



*Université Cadi AYYAD.  
Faculté des sciences et  
techniques de Marrakech*



*Mémoire de Stage de Fin d'Etudes  
Présenté pour l'obtention d'une  
Licence Science et Technique GARM*

***Contribution à une étude lithostratigraphique et  
minéralogique des sondages carottés de la zone  
ouest du gisement de Hajjar (MAROC)***

Réalisé par : ***Mr SEBBARI Adnane  
Mr KADIR hamza***

✓ ***Sous la direction de : Pr. HAFID Ahmid  
KHALIFA Abdelali***

✓ ***Soutenu le 23 juin 2015 devant la commission d'examen composée de :***

- ❖ ***Pr. A.HAFID Encadrant (FSTG).***
- ❖ ***Mr. A.KHALIFA Co-encadrant (CMG).***
- ❖ ***Pr. A.RIZKI Examineur (FSTG)***

# Remerciement

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de différentes façons à la réussite de notre stage et plus particulièrement les personnes qu'on cite ci-dessous.

L'équipe pédagogique de la faculté des sciences et techniques et les intervenants professionnels responsables de la formation GARM (géologie appliquée aux ressources minières) et plus précisément à Mr **A.HAFID** notre encadrant de stage, et professeur à la faculté même qui nous a permis de rentrer dans l'entreprise et nous a accordé de son temps et assuré avec nous la partie théorique de ce mémoire malgré son planning chargé.

Nous tenons à remercier tout particulièrement et à témoigner toute notre reconnaissance aux personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles nous ont fait vivre durant ces 4 semaines de ce stage dans l'entreprise CMG (*Compagnie Minière de Guemassa*).

Mr le directeur de la mine Mr **EL KASSBI** qui nous a accueillis au sein de l'entreprise et nous a donné le privilège d'en faire partis.

Un grand merci à Mr **KHALIFA Abdelali** cadre géologue et notre encadrant de stage de nous avoir accueilli dans son bureau, et de nous avoir fait travailler dans la bonne humeur. Il nous a aussi aidés à réunir les informations et les documents qui pouvaient nous servir dans notre rapport de stage.

A Mr **OUTHOUNJITE Mohammed** chef du service à CMG à Mr **EL OURGUI** qui nous ont conseillées et ont répondu régulièrement à nos questions tout au long de notre stage. Et à toutes les opérateurs de la station des sondages carottés plus précisément Mr Hamid, Mr El Bahi, Mr EL Ghezouani et Mr Youssef.

Aussi à tous les employés de l'entreprise toujours disponibles et bienveillants qui nous ont fait découvrir chaque poste chaque fonction de l'entreprise avec sympathie modeste et surtout coopération.

Sans oublier toutes personnes dans l'entreprise qui ont contribué au cheminement de ce stage.

Enfin, nous dédions ce mémoire aux âmes de nos défunts pères, nos très chères mères et à toutes nos familles pour leurs soutien sans égal on ne saura jamais assez les remercier. Que dieu tout puissant les protèges les comble de toute ses bénédictions et leur procure une belle et longue vie.

# *Table des matières*

## **Chapitre I : Présentation du travail et secteur d'étude :**

1. Introduction.....	4
2. Historique.....	5
3. Situation géographique.....	7
4. cadre géologique.....	7
4.1. Cadre géologique local.....	8
4.2. Présentation et morphologie du gisement Polymétallique de Hajjar.....	8
4.3. Lithostratigraphie .....	10
4.4. Volcanisme .....	11
4.5. Tectonique .....	12
4.6. Métamorphisme .....	13
5. Objectif et méthodologie de travail.....	13
5.1. Objectif.....	13
5.2. Méthodologie de travail.....	13

## **Chapitre II : Etude lithostratigraphique et pétrographique et métallographique**

1. Introduction .....	16
2. Etude lithostratigraphique.....	16
2.1. Présentation des sondages.....	17
2.2. Sondage carotté FGC 245.....	18
2.3. Sondage carotté FGC 241.....	18
2.4. Sondage carotté FGC 246.....	21
2.5. Sondage carotté FGC 247.....	23
3. Aperçu structural .....	25
4. Etude pétrographique.....	26
4.1 Objectif de l'étude.....	27
4.2 Étude microscopique.....	28
4.3 Conclusion de l'étude pétrographique.....	35
5. Etude métallographique.....	37
5.1. Minéralisation disséminée.....	37
5.2. Minéralisation bréchique.....	38
5.3. Minéralisation massive.....	38
5.4. Minéralisation sub-massive.....	38
5.5. Minéralisation rubanée.....	39
5.6. Conclusion de l'étude métallographique.....	41
6. Conclusion générale.....	41
Références bibliographiques.....	43

## **LISTE DES FIGURES :**

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

Figure 1.2 : carte géologique du massif des Guemassa et situation mine de Hajjar

(document interne CMG)

Figure 1.3: emplacement des trois corps principaux en plan 3D (document interne CMG)

Figure 1.4: architecture des différents corps minéralisés du gisement de Hajjar (document

interne de CMG)

Figure 1.5: Colonne litho-stratigraphique du gisement de Hajjar (Hibti,2001)

Figure 2.1: plan de la zone ouest du gisement de Hajjar au niveau 400 montrant le

positionnement des sondages étudiés (document interne CMG)

Figure 2.2 : modélisation 3D des passes minéralisés détectés par les sondages étudiés

Figure 2.3: log stratigraphique du sondage carotté FGC 241

Figure 2.4: log stratigraphique du sondage carotté FGC 245

Figure 2.5: log stratigraphique du sondage carotté FGC 246

Figure 2.6: log stratigraphique du sondage carotté FGC 247

Figure 2.6 : coupe géologique montrant la position des sondages étudiés par rapport

au corps extrême ouest descenderie (document interne CMG)

Figure 3.1 : photographie montrant la relation entre la schistosité(S1)

et la minéralisation

Figure 3.2 : photographie montrant une zone broyée (faille probable)

Figure 4.1 : coupe représentative des sondages étudiés avec l'emplacement des

échantillons prélevés (lames minces)

Figure 4.2 : coupe représentative des sondages étudiés avec l'emplacement des

échantillons prélevés (sections polis)

Figure 5 : coupe représentative réalisée à partir des sondages étudiés

**Chapitre I :  
Présentation du  
travail et secteur  
d'étude**

## 1. Introduction :

Ce travail est 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 Tiranimine 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 (Pfe Hankach-Ait rahou 2011) .

## **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 géographique :

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).

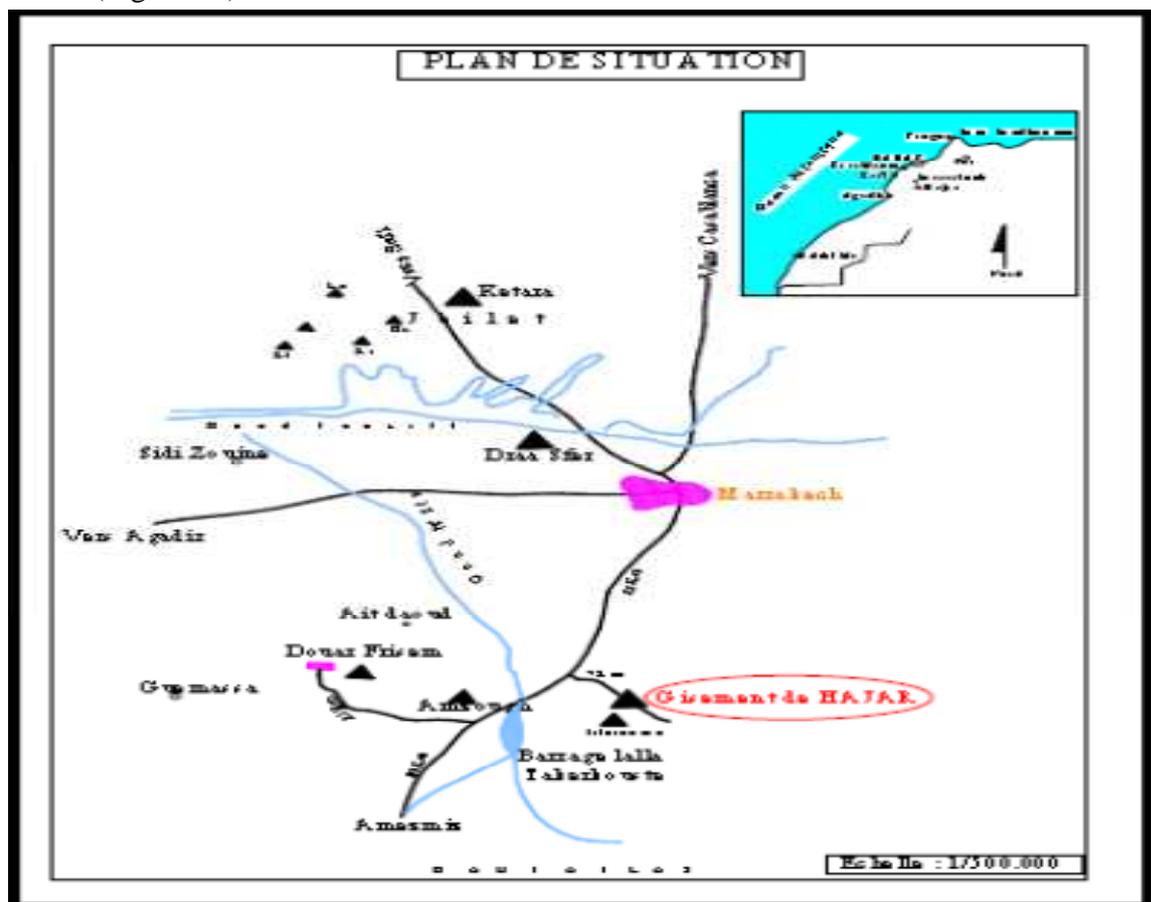


Figure 1.1 : carte géographique de la région des Guemassa (document interne de CMG)

### 4. Cadre géologique :

#### 4.1. Cadre géologique 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 Mésétiens 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 Rehamna. (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).

