



Année Universitaire : 2015-2016



**Master Sciences et Techniques : Géoressources et Environnement**

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

# **Contribution à l'étude structurale, gîtologique et métallogénique du gisement de Draa Sfar Nord (Jebilet centrale, Maroc)**

**Présenté par:**

**Imane MESSRAR**

**Encadré par:**

- Mouloud Hamyane, géologue à CMG,
- Said Hinaje, Professeur géologue à la FST - Fès

**Soutenu le 16 Juin 2016 devant le jury composé de:**

- Mr. Said Hinaje
- Mr. Mohamed Charroud
- Mr. Driss El Azab
- Mr. Younès El Ghfir

**Mr. Mouloud Hamyane (invité)**

## AVANT-PROPOS

*A l'issu de ce travail, j'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à son élaboration, par leur contribution directe ou par leur soutien moral.*

*Ma profonde gratitude s'adresse tout particulièrement au Professeur : Mr. HINAJE Said professeur à la faculté des sciences et techniques de Fès (FSTF) pour son encadrement, son modestie, son renseignements fructueux, son soutien constant et surtout une fois de plus pour son totale disponibilité à chaque fois que j'exprime le besoin d'aide. Je ne trouverai jamais le mot exact pour leur exprimer mes sentiments de satisfaction, qu'ils trouvent néanmoins ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*Je tiens à remercier vivement mon encadrant professionnel du stage Mr HAMYANE Miloud, pour ses encouragements, ses critiques et ses directives. Qu'il accepte l'expression de ma gratitude et de toute ma considération. Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à la direction de la CMG Draa Sfar, au nom de son directeur Mr HAMAMI Chafiq pour m'avoir accordée ce stage en me donnant ainsi l'occasion de découvrir l'activité de cette société d'exploitation minière dans des conditions de travail agréable.*

*Ma reconnaissance s'adresse aux enseignants du Master GRE de la faculté des Sciences et techniques de Fès, pour leurs directives et le bagage scientifique. Je tiens à remercier chaleureusement Mr. CHARROUD Mohamed et Mr. ALAZZAB Idriss et Mr. ELGHFIR d'avoir jugé mon travail.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à mes amis de la promotion pour leur soutien, leurs remarques et leurs critiques.*

*Finalement, je remercie mes parents, -pour leurs soin et vos prières; aussi pour leurs présence, leurs amour et pour les efforts que vous avez toujours prodigué à mon égard-, mes sœurs, mes frères, et mes amies CHRAIKI, CHARIAI et ELKARIMI pour leur support inconditionnel tout au long de mes études. C'est à eux que je dédie ce travail.*

## Résumé :

### *Contribution à l'étude structural, gîtologique et métallogénique de Draa Sfar Nord, Jebilet centrale. Maroc*

La province hercynienne marocaine, est caractérisée par son potentiel métallifère qui se manifeste par l'abondance des gisements de métaux d'intérêts économique majeur. Cette région était le lieu d'une activité volcanique intense qui a une relation avec la minéralisation. L'évolution structurale complexe qu'a connue la région avait un impact important sur les corps minéralisés. L'amas sulfuré de Draa Sfar à Pb-Zn-Cu, situé à 13 km au NW de Marrakech, représente l'un des gisements polymétalliques les plus importants dans le Maroc.

Ce gisement est encaissé entre des métapélites gréseuses et des tufs au mur d'âge Dinantien (Mississippien moyen), et un toit compose de métapélites noires carbonatées d'âge Namurien (mississippien supérieur), selon des essais de datation par palynologie de ces formations ; l'ensemble a été attribué à la série de sarhlef. Lors de l'orogénèse hercynienne, le secteur Draa Sfar a été déformé et métamorphisé, ce qui a donné naissance à des structures de cisaillement, de plissement et un réseau de failles, responsables de la morphologie actuelle du gisement.

Le corps minéralisé du Draa Sfar Nord est formé par un ensemble de lentilles affectées par des failles et des plissements. Dans le gisement de Draa Sfar la déformation se manifeste par un boudinage qui donne naissance à une structure particulière de l'amas, c'est une succession de zones minces avec une minéralisation dont la puissance est inférieure à 2 m, et des zones puissantes d'environ 30 m, et un dédoublement ou étirement de la minéralisation.

Le secteur de Draa Sfar Nord (Sidi M'barek) contient une minéralisation massive, rubané, disséminée, de stockwork et de remplissage. Cette minéralisation est organisée en lentilles orientées N-S.

L'étude des sondages carottés nous a permis de mettre en évidence les textures principales de VMS, ainsi qu'une paragenèse à pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite, arsénopyrite, sphalérite et bornite.

**Mots clés :** Draa Sfar, Amas sulfurés, Hercynien, Polymétallique, Evolution structurale, Cisaillement, Lentilles Stockwork, Paragenèse, Jebilet.

## **Abstract:**

### **Contribution of the structural, geological and metallogenic study of Draa Sfar North ore deposit Jebilets. Morocco**

The Variscan province in Morocco is characterized by an important metalliferous potential, represented by the huge number of economic concentrations. An intense volcanic activity has been identified in the Variscan region and which have a direct relation with the mineralization.

The complex structural evolution of the district had a significant impact on the ore bodies. The massive sulfide of Draa Sfar that contain a paragenesis of Pb-Zn-Cu, situated at 13 Km in the NW of Marrakesh, represent one of the most important polymetallic concentrations in Morocco.

The ore deposit has a host rock that is mainly a metapelitic sandstone and some volcanic rocks such as tuffs in the inferior part of the ore body that have an age of the middle Mississippian. The superior part of the mineralization has a black carbonaceous metapelitic host rock of the Superior Mississippian. The palynological study of those formations leads to the fact that they are all related to the Sarhlef series. During the Variscan orogeny, the Draa Sfar sector has been deformed and metamorphized, giving a lot of shear zones, folds, and a brittle deformation represented by the faults that are responsible of the ore body morphology.

The ore body of Northern Draa Sfar is formed by many lenses affected by many faults and folds. The deformation is manifested by the boudinage that lead to the formation of a particular structure of the lenses. This structure is represented by a succession of thin beds of the mineralization with a thickness of two meters, and another beds with 30 meters of thickness with a stretching of the mineralization.

The Northern Draa Sfar (Sidi M'barek) contains a massive, banded, disseminated, texture of the ore mineralization in addition to a stockwork and a filling texture. The ore mineralization is organized in N-S lenses.

The study of the drill cores allows us to identify the main textures of the ores in the volcanogenic massive sulfide deposits of the Draa Sfar, also the paragenesis is that contain the pyrrhotite, Pyrite, Chalcopyrite, Arsenopyrite, Sphalerite, And the Bornite.

**Keywords:** Draa Sfar, Massive sulphide, Hercynian, Polymetallic, Structural evolution, Shear zones, Lenses, Stockwork, Paragenesis, Jebilet.

## Sommaire

AVANT-PROPOS.....	1
RESUME.....	3
ABSTRACT.....	4
I. LES DOMAINES STRUCTURAUX AU MAROC : .....	7
1. LE DOMAINE ANTI-ATLASIQUE ET SAHARIEN : .....	7
2. LE DOMAINE ATLASIQUE ET MESETIEN : .....	7
3. LE DOMAINE RIFAIN : .....	8
II. LA GEOLOGIE DU DOMAINE ATLASO-MESETIEN .....	9
1. LE HAUT ATLAS .....	10
2. LE MOYEN ATLAS :.....	11
3. LES MESETAS : .....	12
1. <i>Le socle paléozoïque</i> :.....	13
2. <i>La couverture méso-cénozoïque</i> . .....	16
III. VOLCANISME HERCYNIEN.....	16
IV. LE MASSIF DES JEBILETS CENTRALES :.....	19
4.1 LE CADRE GEOLOGIQUE DES JEBILETS CENTRALES :.....	19
4.2 . ZONATION STRUCTURALE :.....	20
4.3 LA GEODYNAMIQUE HERCYNIENNE DES JEBILETS CENTRALES .....	21
4.4 L'EVOLUTION SEDIMENTOLOGIQUES DU MASSIF DES JEBILETS : .....	23
4.5 LA STRATIGRAPHIE DE LA SERIE DE SARHLEF :.....	24
4.6 STRUCTURES METAMORPHIQUES : .....	25
4.7 TRAVAUX ANTERIEURS DANS LES JEBILETS CENTRALES.....	25
<b>CHAPITRE II : LE GISEMENT DRAA SFAR.....</b>	<b>27</b>
I. PRESENTATION DU DISTRICT MINIER DRAA SFAR :.....	27
1.1 HISTORIQUE DE LA MINE DE DRAA SFAR .....	27
1.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE DU GISEMENT DRAA SFAR : .....	27
1.3 CADRE GEOLOGIQUE ET LITHOSTRATIGRAPHIQUE DE LA MINE DE DRAA SFAR : .....	29
1.4 MODE DE MISE EN PLACE DES MINERALISATIONS DE DRAA SFAR.....	30
1.5 ETUDES REALISEES DANS LE GISEMENT DRAA SFAR :.....	31
II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :.....	32
2.1 CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU GISEMENT DRAA SFAR NORD : .....	32
2.2 LITHOSTRATIGRAPHIE A DRAA SFAR NORD :.....	33
2.3 LES LENTILLES MINERALISEES A DRAA SFAR NORD : .....	34
<b>OBJECTIFS DU TRAVAIL ET METHODES UTILISEES .....</b>	<b>35</b>
I. PROBLEMATIQUE .....	35
II. LE CHOIX DU SUJET :.....	36
III. L'OBJECTIF DE L'ETUDE : .....	36
IV. METHODOLOGIE : .....	37
4.1 TECHNIQUE DE MESURE DE DIRECTIONS ET PENDAGES .....	37
V. MATERIELS : .....	38
5.1 LES OUTILS INFORMATIQUES .....	38
<b>CHAPITRE III : ETUDE STRUCTURALE.....</b>	<b>39</b>
I. INTRODUCTION :.....	39

II.	LA DEFORMATION DUCTILE.....	39
2.1	LA STRATIFICATION S0 : .....	39
2.2	LA SCHISTOSITE S1 : .....	40
2.3	SCHISTOSITE S2 : .....	43
2.4	LES PLIS : .....	44
2.5	LE BOUDINAGE .....	46
III.	LA DEFORMATION CASSANTE : .....	46
3.1	LES FENTES DE TENSION : .....	47
3.2	LES FAILLES : .....	48
3.3	DIACLASES SUBHORIZONTALES (JOINTS DE COMPRESSION) : .....	51
3.4	RELATION FAILLES ET MINERALISATIONS : .....	52
IV.	CONCLUSION.....	52
<b>CHAPITRE IV : ETUDE GITOLOGIQUE : .....</b>		<b>54</b>
I.	MORPHOLOGIE DES COUPES MINERALISEES : .....	54
II.	DESCRIPTION DU MINERAL ET SON ENCAISSANT : .....	55
2.1	LE SONDAGE CAROTTE DS154 .....	56
2.2	LE SONDAGE CAROTTE DS178 : .....	59
2.3	LE SONDAGE CAROTTE DS128 : .....	61
2.4	LE SONDAGE CAROTTE DS 175 : .....	63
2.5	LE SONDAGE CAROTTE DS194 : .....	65
2.6	LE SONDAGE CAROTTE DS187 : .....	68
<b>CHAPITRE V : ETUDE PETROGRAPHIQUE ET METALLOGENIQUE : .....</b>		<b>70</b>
I.	INTRODUCTION.....	70
II.	ETUDE PETROGRAPHIQUE .....	71
2.1	METAPELITES : .....	71
2.2	METAPELITES GRESEUSES : .....	72
2.3	CHLORITO-SCHISTE : .....	73
2.4	CHLORITITE : .....	74
III.	ETUDE METALLOGENIQUE : .....	75
3.1	LES TEXTURES DU MINERAL : .....	75
IV.	LA SUCCESSION PARAGENETIQUE : .....	80
<b>CHAPITRE VI: MODELISATION DE MISE EN PLACE DES MINERALISATIONS : .....</b>		<b>81</b>
I.	INTRODUCTION.....	81
II.	LA REALISATION DES COUPES .....	82
2.1	LA COUPE INTERPRETATIVE DU SONDAGE CAROTTE DS 154 .....	83
2.2	LA COUPE INTERPRETATIVE DU SONDAGE CAROTTE DS 175 .....	84
2.3	LA COUPE INTERPRETATIVE DU SONDAGE CAROTTE DS 128 : .....	86
2.4	LA COUPE INTERPRETATIVE DU SONDAGE CAROTTE DS 187 : .....	87
2.5	LA COUPE INTERPRETATIVE DU SONDAGE CAROTTE DS 178 : .....	88
2.6	LA COUPE INTERPRETATIVE DU SONDAGE CAROTTE DS 194 : .....	89
III.	INTERPRETATION : .....	90
CONCLUSION GENERALE.....		91

## **CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE :**

### **I. LES DOMAINES STRUCTURAUX AU MAROC :**

Le Maroc, situé à l'extrémité nord-occidentale de l'Afrique, montre une géomorphologie très contrastée. Ceci revient à une nette variabilité dans la forme et la grandeur des reliefs, due indubitablement à l'enchaînement au cours des temps géologiques des différentes phases orogéniques. Le déroulement de ces phénomènes géologiques couplé avec des conditions climatiques variables d'une région à l'autre, procréent des domaines structuraux différents et bien distincts (Fig.1). Ainsi, du Sud au Nord, s'individualisent le domaine anti-atlasique et son prolongement saharien vers le Sud, le domaine atlasique et mesetien et le domaine rifain. Ces trois domaines sont séparés, d'une part, par l'accident sud-atlasique entre les domaines méridional et central et d'autre part, par le front des nappes de charriage (rifaines) tertiaires entre les deux domaines central et septentrional. Le domaine anti-atlasique et saharien a été surtout façonné par des orogènes précambriennes (Michard) et, d'une manière subordonnée, par des orogènes paléozoïques (calédonienne et hercynienne); par contre les domaines rifain, atlasique et mesetien ont été surtout affectés par les orogènes hercynienne et alpine (Choubert, 1963 ; Piqué, 1994)

#### **1. Le domaine anti-atlasique et saharien :**

Ce domaine, comme son nom l'indique, renferme la chaîne anti-atlasique et son prolongement méridional vers les régions sahariennes (Fig.1).

L'emplacement de ces régions juste au Nord du craton par comparaison aux autres domaines du Maroc septentrional, particulièrement au cours du cycle orogénique alpin. De ce fait, se dégage l'originalité de ces territoires méridionaux du Maroc dans lesquels des séries très anciennes du socle affleurent largement; ceci est un facteur primordial et constitue un métallotecte favorable à la genèse des gîtes minéraux.

Par ailleurs, ce domaine englobe deux zones distinctes : le Maroc saharien au sud et l'Anti-Atlas au nord (Hinaje, 1995).

#### **2. Le domaine atlasique et mesetien :**

Ce domaine est limité au sud par l'Accident Sud Atlasique (ASA) au pied méridional du Haut Atlas, et au nord par les nappes de charriage rifaines les plus externes (Fig.1). Il représente une zone d'avant- pays de la chaîne alpine en bordure de la plate-forme africaine. Au niveau de

ce domaine affleurent largement le socle hercynien et, très localement, le Précambrien dans quelques boutonnières. La couverture prédomine aussi par des terrains post-triasiques, au niveau des chaînes atlasiques et des bassins mésozoïques mesetiens (Marçais, 1952).

Concernant les phases tectoniques, ce domaine a enregistré les traces des orogènes calédonienne, hercynienne et alpine (Piqué, 1994) Ainsi, compte-tenu du style et de l'intensité des déformations tectoniques, mais aussi de la nature et la compétence des matériaux, apparaissent dans ce domaine deux types de zone structurale : i) zone à couverture plissée, à savoir le Haut Atlas et le Moyen Atlas plissé; ii) zone à couverture tabulaire qui sont à l'ouest la Meseta occidentale, et à l'est la Meseta orientale (Piqué, 1994).

En définitive, l'ossature du domaine atlasique et mesetien est assurée particulièrement par le Haut Atlas, le Moyen Atlas et les Mesetas occidentale et orientale. Par ailleurs, pour le schéma structural de ce domaine s'ajoute, à ces différentes zones, le sillon sud-rifain et le couloir de Taza-Oujda. Ce sont deux dépressions allongées et effondrées au cours des dernières phases orogéniques du Miocène supérieur et du Quaternaire. Ces zones d'effondrement englobent des produits d'érosion des chaînes montagneuses et des régions exhausées, engendrant des séries molassiques marines ou continentales (Michard, 1976).

Ce sont, pour l'essentiel, des sédiments marins miocènes sub-tabulaires et des recouvrements continentaux d'âge Plio-Quaternaire (Piqué, 1994).

### **3. Le domaine rifain :**

Les limites de la chaîne rifaine sont difficiles à établir avec précision. Cette chaîne se prolonge vers le nord par la cordillère Bétique, avec laquelle elle forme autour de la mer d'Alboran l'arc de Gibraltar (Michard, 1976).

Ce dernier représente l'extrême ouest de la chaîne alpine de la Méditerranée occidentale. A l'Est, le domaine rifain englobe les klippes de la région de Kebdana et s'étend vers les chaînes telliennes et kabyles en Algérie. Au Sud, ce domaine se limite arbitrairement par les unités charriées les plus externes.

