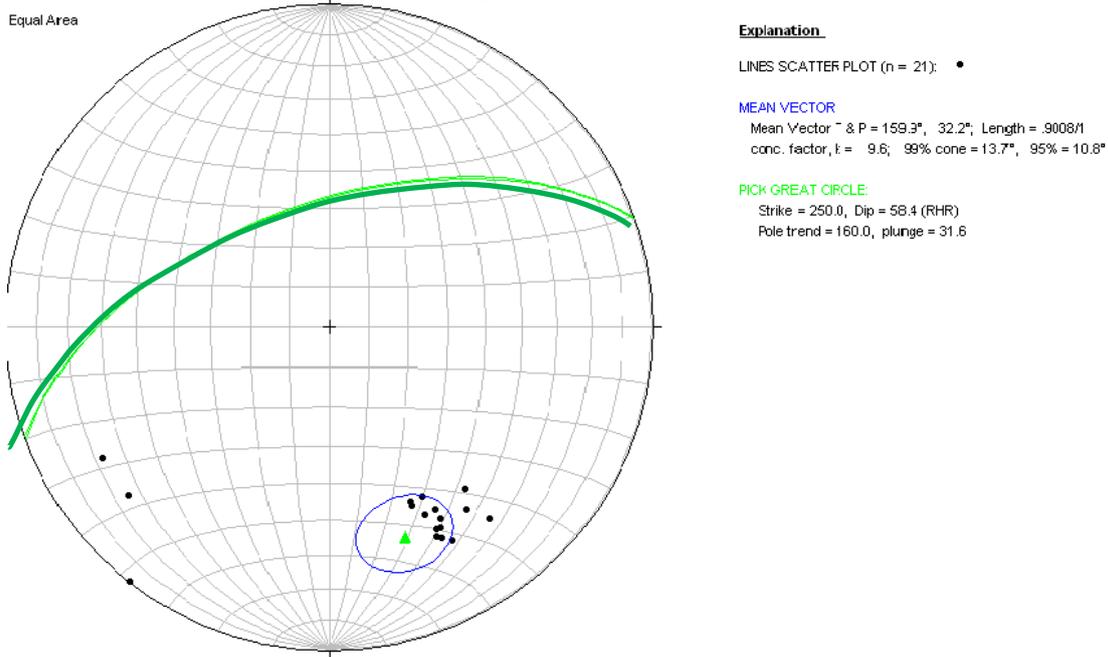


Figure 4.2 : Projection stéréographique pole moyen de la S_0 et son plan moyen (niveau 400)

2.2 Les failles

Puisque la zone étudiée est située entre deux corps minéralisés : corps extrême ouest descendierie (nouveau corps) et corps principal, on a une abondance de failles, dont les directions sont différentes.

La cartographie des failles et leurs rosaces directionnelles ont permis de distinguer trois familles directionnelles. Il s'agit de NE-SW, WNW-ESE, et N-S. La direction NE-SW est dominante suivie de la direction NNE-SSW et WNW-ESE puis N-S. (figure 4.3)

Ces failles sont parfois remplies soit par des carbonates associées à la pyrite (indicateur du mur de la minéralisation) et la pyrrhotite ou par des brèches tectoniques.

Les deux familles NE-SW et WNW-ESE sont représentées par des failles décrochantes dextres avec de grandes dimensions, leurs pendages varient entre 60° et 80° vers le Nord-West, elles provoquent des crochons de failles bien visibles de la S_0 sur le parement des galeries.

Par contre la famille N-S rassemble des failles de petites dimensions

Ces familles de failles se montrent dans la majorité des cas responsable de décalages dextres de la minéralisation.