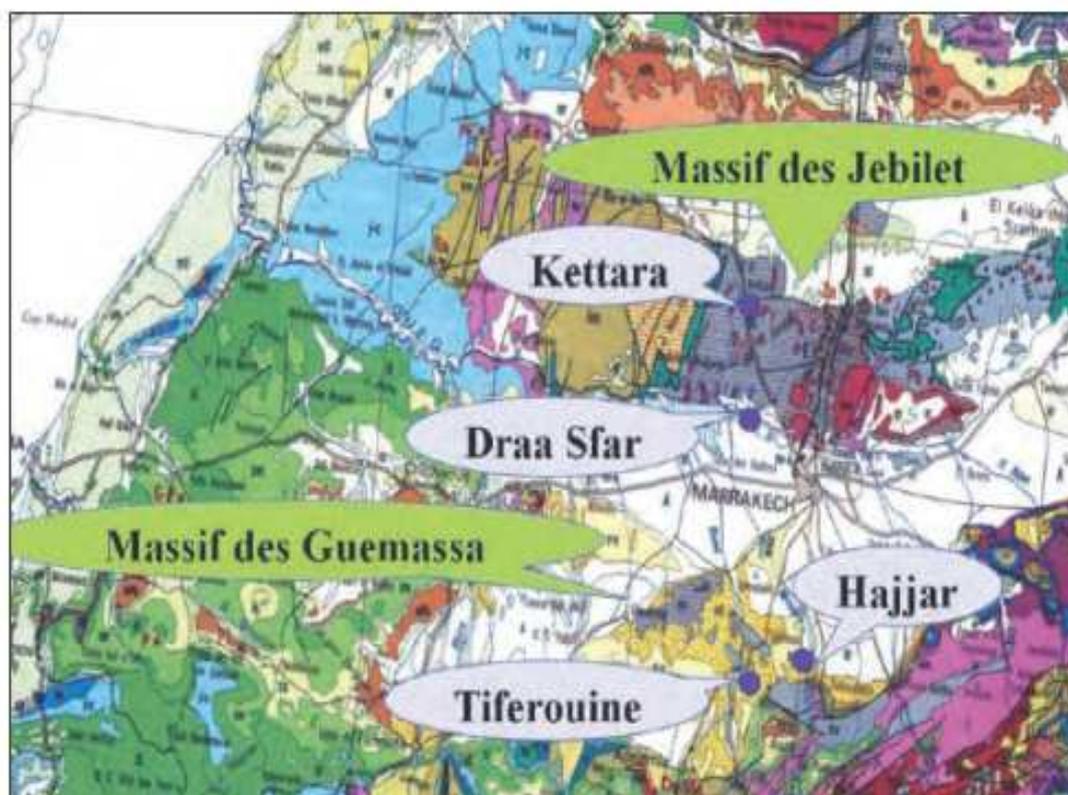
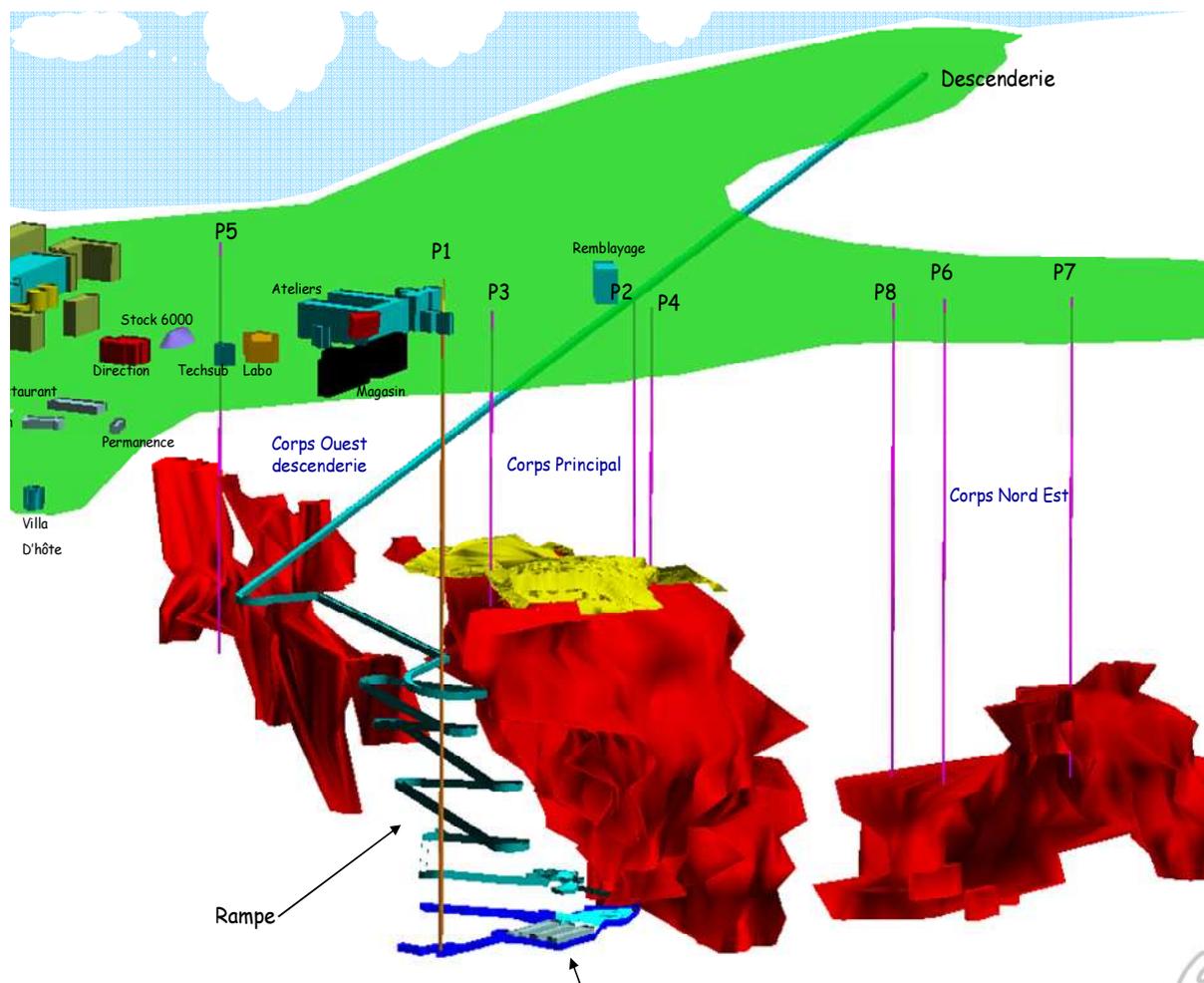


Figure 1.2: carte géologique du massif des Guemassa et situation mine de Hajjar (document interne de CMG)

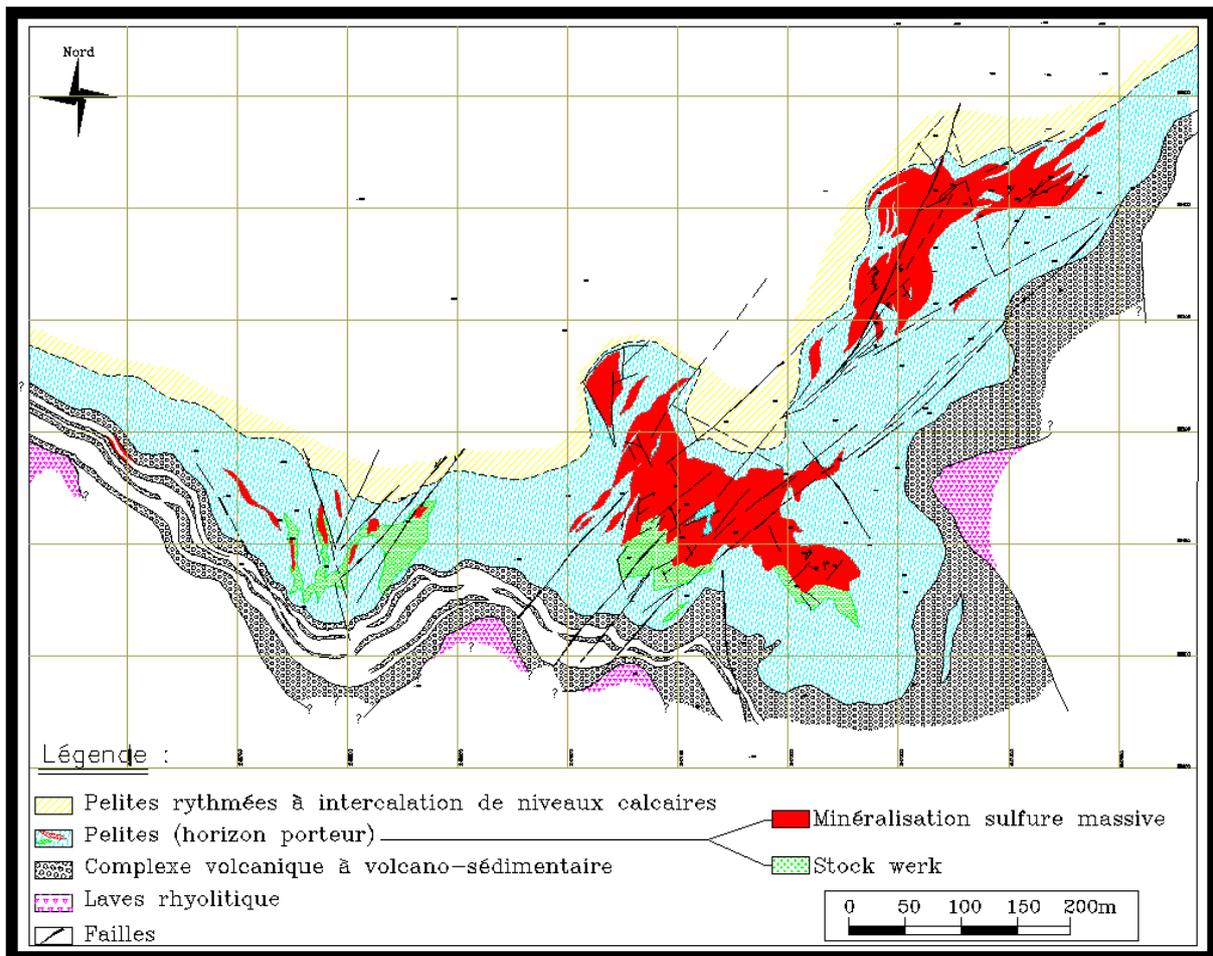
**4.2. Présentation et morphologie du gisement polymétallique de Hajjar :**

Le gisement à Pb-Zn-Cu de Hajjar (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 1.3: emplacement des trois corps principaux en plan 3D (Document interne de CMG)**



**Figure 1.4: architecture des différents corps minéralisés du gisement de Hajjar (document interne de CMG)**

Le minerai présente dans la zone étudiée, montre une variété de textures : massive à sub-massive, rubanée, disséminée et litée. Ce minerai est constitué essentiellement de pyrrhotite (75 à 95%) à laquelle s'associent la sphalérite, la galène, la chalcopryrite, l'arsénopyrite, la pyrite.

La mise en place de la minéralisation est accompagnée dans le secteur d'étude d'une l'altération hydrothermale tel que la chloritisation, la silicification, la carbonatation et la séricitisation. (Hibti, 2001)

#### **4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE :**

La succession lithostratigraphique au niveau du gisement de Hajjar comporte 3 unités principales (Hibti, 2001) :

- Unité basale : elle représente le mur de la minéralisation. Elle est caractérisée par l'abondance de formations volcaniques et volcano-clastiques à des degrés d'acidité plus ou moins élevé .

- Unité médiane : Il s'agit du corps minéralisé puissant d'environ 20 à 100 m. La minéralisation sulfurée repose au niveau de la partie centrale, sur une zone bréchique de puissance et d'extension métriques constituant ainsi la zone de stockwerk.
- Unité sommitale : elle forme le toit de la minéralisation. Sa puissance est d'environ 200m. Cette unité comporte des faciès sédimentaires à granulométrie très fine essentiellement des silts et des grés.

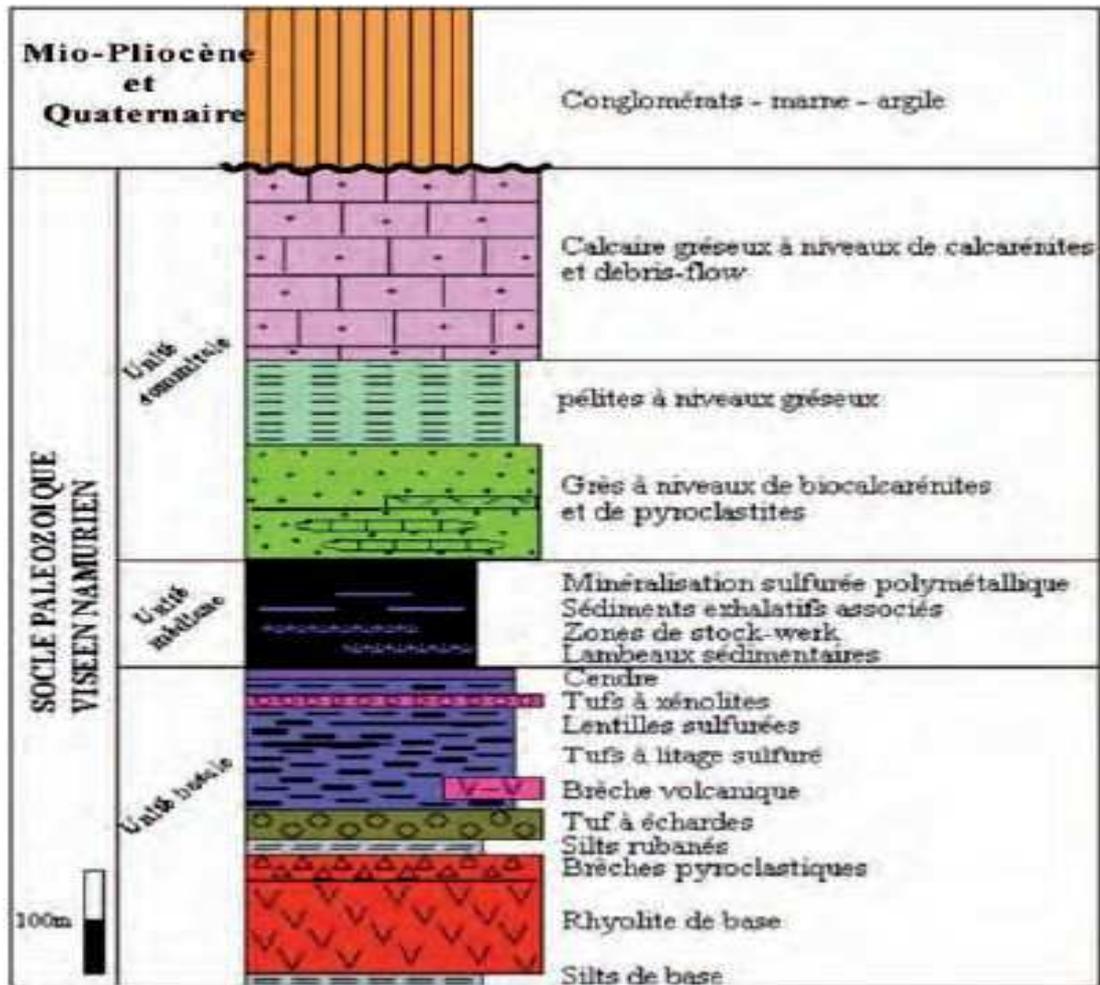


Figure 1.5 Colonne litho-stratigraphique du gisement de Hajjar (Hibti,2001)

#### 4.4. VOLCANISME :

Dans le domaine des Guemassa en général, le volcanisme est de type bimodal (Oudjou1997), essentiellement effusif et fissural Il se présente sous forme de dômes, de lames, et plus rarement de sillons et de dykes. Des niveaux de tufs et tuffites sont parfois interstratifiés dans les unités médiane et supérieure.