Enfin à l'Ouest, la limite se perd sous les formations récentes de la plaine de Gharb et sous les eaux de l'offshore atlantique.

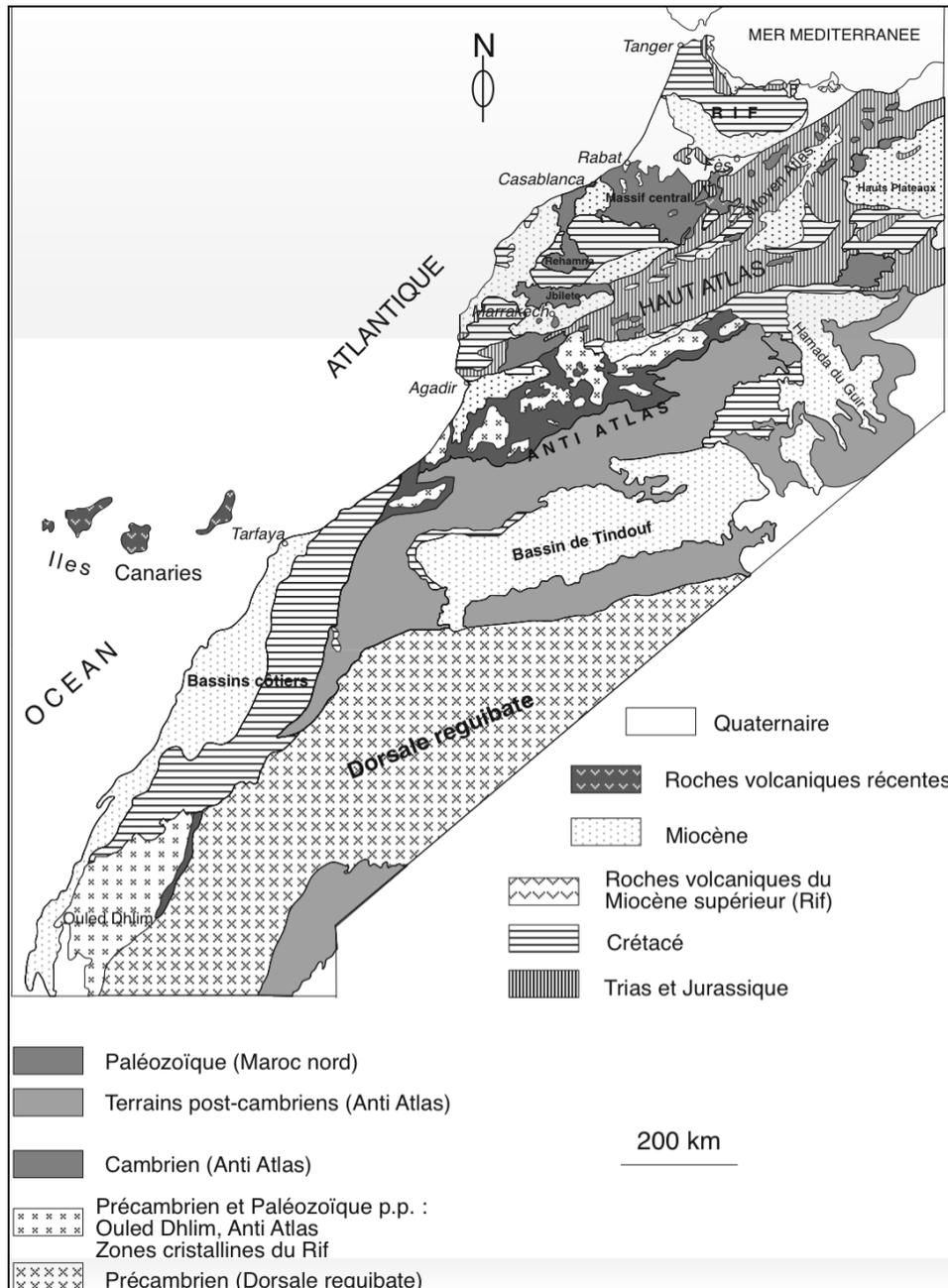


Figure 1: carte des principaux domaines structuraux marocains (d'après Piqué et al, 2006)

## II. LA GEOLOGIE DU DOMAINE ATLASO-MESETIEN

Situé entre l'accident sud atlasique et la limite sud du Prérif, ce domaine est géologiquement constitué par (Fig.2):

1) Un socle paléozoïque d'âge allant du Cambrien jusqu'au Permien et constitué essentiellement par des terrains sédimentaires avec une intense activité volcanique au Viséen. Ce socle a été structuré par l'orogénèse hercynienne responsable aussi de la mise en place de nombreuses intrusions de granitoïdes. La chaîne hercynienne ainsi formée a été pénéplané par

l'érosion et elle affleure dans des massifs plus ou moins étendus séparés par des plateaux où affleure la couverture post paléozoïque.

2) Une couverture, formée de terrains essentiellement carbonatés, mésozoïques et cénozoïques demeurant horizontale et comportant deux unités structurales :

a) une zone à couverture tabulaire, la meseta marocaine, comprenant :

- la Meseta occidentale englobant le causse moyen atlasique, les plateaux et les massifs à l'Ouest du Moyen Atlas.

- la Meseta orientale formée des hauts plateaux et du pays des horts et les massifs hercyniens dans le Maroc oriental.

b) une zone à couverture plissée comprenant le Haut et le Moyen Atlas, ayant subi une tectonique alpine précoce (Michard, 1976).

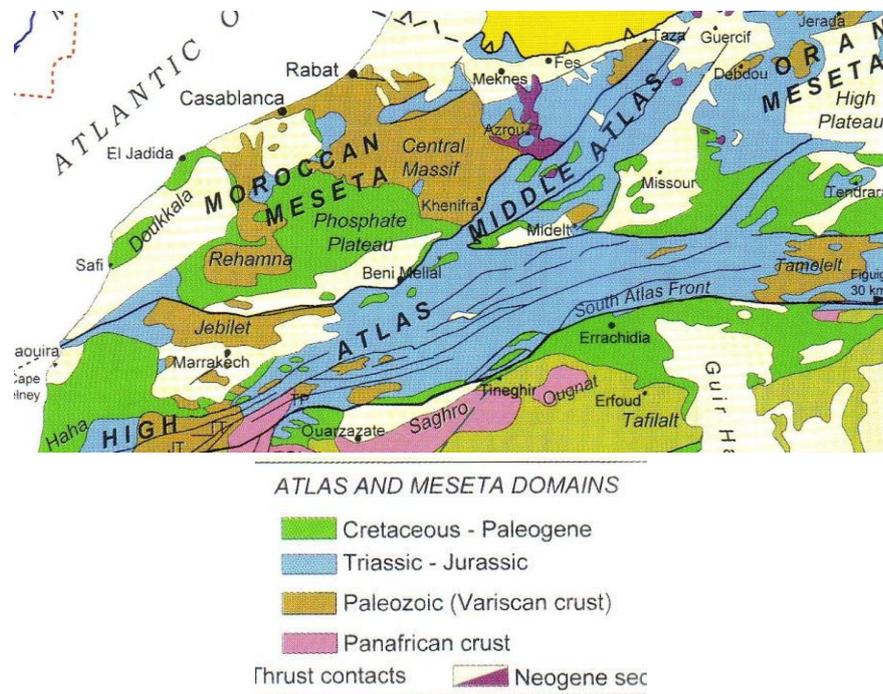
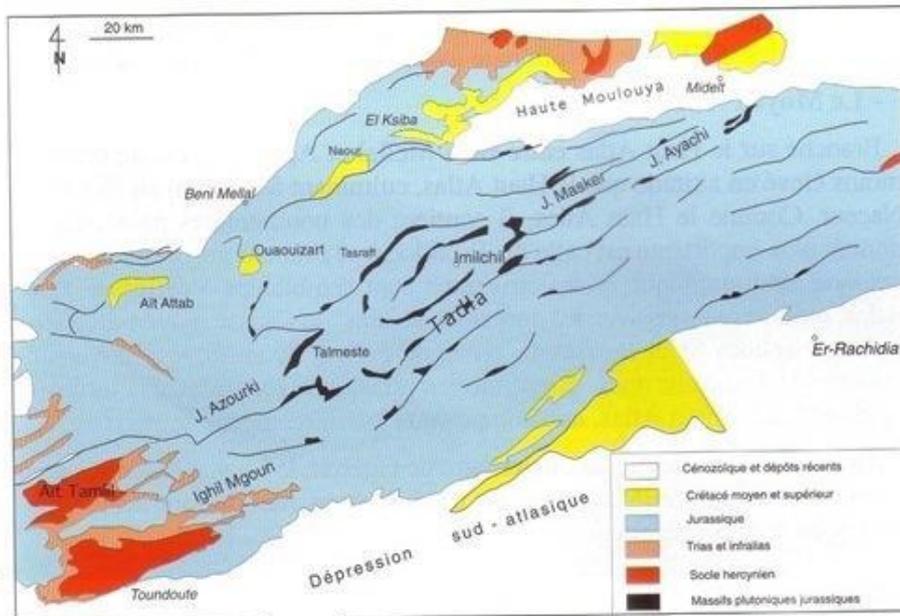


Figure 2: Carte géologique simplifiée du domaine meseto-atlasique (d'après Piqué, 1994)

## 1. Le Haut Atlas

Le Haut Atlas est de loin l'élément morpho-structural le plus remarquable du Maroc. Il constitue une muraille, de direction majeure WSW-ENE, traversant tout le pays (Fig.2). Cette chaîne est subdivisée en trois zones: occidentale, centrale et orientale.



**Figure 3 : Carte géologique simplifiée du Haut Atlas (d'après Piqué, 1994)**

De point de vue géologique, le Haut Atlas est constitué par des terrains plissés dont l'âge s'étale du Trias à l'Eocène, entrecoupés par le substratum varisque au niveau de plusieurs boutonnières et localités. Ces dernières sont, de l'Ouest vers l'Est, le massif ancien du Haut Atlas, Haut Atlas de Demnate, El Bour-Mougueur, Sebbab-Bou Dahar, Bou Anane- Tamlalt et Boukaïs-Talzaza. Le massif ancien du Haut Atlas, appelé aussi massif ancien de Marrakech, sépare le Haut Atlas occidental du Haut Atlas central. Il forme un bloc de terrain à noyau précambrien qui se raccorde en continuité d'affleurement au soubassement précambrien du Jebel Siroua, dans l'Anti-Atlas. La couverture, d'épaisseur généralement importante, est d'âge jurassique inférieur et moyen à l'est de Marrakech (massif ancien du Haut Atlas), et jurassique supérieur et crétacé à l'ouest (Piqué 2006).

## **2. Le Moyen Atlas :**

D'orientation globale N45°, le Moyen Atlas s'étend depuis la ville de Beni Mellal, où il se sépare du Haut Atlas, jusqu'à la ville de Taza. Sur le plan morpho-structural, le Moyen Atlas regroupe deux domaines distincts (Fig.4) : **i)** au Nord-Ouest le Moyen Atlas tabulaire, matérialisé par un causse calcaro-dolomitique d'âge surtout liasique parsemé d'édifices et de coulées basaltiques récents; **ii)** au sud-est le Moyen Atlas plissé dont la nature de la couverture mésozoïque et les formes des structures tectoniques sont analogues à celles du Haut Atlas. En effet, le Moyen Atlas plissé apparaît sous forme de succession de zones basses (synclinaux) et de rides où se localisent les régions les plus hautes de la chaîne (Jebel Tichoukt: 2796 m; Jbel Bou Iblane: 3190 m et Jbel Bou Naceur: 3340 m) (Michard, 1976).

Au niveau du Maroc oriental, le Moyen Atlas s'ennoie sous les formations récentes d'âge Mio-Pliocène de la plaine de Guercif, pour réapparaître sous forme de petits massifs encadrant le couloir de Taza-Oujda (Masgout, Beni Snassen, Kebdana, etc.).

Au Sud de ce couloir apparaît la chaîne des horsts, connue aussi sous le nom des monts d'Oujda. Dans ces régions du Maroc oriental affleurent des pointements du socle paléozoïque, comme le cas du massif de Debdou, Mekam, (Charroud, 2002) Jerrada, etc. De même, à la terminaison nord-est du Moyen Atlas affleure, près de la jonction de l'accident nord Moyen Atlasique et du front des nappes de charriage rifaines, le socle paléozoïque des séries atlasiques plissées dans le massif de Tazekka (région de Taza).

Par ailleurs, les Atlas (Haut et Moyen Atlas) correspondent en gros à des chaînes dont les reliefs sont dus essentiellement aux jeux des failles inverses pendant le serrage alpin. Ces mouvements verticaux de surrection associés à des coulissements horizontaux sont assurés notamment par de grandes cassures profondes héritées du socle (Piqué, 1994).

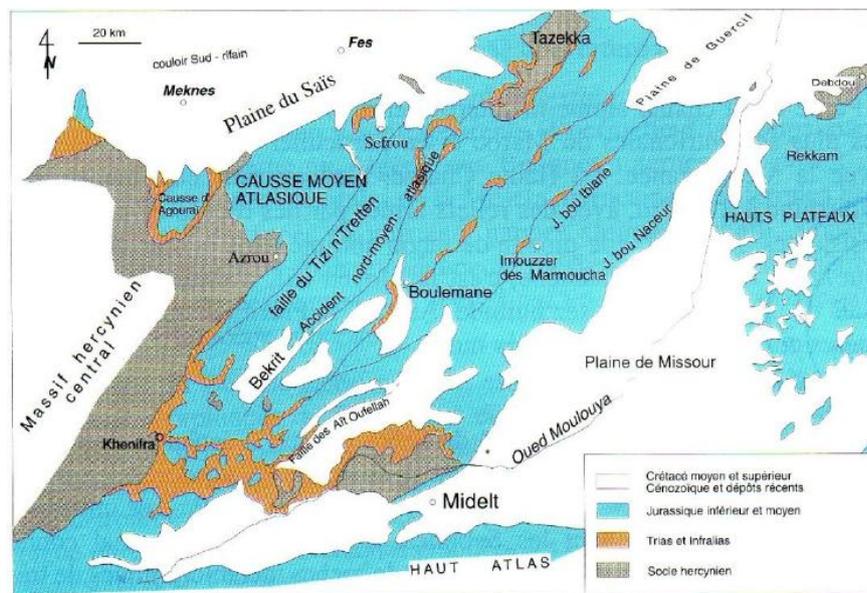


Figure 4 : Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas (d'après Piqué, 1994)

### 3. Les Mesetas :

Sur le plan géologique, le domaine mesetien est caractérisé par (Fig.2):

- Un socle paléozoïque déformé par l'orogénèse hercynienne ou varisque et qui apparaît dans des « boutonnières »: massif hercynien central (ou Maroc central), Rehamna, Jebilet, Midelt, Debdou, Mekkam, Jerada, Beni Snassène (Michard, 1976).

- Une couverture méso-cénozoïque restée quasi horizontale et qui correspond aux plaines et plateaux : Chaouïa, Doukkala, Plateaux des Phosphates, des Gantour, Bahira, Hauts Plateaux (Michard, 1976).

### **1. Le socle paléozoïque :**

Dans la Meseta, le soubassement de la série paléozoïque est représenté par quelques affleurements de terrains précambriens (El Jadida, SE du Massif hercynien central, Rehamna, Tiflet...). Ce sont des laves acides (rhyolites, andésites) et des massifs de granites. Les analogies de faciès et les datations isotopiques permettent de donner un âge de 593 Ma pour des orthogneiss des Rehamna centraux et 605 Ma pour le granite de Tiflet, permettant de rattacher ces formations au Néoprotérozoïque terminal (P III, série d'Ouarzazate) (Elkamel, et al 1992).

La série Paléozoïque de la Meseta est quasi complète depuis le Cambrien (540-500 Ma) jusqu'au Permien (295-245 Ma).

Au Westphalien (Carbonifère supérieur chaud et humide, 300 Ma) la mer se retire progressivement vers l'Est laissant des sédiments marins puis continentaux déposés dans des plaines deltaïques, des lacs et des marécages (région de Jerada). C'est à cette époque que se forment les gisements de charbon de la région (Essaifi, 1987).

#### **a. Les déformations hercyniennes (ou varisques) :**

L'orogénèse hercynienne se déroule pendant le Carbonifère. On a l'habitude de la subdiviser en plusieurs épisodes ou « phases » qui représentent plutôt des paroxysmes de déformation dans un processus de raccourcissement continu. Sa phase majeure est observée dans l'ensemble du domaine mesetien. La direction de raccourcissement est orientée NW-SE, les structures sont des plis synschisteux de direction NNE-SSW à ENE-WSW associés à un métamorphisme régional de faible degré (épizone, faciès schistes verts), sauf dans le massif des Rehamna où il atteint la mésozone (faciès amphibolite) (Admou, 1986).

Le métamorphisme, daté à 300 Ma, indique que cette phase majeure se déroule à la fin du Westphalien. Le sens de déversement des plis est variable mais le plus souvent vers l'Ouest ou le NW, ils sont associés à des chevauchements et des charriages.