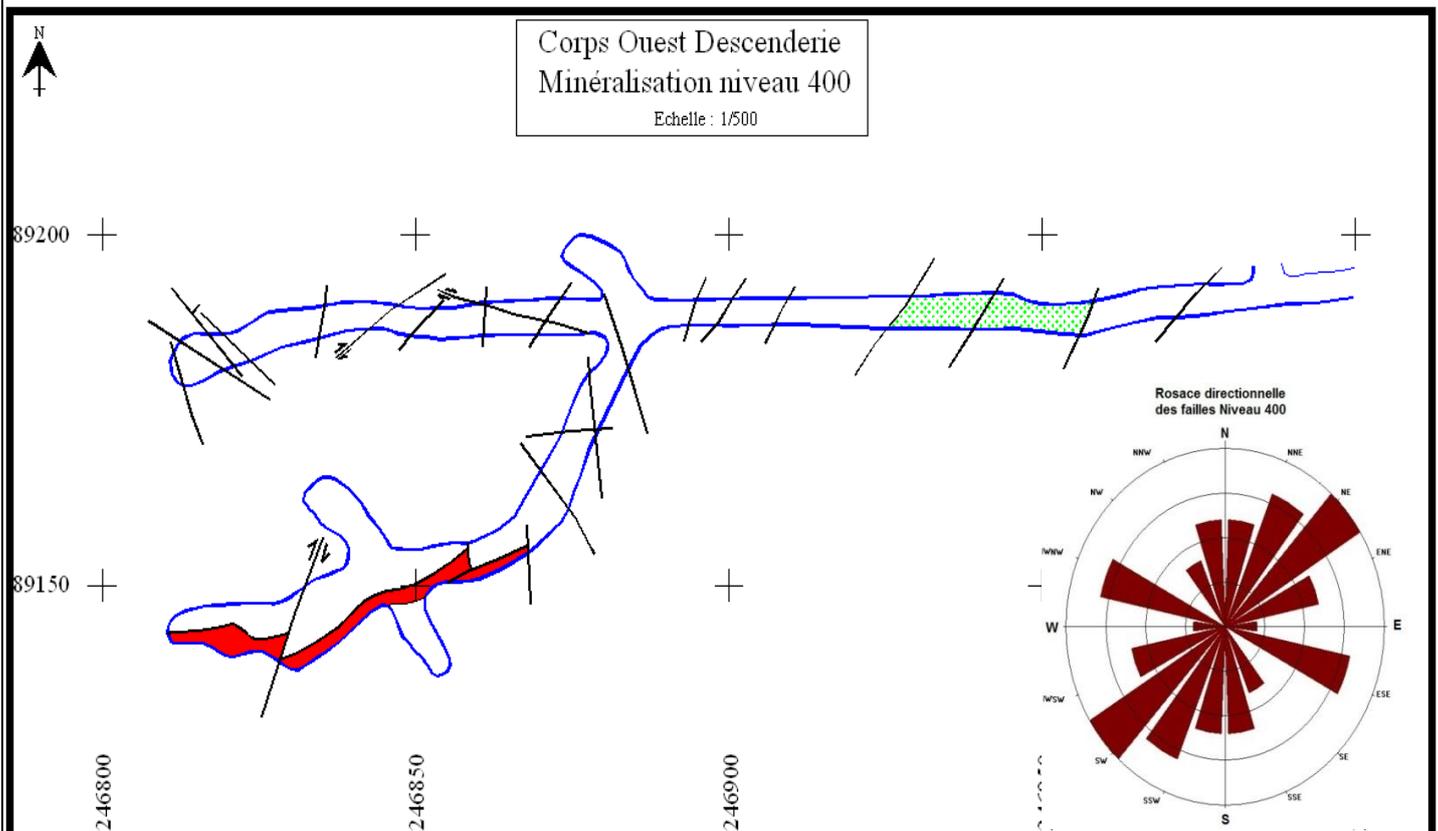


Figure 4.3 : Plan de levée structural des failles du niveau 400 avec leur rosace directionnelle

2.3 La schistosité

Cette structure ductile est représentée au fond par une succession de plans pénétratifs, bien marqués au niveau des métapelites. On distingue une phase majeure précoce S_1 et deux phases mineures tardives S_2 et S_3 qui recoupent cette dernière

Stage fin d'étude

- **La S_1** : La projection stéréographique de la S_1 (plans et pôles) montre des directions N-S à NNE – SSW. (Fig4.4). Ces plans donnent un pôle moyen orienté 26° au N280, qui correspond à un plan moyen de S_1 : N10, 65E.

La contrainte maximale responsable de cette schistosité est donc orientée E-W, et on peut l'attribuer à l'orogénèse hercynienne.

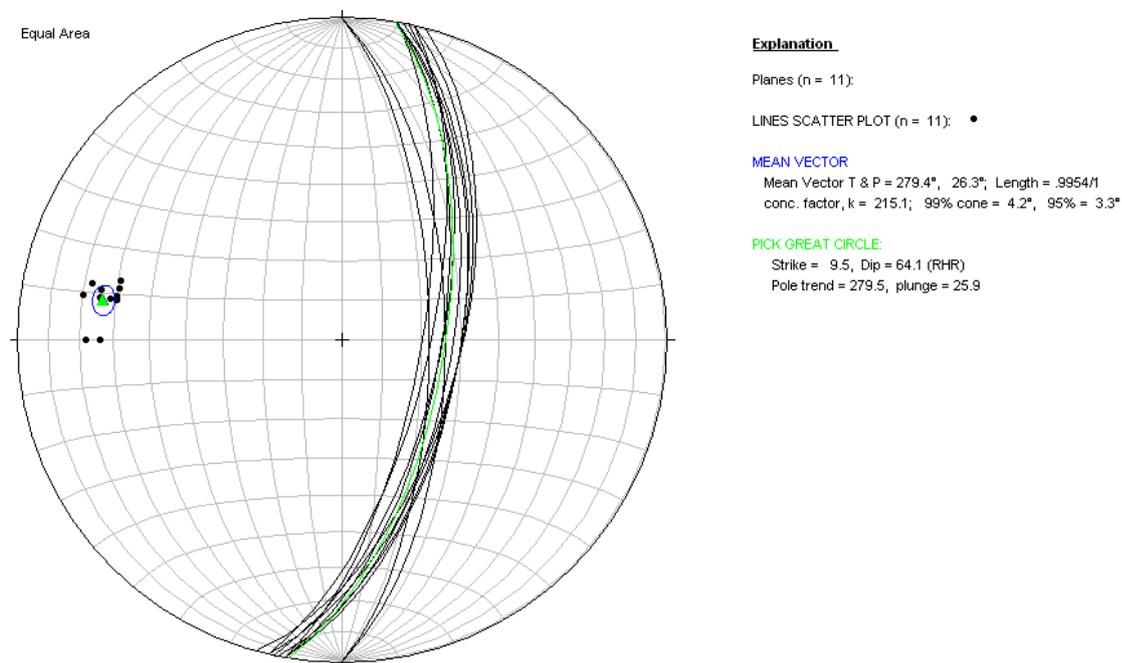


Figure 4.4 : Projection stéréographique de la S_1 avec le pole moyen et son pôle moyen

- **La S_2** : La structure attribuée à la S_2 correspond à des plans bien marqués et relativement abondants, et qui recoupent la S_1 . Leur projection stéréographique donne une direction globalement NW-SE (N90 à N135) avec des pendages très fort (80° NE à 90°) (figure 4.5)

Le pole moyen est proche de l'horizontal (3° au N207), ce qui donne un plan moyen de la S_2 : N118, 88NE