A Hajjar le volcanisme est caractérisé par des coulées volcaniques traduisant une instabilité tectonique pendant la sédimentation, dont les conséquences sont le démantèlement des corps volcaniques principaux (dômes) ayant alimentés les séries encaissantes.

## **4.5 . TECTONIQUE :**

Dans le gisement de Hajjar, plusieurs structures relevant d'une déformation très poussée (et modérée par endroit) ont été décelées (Hibti, 1993). Cette déformation se manifeste par :

### **4.6.1. La déformation hercynienne synschisteuse « D1 » :**

#### a. Une schistosité S1 :

Le secteur minier de Hajjar est affecté, en plus des failles, d'une schistosité de flux S1 qui représente un plan d'aplatissement majeur. Cependant, cette schistosité ne s'observe que de façon très discrète probablement à cause de la superposition des structures tardives.

#### b. Un plissement P1 :

Au niveau du gisement de Hajjar, la série basale est affectée par le plissement P1. Des structures plicatives de même direction axiale sont mises en évidence par les travaux souterrains dans ce secteur, qui ont affecté à la fois le minerai rubané et l'encaissant sédimentaire. Les plis en question sont de direction NE-SW, et à déversement NW.

#### c. Des cisaillements ductiles :

Ils sont de direction moyenne N110° à N130°E. Ces cisaillements sont le plus souvent associés aux structures plicatives, et sont à l'origine de la virgation des structures (plis et schistosité associée) et de l'intensification locale de la déformation.

### **4.6.2. Tectonique tardive :**

Durant cette phase le gisement de Hajjar est affecté par une déformation souple traduite par :

#### a. Une schistosité S2 :

Il s'agit d'une schistosité de fracture. Cette schistosité s'intensifie au niveau du gisement de Hajjar, et en particulier à proximité des failles de même direction (Hibti, 1993) où elle devient de type flux.

#### b. Un plissement P2 :

Il s'agit de plis isoclinaux très serrés, millimétriques à hectométriques détectés uniquement au niveau du secteur minier de Hajjar et le massif de Souktana. Ces plis sont de direction moyenne NE-SW, d'un plongement variant de 15 à 45° vers le nord, et d'un faible déversement vers l'est. Ces structures plicatives engagent à la fois le minerai et son encaissant.

#### c. Les chevauchements :

Dans le gisement de Hajjar, la série volcano-sédimentaire est affectée par la déformation hercynienne « D2 » qui s'accompagne avec des chevauchements à pendage ouest causés par le jeu des failles de direction NE-SW, qui sont en général subparallèles entre elles,

accompagné par l'effet de la schistosité S2. Il s'agit donc du chevauchement des rhyolites de base sur l'ensemble sus-jacent.

Ainsi, la déformation du gisement de Hajjar se manifeste par :

- Des phénomènes de plissement cartographique qui affecte l'ensemble du corps minéralisé et son encaissant, et ayant légèrement modifié son organisation initiale;
- Des décalages horizontaux et verticaux des lentilles sulfurées en liaison avec la tectonique cassante;
- A l'échelle de l'échantillon ou de l'affleurement, des figures de plissement, de cisaillement et de chevauchement des lits sulfurés ainsi que des réorientations des sulfures ont été remarquablement notées.

#### **4.6. METAMORPHISME :**

Le métamorphisme dans le domaine des Guemassa (Sagon, 1984 ; Boummane, 1987) est d'une relation étroite avec le paroxysme hercynien. Il s'agit d'un métamorphisme généralisé, de type épizonal, dont la paragenèse est essentiellement à quartz, chlorite, albite et muscovite. Cependant, il existe un autre type de métamorphisme à savoir le métamorphisme périplutonique (Hibti, 1993), dont l'existence est mise en évidence par :

- La présence d'amphibole de type cummingtonite (Piqué, 1994) très localisée et poussant sur les chloritites à sulfures;
- La présence d'anthophyllite (Zouhry, 1999), statique se développant sur les chlorites et sulfures associés.

Ces minéraux témoignent de conditions sévères du métamorphisme. De telles conditions justifient la granulométrie grossière du minerai de Hajjar.

## **5. Objectif et méthodologie du travail :**

### **5.1. OBJECTIF :**

Le but principal de ce travail vise la caractérisation des différents faciès, structures, et minéralisations dans la zone ouest du gisement de Hajjar pour confirmer si la minéralisation est intercalée dans un faciès volcanique ou non. Cette caractérisation sera effectuée grâce aux levés des logs et la réalisation des coupes et de plans à partir des sondages carottés. Cette étude sera également accompagnée par une discussion sur la relation tectonique – minéralisation et faciès – minéralisation.

### **5.2. METHODES DE TRAVAIL :**

Afin d'aboutir aux objectifs suscités, plusieurs méthodes ont été utilisées sur le terrain et au laboratoire.

#### **a - Travaux de terrain:**

- ✓ Réalisation des logs stratigraphiques à partir des sondages étudiés.
- ✓ Prélèvement d'échantillons sur sondages carottés.

**b - Au laboratoire:**

- ✓ Préparation des lames minces et sections polies.
- ✓ Etude pétrographique de différents faciès en microscope optique
- ✓ Etude métallographique des phases sulfurées en sections polies .
- ✓ Réalisation de plan et de coupes géologiques en utilisant les données fournies par sondages.
- ✓ Comparaison avec d'autres données géologiques disponibles au service géologique de la CMG.

***Chapitre II : Etude  
litho-stratigraphique,  
pétrographique et  
métallographique***

## 1. Introduction :

La détermination des faciès variés de notre zone d'étude exige d'établir une étude macroscopique et microscopique des différents échantillons pris à partir des sondages carottés, dans le but de distinguer les paragenèses minérales des différents faciès, les types d'altérations associées, les phases métalliques et leurs relation avec l'encaissant.

## 2. Etude lithostratigraphique :

### 2.1. PRESENTATION DES SONDAGES :

La Figure ci-dessous montre la position des différents sondages ayant fait l'objet de notre étude. Il s'agit des sondages FGC 241, FGC 245, FGC 246 et FGC 247 :

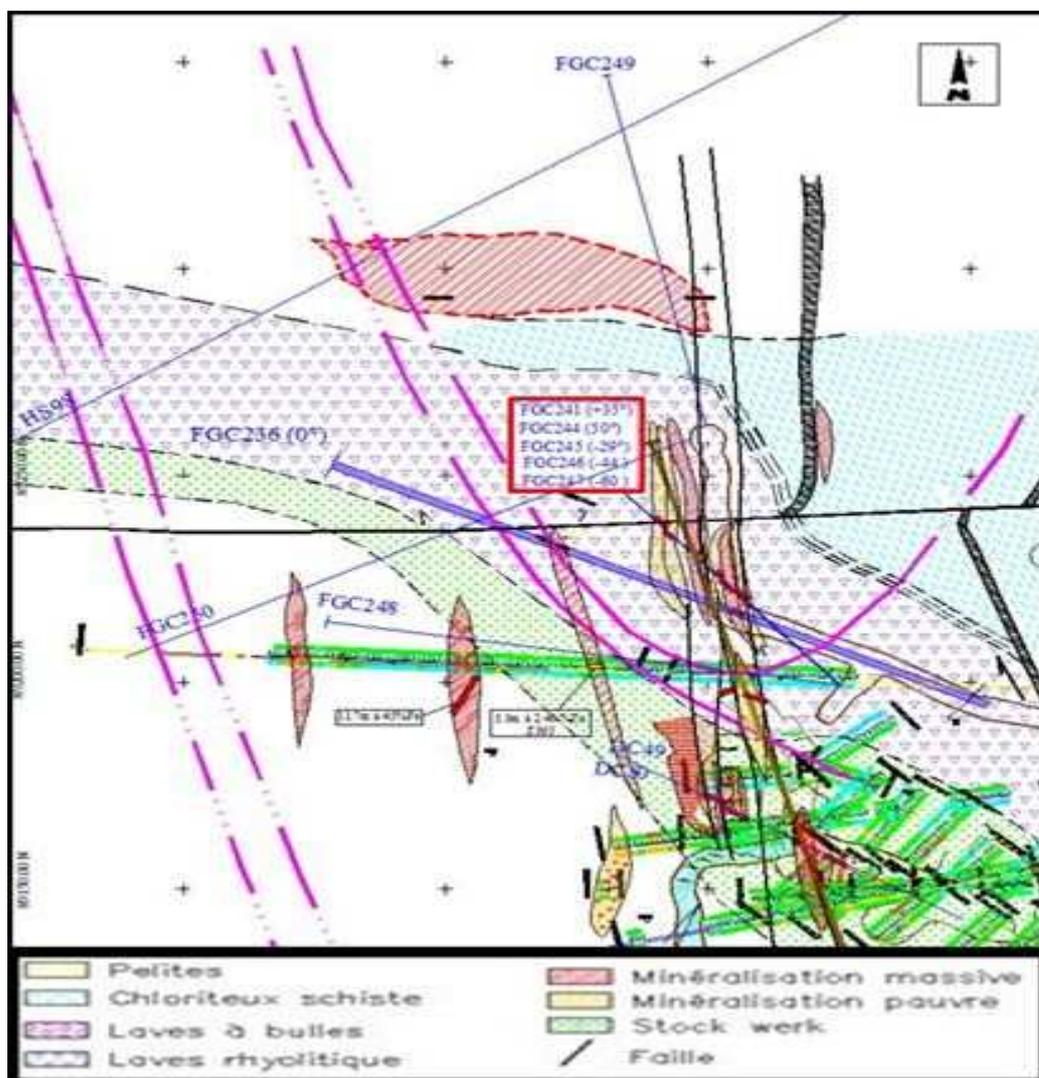
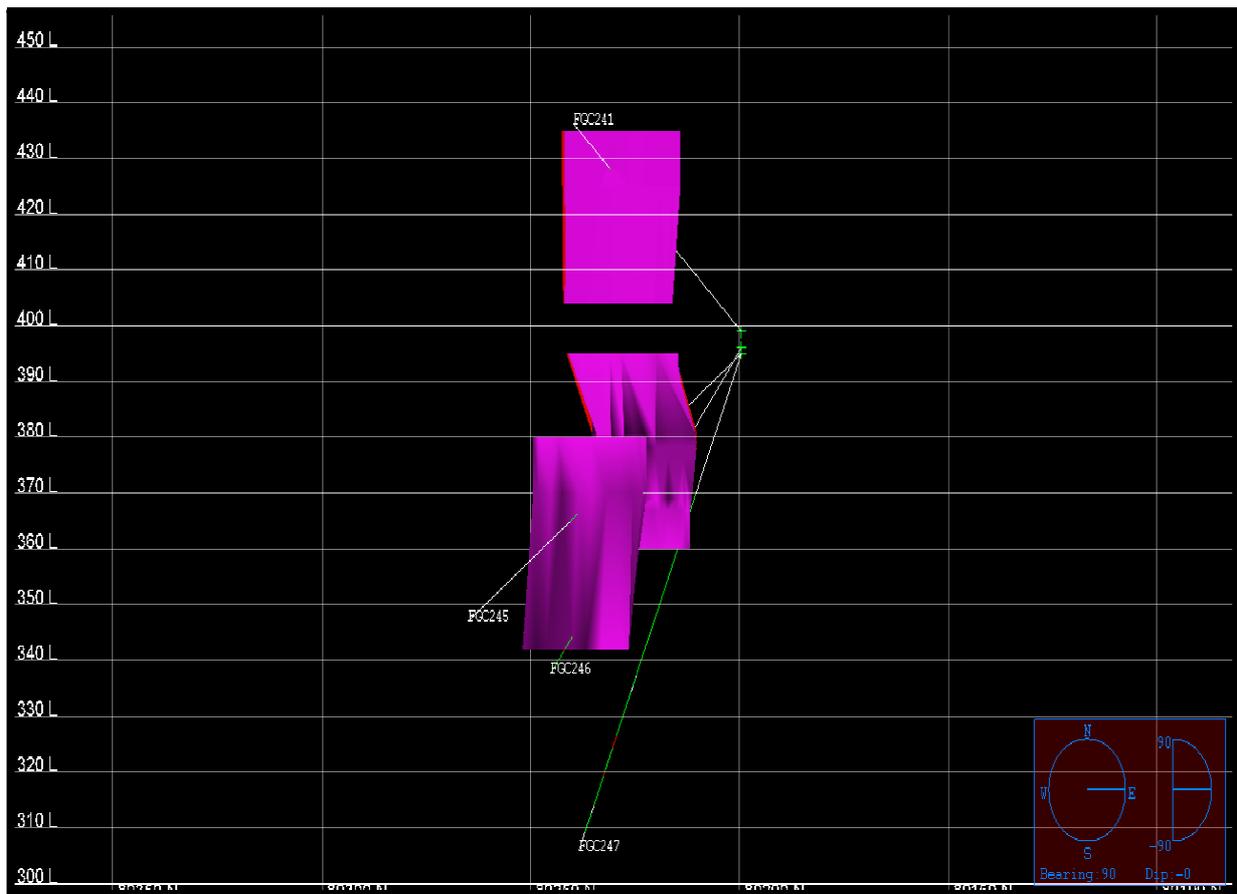