A l'Ouest de la Meseta occidentale (Meseta Côtière), les déformations hercyniennes sont de faible intensité (plis ouverts, disparition progressive de la schistosité), ce domaine, appelé « Bloc Côtière ou mole côtière » est séparé du reste de la Meseta par une importante zone de failles NNE-SSW (Zone de Cisaillement de la Meseta Occidentale) (Piqué, et Michard 1989).

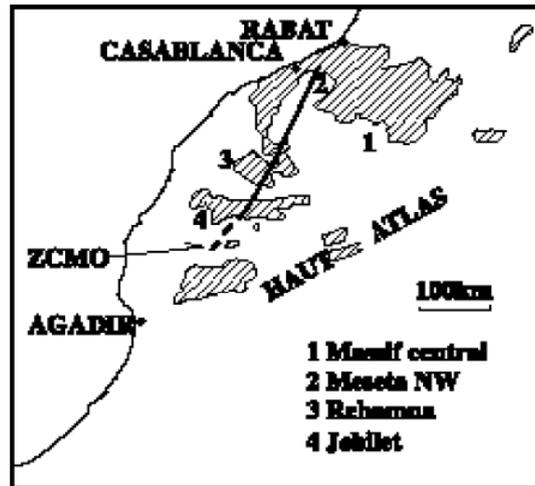


Figure 5: Emplacement de la zone cisailante de la Meseta occidentale par rapport aux massifs hercyniens (en hachuré) du Maroc occidental (d'après Piqué et al., 1980).

Elle s'étend sur plus de 300Km depuis la zone de Sidi Bettache (Nord de la Meseta occidentale) jusqu'au massif des Rehamna et probablement celui de Jebilet (Piqué et al., 1980). Ce linéament tectonique, à jeu notamment dextre, sépare le Bloc Côtier à l'Ouest légèrement déformé des autres parties centrale et orientale de la Meseta, bien marquées par les événements hercyniens (Piqué et al., 1980). Il contrôle aussi bien la genèse des bassins sédimentaires que les phénomènes de plissement et de métamorphisme à cette époque hercynienne. Ceci se répercute par la variation de la nature et de l'épaisseur des dépôts du Paléozoïque moyen et supérieur de part et d'autre de cet accident; en effet, la sédimentation du Bloc Côtier de faible épaisseur contraste avec celle du reste de la Meseta qui est épaisse et déformée (Huvelin, 1977).

Aussi, au niveau de la Meseta marocaine, la phase compressive hercynienne de direction NW-SE et d'âge Post-Viséen engendre des zones de cisaillements ductiles conjugués dextres de direction N70° et sénestres subméridiens (Lagarde, 1985). L'effet de ce raccourcissement se fait sentir notamment le long des cisaillements ENE dextres, dont le plus connu est le décrochement Tizi n'Test ou cisaillement sud mesetien. Ce trait structural de dimension crustale (Mattauer et al., 1972), semble limiter au sud la chaîne hercynienne de la Meseta marocaine.

Des granitoïdes se mettent en place sous forme de petits massifs circonscrits en développant un métamorphisme thermique (de contact) (Fig.6). Leurs âges isotopiques varient entre 320 et 280 Ma selon les massifs. Ces plutons granitiques se sont donc mis en place tout au long de l'orogénèse hercynienne depuis le Viséen supérieur jusqu'au Permien.

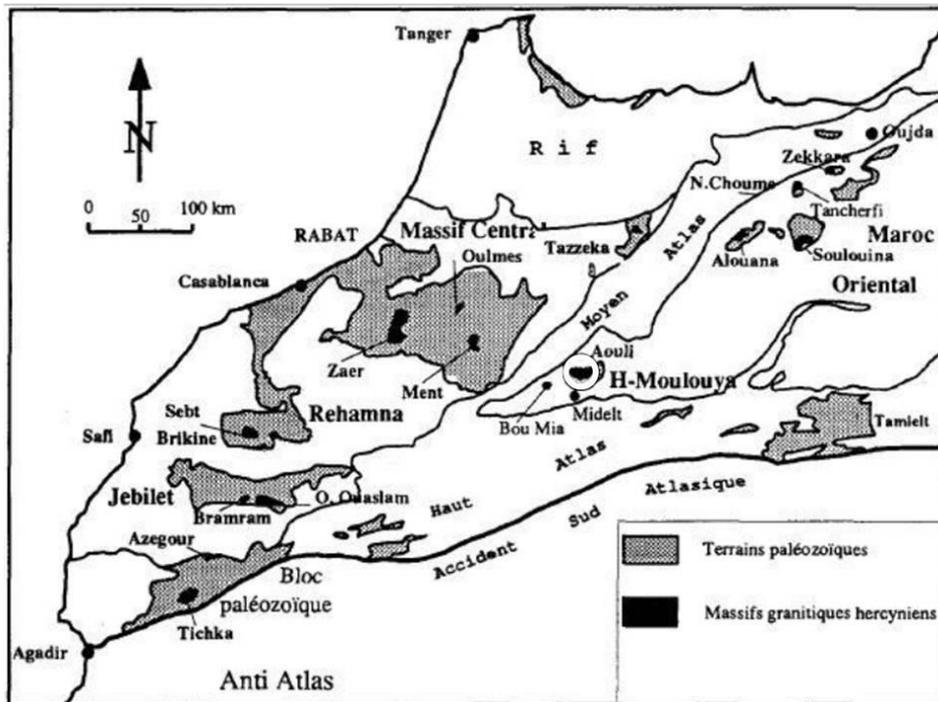


Figure 6 : carte des terrains paléozoïques et des massifs granitoïdes hercyniens du Nord marocain (d'après Piqué et Michard, 1981).

**b. Le modèle géodynamique :**

Les modèles de reconstitution de la Pangée au Permien montrent que la chaîne hercynienne du Maroc (domaine de la Meseta + domaine de l'Anti-Atlas + Nord des Mauritanides) fait partie des chaînes paléozoïques péri-atlantiques résultant de la collision entre (Laurentia + Baltica) et le Gondwana (Craton Ouest africain). Elle se rattache donc, d'une part à la chaîne des Appalaches en Amérique, d'autre part à la chaîne hercynienne (ou varisque) d'Europe (Faure M., Leliox C., Roig J.Y. 1997).

La zone de suture entre Laurentia et Gondwana traverse l'Europe et se prolonge le long de la côte Est de l'Amérique du Nord. Elle est jalonnée par des témoins de la croûte océanique qui séparait les deux continents.

A la fin du Carbonifère, la collision entre l'Amérique du Nord et l'Afrique est responsable de la phase majeure de raccourcissement dans les domaines de la Meseta et de l'Anti-Atlas, plus au sud les nappes des Mauritanides sont charriées sur le Craton.

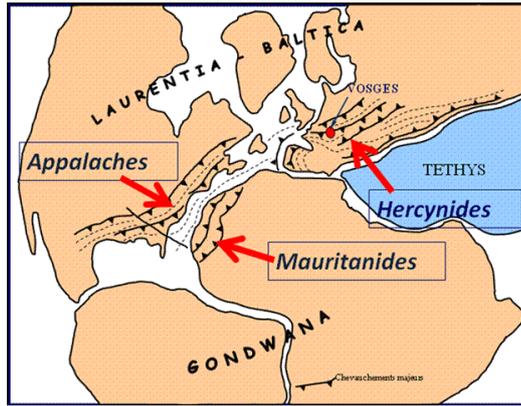


Figure 7 : La disposition des blocs continentaux lors de l'orogénèse hercynienne (d'après Faure M., Leliox C., Roig J.Y. 1997).

## 2. La couverture méso-cénozoïque.

### a. la Meseta occidentale :

Sa couverture post-Paléozoïque présente des analogies avec les dépôts du domaine saharien :

- Le Trias supérieur repose en discordance majeure sur le socle .Il est représenté par des grès et argilites rouges parfois salifères, contenant une intercalation de basaltes doléritiques dont l'âge isotopique est compris entre 200 et 180 Ma (Beauchamp, 1984).
- Le Jurassique et le Crétacé inférieur sont absents. Le domaine de la Meseta était émergé. On connaît seulement pendant cette période des dépôts continentaux de grès et de marnes rouges ou roses (Choubert, 1952).

### b. la Meseta orientale,

Sa couverture post-Paléozoïque débute par le Trias argileux rouge avec les basaltes doléritiques comme en Meseta occidentale. Par contre, à partir du Jurassique la Meseta orientale reste un domaine marin peu profond relié à la Téthys au nord. Cette partie de la Meseta correspond à la marge des bassins subsidents du Moyen Atlas et du Haut-Atlas oriental. On y trouve essentiellement des dépôts carbonatés, calcaires, parfois récifaux, dolomies. Les dolomies du Jurassique moyen, sub-tabulaires forment la « Dalle des Hauts Plateaux » (Piqué, 1989).

## III. VOLCANISME HERCYNIEN

Au nord-ouest du Maroc, les structures fini-dévonien, érodées, sont recouvertes en discordance angulaire par une épaisse série volcano-sédimentaire dont les termes explosifs prédominent sur ceux effusifs (Hoepffner, 1981; Piqué, 1994). D'après ces mêmes auteurs, ce type de roche est visible du Tazekka à Jerada et semble caractériser toute la Meseta orientale. Le

chimisme de ces roches, prédominées par des laves et les tufs andésitiques, indique un caractère calco-alcalin, souvent expliqué par la présence d'une zone de subduction (Hoepffner, 1981; Piqué, 1994). Toutefois, aucun indice typique du phénomène de subduction ne semble être existant dans ces régions, comme par exemple la présence de la lithosphère océanique et/ou de métamorphisme de haute pression-basse température, etc. Ce caractère calco-alcalin est vraisemblablement lié au jeu de grands accidents cristaux transcurrents (Hoepffner, 1981; Piqué, 1994). Aussi, d'autres études (Gasquet et al., 1996) indiquent que la mise en place des bassins volcano-sédimentaires viséens semble être contrôlée par un contexte géodynamique à dominance transcurrent ou transcurrente-chevauchante.

Par ailleurs, l'étude pétrographique et géochimique des laves dévono-dinantiennes de la Meseta marocaine (Kharbouch et al., 1985; Kharbouch, 1994) permet de distinguer deux provinces magmatiques dans le Maroc hercynien (Fig.6).

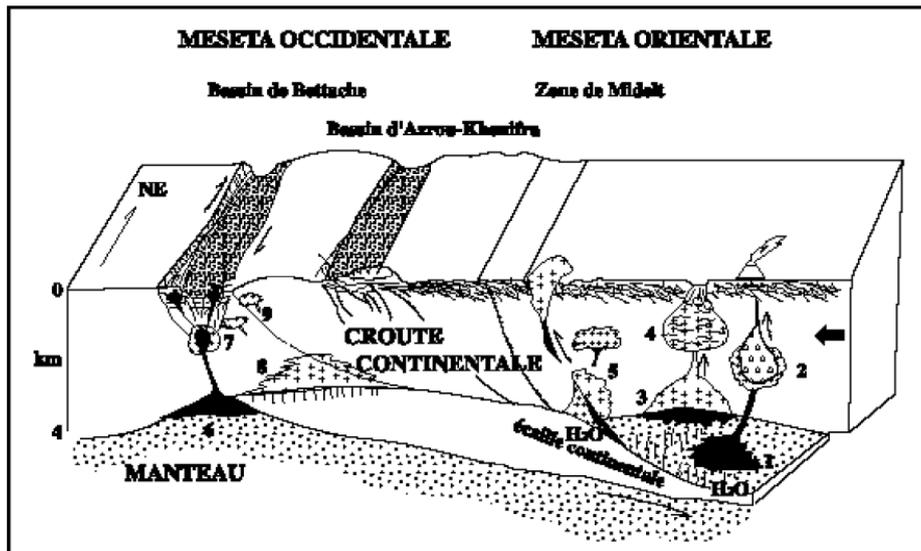
-la Meseta orientale est marquée par un volcanisme bimodal surtout explosif d'affinité orogénique calco-alcaline, probablement lié à une subduction;

-les roches de la Meseta nord-occidentale, tholéïtiques à transitionnelles (alcalines), caractérisent un site distensif peut-être de type bassin marginal.

Ce contexte géodynamique se traduit par la genèse de bassins sédimentaires, notamment celui de Sidi Bettache et bassins associés. Les marges de ces bassins sont souvent marquées par une sédimentation chaotique et par des zones de failles qui sont les voies d'accès des laves basiques (Aarab, 1984).

De même, au niveau des boutonnières dévono-dinantiennes du Haouz de Marrakech se manifeste un volcanisme lié à une distension au cours du Tournaisien, jusqu'au Viséen supérieur (Gaillet, 1986).

Cette activité volcanique, de nature bimodale, est similaire à celle des Jebilet centrales (Piqué et Kharbouch, 1983 ; Aarab et Beauchamp, 1987) et se rattache à la zone bordière ouest du bassin des flyschs sud-mesetien, subsidente dès le Famennien supérieur. Aussi, l'évolution géologique de ce bassin sud-mesetien au niveau du Haouz occidental (Gaillet, 1986) est comparable à celle du bassin nord-mesetien de Sidi Bettache (Piqué, 1979).



**Figure 8 : Bloc-diagramme illustrant le cadre géodynamique de mise en place des roches volcaniques et hypovolcaniques d'âge Dévono-Dinantien de la Meseta Marocaine [H<sub>2</sub>O: hydratation du manteau par les fluides issus d'une écaïlle sous-chariée de la croûte continentale (d'après Kharbouch, 1994).**

1: fusion du manteau métasomatisé (manteau coincé entre les deux croûtes continentales, l'une chariée et l'autre souschariée). 2: migration des laves vers la croûte continentale, où elles sont stockées au cours de chemin, dans des réservoirs superficiels et où la différenciation se fait par cristallisation fractionnée ± couplée à l'assimilation (A.F.C) ; évolution des laves andésitiques vers les dacites, rhyodacites et rhyolites. 3: fusion de la croûte au contact de magmas basiques-andésitiques issus de la fusion partielle du manteau ; genèse des magmas acides. 4: stockage des magmas acides dans des réservoirs au sein de la croûte continentale, dans lesquels s'effectue la cristallisation fractionnée ; l'éruption donne des ignimbrites. 5: anatexie de la croûte en position structurale supérieure sous l'effet des fluides provenant de l'écaïlle de la croûte sous-chariée. 6: ouverture des bassins dévono-dinantiens de la Meseta occidentale, fusion du manteau et ascension des magmas basaltiques le long des failles limitant les marges des bassins occidentaux. 7: fusion du manteau + (A.F.C). 8: fusion de la croûte continentale et mise en place des granites calco-alcalins après compression des bassins dévono-dinantiens de la Meseta occidentale. 9: compression des bassins dévono-carbonifères de la Meseta occidentale et mise en place des granites calco-alcalins crustaux en contexte décrochant et décrochant-chevauchant (d'après Kharbouch, 1994).