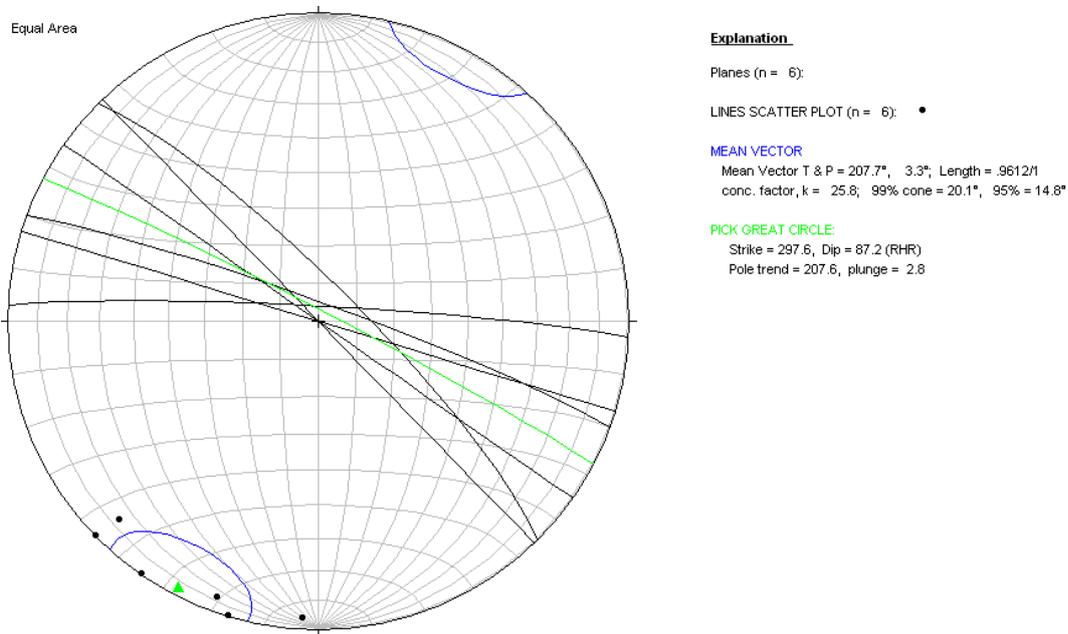


Figure 4.5 : Projection stéréographique de la S_2 avec le pôle moyen et son plan moyen

- **La S_3** : Cette phase de schistosité correspond à des structures qui recourent la S_2 .

A l'entrée de la galerie, on remarque que cette phase recoupe aussi bien la S_2 et la S_1 . Elle est un peu discrète par rapport aux deux autres phases.

Le stéréogramme de la S_3 (Figure 4.6) donne une direction moyenne N160, 64SW, avec un pôle moyen orienté 26° au N70.

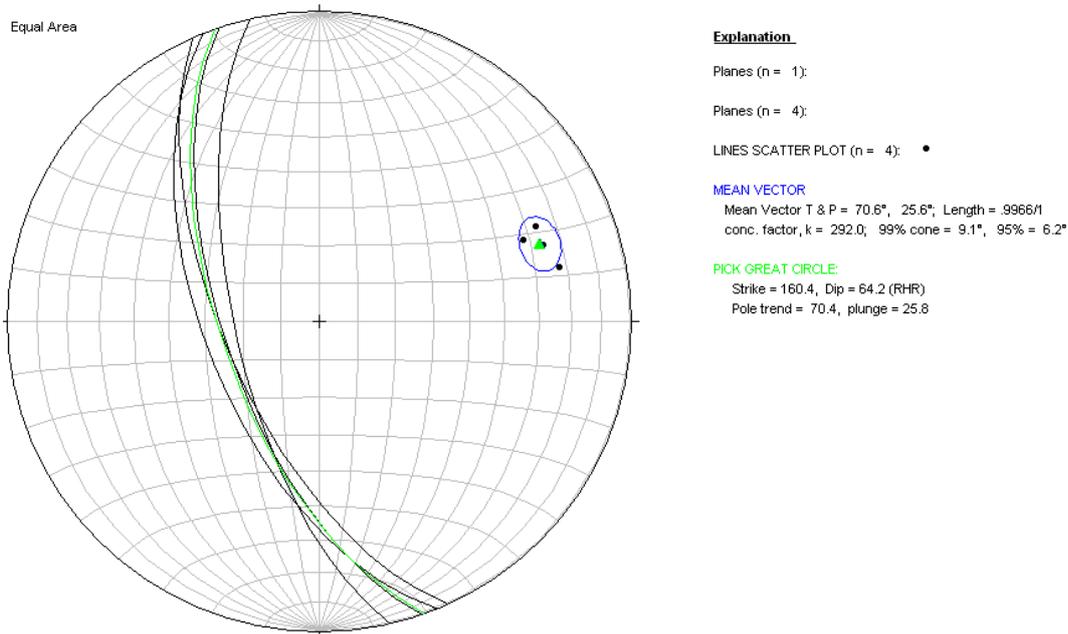


Figure 4.6 : Projection de la S₃ (niveau 400)

3. ETUDE DU NIVEAU 520

1. La stratification

La projection stéréographique des pôles de la stratification (S0) au niveau 520 (canevas de wullf, hémisphère inf.) montre un nuage de point dispersé dans la partie inférieur du canevas. (Figure 4.7)

Cependant, la disposition de ces pôles nous laisse penser que la stratification a subit un plissement poly-phasé.

Un plissement P1 dont l'axe est orienté 40° au N35.