Figure 2.1 : plan de la zone ouest du gisement de Hajjar au niveau 400 montrant le positionnement des sondages étudiés (document interne de CMG)



**Figure 2.2 : modélisation 3D des passes minéralisées détectées par les sondages FGC 241, FGC 245, FGC 246 et FGC 247**

## 2.2. Sondage carotté FCG 245 :

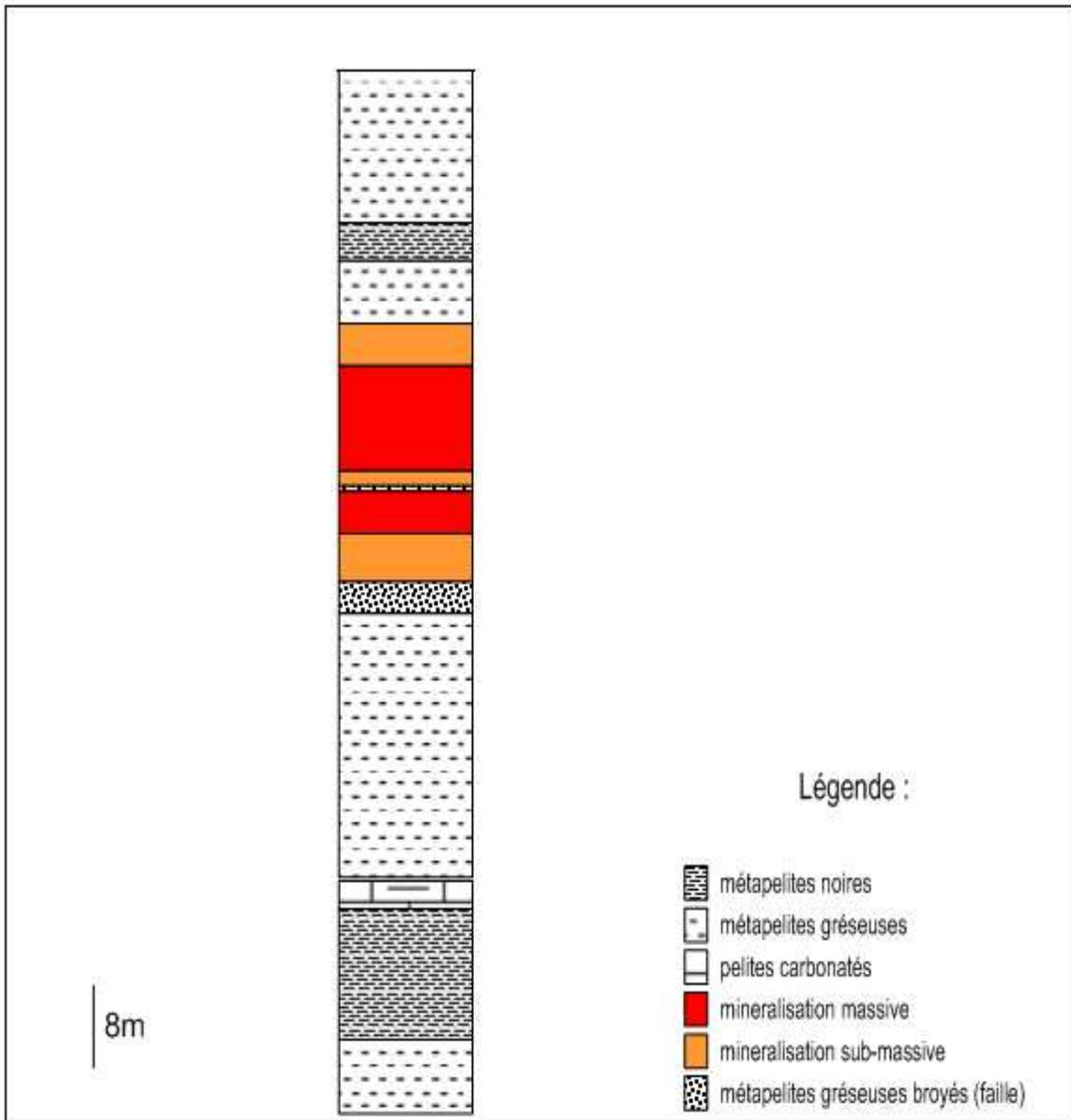
Données techniques du sondage :

- Coordonnées :  $x = 246725.016$ ;  $y = 89199.563$ ;  $z = 395$
- Direction : N135
- Pendage :  $(-29^\circ)$
- Profondeur : 99 m

➤ En observons macroscopiquement la carotte du sondage, on a aperçu la présence de deux faciès, métapelites noires et des métapelites gréseuses recoupés par une bande carbonatée (figure 2.3). Ces deux faciès présentent des traces de minéralisations en pyrrhotite, pyrite, sphalérite, chalcoppyrite et arsénopyrite. Elles sont traversés par des microveinules micrométriques de quartz parfois minéralisées en pyrrhotite.

➤ La schistosité varie très peu tout au long de cette carotte, et forme un angle d'environ  $20^\circ$  par rapport à l'axe de cette dernière. La stratification forme un angle de  $50^\circ$  par rapport à l'axe de la carotte d'après les données des levés du fond de la zone de prélèvement.

➤ le long de cette carotte, une alternance de minéralisation massive et sub-massive dominée par la pyrrhotite s'étend sur 31m (entre 24 et 54.8m) , suivie par une dissémination de l'arsénopyrite et de la pyrite entre 54.8 et 76.8m dans un faciès pélitique (figure 2.3).



**Figure 2.3 : log stratigraphique du sondage carotté FGC 245**

## 2.3. Sondage carotté FGC 241 :

Données techniques du sondage :

○ Coordonnées : x =246725.016; y =89199.563; z=399

➤ Direction : N135

➤ Pendage : (+35°)

➤ Profondeur : 65 m

➤ L'observation macroscopique de la carotte de ce sondage montre des métapelite gréseux fortement chloritisées vers le haut de la carotte et faiblement chloritisées vers sa partie centrale notant aussi qu'elles sont altérées en carbonates (figure 2.4) entre 47.6 et 49 m et entre 69.5 et 70m (métapelites carbonatées). Elles sont parcourues par des microveinules et des veines quartzieuses parfois minéralisés en pyrrhotite. Ainsi elles présentent des traces de minéralisation en Fe, Zn, Pb et rarement de Cu.

➤ La schistosité est de 20° par rapport à l'axe de la carotte tout au long de ce sondage.

La présence des roches fortement fracturées entre 0 et 2m ; 34.4 et 38.2m et 44.3 et 46.7m suggère la présence de failles dans ces deux zones.

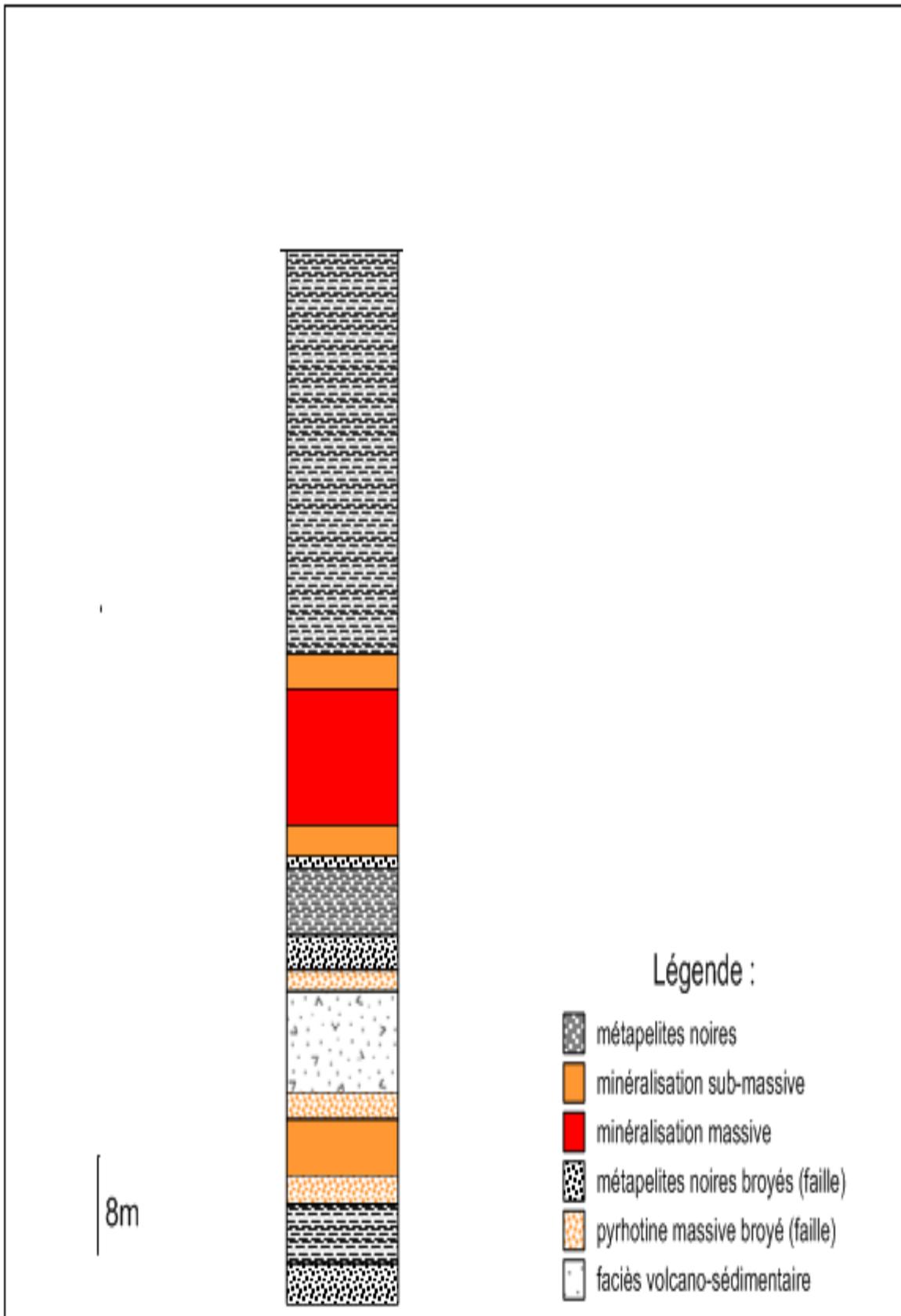
➤ La minéralisation se présente en deux bandes de pyrrhotine massive d'épaisseurs de 2.4m et 1.3 m respectivement entre 39.6-42m et 49-50.3m. Auxquelles sont associés des traces de minéralisation de chalcopryrite, sphalérite et de galène. On note également la présence d'une minéralisation sub-massive en pyrrhotite intercalée dans une zone à stock werk entre 42 et 44.3 m (figure 2.4).