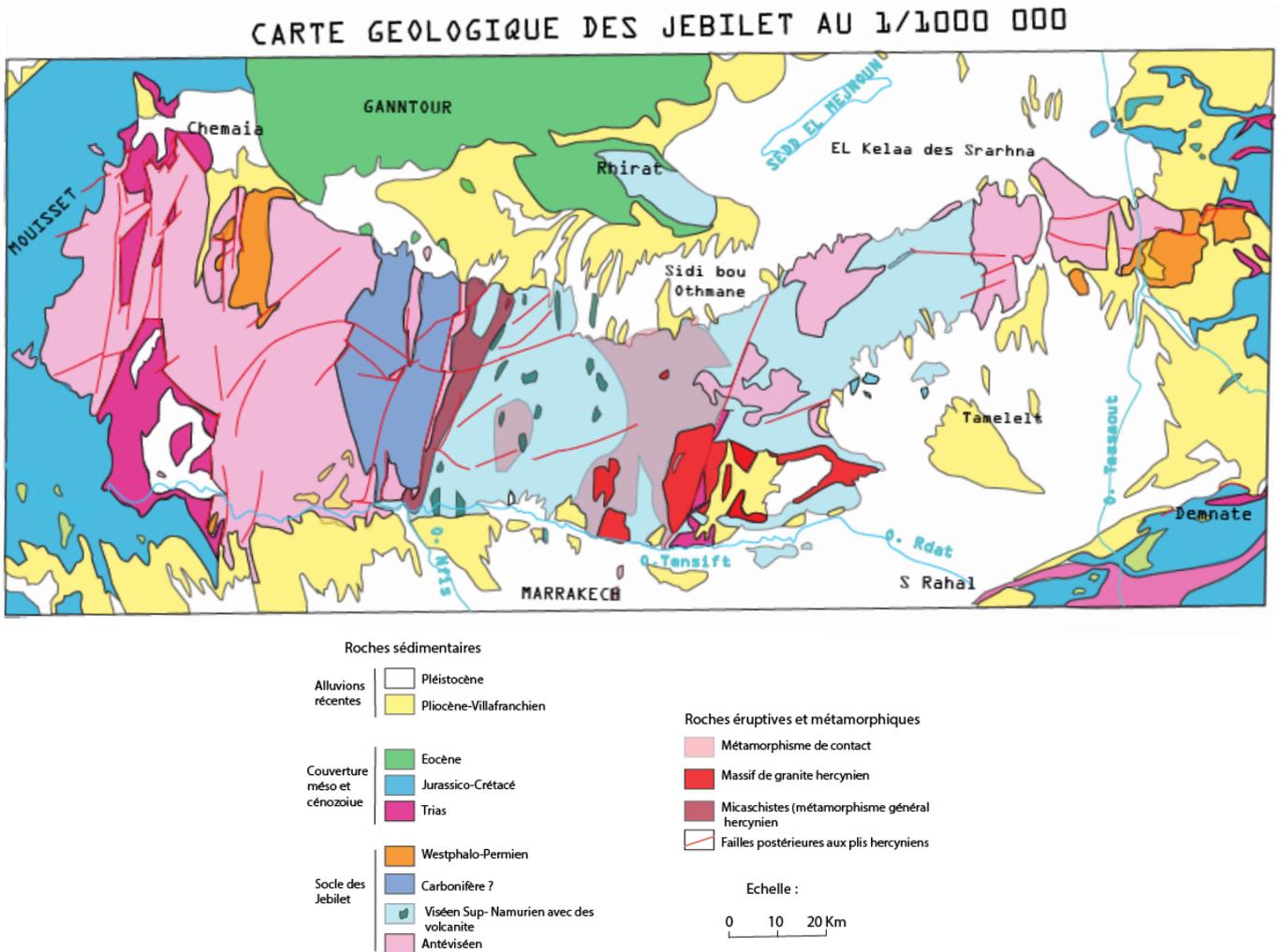
A l'échelle du bassin de Sidi Bettache, de récentes études (Lakhloufi et al., 2000) montrent que le magmatisme basique hercynien s'exprime sur l'ensemble du bassin et ne semble pas se limiter exclusivement aux failles bordières. En effet, la mise en place des roches basiques est aussi contrôlée, pour une grande part par des fractures sub-méridiennes au sein du bassin. D'après ces mêmes travaux, ces roches basiques présentent différents aspects: i) des laves en coussins "pillow lavas"; ii) des sills et dykes; iii) et des intrusions sub-circulaires. La présence des "pillow lavas" a été décrite également dans d'autres régions en l'occurrence au SW du Ment (localité d'Aït Haddou Ou Hammou), dans le Chougrane, dans les Jebilet et dans les Rehamna

(Boushaba et al., 2000). Ce volcanisme basique, de type tholéïtique comparable au MORB, s'explique par l'existence d'accidents crustaux enracinés dans le manteau; il atteste une phase de relaxation au Viséen-Namurien (Boushaba et al., 2000)

#### **IV. LE MASSIF DES JEBILETS CENTRALES :**

##### **4.1 Le cadre géologique des Jebilets centrales :**

Le domaine de Jebilets centrales de direction générale est-ouest, s'étend dans la moitié occidentale du Maroc (Fig.9) depuis la plaine de la Bahira au nord jusqu'à la plaine de Haouz au sud. Il est limité à l'est par les montagnes de l'Atlas de Beni-Mellal et à l'ouest par les collines de Jurassico-Crétacé des Mouissat. Au sein de ce domaine s'individualisent des petits pointements du socle paléozoïque orientés N-S à NNE-SSW au sein d'une couverture mio-pliocène et quaternaire. Ils s'étendent sur une longueur qui atteint 170 Km et une largeur qui varie entre 7 à 40 Km (Huvelin, 1977).



**Figure 9 : Carte géologique générale des Jebilet (d'après Edition du service géologique du Maroc (Notes et Mémoires N°232c), 1972)**

## 4.2 . Zonation structurale :

De l'Est vers l'Ouest, le massif des Jebilet est composé de la juxtaposition de trois unités :

- La zone orientale correspondant à des terrains allochtones d'âge Ordovicien à Dévonien qui constituent le matériel des nappes mises en place pendant des phases précoces de l'orogénèse hercynienne au sein d'un bassin Viséen (Huvelin, 1977).
- La zone centrale, qui encaisse le gisement de Draa Sfar, correspond aux schistes de Sarhlef, d'âge Viséen-Namurien (Huvelin, 1977). Cette série est caractérisée par une déformation majeure synschisteuse et un métamorphisme régional anchi à épizonal (Huvelin, 1977; Bordonaro, 1983). Elle est associée localement à des auréoles de métamorphisme de contact autour des intrusions granitiques (Rosé, 1987). Plusieurs

gisements de sulfures massifs polymétalliques sont encaissés par les schistes de Sarhlef (Draa Sfar, Koudiat Aicha, Ben Slimane).

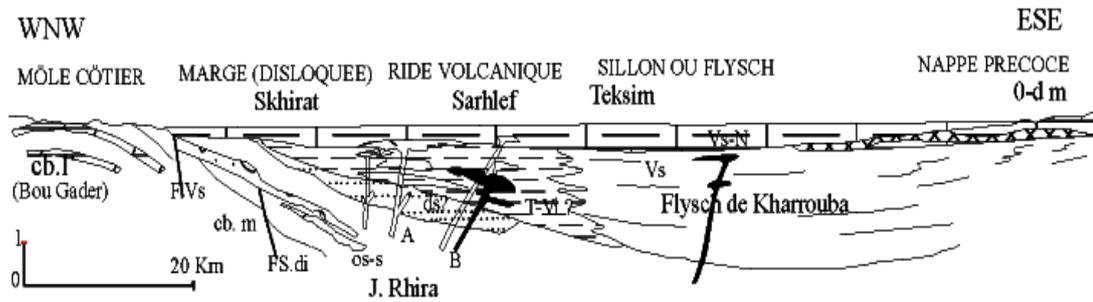
Les schistes de Sarhlef datés du Viséen-Namurien par *Posydonomia Becheri* Bronn (Huvelin, 1977), se présentent sous forme d'une bande de 25 km de large, limitée au nord par la plaine de Bahira et s'ennoie au Sud, sous la couverture quaternaire du Haouz. IL s'agit d'une sédimentation de plate forme anoxique (Beauchamp et *al.*, 1991 ; Moreno et al., 2008) composée essentiellement d'alternances grésopélitiques à intercalation calcaire au sommet. Cette formation renferme des tufs acides et basiques ainsi que des volcanites acido-basiques associée à des amas sulfurés polymétalliques. La série de Sarhlef passe verticalement à la série transgressive de Teksim formée de schistes, de calcaires bioclastiques et de grès (Viséen-supérieur).

- La zone occidentale, dite de «Bou Gader » correspondant à des terrains allant du Cambrien à l'Ordovicien (Huvelin, 1977). Le Cambrien, est représenté par des formations détritiques à faible activité volcanique, peu affecté par la tectonique hercynienne et appartenant au bloc stable (mole côtier) (Michard, 1976). L'Ordovicien est représenté par des schistes argileux et des sédiments détritiques. Il fait suite sans discordance au Cambrien.

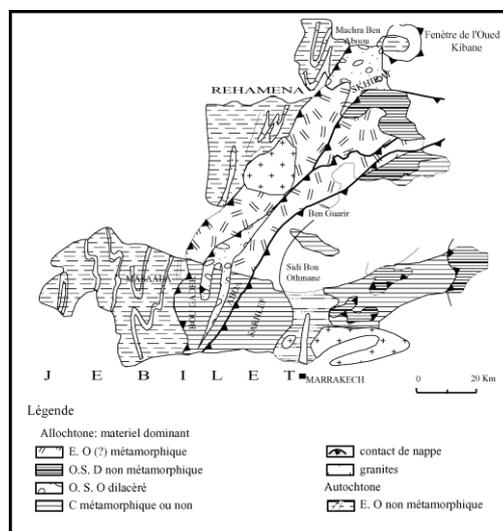
Les contacts entre les différentes unités composant les Jebilet (orientales, centrales, occidentales) sont de nature tectonique, chevauchement, faille de décrochement respectivement (Bernard et al. 1988).

### **4.3 La géodynamique hercynienne des Jebilets centrales**

Les directions majeures des formations dinantiennes-silesiennes des Jebilets centrales et leur socle précambrien, montrent une zonation E-W de bandes isotropiques sub-méridiennes (Bordonaro et *al.*, 1979). Cette disposition reflète un bassin géosynclinal (Fig.10) entre la bordure de l'épicraton présaharien au SE et celle du môle côtier au NW (Michard, 1976). La structure du massif des Jebilets a fait l'objet de débats entre les allochtonistes (Huvelin, 1977 ; Cornée et *al.*, 1982 ; Boulton et Le Corre, 1985 et Sougy, 1976) qui considèrent le contact entre les unités de Kharrouba et de Sarhlef comme tectonique (Fig.11) et ceux qui admettent une continuité stratigraphique et sédimentologique globale de toute la série primaire (Fig.11) (Bordonaro et *al.*, 1979 ; Beauchamp, 1984). D'après ces auteurs la formation du Teksim représente le dernier épisode de comblement du bassin dinantinien des Jebilets.



**Figure 10 : Le géosynclinal Sud-mesetien vers la fin du Namurien: Modèle interprétatif avant dislocation de sa marge occidentale. A, magma acide; B, magma basique; Abréviations stratigraphiques usuelles: (FS.di), Faille à jeu Siluroéo-Dévonien; (FVs), Faille à rejeu Viséen supérieur. (d'après Bordonaro et al., 1979)**



**Figure 11: Généralisation de la tectonique tangentielle dans les massifs hercyniens des Jebilet et des Rehamna (d'après Sougy et al., 1978).**

Depuis les premières descriptions des roches volcaniques du massif des Jebilet fournies par Huvelin (1977), la détermination du cadre géodynamique de mise en place des formations magmatiques hercyniennes ainsi que leur signature géochimique demeurent problématiques et préoccupent les géologues intéressés par la période hercynienne au Maroc. Les tentatives de reconstitutions paléogéographiques et structurales du massif hercynien des Jebilet qui font intervenir les corps acides et basiques comme marqueurs sont largement divergentes. Pour Bordonaro (1983) les corps basiques sont d'affinité tholeiitique et les corps acides sont calcoalcalins. Kharbouch (1982) et Kharbouch et *al.*, (1985), proposent un modèle de subduction fossile intracontinentale pour expliquer la mise en place du magmatisme « tardi-orogénique » dévono-dinantien de la Méséta occidentale marocaine. Kharbouch (1994), interprète les roches basiques des Jebilet comme des tholeiites continentales et les roches acides, de nature calco-

alcalines, montrant au contraire le caractère orogénique. Ce magmatisme est interprété comme le résultat d'une déchirure intraplaque en relation avec l'ouverture des bassins occidentaux sur des fractures lithosphériques « bassin pull-apart ». Ainsi, Aarab (1984-1995), a proposé le cogénéisme de ce magmatisme acido-basique des Jebilets centrales. Il souligne que les roches acides sont issues des liquides basiques et constituent les produits différenciés d'une suite tholeiitique d'affinité océanique. Son hypothèse concernant le contexte géodynamique de mise en place de ce magmatisme bimodal rejoint celle proposée par Kharbouch (1994). Lagarde (1987), Aït Tahar (1987) et Essaifi (1995) ne distinguent aucune trace directe ou indirecte du caractère pré-orogénique du magmatisme bimodal des Jebilets centrales. Ils proposent une mise en place syn-tectonique, contemporaine de la phase de déformation hercynienne synschisteuse et de la mise en place des plutons granodioritiques calcoalcalins.

Dans la Meseta orientale le magmatisme d'âge Viséen supérieur à Namurien inférieur (Médion, 1980), repose en discordance angulaire sur un socle orogénique en majeure partie d'âge Dévonien supérieur (Jerada et Mekam) ou Viséen supérieur (Tezekka). Hoepffner (1981) souligne le caractère calco-alcalin de ce magmatisme et son caractère tardi-orogénique lié à un contexte structural différent de la subduction et dont le moteur n'est pas bien décrit comme un cycle subduction-collision (Kharbouch, 1994).

#### **4.4 L'évolution sédimentologiques du massif des Jebilets :**

Les terrains du massif des Jebilets ont été structurés par des phases tectoniques hercyniennes et post hercyniennes associées à un double métamorphisme, régional et de contact. Cette histoire tectonique complexe et polyphasée rend difficile, l'identification des faciès magmatiques et sédimentaires formant le massif de Jebilets.

Les études sédimentologiques, pétrologiques et paléontologiques, (Huvelin, 1970 ; Huvelin 1977 ; Bordonaro et al., 1979 ; Jean-Louis Gaillet, 1979 ; Beauchamp, 1984 ; Bernard et al., 1988 ; Aarab, 1995), montrent que le bassin carbonifère des Jebilets est caractérisé par une faible profondeur de dépôt et des conditions anoxiques prédominantes, qui ont été particulièrement favorables au piégeage de certains sulfures (pyrrhotite).

Depuis les travaux d'Huvelin (1977), plusieurs logs stratigraphiques synthétiques ont été proposés (Huvelin, 1977 ; Bordonaro, 1983 ; Beauchamp et al., 1991 et Essaifi, 1995). Leur synthèse permet de proposer la succession lithostratigraphique suivante :

- *Le Cambrien* : L'affleure largement dans la partie occidentale des Jebilets où il est surtout représenté par des formations détritiques contemporaines d'une faible activité volcanique.

- *L'Ordovicien* : Il apparaît dans les Jebilets occidentales en concordance sur le Cambrien. Il est représenté par des schistes psammiteux ou schistes argileux et des sédiments détritiques.

*Le Silurien* : Il s'agit de dépôts argileux à Graptolithes, présent dans l'extrémité orientale des Jebilets en concordance avec l'Ordovicien.

*Le Dévonien* : Dans les Jebilets occidentales, ces formations se composent de conglomérats à ciment grésocalcaireux rouge, de calcaires à polypiers et de grès à brachiopodes. En revanche, au niveau des Jebilets orientales, elles sont formées essentiellement de schistes à bancs de calcaire et de grès.

*Le Viséen–Namurien* : Il comprend deux ensembles lithologiques, à savoir les flyschs de Kharrouba présents dans la moitié orientale des Jebilets et les schistes de Sarhlef, présents dans les Jebilets centrales. La formation de Kharrouba est constituée d'une alternance de bancs gréseux et de niveaux pélitiques (Gaillet, 1979), avec au sommet des structures de glissement qui accompagnent la mise en place des nappes anté-viséennes de la partie est des Jebilets. La série de Sarhlef est composée de grésopélites avec parfois des alternances de bancs gréseux et pélitiques et avec, au sommet, l'apparition d'une sédimentation calcaire.

- La couverture westphalo-permienne : Elle recouvre le socle hercynien. Elle est composée de sédiments détritiques rouges. Elle a été plissée sans schistosité avant l'achèvement de la surface d'érosion post hercynienne et le dépôt du Trias.

#### **4.5 La stratigraphie de la série de Sarhlef :**

La série de Sarhlef d'âge Viséen-Namurien couvre une grande surface et constitue l'unité centrale des Jebilets (Huvelin, 1977 ; Beauchamp, 1984). Il s'agit d'une sédimentation de plate-forme anoxique (Beauchamp et al., 1991), composée essentiellement de grésopélites et de calcaire au sommet. Cette formation renferme des tufs acides et basiques ainsi que des volcanites acido-basiques (gabbros, andésite, dacite et rhyolite). Elle passe verticalement à la série transgressive de Teksim formée de schistes, de calcaires bioclastiques et de grès. De nombreux amas sulfurés d'importance économiques (Kettara, Ben Sliman, Koudiat Aïcha, Jebel Hadid,

Bouhane, Nzalet El Harmel et Draa Sfar) sont présents dans cette série notamment entre le complexe formé de roches volcanique et volcano-clastique et la base du complexe supérieur calcareux.

Les travaux de Bordonaro (1984) ont permis de décomposer cette formation en trois complexes :

- le complexe inférieur de Jebel Rhira, constitué principalement de quartzites et de roches quartzo-pélitiques ;
- le complexe volcanosédimentaire de Jebel Sarhlef formé de deux membres : le membre inférieur à volcanisme acido-basique, constitué essentiellement de (ultramafites, gabbros, dacites, rhyodacites et rhyolites), et le membre supérieur à quartz-kératophyres, brèches d'explosion, tufs agglomératiques et laves ;
- le complexe supérieur de Teksim à calcaires microconglomératiques et bioclastiques à la base et de pélites gréseuses à son sommet.

#### **4.6 Structures métamorphiques :**

Les terrains carbonifères (schistes de Sarhlef) sont affectés par une intense déformation hercynienne et post hercynienne. Ils sont d'abord affectés par une phase de plissement synschisteuse (subméridienne), associée à un métamorphisme épizonal d'âge post-Viséen supérieur (Gaillet et Bordonaro, 1981), suivie ensuite par des cisaillements sub-parallèles à la schistosité de flux (S1), eux mêmes repris par un plissement associé à une schistosité de crénulation (S2) avec parfois une transposition des phyllites de la schistosité S1. A ce métamorphisme général est associé un métamorphisme périplutonique qui se développe autour des intrusions granitiques avec des auréoles en phénoblastes. Enfin, la tectonique cassante se matérialise essentiellement par des failles N70 à N90, des décrochements senestres N160 et de grandes failles subméridiennes associées aux fossés stéphano-permiens (Bouloton et Le Corre, 1985).