Un plissement P2 à axe subhorizontal, orienté 4° au N276

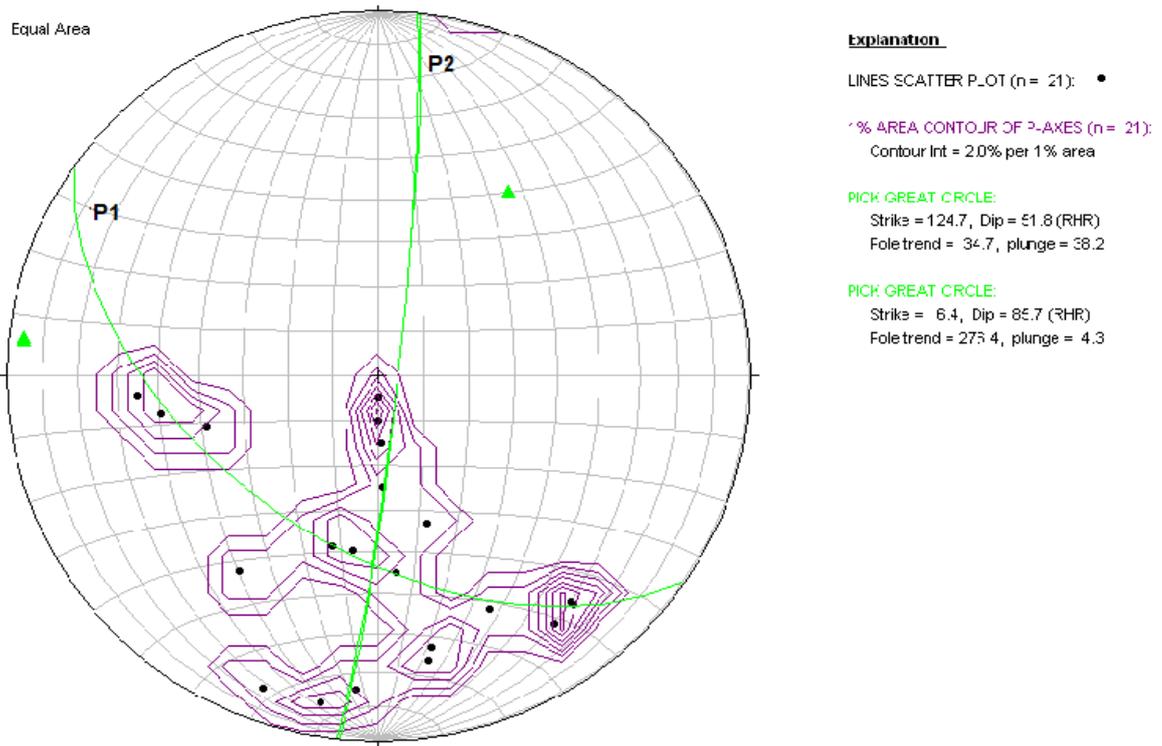


Figure 4.7 : Projection stéréograohique de la S_0 (niveau 520)

2. Les failles

Les failles sont représentées par trois familles, la première famille majeure est orientée NNE–SSW, la deuxième a une direction de N5°W, la troisième est minoritaire avec une orientation de ENE–WSW (figure 4.8)

La famille majeure rassemble un réseau de failles décrochantes senestre avec de grande dimension. Cette famille à un pendage varie entre 50° NW à 70° NW

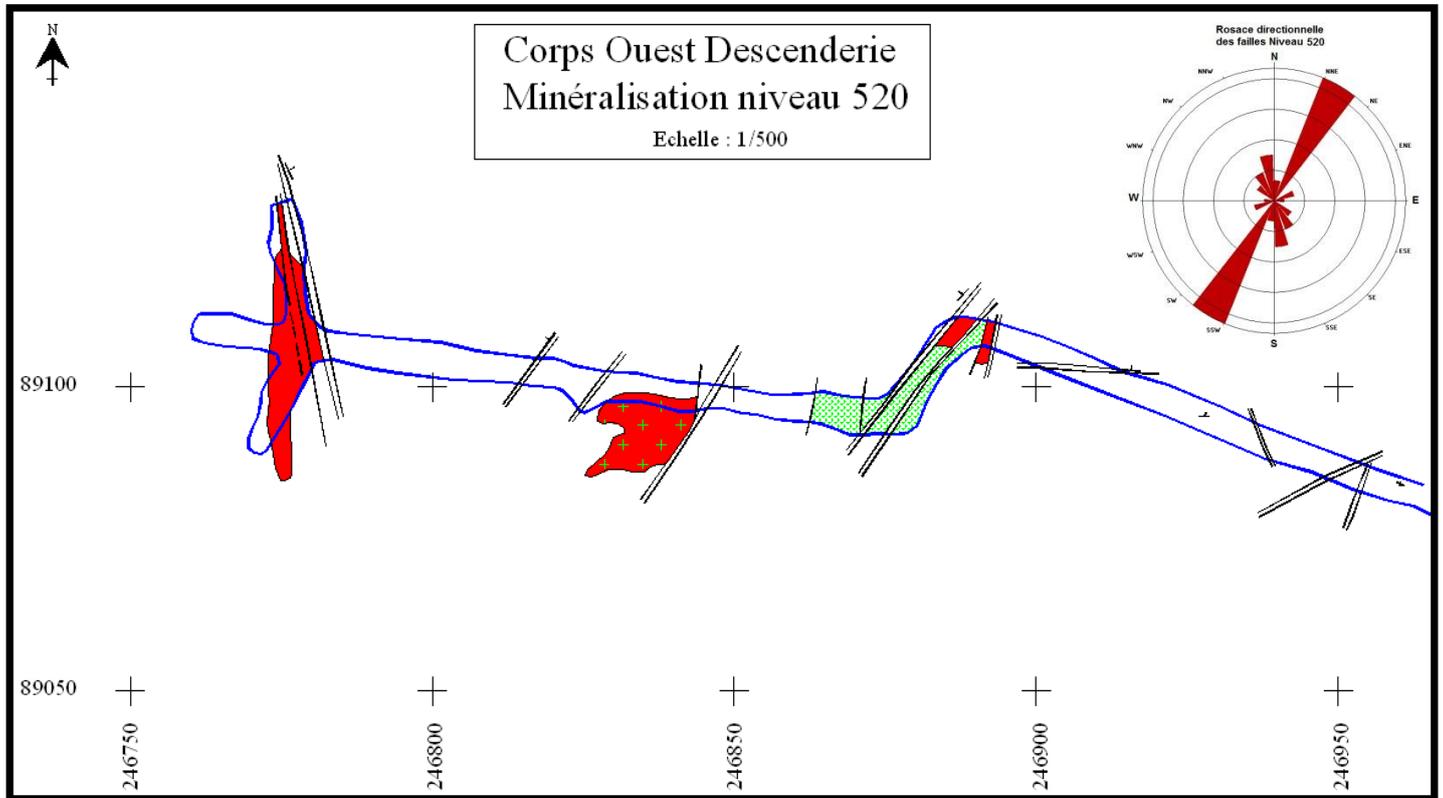


Figure 4.8 : Plan de levée structural des failles du niveau structural 520 avec leur rosace directionnelle

3. La schistosité

A ce niveau, on n'a pas pu réaliser une étude de schistosité à cause de manque des données.