## 2.4. Sondage carotté FGC 246 :

Données techniques du sondage :

- Coordonnées : x =246725.016; y =89199.563; z=399
  
- Direction : N135
  
- Pendage : (-44°)
  
- Profondeur : 84 m
  
  
- Cette carotte de sondage est caractérisée par des métapélites noires (figure 2.5) recoupées par une bande de métapelite carbonaté 8.3m (entre 58.7 et 67m). Elles présentent des traces de minéralisation en Fe, Zn, Pb, Cu et As qui suivent la direction de S1. Elles sont traversées par des microveinules quartzeuses parfois minéralisées en pyrrhotite
  
- La schistosité est de 20° par rapport à l'axe de carotte entre 0 et 18.3m, alors qu'elle est de 15° pour le reste de la carotte du sondage, la stratification n'est pas bien visible, et la présence de failles est très probable entre 48 et 49m , 54.3 et 57m,66.7 et 68.8m,73.3 et 75.5m et 80.3 et 83m suite à la présence des roches broyées dans ces zones.
  
- Ce sondage recoupe la pyrrhotite sub-massive entre 32-34.8m qui devient massive entre 34.8 et 45.6m avant qu'elle reprend de nouveau sa première forme entre 45.6 et 48m ; 57 et 58.7m et 67 et 75.4m (figure 2.5).

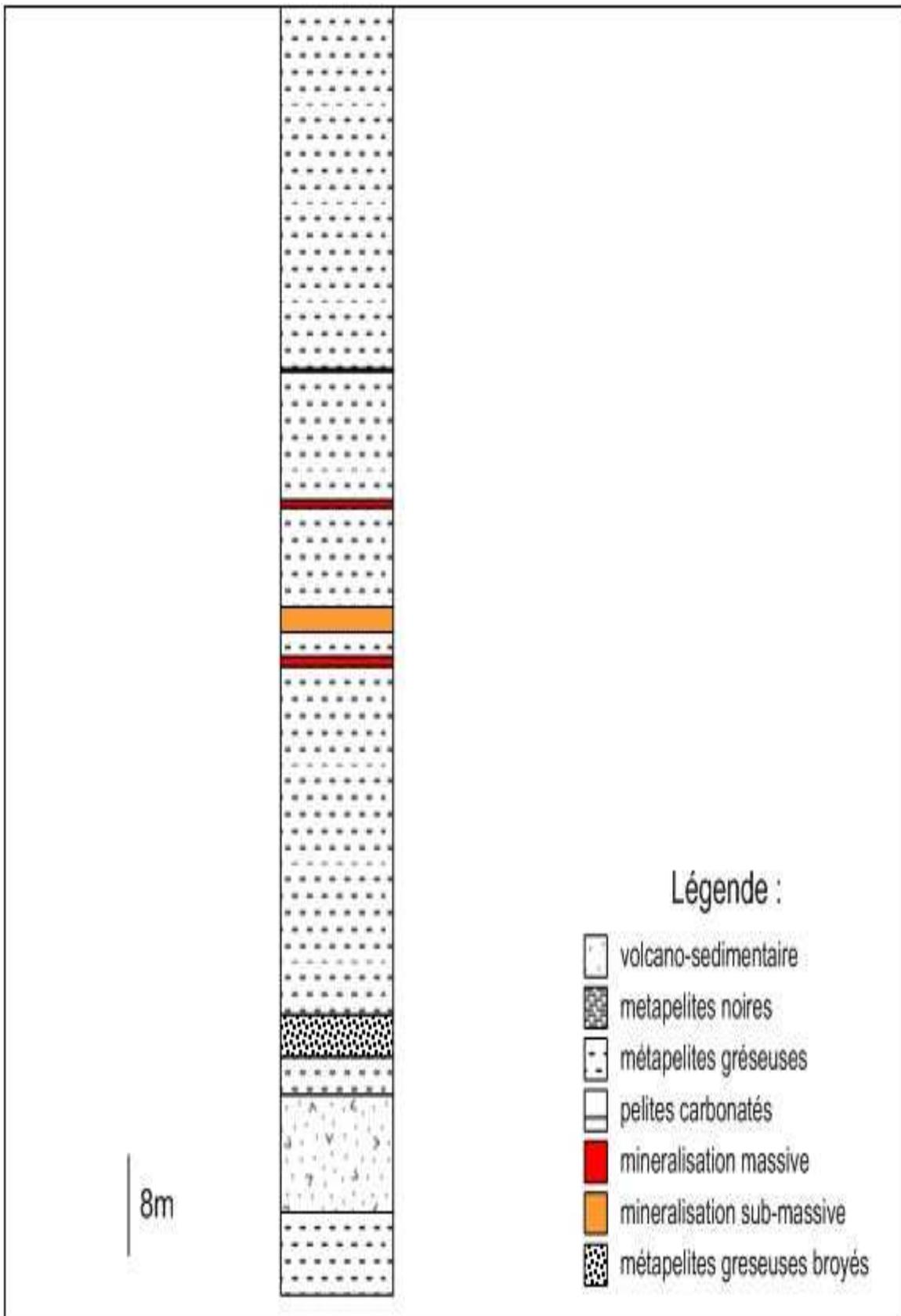


**Figure 2.5 : log stratigraphique du sondage carotté FGC 246**

## 2.5. Sondage carotté FGC 247:

Données techniques du sondage :

- Coordonnées :  $x = 246725.016$ ;  $y = 89199.563$ ;  $z = 399$
  
- Direction : N135
  
- Pendage :  $(-60^\circ)$
  
- Profondeur : 103 m
  
  
- L'observation macroscopique de ce sondage a montré la présence métapélites gréseuses (figure 2.6). Elles sont parcourues par des microveinules et des veines quartzieuses parfois minéralisées en pyrrhotite.
  
  
- La schistosité garde le même angle par rapport à l'axe de la carotte tout au long de cette dernière (environ  $15^\circ$ ). La S0 n'est pas nettement visible pour qu'on prend des mesures. La présence d'une faille est témoignée par la fragmentation de la roche entre 80.6-84 m.
  
  
- La minéralisation massive en pyrrhotite se présente sous forme de bandes de différentes épaisseurs, de 0.2m, 0.4m, et de 0.6m respectivement entre 29-30m ,41.3-42m ,52-52.8m dans lesquelles sont disséminés des traces de galène, pyrite, sphalérite et d'arsénopyrite (figure 2.6). On note également une continuité de la minéralisation sub-massive sur environ 2m (entre 48-50m).



**Figure 2.6 : log stratigraphique du sondage carotté FGC 247**

### 3. Aperçu structural :

Afin d'étudier la relation entre la schistosité, la stratification et la minéralisation, on est basé sur l'observation macroscopique des carottes de sondage (FGC 241, FGC245, FGC 246 et FGC247), ce qui nous a permis de conclure que la minéralisation suit une direction bien précise très probablement celle de la schistosité sans oublier de dire que cette dernière devient sub-verticale dans les zones voisines des passes minéralisés.



**Figure 3.1 : Photographie montrant la relation entre la schistosité(S1) et la minéralisation**

Pour caractériser la relation minéralisation-stratification on a fait appel aux résultats des levés du fond (Projet de fin d'étude, Morsli Y ; Marhfour S , Ist-GARM 2015) A partir de ces derniers, on a constaté que la stratification est discordante sur la minéralisation.

D'après les mesures de la schistosité et la stratification par rapport à l'axe des carottes de sondage, la schistosité présente un angle qui varie de 10 à 25° par rapport à l'axe de la carotte. Cependant, la stratification varie entre 40 à 70° toujours par rapport à l'axe de la carotte. Cette variation d'angle entre la S1 et la S0 rend la proposition de l'intervention d'un événement tectonique dans notre zone d'étude très plausible.

En effet, la présence de zones à roches broyées témoigne la présence de structures faillées, ceci est expliqué par un taux de récupération faible par rapport au taux estimé, autrement dit, une longueur inférieure à celle traversée par la sonde.



**Figure 3.3 : photographie montrant une zone broyée (faille probable)**

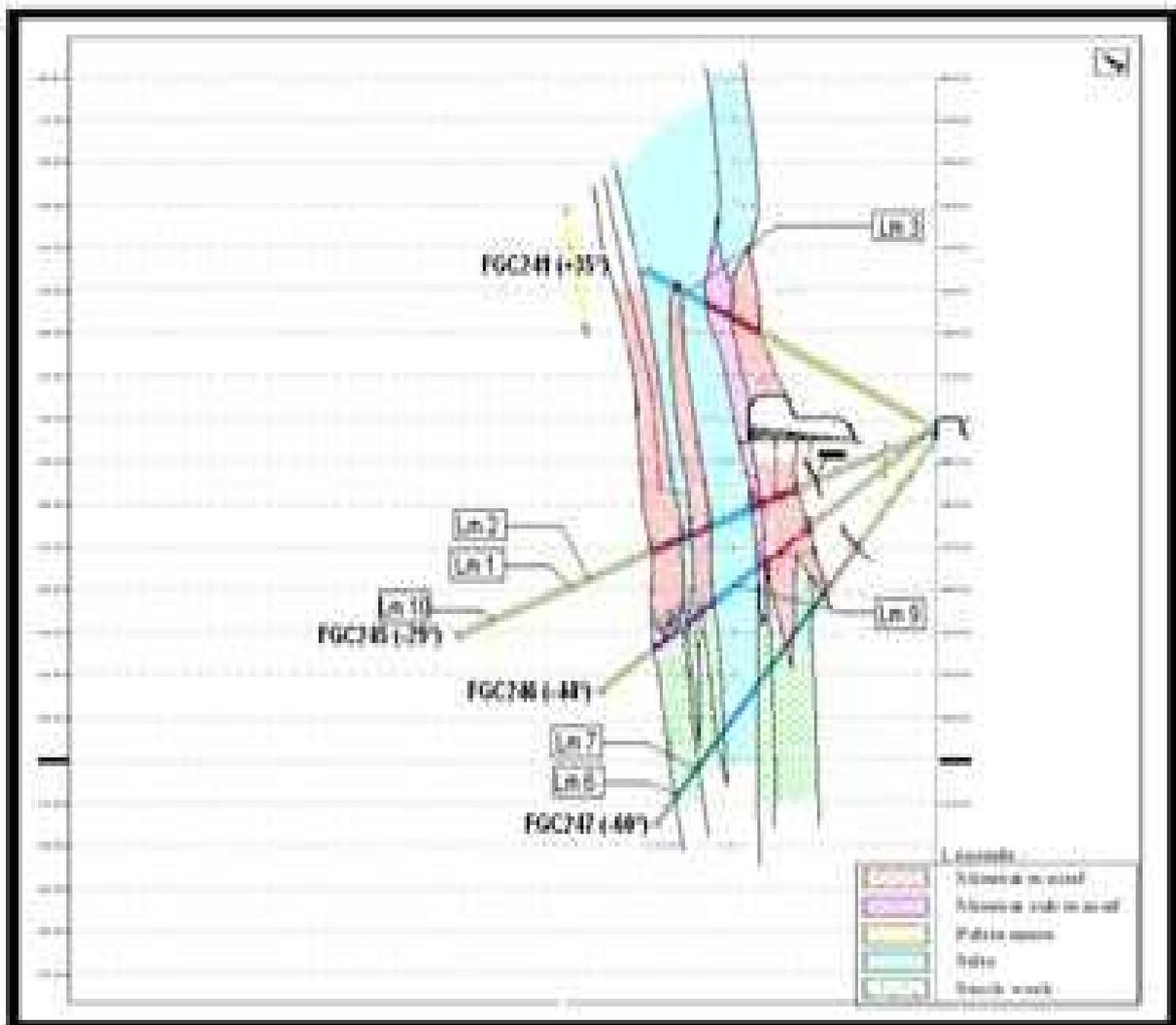
#### **4. Etude pétrographique :**

##### **4.1. Objectif d'étude :**

Cette étude a été élaborée en se basant sur l'examen microscopique des lames minces, afin de déterminer les différents faciès de la partie ouest du gisement de Hajjar plus précisément celle qui engendre la minéralisation, ainsi que les altérations qui l'ont affectée.

##### **4.2 Étude microscopique :**

Pour atteindre notre objectif, on a récolté sept échantillons à partir desquels nos lames minces ont été confectionnées, ces échantillons se répartissent tout au long des sondages comme la figure ci-dessous montre :



**Figure 4.1 : Coupe représentative des sondages étudiés avec l'emplacement des lames minces (document interne de CMG modifié)**

#### **Echantillon Lm 1 : sondage FGC 245 ; 77.60m**

Roche carbonatés (photo 1, planche 1) formé essentiellement de la calcite qui se présente sous deux formes différentes :

- De gros cristaux avec des ombres de pressions occupés par des petits cristaux recristallisés (photo 3 et 4 planche 1)
- De petits cristaux allongés et étirés qui soulignent la direction de la schistosité.