#### **4.7 Travaux antérieurs dans les Jebilets centrales**

Le massif des Jebilets et les régions avoisinantes des Guemassa ont fait l'objet de nombreux travaux géologiques et gîtologiques depuis le début du siècle précédent. Les travaux d'Huvelin durant la période (1961 - 1980) restent la référence incontournable. Leurs points forts, outre leur caractère multidisciplinaire, résident dans l'étude géologique et gîtologique de

l'ensemble du massif et l'établissement d'excellentes cartes au 1/ 100 000 et au 1/200 000<sup>e</sup> avec un inventaire des principaux indices miniers des Jebilets.

Par la suite, des études plus thématiques sous forme de monographies ont été entreprises vers la fin des années soixante-dix. Elles ont porté sur : (i) l'évolution stratigraphique et sédimentologique des Jebilets centrales (Hollard et *al.*, 1977 ; Bordonaro et al. , 1979 ; Jean-Louis Gaillet, 1979 ; Beauchamp, 1984 ; Tourani et Beauchamp, 1987 ; Beauchamp et *al.*, 1991), (ii) la caractérisation pétrologique et géochimique des magmas acido-basiques (Bordonaro, 1983 ; Aarab, 1984 ; Jadid, 1989 ; Kharbouch ; 1994 ; Aarab, 1995 et Essaifi, 1995), (iii) la géologie structurale avec comme objectif la définition du géodynamisme relatif à la mise en place du magmatisme (Admou, 1986 ; Saber, 1986 ; Aït Tahar, 1987, Essaifi, 1987 ; Lagarde et Choukroune, 1982 ; Bouloton et Le Corre, 1985 ; Gaillet et Bordonaro, 1981 ; Bordonaro, 1983 ; Essaifi et Lagarde, 1990).

Les premières études gîtologiques concernant les amas sulfurés ont porté sur le site de Kettara (Agard et *al.*, 1952). Les auteurs décrivent ce corps minéralisé comme un filon formé par le remplissage d'une fracture subverticale dans les schistes paléozoïques très redressés. Huvelin et Snoep (1965) reprennent ensuite le modèle d'Agard en soulignant que leur mise en place est postérieure à la schistosité régionale. L'approfondissement de ces travaux par Huvelin, (1970), a permis ensuite de définir, dans le secteur de Kettara, des amas stratiformes de pyrrhotite génétiquement liés à une activité magmatique précoce contemporaine du développement de la ceinture géosynclinale hercynienne des Jebilets centrales. Bordonaro, (1983) a par la suite généralisé la nature pyrrhotitique des minéralisations sulfurées du district minier des Jebilets ainsi que leur caractère concordant avec la stratification des roches encaissantes. En outre, il a souligné que ces minéralisations sont le résultat d'un hydrothermalisme lié au magmatisme bimodal précoce du bassin géosynclinal. Parallèlement, les altérations supergènes ont été abordées par Souaré (1988) qui assimile ces gisements au modèle volcano-sédimentaire et plus précisément aux gisements japonais (Kuroko).

En (1995), Essaifi et Essaifi et *al.*, ont étudié les relations entre magmatisme-déformation et altération hydrothermale. Ils ont souligné que les transferts de matière associés à la formation des zones de cisaillements qui traversent la série volcanique et volcano-sédimentaire, sont comparables aux fluides responsables de la formation des amas sulfurés de Kettara.

La découverte du gisement de Hajjar dans le district de Guemassa en 1988 par la compagnie minière de Guemassa CMG, a permis le déclenchement d'études géologiques et géologiques approfondies par plusieurs auteurs (Haimmeur, 1988 ; Leblanc, 1993 ; Hibti, 1993 ; Oudjou, 1997 ; Eddebbi *et al.*, 1998 ; Hibti *et al.*, 1999 et 2001).

En dehors des études académiques, c'est surtout le regain d'activité des compagnies minières dans les Jebilets centrales (ONHYM et CMG/REMINEX) qui a permis de faire progresser les connaissances dans ce secteur. Des investigations géochimiques couplées à des méthodes de la prospection géophysique ont permis de bien circonscrire l'environnement géologique des amas sulfurés des Jebilets.

## **Chapitre II : Le gisement Draa Sfar**

### **I. PRESENTATION DU DISTRICT MINIER DRAA SFAR :**

#### **1.1 Historique de la mine de Draa Sfar**

L'historique de la découverte de la mine de Draa Sfar peut être résumé comme suit :

- 1953: découverte du chapeau de fer de Draa Sfar Nord par le SEGM (Service des Gîtes minéraux).
- 1962: mise en évidence d'une anomalie magnétique suite aux travaux géophysiques effectués par la compagnie de prospection géophysique de l'ONA. Durant la même année Vanden Bosch a découvert l'anomalie de Koudiat Tazakourt (Draa Sfar Sud).
- 1966: réalisation de sondages, et découverte d'un amas sulfuré à pyrrhotine et métaux de base sur Draa Sfar Sud.
- 1982: réalisation du levé gravimétrique sur l'ensemble du secteur par le BRPM.
- 1998-2000: réalisation de sondage et plusieurs travaux miniers (puits, traçages...) par Reminex et travaux de géophysiques par SAGAX.
- 2002 : lancement du programme de la préparation géologique et installation des infrastructures minières pour une exploitation prévue en 2004.

#### **1.2 Situation géographique du gisement Draa Sfar :**

Le gisement de Draa Sfar est situé à 13 km au NW de la ville de Marrakech dans le massif des Jebilets centrales.

Ce massif est donc parallèle au Haut Atlas de Marrakech est encadré par la plaine de Bahira au nord, la plaine du Haouz au sud, les collines de Jurassique-Crétacé à l'ouest et les montagnes de l'Atlas de Beni Mellal à l'est.

Dans cette région plus profondément érodée que l'Atlas, on trouve des minéralisations abondantes. Citons l'amas à pyrrhotine de Kettara, les lentilles à pyrrhotine de Draa Sfar, les filons argentifères de Roc Blanc et nombreux chapeaux de fer (Ben Sliman).

L'accès au secteur se fait par la route allant de Marrakech vers le village de Souihla ou par la route Marrakech-Safi. Ce district comprend plusieurs lentilles sulfurées formant un alignement méridien sub-vertical qui recoupées par l'Oued Tensift.

Le secteur de Draa Sfar est situé au niveau de la limite sud du massif hercynien des Jebilet centrale. Géographiquement il est subdivisé en deux sous-domaines, Draa Sfar Nord ou Sidi M'barek, et Draa Sfar Sud ou Koudiat Tazakourt, localisées respectivement sur les rives Nord et Sud de l'Oued Tensift (Fig.13):

- ✓ Draa Sfar Nord
- ✓ Draa Sfar Sud.

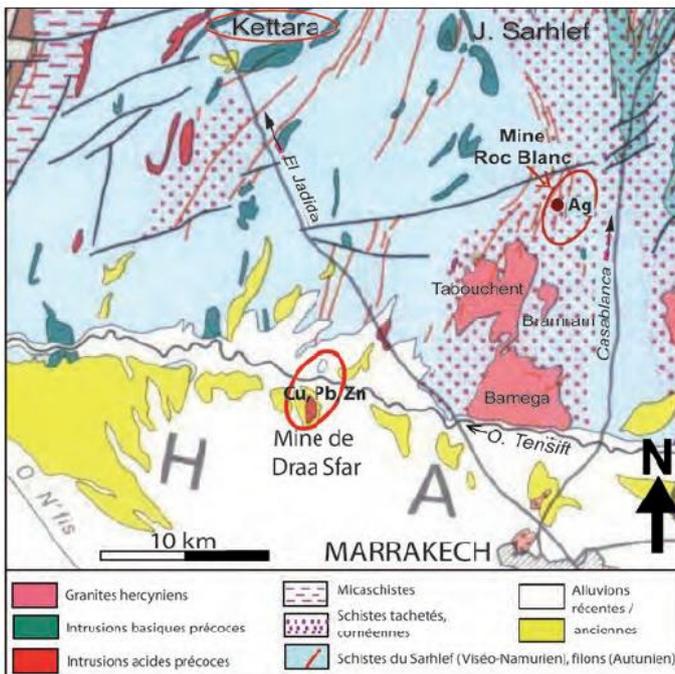


Figure 12 : Localisation du gisement de Draa Sfar sur un extrait de la carte géologique des Jebilet centrales au 1/500 000, Notes et Mem. Serv. géol. Maroc, n° 232.

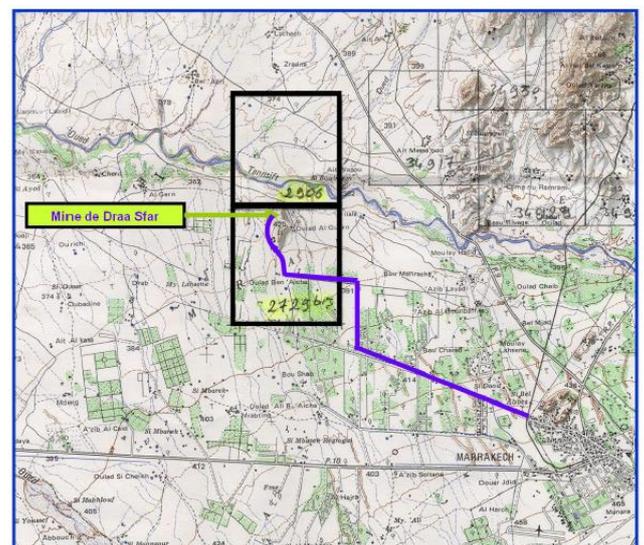


Figure 13 : Localisation géographique de la mine de Draa Sfar sur la carte topographique de Marrakech Ouest au 1/50000.

### 1.3 Cadre géologique et lithostratigraphique de la mine de Draa Sfar :

Sur la rive nord, le gisement de Draa Sfar Nord est caractérisé par un chapeau de fer bien développé sur des faciès sédimentaires souvent masqués par des alluvions Plio-Quaternaires (Fig.14). Sur la rive sud affleure le corps principal minéralisé de Draa Sfar ainsi que l'essentiel des corps volcaniques acides et les pyroclastites associées. Les travaux miniers se font suivant des niveaux étagés, distants de 20 m. La liaison entre eux se fait par des rampes, alors que la liaison avec la surface se fait plutôt par des puits et/ou des descenderies.

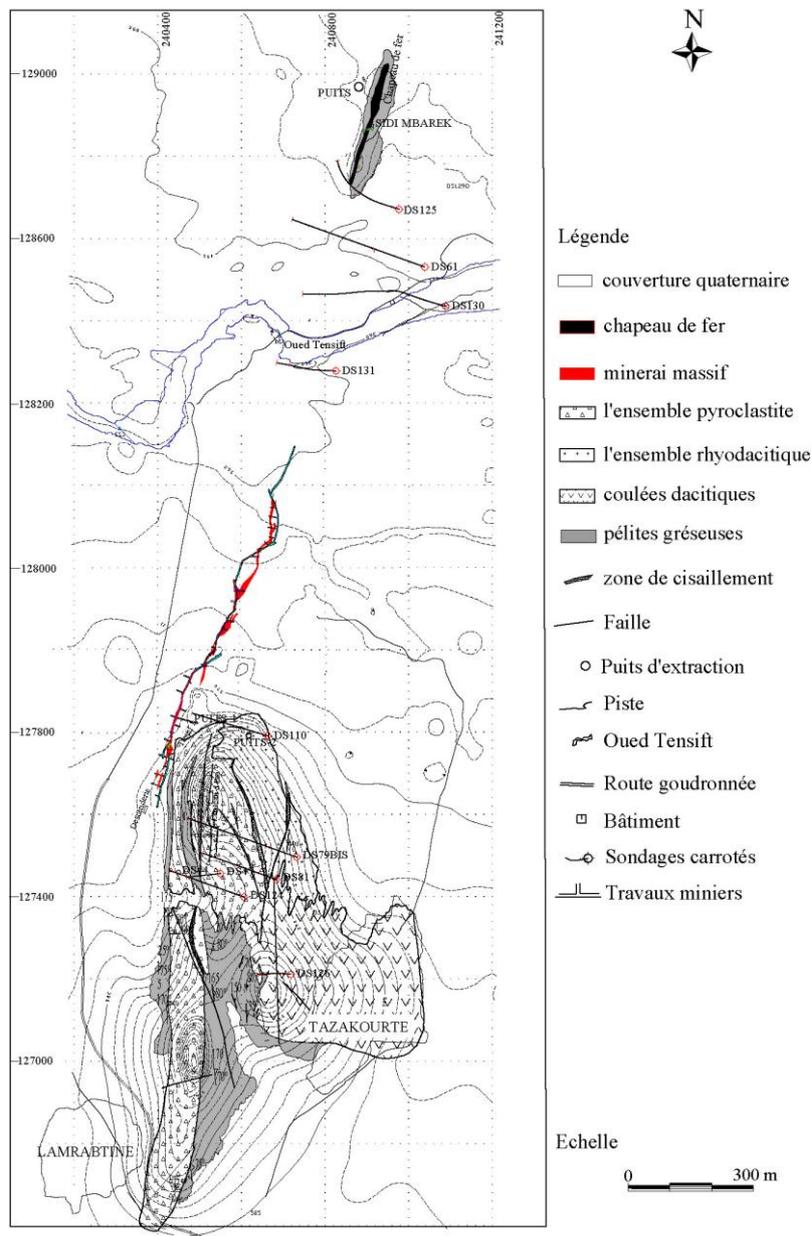


Figure 14 : Carte géologique simplifiée du domaine du Draa Sfar (document modifié de CMG/ Draa Sfar 2008).

## 1.4 Mode de mise en place des minéralisations de Draa Sfar

Le gisement de Draa Sfar Nord est classé dans le cadre génétique des VMS en liaison avec son homologue Draa Sfar Sud (Volcanogenic massive sulphide) (Belkabir et al., 2008) Cette classification est basée sur les types d'altérations hydrothermales qui sont marqués par la chloritisation au mur et la séricitisation au toit. Le modèle génétique de minéralisations polymétallique de Draa Sfar s'intègre dans le modèle de mise en place des amas sulfurés des Jebilets et des Guemassa. Trois phases principales de formation ont été distinguées (Hamyane, 2011) :

- la première phase d'âge carbonifère est liée à la distension généralisée qu'a connue le grand bassin mesétien marocain et pendant laquelle a lieu la formation du bassin qui abrite l'amas sulfuré de Draa Sfar ainsi que ses homologues dans le reste des Jebilets et des Guemassa. Pendant cette même période, une activité volcanique matérialisée par la mise en place d'un dôme rhyodacitique à proximité du secteur (1.5Km) et d'une série volcanosédimentaire constituée de tufs et de pélites gréseuses se développe parallèlement au magmatisme des Jebilets centrales constituant ainsi la série de base de la séquence actuelle de Draa Sfar Sud. Cette activité volcanique, source de fluides et de chaleur, est à l'origine de l'activité hydrothermale (Hibti, 2001). ;

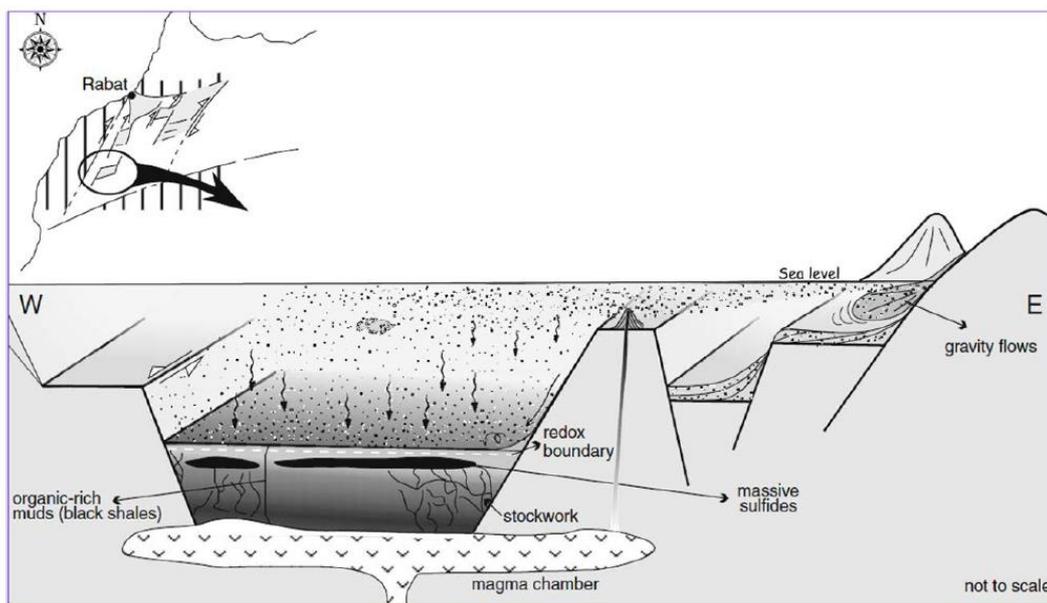


Figure 15 : Formation du bassin et mise en place des sulfures de Draa Sfar : modèle présenté par Moreno, et al (2008)

- la deuxième étape correspond essentiellement à l'orogénèse hercynienne, qui est responsable en grande partie de la disposition actuelle des amas, des structures et textures observées dans le minerai et l'encaissant. A l'échelle du bassin mesétien, la compression hercynienne majeure (NW-SE) a provoqué le jeu des structures synsédimentaires en failles inverses parfois décrochantes (senestre et dextre) et le fonctionnement de zones de cisaillement ductile (Hibti, 2001). Ce jeu a engendré des basculements et des torsions des horizons minéralisés de Jebilets.