4. COMPARAISON ENTRE LES NIVEAUX 400 ET 520 :

En projetant la stratification des deux niveaux sur le même stéréogramme, on constate que les pôles sont alignés sur un grand cercle, confirmant ainsi le plissement de la S_0 , l'axe du pli est orienté vers le NW

En représentant le plan moyen de la S_1 , on constate que l'axe est porté par la schistosité, ce qui confirme le caractère synschisteux du plissement : la S_1 est une schistosité plan axial. (Figure 4.9)

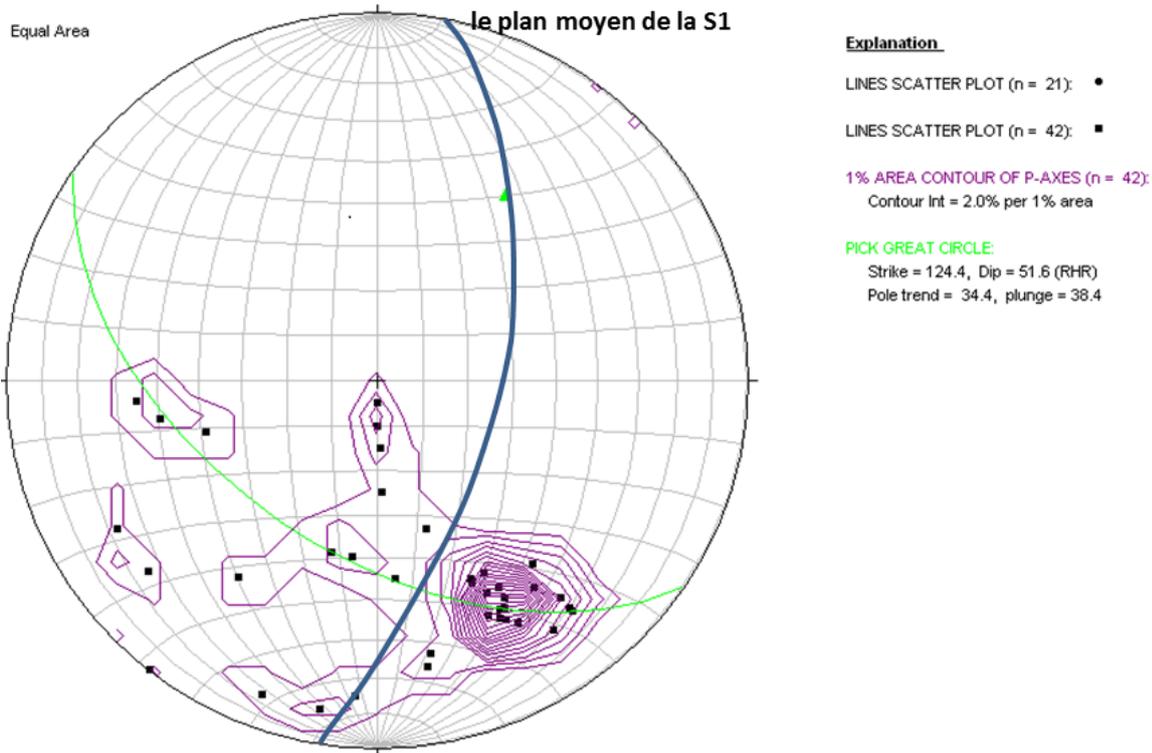


Figure 4.9 : Projection stéréographique de la S₀ de niveaux 400 et 520 associée au plan moyen de la S₁ (niveau 400)

5. CONCLUSION :

L'étude structurale des deux niveaux (400 et 520) de la mine de Hajjar a permis de conclure sur les faits suivants :

La stratification et la schistosité (S₁) sont inclinées dans la majorité de la zone étudiée, avec direction moyenne NE-SW à pendage moyen à fort vers le Nord-Ouest.

Les failles sont représentées suivant deux directions : une direction majeure NE-SW et une autre moins importante tardif orienté N-S. elles sont caractérisés par un décrochement dextre et généralement à remplissages carbonaté.

Une organisation des différentes données dans leurs positions spatiales permet de réaliser un plan. Ce dernier montre que la minéralisation est affectée dans tous les niveaux par des failles principales décrochantes dextres orienté NNW-SSE. (Figure 4.10)