En plus de la calcite, les sulfures se présentent en taches soit disséminées aléatoirement, soit allongées entre les gros cristaux carbonatés où dessinent la direction de S1.

#### **Echantillon Lm 2 : sondage FGC 245 ; 74m**

Métapelites gréseuses à forte dissémination de micas blancs (muscovite) sous forme de petits cristaux, la biotite est éparpillée en taches sans une orientation précise .Mais parfois elle accompagne le quartz et les sulfures dans des géoïdes. ( Photo 6 ,planche 1)

Ces sulfures se présentent aussi sous forme d'alignement entrecoupés les uns aux autres et forment un angle d'environ 120° (photo 1, planche 2).

La présence de cet assemblage minéralogique précédemment cité indique que la minéralisation est déposée dans un contexte métamorphique qui dépasse le faciès schiste vert.

#### **Echantillon Lm 3 : sondage FGC 241 ; 58.50m**

Métapelites gréseuses à texture microcristalline dominé par la séricite et des cristaux de calcite et de quartz disséminés, accompagnés de quelques petits cristaux étirés de biotite .

Les sulfures sont soit associés aux cristaux de biotite, soit englobés par la chlorite, ces deux assemblages se manifestent en structures fines qui tracent la schistosité S1 (photo 2, planche 2). Donc on peut dire que les deux sont généralement antérieures par rapport à la schistosité.

Il s'agit très probablement d'un faciès du début de métamorphisme comme on parle d'une structure très fine (phyllade).

#### **Echantillon Lm 6 : sondage FGC 247 ; 93.30m:**

Faciès volcanique (tufs fins à chlorite) : roche à litage marqué par l'individualisation des niveaux à gros cristaux et à petits cristaux de quartz (photo 3, planche 2) ce qui nous donne l'impression qu'il s'agit d'une roche sédimentaire. Ce litage recoupé par une association de sulfures, des carbonates (losangique et déformés), du quartz, la chlorite et la biotite postérieure (photo 4, planche2). Cette paragenèse caractérise un métamorphisme qui dépasse l'épizonal.

#### **Echantillon Lm 7 : sondage 247 FGC ; 89.30m**

Roche (*tufs volcaniques*) dominée par la phase quartzeuse qui se présente en agrégats ou remplissage de fractures non orientées et recoupées par les alignements des minéraux opaques. Ces derniers se présentent aussi en petites taches disséminées, parfois de grande taches mais sans aucune orientation définit.

Il s'agit probablement d'un fond volcanique avec des fragments de laves fines (photo 5, planche 2) séricitisés et chloritisés, c'est ce qui explique la chloritisation locale.

#### **Echantillon Lm 9 : sondage FGC 246 ; 49.5m**

Métapelites gréseuses : roche caractérisée par un assemblage de quartz et du chlorite, moulés par des fines taches de cette dernière, ce qui donne à cette roche une texture oeillée (photo 6, planche 2 et photo 1, planche 3). On note également que la schistosité est parallèle à la longueur de ces structures.

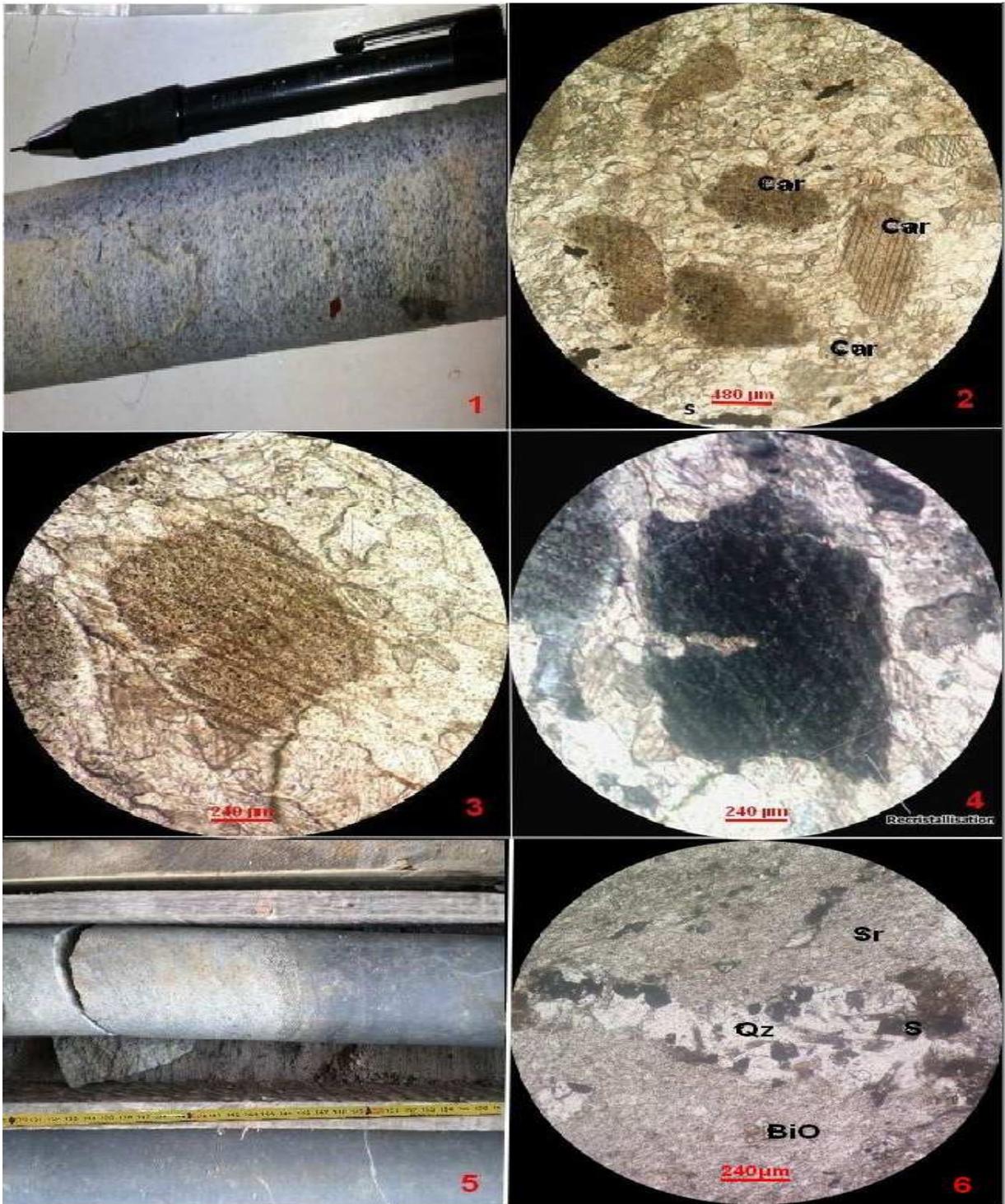
Les sulfures se présentent en petites taches disséminées ou suivent les alignements fins de chlorites aux épontes des structures oeillées.

### **Echantillon Lm 10 : sondage FGC 245 ; 95.3m**

Métagéolites gréseuses : faciès à séricite très abondante, des petits cristaux de quartz associé aux autres de la calcite et rassemblés dans des géodes ou dans des fractures (photo 2 , planche 3 ) qui sont occupées parfois par des sulfures.

Ces derniers suivent en grande partie une direction qui souligne la déformation ou la schistosité, tandis qu'une partie se manifeste en tache disséminé sans aucune orientation observée.

Planche1 :



## **Planche 1 :**

Photo 1 : aspect macroscopique d'un faciès carbonaté

Photo 2 : texture générale d'une roche carbonatée

Photo 3 : photographie montrant la relation entre les gros cristaux de calcite et la déformation(LN)

Photo 4 : photographie montrant la relation entre les gros cristaux de calcite et déformation(LP)

Photo 5 : photo macroscopique montrant le contact entre des métapelites et des carbonates

Photo 6 : Géode à quartz, biotite et sulfures

### **Liste des abréviations :**

Car : carbonates

S : sulfures

Sr : séricite

Qz : quartz

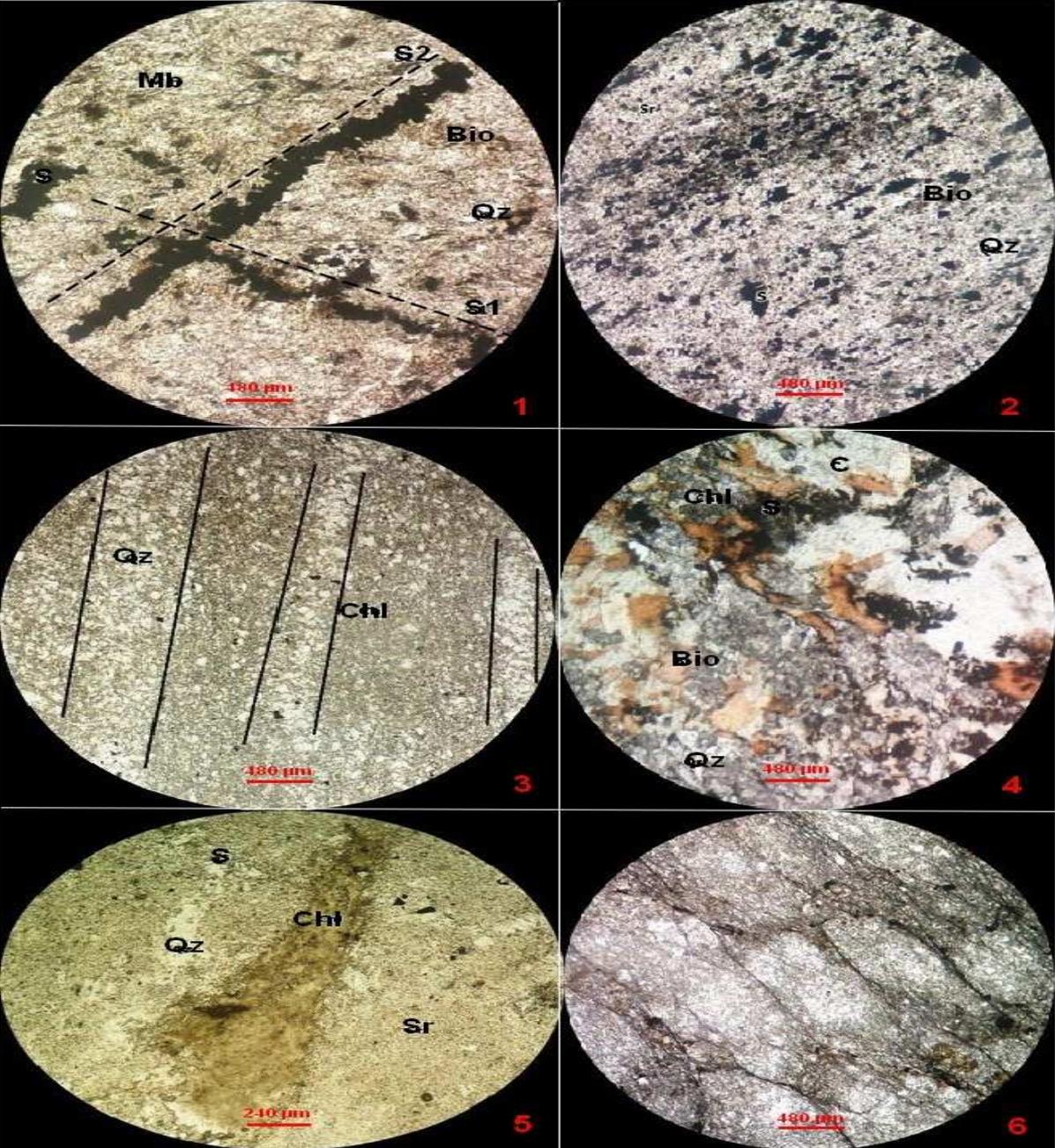
Bio : biotite

Mb : micas blancs

LN : lumière naturelle

LP : lumière polarisée

Planche 2 :



## **Planche 2 :**

Photo 1 : photographie montrant deux générations de sulfures dans des métapelites gréseuses

Photo 2 : métapelites gréseuses altérées en séricite

Photo 3 : litage marqué par une différence de taille entre des cristaux de quartz dans une matrice à chlorite

Photo 4 : photographie montrant des tufs fins à chlorite

Photo 5 : fragment de lave chloritisé et séricitisé

Photo 6 : métapelites gréseuses à texture œillée

### **Liste des abréviations :**

Chl : chlorite

S : sulfures

LN : lumière naturelle

LP : lumière polarisée

Sr : séricite

Qz : quartz

Bi : biotite

Mb : micas blancs

### Planche 3 :



## **Planche 3 :**

Photo 1 : métapelites gréseuses ocellées à remplissage hétérogène

Photo 2 : sulfures allongés suivant la direction de S1

Photo 3 : aspect macroscopique des métapelites gréseuses

Photo 4 : aspect macroscopique des métapelites noires

Photo 5 : aspect macroscopique d'un faciès volcanique à volcano-sédimentaire

Photo 6 : métapelites gréseuses chloritisées

### **Liste des abréviations :**

Qz : quartz

Chl : chlorite

Bio : biotite

S : sulfures

### 4.3 Conclusion de l'étude pétrographique :

L'étude pétrographique des échantillons prélevés à partir des carottes de sondages étudiés a révélé la présence de quatre faciès :

#### ➤ **Métagelites gréseuses :**

Roche métamorphosée qui apparaît gris sur terrain, individualisée par une granulométrie plus grossière que celle des métagelites noires (photo 3, planche 3).