-une troisième étape qui aboutit à l'ouverture des failles, des dislocations, des décalages et des remobilisations des sulfures. Il s'agit d'une phase liée aux événements tardi-hercyniens et atlasiques (Hibti, 2001). La succession de ces différentes phases minérales a donné la forme actuelle du gisement Draa Sfar Nord, avec des lentilles verticales fortement pentées vers l'Est (75-90) et allongées N-S.

### **1.5 Etudes réalisées dans le gisement Draa Sfar :**

Les affleurements de Koudiat Tazakourt et les minéralisations associées ont fait l'objet de nombreux travaux géologiques et gîtologiques depuis le début du siècle précédent. Elles ont porté sur :

- l'évolution stratigraphique et sédimentologique (Bordonaro, 1983 ; Moreno et al., 2008 ; Reinaldo et al., 2010) ;
- la caractérisation pétrologique et géochimique des volcanites acido-basiques (Bordonaro, 1983 ; Aarab, 1984 et 1995 ; Ben Aissi, 2001 et 2008) ;
- l'étude des altérations hydrothermales (Ben Aissi et al., 2005 ; Belkabir et al., 2008),
- l'étude des minéralisations sulfurées (Snoep, 1966 ; Perez, 1970 ; Huvelin, 1970, Bordonaro, 1983 ; Bernard et al., 1988 ; Souaré, 1988 ; Hibti, 1993; Hibti et al., 1999 et 2001 ; Zinbi, 2000 ; Alansari, 2000, 2004 et 2006 ; Rziki, 2006 ; Marcoux et al., 2008 ) ;
- des études de prospection du secteur de Draa Sfar réalisées sur les sondages carottés DS48, DS51 et DS50, (Campi, et al., 1988) et sur les sondages DS48 et DS52 , (Tijani et Oujhain., 1988) et sur les sondages DS58 et DS59 (Benharef, 1992).

## II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

### 2.1 Cadre géographique et géologique du gisement Draa Sfar Nord :

Le gisement Draa Sfar Nord, affleurant au nord de l'oued Tensift sous forme d'un gîte minéralisé allongé N-S et de dimension relativement modeste (20 à 70 m de large et plus de 350 m de long). Ce pointement qui émerge au sein des formations alluvionnaires est constitué par des formations dominées par des métapélites carbonatées intensément altérées, intercalées par des sills magmatiques (Fig.16). L'ensemble de la formation est attribuée à la série de Sarhlef, d'âge Viséen–Namurien (Huvelin, 1961) et constitue la continuité latérale de Draa Sfar Sud.

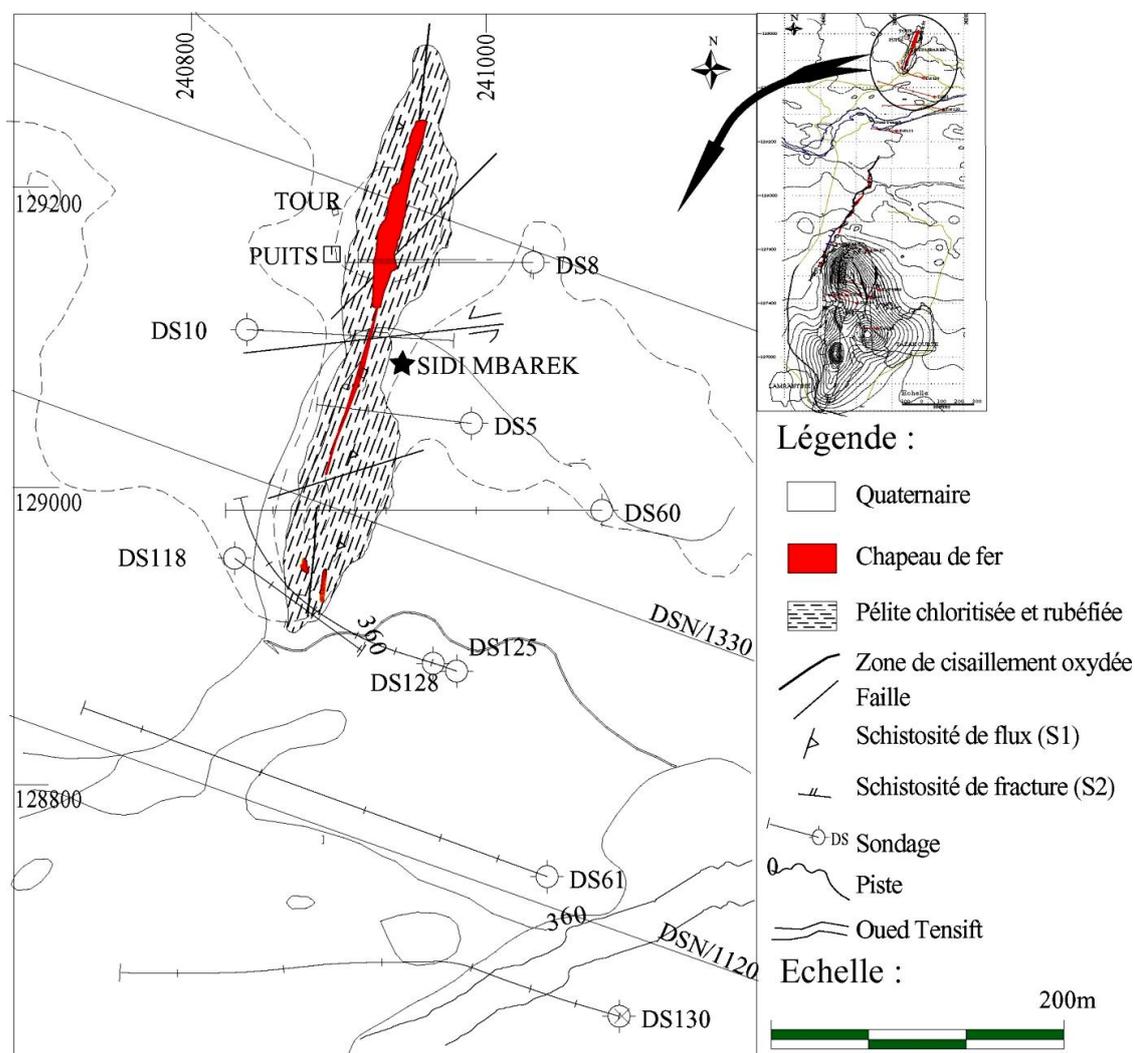


Figure 16 : Carte géologique de l'affleurement minéralisé Draa Sfar Nord, (d'après rapport inédit de CMG/Draa Sfar 2008).

A l’affleurement le massif apparaît localement découpé par des failles tardives N110 à jeu inverse qui recourent des cisaillements N-S à jeu senestre (Ben Aissi, 2008). Les figures sédimentaires sont totalement masquées par l’intensité de la déformation et de l’altération (chloritisation et oxydation) en surface. Mais sur sondage, quelques figures sédimentaires liées aux dépôts ont été observées (slump-balls,...).

## 2.2 Lithostratigraphie à Draa Sfar Nord :

Selon Ben Aissi (2008) la zone de Draa Sfar Nord, est caractérisée par deux unités lithologiques :

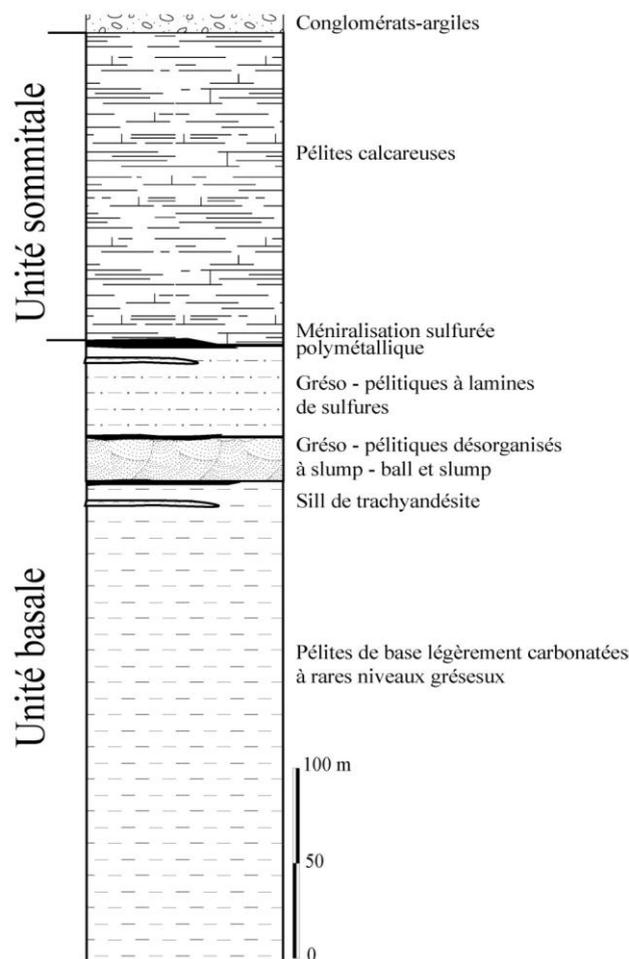


Figure 17 : Log synthétique de la série lithologique de Draa Sfar Nord (d’après Ben Aissi, 2008)

l’unité basale constitue la continuité latérale de l’unité de base de DS Sud. Elle est formée par une alternance grès-pélitiques à dominance pélitiques. Parfois, elle présente des fines passées carbonatées. Cette unité constitue le siège d’une activité volcanique, particulière, caractérisée par la mise en place de sills trachyandésitiques à puissance métriques (0.40m à

4.20m). Au sommet de cette unité s'intercalent, des lentilles à minerais sulfurés massifs essentiellement à pyrrhotite riche en métaux de base (Zn, Pb et Cu). Ces lentilles sulfurées sont allongées selon une direction N-S et présentent une puissance métriques (0,25 m à 5,30 m) ; de plus, une minéralisation de remobilisation à pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite et rarement à blende se concentre dans des failles N-S, sous diverses formes : disséminée, filonnets, veinules ou en plages millimétriques à centimétriques essentiellement à pyrrhotite ;

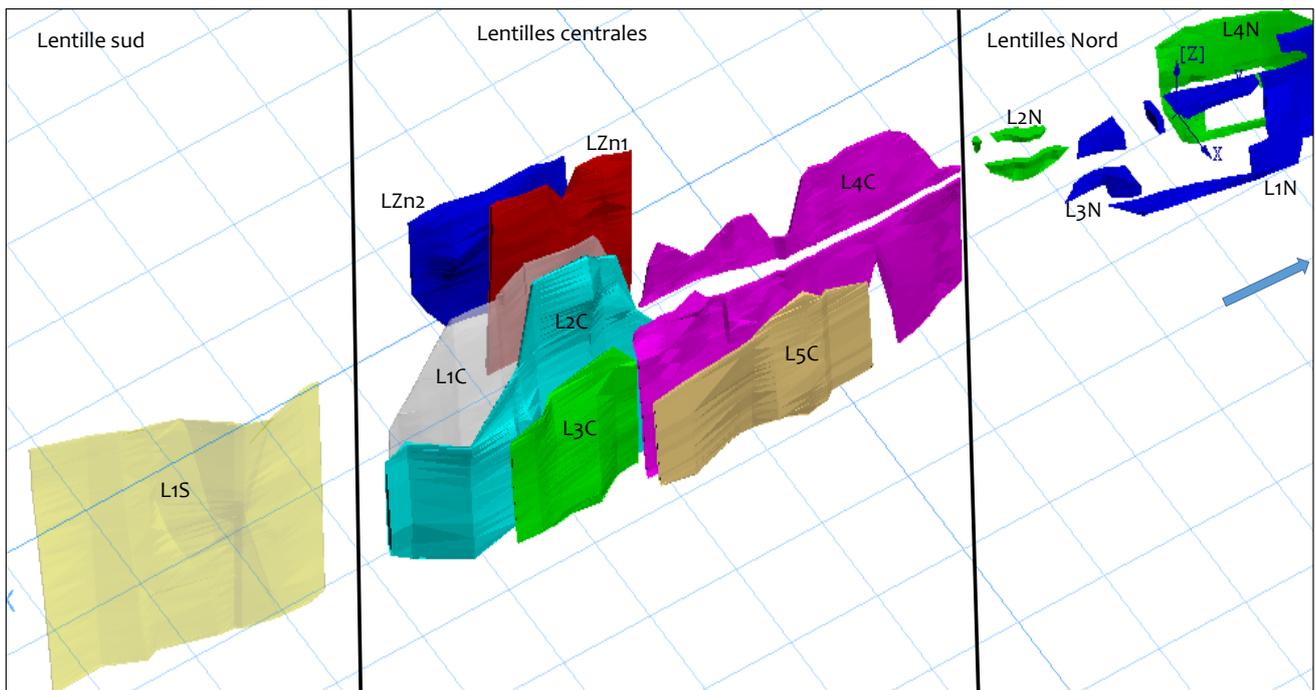
L'unité de sommet est formée par des pélites fines noirâtres caractérisées par l'abondance de passés carbonatés très fins. Cette formation constitue la série de sommet de DS Nord et présentent les mêmes caractères sédimentologiques que celle de DS Sud.

L'ensemble des faciès décrits dans Draa Sfar Nord sont caractérisés par la dominance des apports détritiques fins (pélites noires) avec de rares passages gréseux et carbonatés. Ces faciès à sulfures disséminés traduits un milieu de dépôt calme et anoxique. La présence de faciès à slumps-balls au sommet de la série de base traduit l'approfondissement du milieu de dépôt. (Stow et Piper 1984) ont placé ce genre de dépôts au niveau de la rupture de pente. Les dépôts de la série de sommet à pélites noires carbonatées traduits le retour au milieu calme et confiné (Stow et Piper 1984)

### **2.3 Les lentilles minéralisées à Draa Sfar Nord :**

A Sidi M'barek, la minéralisation se présente en différentes formes que ce soit dans l'encaissant ou au sein des lentilles minéralisées. Deux types de minerais caractérisent les lentilles minéralisées : cuprifère ou zincifère.

Le gîte minéralisé de Sidi M'barek est divisé en trois parties (lentilles) (Fig.18):



**Figure 18 : Vue tridimensionnelle des lentilles de Sidi M'barek (document interne Draa Sfar, rapport inédit 2016).**

- ✓ la partie Nord : est essentiellement constituée de quatre lentilles cuprifères dont une représente des teneurs importantes en Or (la lentille 2N);
- ✓ la partie Sud : est constituée de sept lentilles dont deux zincifères (LZn1 et LZn2) et les autres cuprifères ;
- ✓ la partie Sud est constituée d'une seule lentille cuprifère.

Ces lentilles sont discontinues et très variables en puissance (d'une lentille à l'autre et au sein d'une même lentille), la composition minéralogique (entre les lentilles zincifères et cuprifères) et la minéralisation (massive et submassive).

Notre étude est focalisée sur la partie Nord du gisement (Sidi M'barek), cette étude traitera les volets suivants : l'étude structurale, l'étude géologique, l'étude métallogénique de la minéralisation à Sidi M'barek.

## **Objectifs du travail et méthodes utilisées**

### **I. PROBLEMATIQUE**

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'études en Master, à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès (FSTF) en collaboration avec la Compagnie Minière de Guemassa (CMG).

Les études structurales qui ont été faites sur la zone de Draa Sfar Nord, dans le massif de Jebilet centrale, sont très limitées. Pour cela, nous avons orienté notre étude dans ce sens pour contribuer à la compréhension des structures tectoniques et mettre en évidence l'importance géologique et métallogénique de cette zone.

Cette étude contribuera à répondre aux questions suivantes:

- existe-t-il une relation entre la fracturation et la minéralisation dans ce gisement de Draa Sfar Nord ?;
- quelles sont les phases minéralisatrices et leur chronologie par rapport aux phases tectoniques dans ce gisement.

## **II. LE CHOIX DU SUJET :**

Le gisement polymétallique de Draa Sfar a fait l'objet de plusieurs études géologiques approfondies dans lesquelles les chercheurs ont essayé d'aborder les différents aspects et disciplines de la géologie. Ceci a permis de classer le gisement dans la catégorie des gisements volcano-sédimentaires (VMS) liée à un corps volcanique acide d'âge viséen. Contrairement au VMS classique, la minéralisation à Draa Sfar est sous forme d'un seul corps avec un pendage de 75° vers l'Est et une profondeur en exploitation qui peut atteindre actuellement 1050 m. La morphologie du gisement ainsi que les structures rencontrées durant l'exploitation laissent à penser qu'un contrôle structural a joué un rôle important dans la mise en place du gisement. Une étude structurale détaillée du gisement de Draa Sfar est devenue une priorité pour mieux comprendre le mode de mise en place des minéralisations dans ce gisement, ainsi que l'explication de la géométrie des corps minéralisés.