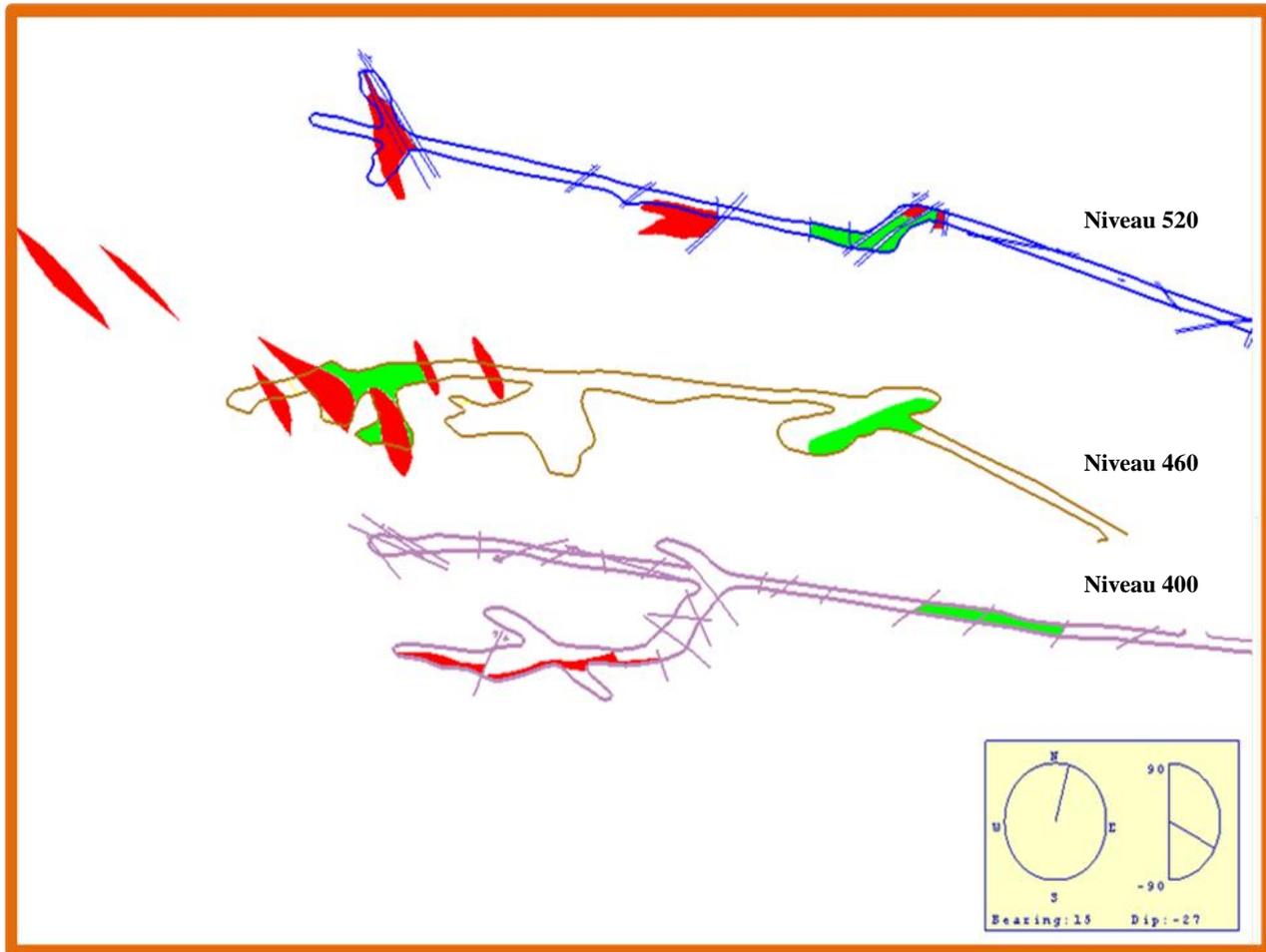


Figure 4.10 : Plan montrant l'emplacement de la minéralisation au niveau de 400, 460 et 520 (donné service géologie CMG)

Chapitre V

Modélisation géologique de la minéralisation du corps extrême ouest descenderie

1. INTRODUCTION

Cette partie du travail a pour but de mettre en évidence, à partir des études des analyses des sondages carottés, la morphologie, l'organisation et l'extension de la minéralisation du corps extrême ouest descendier (figure 5.1). Ce travail a été réalisé sur la base de nos conclusions qui ont été traitées mathématiquement par monsieur K. Boulahris, géomaticien à la mine de Hajjar, et des données de service géologique.

L'analyse détaillée des sondages a révélé des variations importantes aussi bien au niveau de la morphologie que de la composition et la répartition spatiale de la minéralisation.

L'étude détaillée de différents sondages carottés a permis de tracer la minéralisation dans chaque niveau, en se basant sur les données lithologiques et les analyse chimique

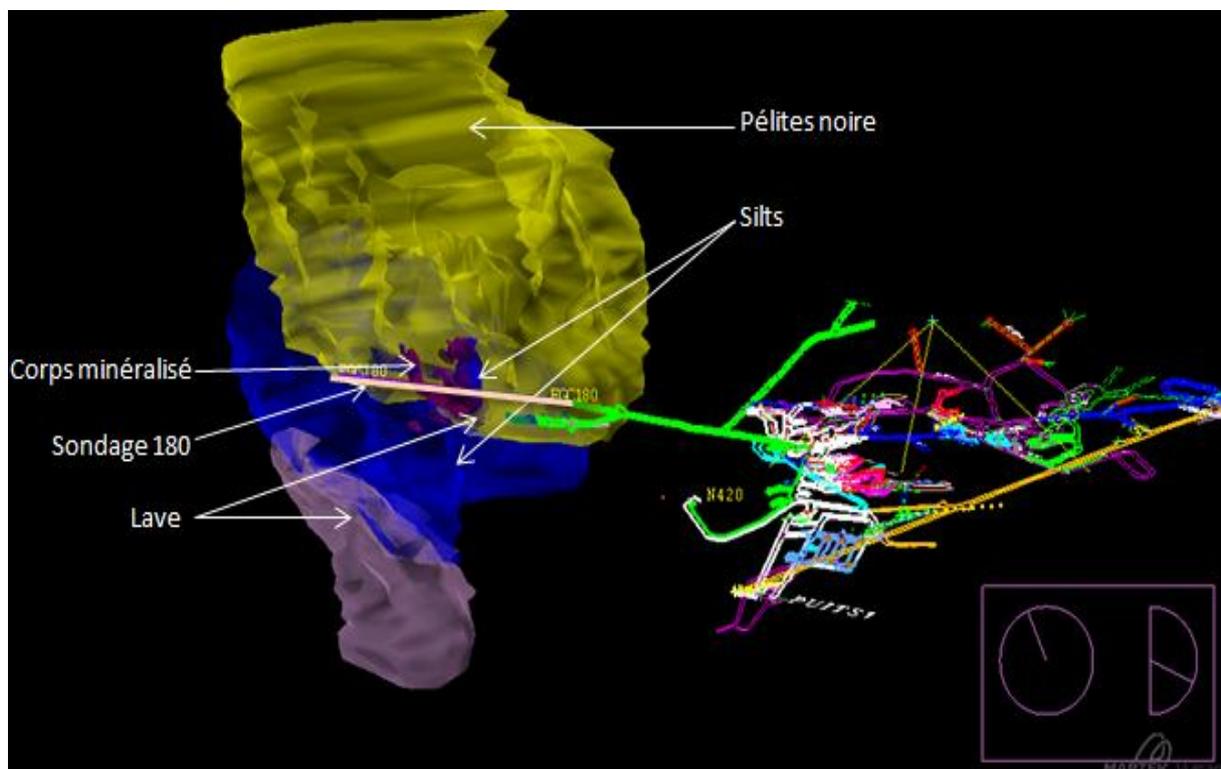


Figure 5.1 : Représentation de la morphologie globale des corps minéralisés par rapport au niveau 400(document interne CMG)

2. MODÉLISATION GÉOLOGIQUE

La modélisation géologique est définie comme étant l'ensemble des méthodes mathématiques qui permettent de présenter de façon unifiée la géométrie et les propriétés chimiques des objets géologiques.

Pour établir un modèle conceptuel de données géologiques, la connaissance des différentes procédures et instructions sur laquelle se base le suivi géologique est une nécessité. Le logiciel VULCAN, outil de modélisation et de planification minière suit une procédure avancée dans la réalisation des modèles géologiques et propose une BATCH pour la superposition des couches afin d'aboutir à une vision en trois dimensions du corps minéralisé.