Ce faciès est caractérisé par une séricitisation et une biotitisation parfois intense avec de la biotite allongée et de la séricite qui marque la S1.

Les micas blancs et les sulfures prennent parfois une direction différente de celle qui trace la S1, marquant probablement une schistosité S2 plus discrète.

Minéralogiquement parlons, ce faciès présente un assemblage minéralogique noyé dans une matrice finement cristallisée. Il s'agit du quartz comme phase abondante, la biotite et les feldspaths qui sont complètement altérés en séricite.

#### ➤ **Faciès carbonaté :**

Macroscopiquement, il s'agit d'un faciès blanchâtre qui se présente en bandes, caractérisé par une dissémination de sulfures qui se présente soit en amas de taille différente soit en forme allongées suivant une direction parallèle à celle de S1.

Microscopiquement, on a constaté que la calcite est le minéral le plus abondant avec des clivages bien visible. Elle se manifeste sous deux formes : des gros cristaux automorphes à sub-automorphe, et des petits cristaux qui traçant la direction de S1 en moulant les gros cristaux.

On note également la présence du phénomène de recristallisation, ceci est témoigné par les ombres de déformations occupés par des petits cristaux de calcite qui s'éteignent au même temps que les gros cristaux dont ils entourent (photo 1, planche 1)

#### ➤ **Métagelites noires :**

Ce faciès est connu par sa couleur noirâtre, présente parfois un litage millimétrique plus ou moins claire, parfois ce litage est désorganisé indique la présence d'une instabilité tectonique lors de la sédimentation. (photo 4, planche 3)

Les sulfures tantôt disséminés, tantôt s'alignent et trace une direction bien définie, très probablement celle de la schistosité (S1).

Parmi les minéraux identifiés dans ce faciès, le quartz, la biotite qui s'aligne selon S1 dans certaines zones, les sulfures et une matrice cryptocristalline, plus au moins riche en matière organique et à structure phylliteuse.

#### ➤ **Faciès volcanique à volcano-sédimentaire :**

Il s'agit d'un faciès hétérogène, à matrice microcristalline, qui présente des passages séricitisés, chloritisés et riche en sulfures disséminés parfois accompagné par des alignements des cristaux de quartz de taille différentes marquant un litage. (photo 5, planche 3)

L'hétérogénéité de ce faciès est corroborée d'une part par la présence des fragments fines de lave chloritisé et séricitisé dans la matrice précédemment citée. D'autre part, dans une matrice à chlorite essentiellement et quelques sulfures disséminés, s'introduit une veine sulfurée associée aux carbonates (tardives) et aux masses de chlorites recoupées par des cristaux de biotite postérieures (il s'agit probablement des tufs fins chloritisés).

### **Les altérations hydrothermales :**

#### **➤ La séricitisation :**

Les séricines sont très abondantes dans la majorité des faciès fréquentés et tracent la plupart des temps la direction de la schistosité. Généralement, 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 disséminée, où elles semblent accompagner le dépôt du minerai.

#### **➤ La chloritisation :**

Cette altération est relativement réduite par rapport au type précédent, cependant, elle semble très développée dans certains faciès fortement hydrothermalisés du mur. Toutefois elle n'est pas limitée au mur puisqu'on la rencontre très souvent dans les faciès du toit des lentilles, notamment le faciès grés-carbonaté. Elle est également associée aux macules quartzuses et quartzo-carbonatées. Les chlorites sont de deux générations à leur tour (comme les biotites) avec des chlorites précoces souvent cisailées, associées aux sulfures. Dans des taches et souvent orientées dans la S1 et des chlorites automorphes recoupant les sulfures. (photo 6, planche 3)

#### **➤ La carbonatation :**

C'est une altération d'importance moindre par rapport aux deux 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.

#### **➤ La silicification :**

Il s'agit d'une altération remarquée dans la majorité des échantillons étudiés, elle est développée dans les fractures ou les microfractures où la circulation des fluides hydrothermaux est facile. Macroscopiquement cette altération est matérialisée par des veines de quartz de taille millimétrique ou centimétrique allongées parallèlement à la schistosité (S1).

## **5. Etude métallographie :**

Notre étude s'est basée sur un nombre restreint de sections polies (trois sections) échantillonnées à partir des zones minéralisées interceptées par les sondages et nous a permis de mettre le doigt sur deux types de minéralisation : bréchique et disséminée. Mais d'après l'observation macroscopique on a révélé trois autres types de minéralisations, il s'agit de la minéralisation massive, sub-massive et rubanée.

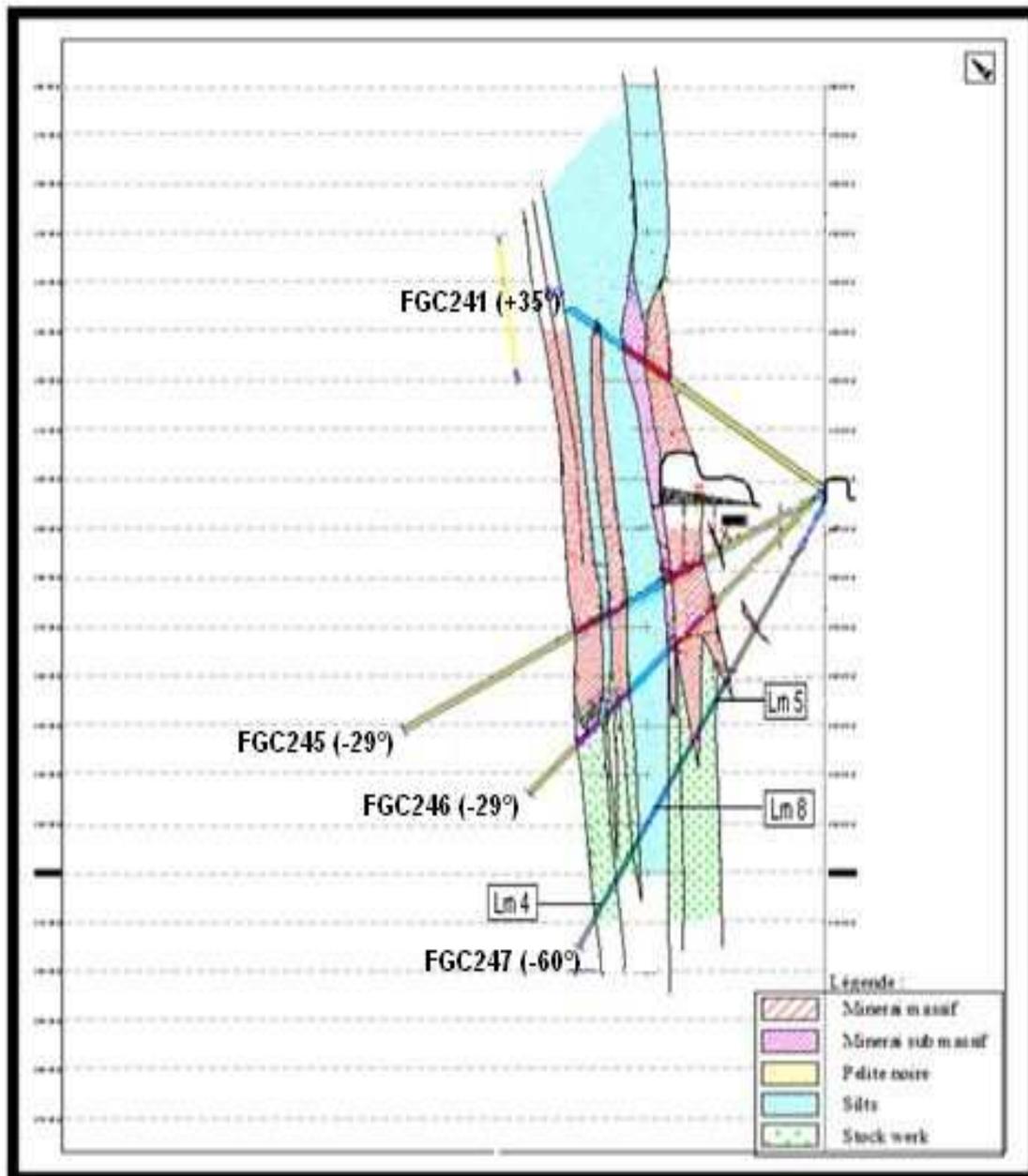


Figure 4.2 : coupe représentative des sondages étudiés avec l'emplacement des sections polis (document interne de CMG modifié)

### 5.1. Minéralisation disséminée : (photos 1 et 3, planche 4)

C'est le type de minéralisation le plus abondant et le moins important du point de vue économique, notamment très fréquent dans les faciès métapelitiques où il se manifeste sous forme de taches millimétriques ou microlentilles, caractérisée par une abondance de

pyrrhotine ( presque 80% ) , sphalérite(5 à 10%) ,la pyrite et quelques cristaux de l'arsénopyrite , galène et de la chalcopyrite.

Microscopiquement et macroscopiquement les différentes formes de minéralisation sont déformées suivant les plans de la schistosité.

## **5.2. Minéralisation bréchique : (photo 2, planche 4)**

Ce type de minerai est formé généralement dans les veines à association de quartz et de la calcite .Il s'agit de noyaux de minerai polymétallique , déchiquetés et pris en enclaves dans une matrice à quartz-carbonate et à l'œil nu ,ces noyaux ont une taille qui varie entre 1 et 3 cm.

## **5.3. Minéralisation massive : (photo 3, planche4)**

Ce type de minerai a été observé macroscopiquement, sur sondages, il correspond à des masses minéralisées polymétallique sans rubanement apparent. Les espèces paragenétiques visibles à l'œil nu, sont la pyrrhotine, la sphalérite, la galène, la chalcopyrite et l'arsénopyrite sur une zone fraîche, et il apparaît jaunâtre à cause de l'oxydation du fer en contact de l'air, reflétant son enrichissement en sulfures de fer.

L'ensemble des sulfures est étiré selon une direction préférentielle qui matérialise probablement celle de la schistosité (S1).