## **III. L'OBJECTIF DE L'ETUDE :**

Le but principal de ce travail est la caractérisation structurale du gisement de Draa Sfar Nord et sa relation avec la mise en place de la minéralisation, tout en prenant en considération les phases de déformations qui se sont succédé sur la région et leur impact sur le gisement. Ensuite essayer d'établir une chronologie des phases de déformations cassantes et ductiles qui se sont

succédé, en se basant sur des analyses microtectoniques en affleurements et des échantillons en lames minces et sections polies.

#### **IV. METHODOLOGIE :**

Pour atteindre les objectifs fixés pour cette étude, nous nous sommes basés sur les levés cartographiques et structuraux des galeries, des levés de sondages carottés, des coupes transversales, et les levés détaillés que nous avons réalisés dans des zones particulièrement jugées très importantes à Draa Sfar Nord. Ensuite, nous avons traité les mesures, redessiné les cartes et les coupes, analyser et interpréter les résultats. Les mesures de fracturation sont ordonnées sous forme de rosaces directionnelles avec mise en inventaire de toutes les structures tectonique mesurées sur le terrain. Enfin l'observation, l'analyse et l'interprétation des différentes structures tectoniques rencontrées sur le terrain (plis, failles, fentes de tension.). Au laboratoire, une étude pétrographique des échantillons à l'aide des lames minces et des sections polies a été réalisée dans le but d'arriver aux séquences paragenétiques du gisement. Le but final de ce travail est de réaliser un modèle structural qui répond aux questions déjà citées, intégrant toutes ces données dans une logique qui s'insère dans le modèle structural globale du massif des Jebilet.

##### **4.1 Technique de mesure de directions et pendages**

- ✓ **Direction d'un plan** (plan de stratification, plan de schistosité, plan axial, diaclase, plan de faille): c'est la direction d'une horizontale de ce plan: (1) placer le talon de la boussole sur la surface ou sur le porte-cartes pour niveler de petites irrégularités; (2) en maintenant le contact, amener la boussole à l'horizontale à l'aide de la nivelle; (3) faire la lecture;
- ✓ **Pendage d'un plan:** (1) placer le clinomètre perpendiculairement à la direction que vous venez de mesurer; (2) faire la lecture. Remarque: pour des plans à très faible pendage, il peut être plus facile de déterminer d'abord la direction de plus grande pente en laissant s'écouler un peu d'eau sur la surface, mesurer le pendage et ensuite déterminer la direction de l'horizontale du plan, à 90° de la direction de plus grande pente.

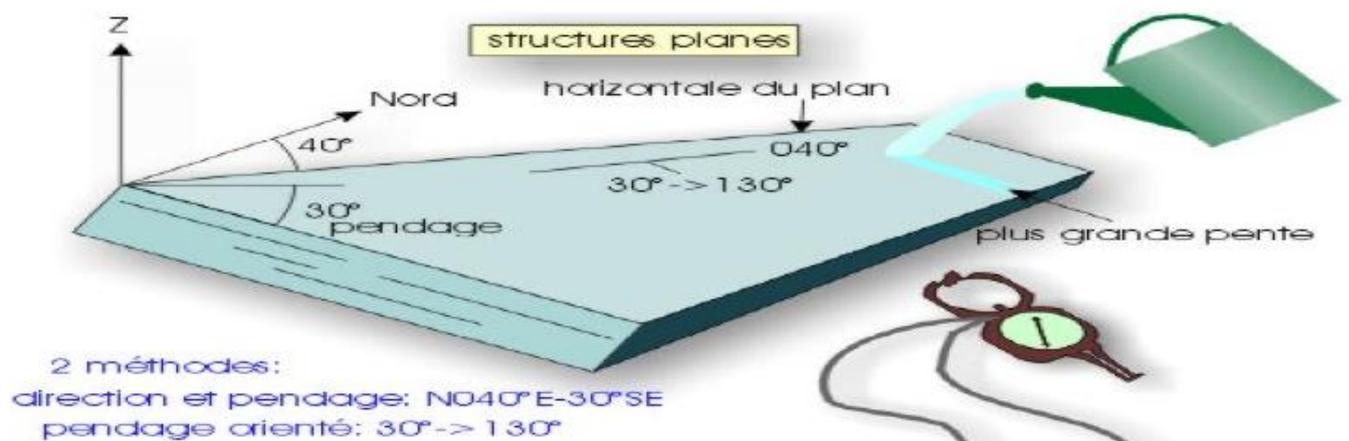


Figure 19 : techniques de mesure de la direction et du pendage.

## V. MATERIELS :

Le travail de terrain (surface et fond) exige l'utilisation de matériels à savoir un marteau, une bouteille étanche d'HCl à 10%; une loupe 10x; un rapporteur pour reporter sur la carte les mesures de direction et les relèvements; un mètre pliant ou roulant pour évaluer des épaisseurs; une boussole et un clinomètre; un carnet de terrain, un porte-carte, des sacs à échantillons, des marqueurs indélébiles, une échelle de teintes conventionnelles, une tarière, un appareil photo, un casque, etc....

### 5.1 Les outils informatiques

Durant cette étude on a eu recours à utiliser des logiciels de digitalisation, de traitement et de modélisation à savoir Strater, Adobe illustrateur CS6, Autocad, stéréonet et Vulcan.

- ✓ **Strater** nous a aidés à faire des logs des sondages carottés avec des échelles bien précis
- ✓ **Adobe illustrateur CS6** nous a permis de réaliser des logs des sondages carottés
- ✓ **Autocad** : des logiciels qui permettent de réaliser des cartes en format numérique.
- ✓ **Stéréonet** : un logiciel de traitement des données structurales et des représentations stéréographiques.
- ✓ **Vulcan** : outil de modélisation qui permet de visualiser les lentilles minéralisées en 3D.

# CHAPITRE III : ETUDE STRUCTURALE

## I. INTRODUCTION :

Les Jebilet centrales dont Draa Sfar fait partie, ont subi une tectonique intense avec au minimum deux phases de déformation tectonique au cours de l'orogénèse hercynienne. Le secteur est caractérisé par une déformation très poussée qui avait pour conséquence la disparition quasi-totale des structures précoces (la stratification S0). La déformation a permis le développement de plusieurs structures (observées à l'œil nu) et microstructures (observées dans les lames minces). L'analyse et l'étude de ces structures vont nous permettre d'établir une chronologie entre les différentes phases de déformation connues à l'époque ainsi que la relation éventuelle entre ces phases.

Notre étude est basée sur nos levés de terrain, sur les travaux miniers antérieurs et complétée par les analyses des sondages carottés. Elle a été couplée à une étude microstructurale sur lames minces et microtectonique sur affleurements en surface et sub-surface. La déformation tectonique que nous avons analysée sur le terrain et traitée, est divisée en déformation ductile et cassante.

## II. LA DEFORMATION DUCTILE

Elle correspond à la phase compressive majeure du cycle hercynien, Elle est représentée par des plis P1, une schistosité de flux S1, des zones de cisaillements ductiles, des boudins.

### 2.1 La stratification S0 :

Elle est généralement difficile à observer. La S0 à Draa Sfar, excepté quelques sondages où on a des bancs gréseux à l'intérieur des métapélites, est le plus souvent subparallèle à S1. Cette difficulté s'explique, d'une part, par l'homogénéité du matériel, avec des métapélites sans intercalations d'autres faciès qui mettent en relief des limites de stratification. D'autre part les formations de Jebilet centrales ont subi une tectonique polyphasée très intense masquant ainsi les structures primaires. Néanmoins, à l'échelle du gisement on a pu constater que le contact entre les différentes formations a un pendage généralement vers l'Est c'est-à-dire vers les formations les plus récentes.

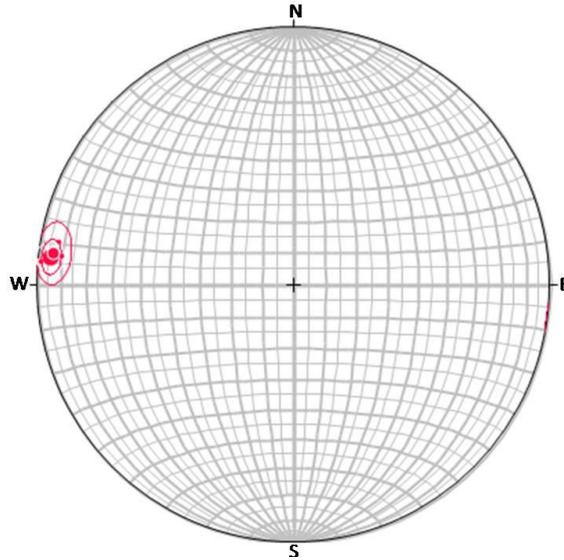


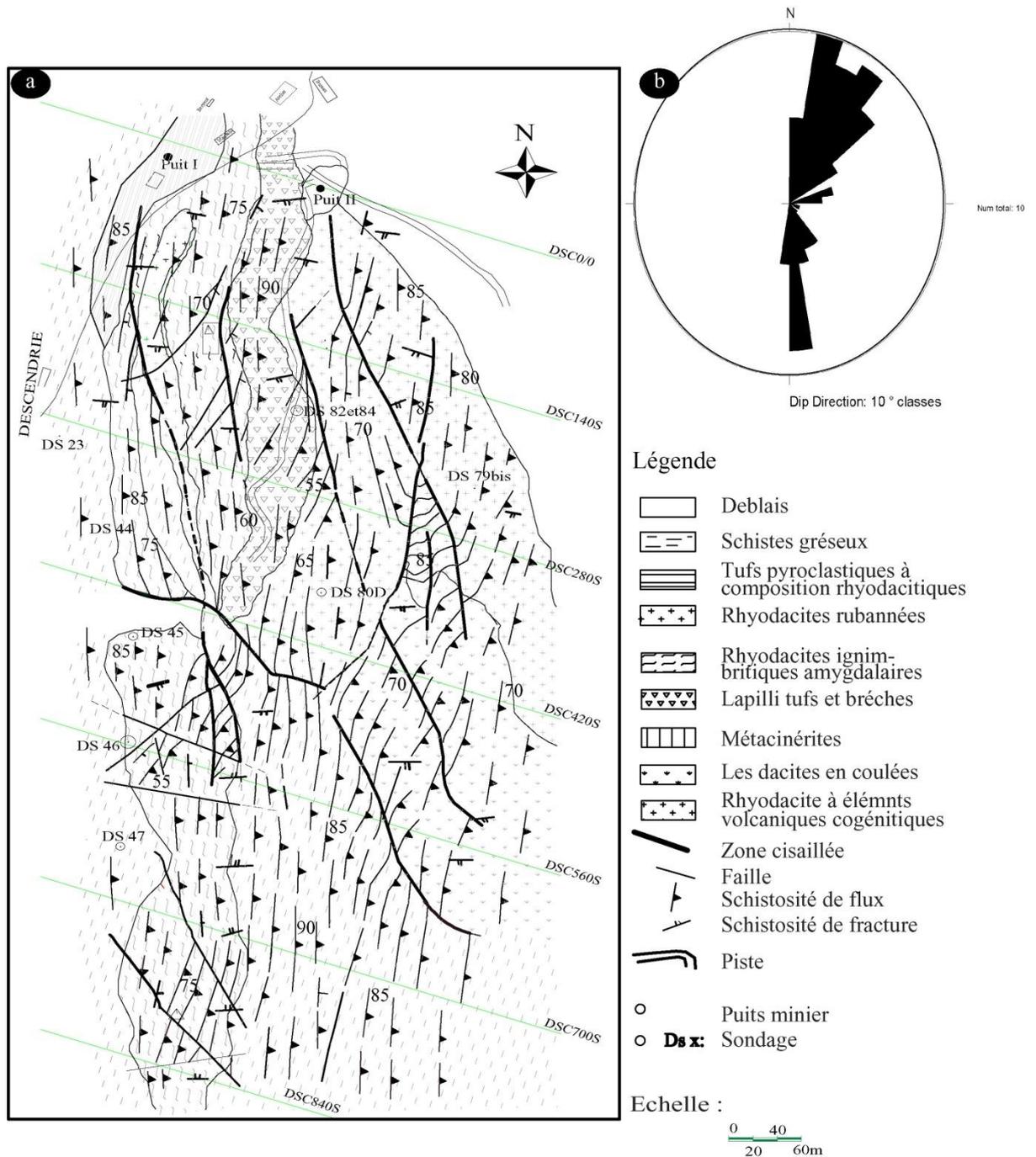
Figure 20 : Répartition des pôles de S0 dans les métapélites (d'âge Tournaisien) de Draa Sfar Nord.

## 2.2 La schistosité S1 :



Photo 1: le plan de schistosité S1 dans les métapélites noires du Tournaisien.

La schistosité S1 est très bien apparente dans l'ensemble des faciès. Elle se matérialise par des plans serrés aux niveaux des métapélites gréseuses et moins serrés dans les métapélites carbonatées et les tufs. A l'échelle du gisement, les trajectoires de la schistosité montrent une direction qui varie de N00 à N35, avec une dominance de la direction N15. Elles présentent un très fort pendage ( $75^\circ$  à  $90^\circ$ ) vers l'Est et le SE. A une échelle plus locale, on note par endroit une variation brusque de la direction et le pendage de la schistosité S1 (Fig.21). Ces rebroussements sont dus à la présence des couloirs de cisaillement N170 - N180 (sub-méridiens) et N80 et des failles décrochantes et parfois conjuguées de directions N-S à NW-SE et NE-SW à E-W (Ben Aissi.2008).



**Figure 21: Carte des trajectoires de la schistosité de flux S1 et de fracture S2. (b) Rosace des principales directions de failles dans le secteur de Draa Sfar (Ben Aissi.2008)**

La schistosité est souvent parallèle à la stratification S0. Elle représente la déformation la plus réponde à Draa Sfar. C'est une schistosité de flux pénétrative, très bien visible dans l'ensemble des faciès et surtout dans les métapélites gréseuses du mur. Cette schistosité est liée à un fort serrage E-W. Les mesures des plans de la S1 effectuées dans les galeries, ainsi qu'au

niveau des sondages du secteur d'étude, donnent une direction N00 à N35 avec des pendages de 75° à 90°E.



**Photo 2 : Les métapélites schistosités du Tournaisien de sidi M'bark.**

A l'échelle microscopique, on peut observer la schistosité S1 qui moule les cristaux du quartz, avec des zones abritées.

Les directions de la schistosité S1 sont presque N-S (entre N00 et N20). La rosace de pendage des pôles montre une concentration des pôles dans le côté Ouest ce qui signifie que le pendage de la S1 est vers l'Est (N10, 82 E; N5, 79 E; N12, 76E) (Fig.22).

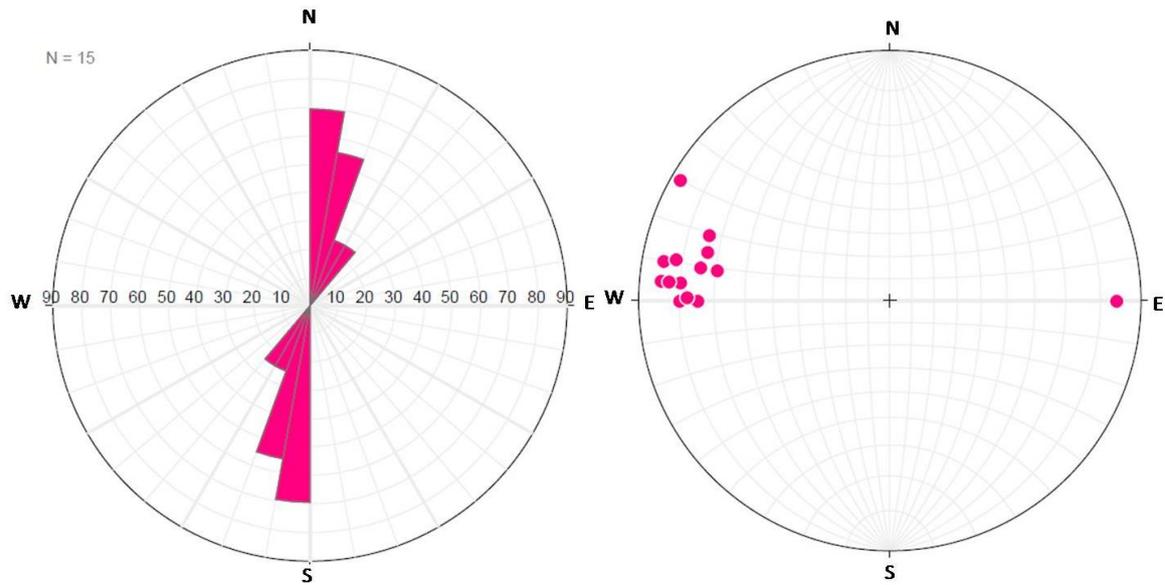


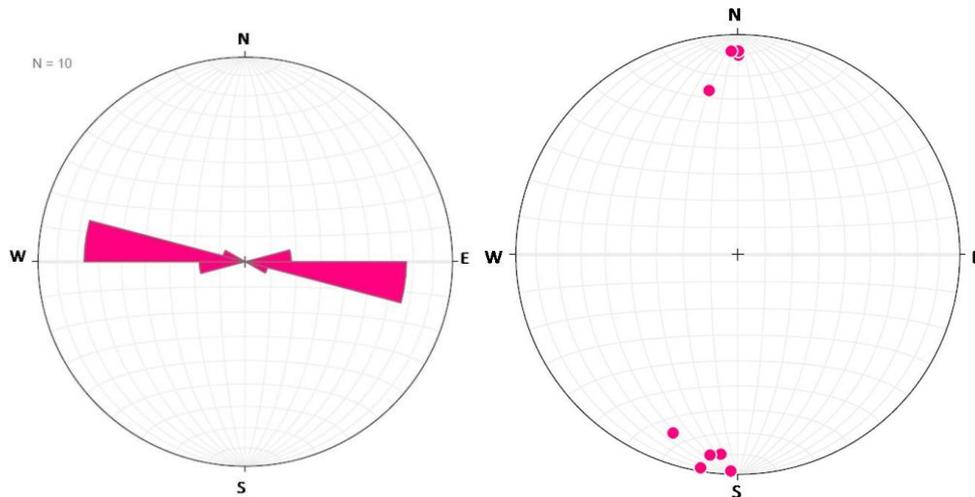
Figure 22: rosace de projection des directions de la schistosité S1 et pendage des pôles de la schistosité S1 de Draa Sfar Nor.