Le modèle ainsi établi traite juste les données de la description lithologique des sondages. Telle que la coupe (figure 5.2) qui indique les différentes facies rencontrées le long du sondage FGC 180.

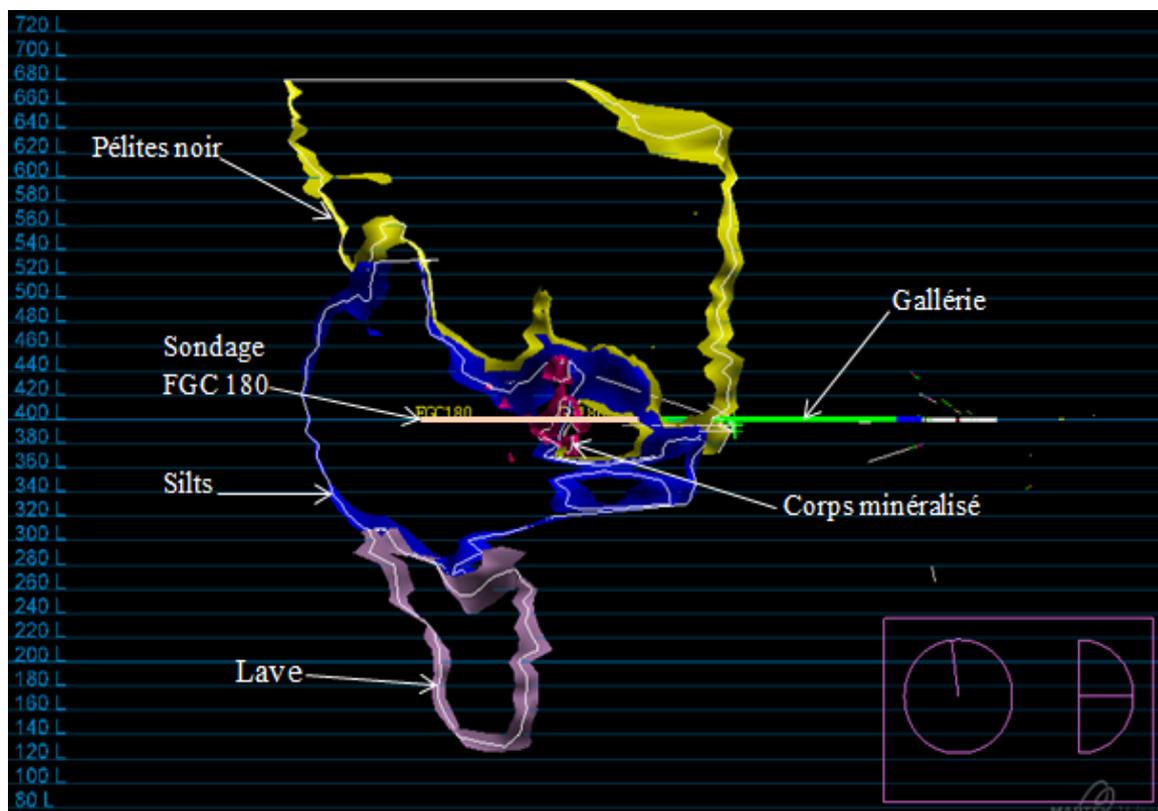


Figure 5.2 : Coupe montrant la position du corps minéralisé par rapport au sondage FGC 180

L'interface ainsi développée apporte beaucoup d'améliorations à l'égard du :

- Suivi de l'extrait géologique mensuel ;
- Suivi de l'état des réserves ;
- Synthèse mensuelle des données traitées (par corps, par tranche, par chantier) ;
- Synthèse des suivis de la production déclarée.

La modélisation d'objets géologiques en 3D permet d'avoir une meilleure compréhension de l'environnement géologique en question. Par contre, la construction de modèle géologique 3D se bute à certains problèmes découlant de la complexité des données géologiques à savoir :

- Le caractère hétérogène des données qui sont souvent regroupées en secteur, ce qui cause des problèmes de généralisation et de corrélation ;
- Elles sont de sources différentes (lithologie ou type de roche, analyses chimiques, teneurs, degré de fracturation, etc.) ;
- Elles résultent d'observations directes (données géoscientifiques recueillies par le géologue de sondage et les levés géologiques).

Par conséquent un modèle qui possède un grand nombre d'objets géologiques différents devient rapidement très complexe et lourd à gérer. Par exemple, pour un modèle possédant deux objets, il est facile de déterminer les relations spatiales entre les objets simplement à l'aide d'une analyse visuelle. Par contre, si le modèle possède plusieurs objets différents, la tâche sera beaucoup plus difficile et laborieuse à accomplir.

3. TRIANGULATION

La triangulation est une approche mathématique qui permet d'extrapoler les niveaux inférieurs par rapport à des points de référence et les lier aux niveaux supérieurs.

La création du bloc modèle a pour but de :

- Caractériser la morphologie globale du secteur en question ;
- Montrer la relation entre les différentes entités du bloc ;
- L'extension du modèle et les dimensions du bloc

Chapitre VI : Conclusion et recommandation

CONCLUSION GENERALE

L'étude lithologique et pétrographique des sondages étudiés macroscopiquement et microscopiquement montre globalement que l'encaissant de la minéralisation est dominé par les métapelites suivie par les silts ensuite les laves rhyolitiques et les laves à bulles, qui est un facies repère dans le gisement de Hajjar. On note aussi la présence d'un facies carbonatés minoritaire qui désignent le toit de la minéralisation. ainsi que l'encaissant est affecté par une altération hydrothermale. Cette dernière est représentée par : une chloritisation, une biotitisation, une séricitisation, une silicification et une carbonatation.

Un plan synthétique interprétative de la géométrie de corps minéralisé et leur disposition par rapport à l'encaissant a été proposé à partir des résultats de l'étude lithostratigraphique et pétrographique. (Figure 6.1). Ce plan nous confirme que la minéralisation se situe au sein d'une structure plissée.