## **5.4. Minéralisation sub-massive : (photo 3, planche4)**

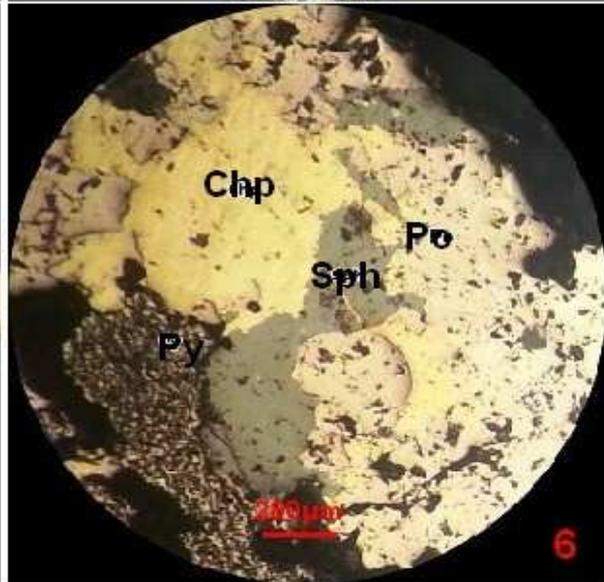
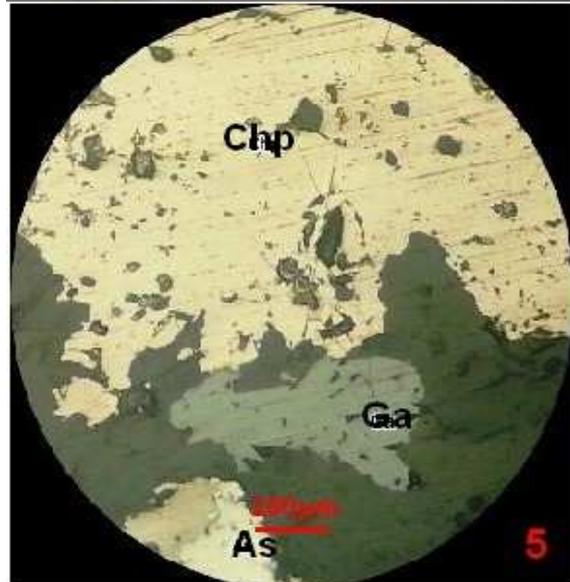
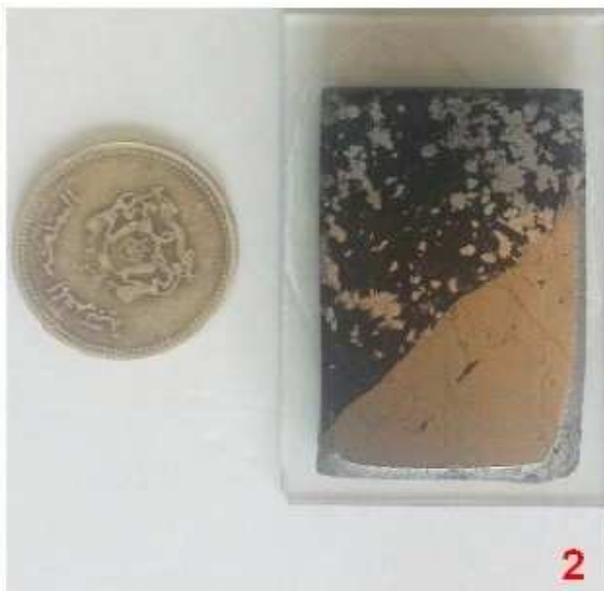
La minéralisation sub-massive est également importante économiquement, elle apparaît sous forme de bandes parfois plissés. Elle est à dominance de pyrrhotite avec des cristaux de l'arsénopyrite losangique et quelques taches de la chalcopyrite ou la sphalérite accompagnée de la galène.

## **5.5. Minéralisation rubanée :**

C'est la minéralisation la plus intéressante sur le plan économique .Elle est constituée principalement de pyrrhotine, pyrite, sphalérite, galène, chalcopyrite et l'arsénopyrite. Ces phases s'organisent en rubans à puissance variable millimétrique à centimétrique.

La distinction entre ces rubans consiste sur l'abondance de la pyrrhotine ou la sphalérite au profit des autres éléments.

PLANCHE4 :



## ***PLANCHE 4 :***

Photo 1 : minéralisation à texture disséminée

Photo 2 : minéralisation bréchique avec dissémination d'arsénopyrite dans l'encaissant

Photo3 : aspect macroscopique des formes de minéralisations, disséminée(1), sub-Massive (2) et massive(3)

Photo4 : contact entre la pyrrhotite et l'encaissant à dissémination d'arsénopyrite

Photo5 : minéralisation fissurale de galène et arsénopyrite avec des plages de chalcopryrite

Photo6 : remplissage de fractures par la pyrite et la sphalérite avec des plages de chalcopryrite et de pyrrhotite

### **Liste des abréviations :**

Chp : chalcopryrite

Po : pyrrhotite

Sph : sphalérite

Ga : galène

As : arsénopyrite

## 5.6. Conclusion de l'étude Métallographique :

L'étude métallographique effectuée sur les sections polies confectionnées à partir des carottes de sondage a révélé une variété d'espèces métalliques riches et varié

➤ La pyrrhotite représente la phase dominante dans presque tous les échantillons de la partie extrême ouest (80% du volume minéralisé) où elle s'associe à la sphalérite, la galène, la chalcopirite, l'arsénopyrite et la pyrite mais sans aucune importance économique. Elle apparaît soit sous forme de paillettes allongées suivant la direction de la schistosité (S1), englobe l'assemblage métallique déjà cité soit sous forme d'inclusions dans ces minéraux.

➤ la sphalérite est le minéral le plus exploité et correspond à la phase la plus abondante après la pyrrhotite, on note également qu'elle se présente en inclusions dans cette dernière et dans la galène.

➤ La galène est peu fréquente par comparaison avec la pyrrhotite ou la sphalérite. Elle est intimement liée à la sphalérite dans la plupart des faciès minéralisés, cependant elle est absente dans la minéralisation disséminée.

➤ La chalcopirite se présente en cristaux ou plages disséminées dans la pyrrhotite, la sphalérite, l'arsénopyrite. Elle assure souvent les joints entre les cristaux de pyrrhotite, de sphalérite et également entre les cristaux d'arsénopyrite.

➤ D'autres part la pyrite et l'arsénopyrite, ne sont pas exploités et n'ont qu'une étendue limitée.

## 6. Conclusion générale :

Les études effectuées sur les carottes des sondages et sur les échantillons microscopiques que nous avons étudiés nous ont permis de réaliser une coupe au niveau du corps extrême ouest de Hajjar. Cette coupe (figure 6) interprétative permet de proposer une disposition des corps minéralisés par rapport aux roches encaissantes reconnues dans la zone.

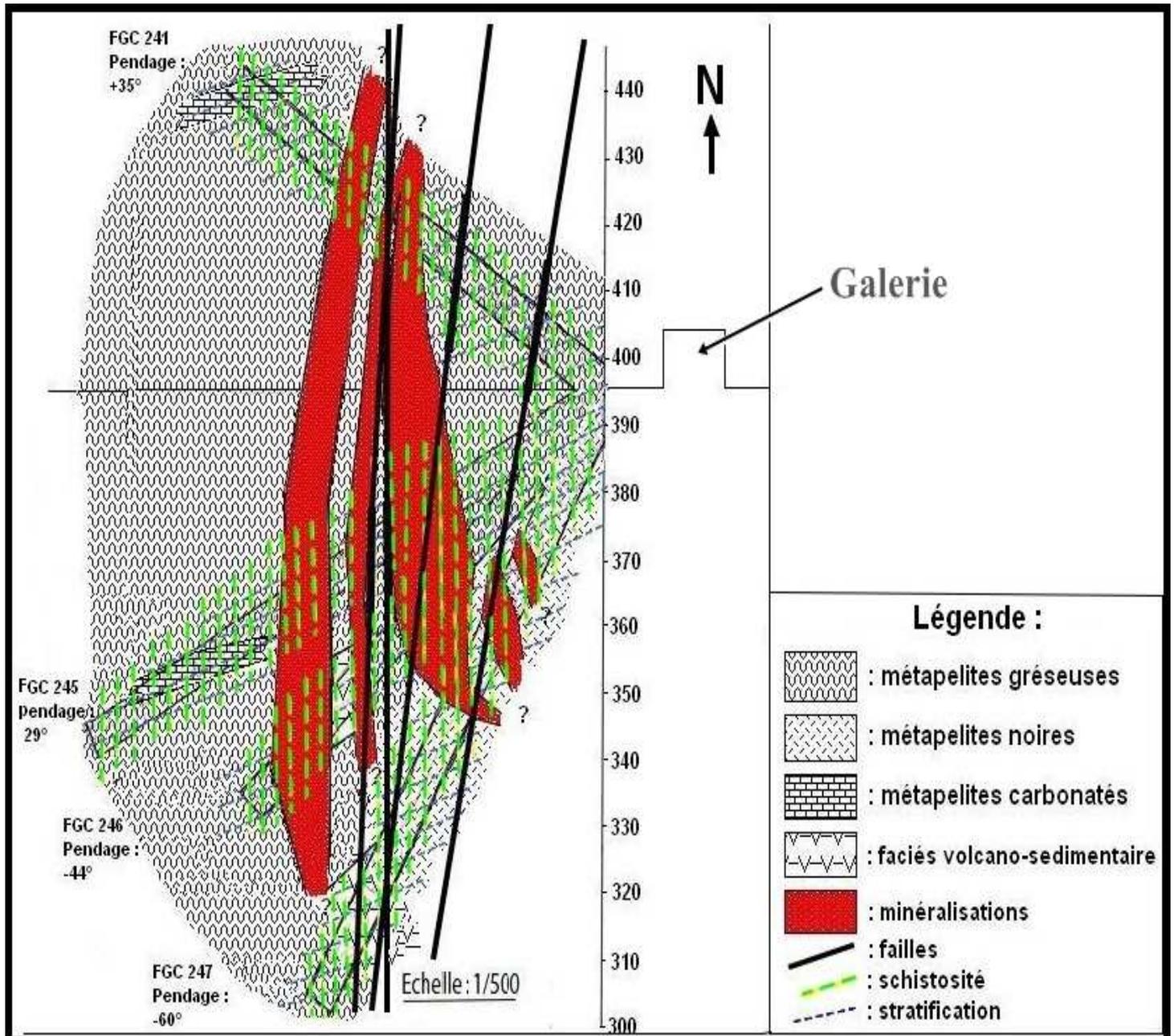


Figure 6 : coupe représentative réalisée à partir des sondages étudiés

Les études effectués sur les sondages dépouillés dans la zone ouest de Hajjar à savoir l'étude pétrographique et métallographique nous ont permis de caractériser les différents faciès et mineralisations dans cette zone.

De point de vue lithologique ont a constaté que la zone est dominée par des métapelites gréseuses traversées par des lentilles minéralisées sub-verticales. Les métapelites noires sont les plus fréquentés après les métapelites gréseuses, elles sont recoupées par des petites lentilles minéralisées. Les roches carbonatées et volcaniques sont moins abondantes par rapport aux précédentes et présentent juste des traces minimales de minéralisation, d'où on peut conclure que la minéralisation est intercalée dans des métapelites et non dans un faciès volcanique comme le service géologique de CMG nous a informé.

De point de vue minéralogique, les lentilles minéralisées du corps ouest de Hajjar sont constituées essentiellement de la pyrrhotite à laquelle s'associent la sphalérite, la galène, la chalcopirite, la pyrite. Les relations texturales nous ont permis de conclure que la recristallisation de pyrrhotite, pyrite, sphalérite, galène, chalcopirite et l'arsénopyrite s'est faite au cours d'une même phase minéralisatrice précoce antéschisteuse puisqu'ils sont orientés suivant une direction précise. Cet assemblage a subi une bréchification, une dissémination et une recristallisation au cours des événements tectoniques, probablement liés à la phase orogénique hercynienne majeure (D1).

Dans le massif de Hajjar, une déformation tectonique liée à cette phase, matérialisée par une schistosité (S1) de direction N10, d'un cisaillement, d'un plissement, des failles et d'un métamorphisme régional a été observée. Cette déformation hercynienne (D1) se sur pose à une altération hydrothermale de la pile sédimentaire, volcano-sédimentaire et carbonaté ; générée pendant la phase précoce hercynienne (D0) ; et elle est contemporaine à la formation des sulfures.

Ces deux phénomènes sont à l'origine d'une transformation physique (texture et minéralogique) et chimique (perte et gain des éléments) plus ou moins intense des roches.

La zone d'étude a connu un métamorphisme générale de type épizonal (Haimeur, 1988, soulaimani, 1991, Hibti, 1993) dont la paragenèse est essentiellement à quartz-chlorite-muscovite, accompagné d'une altération hydrothermale de type sérinitisation, chlorotisation, silicification.

## Références bibliographie :

**Haimeur, 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.

**Gros et al.,(1986)** : Evolution géodynamique de l'ensemble de Guemassa. Recherche des structures précoces pouvant guider les minéralisations sulfurées. Rap. 86 MAR 055 GEO, 41p., 23 ann., 4pl.

**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.

**Maier & al (1986)** : Le gisement polymétallique hydrothermal sédimentaire de Douar Lahjar, Rapport BRPM.

**Morsli Y& Marhfour S (2015)** : Caractérisation lithostratigraphique et structurale de la minéralisation ouest de la mine de Hajjar.

**Piqué, (1994).** Géologie du Maroc : les domaines régionaux et évolution structurale. Ed. pumag, 284p.

**Soulaimani A. (1991)** : L'évolution structurale des affleurements paléozoïques du Haouz de Marrakech (Guemassa -N'Fis) - Maroc. Thèse de 3<sup>o</sup>cycle, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech (Maroc), 180p.

**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.