L'étude métallographique montre une population d'espèces métalliques riche et variée dominée par pyrrhotite suivie de l'arsénopyrite et pyrite, puis la sphalérite la chalcopryrite et enfin la galène.

Les analyses chimiques ont montré des fortes teneurs en Zn et Pb par report au Cu, L'As qui est un élément indicateur d'or, ne présente aucune corrélation avec les autres éléments, ni aucune affinité lithologique. Même s'elle a des teneurs très élevés

Selon les résultats de ces analyses, on distingue une zonation telle que les sulfures de Zn et Pb se situent dans les silts et les pélites de l'amont du sondage FGC 180. Les sulfures de Cu se situent dans les laves rhyolitiques sous forme de stockwerk. Avec Une concentration d'Ag dans le minerai massif.

L'étude structurale a montré que la stratification et la schistosité ont une direction moyenne NE-SW à pendage moyen à fort vers le Nord-Ouest.

La minéralisation est contrôlée par des failles inverses, dextres de direction NNW-SSE.

Toutes ces données structurales citées précédemment, désignent la structure d'un méga pli anticlinal dont l'axe est diversé vers le NW.

La modélisation a permis de déterminer la façon d'unifiée la géométrie et les propriétés chimiques de la zone d'étude.

Il est alors recommandé de faire des analyses concernant la recherche d'or.

Le niveau 400 est très espacé par rapport au niveau 520, il vaut mieux réaliser d'autres sondages entre eux pour bien définir l'évolution lithologique et structurale.

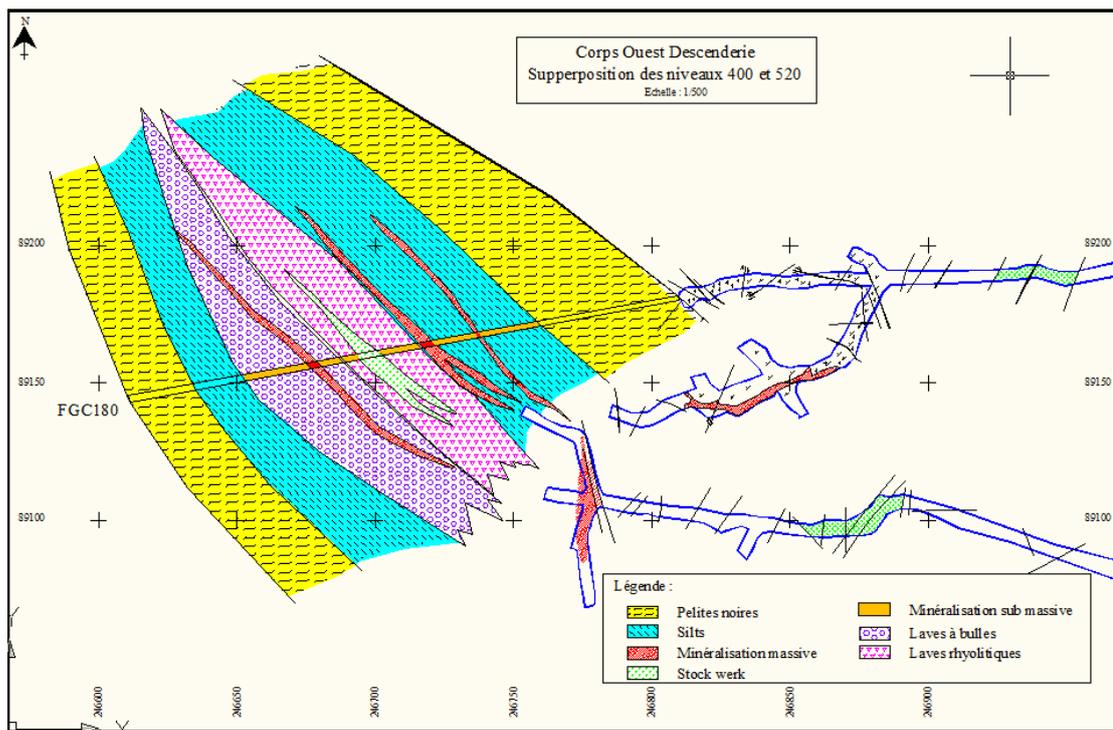


Figure 6.1 plan présentant l'allure général du corps minéralisé

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gentil (1918).** Notice sur les titres et travaux scientifique de L. Gentil, Larose éd, Paris 132pp
- Haimour, J. (1988).** Contribution à l'étude de l'environnement volcano-sédimentaire du minerai de Douar Lahjar (Guemassa, Maroc), lithologie, paléo-volcanisme, géochimie, métallogénie. Thèse 3ème cycle, ENCG, Nancy, 51 p.
- Hibti M. (2001).** Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilet (Meseta Sud-occidentale, Maroc) : témoins de l'hydrothermalisme précoce dans le bassin mesetien. Thèse de doctorat Es- Sciences. Université de Marrakech.
- Hibti M. (1993).** L'amas sulfuré de Hajjar : contexte géologique de mise en place et déformations superposées (Haouz de Marrakech, Meseta Sud-occidentale, Maroc). Thèse de 3ème cycle. Université Cadi Ayyad Marrakech, 197 p.
- Hmeurras M. (1997).** Les amas sulfurés du Maroc .chapitre 2.la VMS province de jebilet Guemassa mines géologie et énergie Rabat in rapport sur les résultats des travaux des experts russes dans la région des jebilet Maroc. RP.interne CMG.
- Piqué A. et Michard A. (1981).** Les zones structurales du Maroc hercynien Sci. Géol, Vol.34 Strasbourg p. 135-146.
- Piqué A. et Michard A. (1989).** Moroccan hercynides a synopsis. The Palaeozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of west Africa .Am .J.Sci .298 .: 286-330.
- Soulaimani A. (1997).** L'évolution structurale des affleurements paléozoïques du Haouz de Marrakech (Guemassa -N'Fis, Maroc). Thèse 3ème cycle. Université de Marrakech.
- Zouhry, S (1999).** Étude métallogénique d'un amas sulfuré viséen à Zn Pb Cu : cas de Hajjar, Guemassa, Maroc. Thèse de l'école polytechnique de Montréal.