### 2.3 Schistosité S2 :



Photo 3: la schistosité de crénulation dans les métapélites carbonatés du Tournaisien.

Il s'agit d'une schistosité de crénulation orientée E-W, perpendiculairement à la première schistosité S1 qui provoque le débitage en frites. Les plans de cette schistosité se matérialisent par des discontinuités espacées par rapport à la S1. Elle est moins développée dans les métapélites carbonaté.



**Figure 23 : rosace de projection des directions de la schistosité S2 et stéréogramme de ses pôles.**

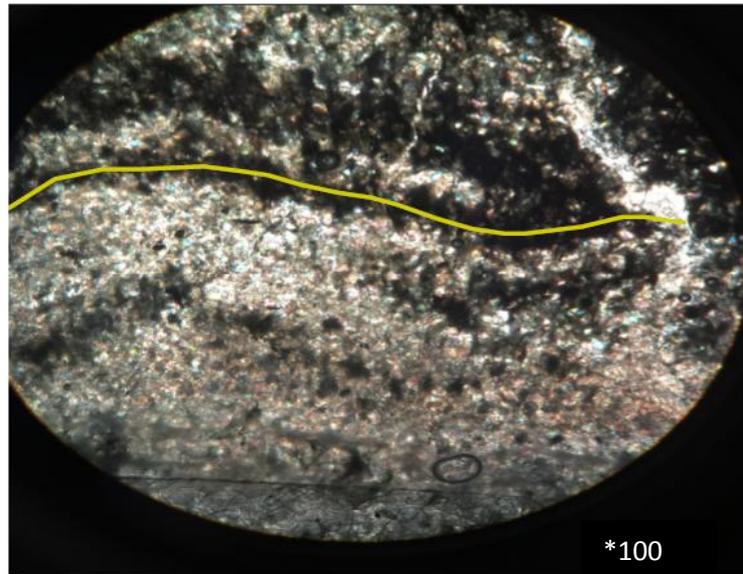
Le traitement des mesures de schistosités S2, montre une direction dominante E-W, avec un pendage de 70 à 80° vers le Nord et vers le Sud (Fig.23).

#### 2.4 Les plis :



**Photo 4: une veine de quartz plissé et affectée par la S1 dans le sondage DS128.**

Les plis de 1er ordre sont moins répandus dans le secteur de Draa Sfar. Mais les mesures du pendage qui ont été faite à partir des sondages carottés et sur les levés géologique des galeries les trajectoires de S1, montre qu'il y a généralement une grande régularité dans la direction et le pendage des plans de S1, avec une direction peu variable N5° à N35° et un pendage subvertical. Ces résultats montrent également que les formations de Draa Sfar Nord ont subis un plissement (P1) qui va avec la schistosité de flux (S1). A l'échelle microscopique (Photo.5), des microplis affectent les métapélites gréseuses.



**Photo 5 : Microplissement dans les métapélites du Dinantien.**

Les plis P2, de tailles millimétriques à centimétriques, sont soulignés par le replissement de S0-S1. La schistosité S2 qui en résulte est confondue avec les plans axiaux des plis P2 qui sont généralement sub-verticaux. Par endroit, on peut également observer des veines de quartz boudinées et replissée.



**Photo 6 : La S2 est confondue avec les axes des plis P2.**

## 2.5 Le boudinage

Il est observé au niveau des métapélites qui allongent la partie Ouest du secteur; les bancs gréseux décimétriques (au nord de Draa Sfar Sud) intercalés dans ces métapélites ont subi un boudinage allant souvent jusqu'à la rupture. Ce boudinage diminue d'intensité vers le Sud au profil du plissement des mêmes bancs gréseux qui commencent à apparaître.



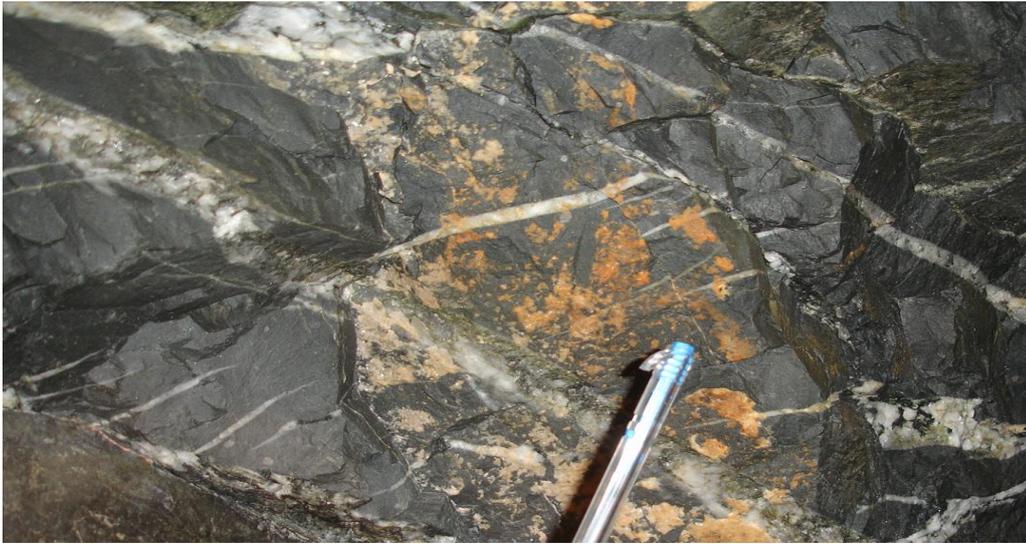
**photo 7 : un filon de quartz boudiné**

Au cours de la déformation majeure, les niveaux plus compétents que leur encaissant (quartzite, minéralisation stratifiée, des niveaux carbonatés) ont subi un boudinage selon les plans de la schistosité S1 (Photo.7). Sur les carottes du sondage on remarque une dissymétrie des masses boudinées par rapport à l'axe d'allongement dont la direction de ces boudins suit souvent les plans S1.

A plus grande échelle, les travaux d'exploration (sondages, traçages et trous) ont montré que la masse minéralisée de Draa Sfar se présente elle-même sous forme d'une mégalente aplatie et boudinée dans les plans S1, avec un fort pendage vers l'Est (voir le chapitre de la modélisation). La taille verticale moyenne des boudins est de 20 m à 35 m et leur épaisseur horizontale maximum est de 35 m. L'espace entre les boudines est généralement faible, sauf dans les lentilles de faible puissance où il est important, conduisant même à une séparation totale des boudins qui prennent la forme en chapelet.

### III. LA DEFORMATION CASSANTE :

### 3.1 Les fentes de tension :



**Photo 8 : les fentes de tension à remplissage quartzeux**

Elles constituent un témoignage des cisaillements qui ont affecté les Jebilet centrales. Les fentes liées à cette phase majeure ont une direction moyenne de N65° à N70° et elles sont de taille centimétrique à métrique. Le remplissage de ces fentes de tension est généralement du quartz associé à la chlorite, la calcite et les sulfures. Elles s'organisent en réseau en échelons conjugués et faillés par endroit. Ces fentes semblent être des réponses au cisaillement N-S. Elles sont de plusieurs générations et parfois boudinées ou coupées par des failles tardives.



**Photo 9 : Les fentes de tension sigmoïdes à remplissage de quartz et du sulfures dans une carotte de sondage DS187.**



Photo 10 : observation microscopique d'une fente de tension à remplissage de sulfures (en LP et LN)

### 3.2 Les failles :

Les mesures effectuées aux niveaux des galeries, et la disposition cartographique des failles sur les plans des niveaux miniers, nous ont permis d'identifier un ensemble de familles de failles dont les directions et les pendages sont variables. La représentation est focalisée sur les failles majeures qui ont une grande importance au niveau du gisement et sa structuration.

Le traitement stéréographique des failles que nous avons mesurées sur le terrain (surface et galeries), ainsi que les travaux effectués par d'autres auteurs (Ben Aissi, 2008) ; nous ont permis de distinguer quatre principales familles de failles :

**-Failles de direction moyenne N00 à N25, et de pendage moyen 70°W,**

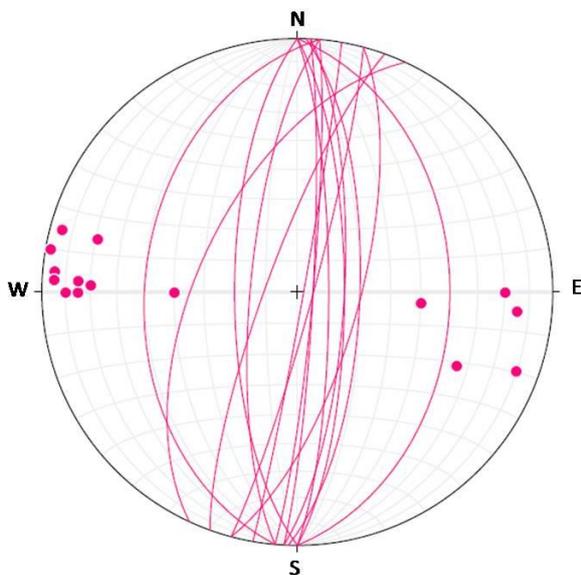
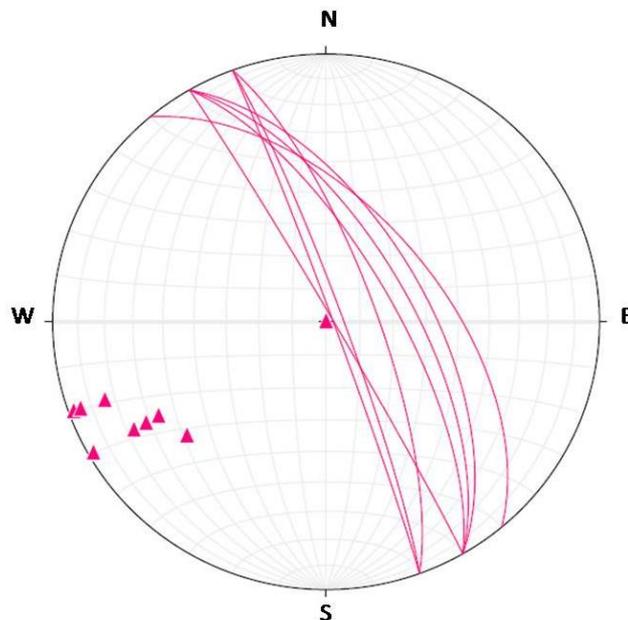


Figure 24 : Répartition des pôles et des plans des failles N-S à NNE-SSW affectant les métapélites gréseuses dans le gisement Draa Sfar Nord.

Cette famille de failles correspond à des couloirs de cisaillements ductiles C1 (shear zones), de direction moyenne N-S à NNE-SSW, se traduisant par une orientation progressive et une intensification de la foliation qui prend une allure sigmoïde. Ces cisaillements sont très bien marqués surtout dans des métapélites gréseuses et ils sont à l'origine de la virgation des structures (plis et schistosités associées) et de l'intensification locale de la déformation. Selon Rziki (2012) ces structures sont observées aussi bien à l'échelle microscopique, dont les phénocristaux ainsi que les éléments lithiques montrent des ombres de pression dissymétriques qui témoignent d'un régime de déformation « D1 » hétérogène, non-coaxial et à forte composante rotationnelle résultante d'un mouvement senestre dominant, statistiquement, par rapport aux mouvements dextre.

**-Failles N140 à N160 de pendage moyen 80°NE,**

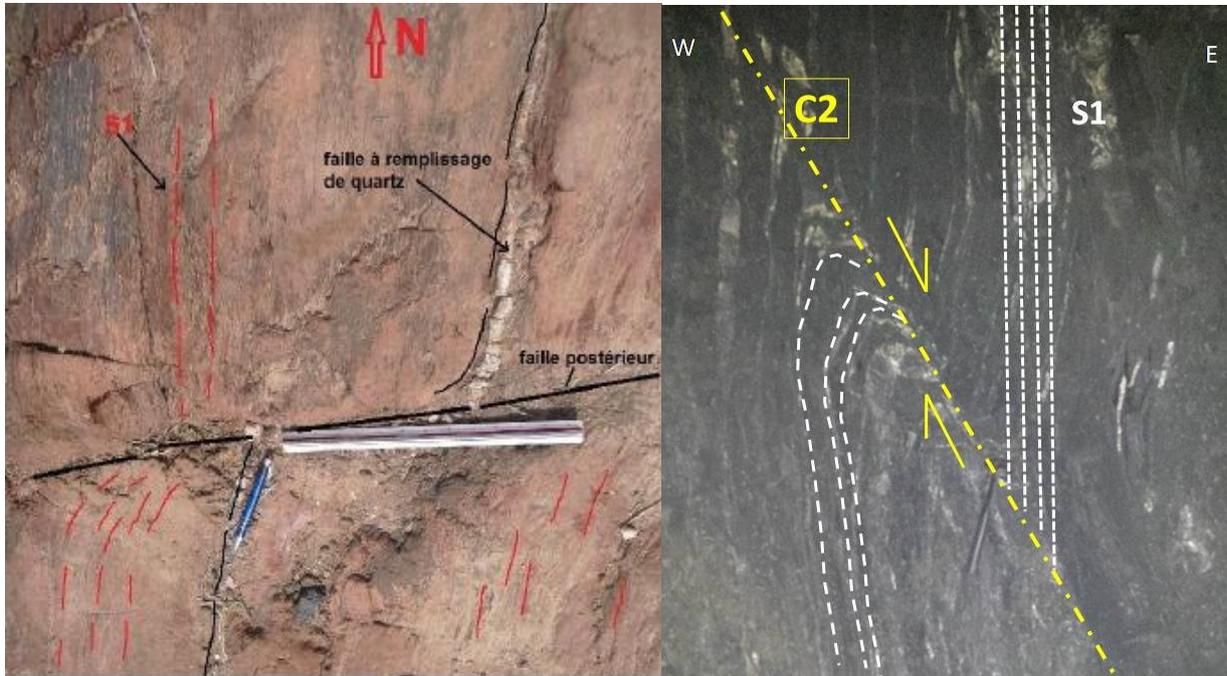


**Figure 25 : Répartition des pôles et traces cyclographiques des failles N140 à N160 80°NE dans le site Draa Sfar Nord.**

D'après Rziki (2012) dans koudiat Tazakourt cette famille de faille est synsédimentaire d'âge carbonifère, ces derniers ont pu garder des critères qui indiquent un fonctionnement pendant la phase distensive, malgré que la déformation synschisteuse ait presque totalement oblitéré le caractère précoce (synsédimentaire) des structures faillées. A Draa Sfar Nord exactement dans le niveau porteur de la minéralisation sulfurée, où le caractère rythmé des métapélites gréseuses nous avons pu relever des failles synsédimentaire.

### **-Failles N70 à N90,**

Cette famille de failles décale parfois la schistosité S1 en un jeu décrochant dextre, ce jeu est du à la même phase compressive NW-SE (61 et 63 horizontales). Elles sont parfois confondues avec les plans de la S2 (Photo.11).



**Photo 11 : faille tardive N70 qui coupe la S1 et les veines de quartz plissées, boudinées et cisailées dans les métapélites gréseuses au mur de la minéralisation.**

Les failles rencontrées sur terrain de direction générale N70 correspondent à un cisaillement C2, dont le jeu est en décrochement ductile dextre et souvent il reprend et décale les plans S0-S1. A. Les éléments lithiques schistosés et repris par les couloirs de cisaillement C2, montrent des ombres de pression dissymétriques qui témoignent d'un régime de déformation « D2 » hétérogène, non-coaxial et à forte composante rotationnelle résultante d'un mouvement dextre inverse (Rziki, 2012). L'effet de ces couloirs de faille inverse à composante dextre sur la structure minéralisée se caractérise par le développement de pli métrique qui provoque l'épaississement de la structure minéralisée (voir le chapitre de la modélisation).

### **-Failles de direction N30 à N45, et de pendage moyen 80°E dont le jeu est probablement dextre inverse :**

Ces structures visibles sont le plus souvent soulignées par des recristallisations secondaires (quartz et/ou carbonates) avec des structures de type kink-bands à côté. L'étude du fonctionnement de ces structures faillées indique une compression N120 d'âge probablement atlasique, qui serait responsable de l'activation de cette famille de faille.

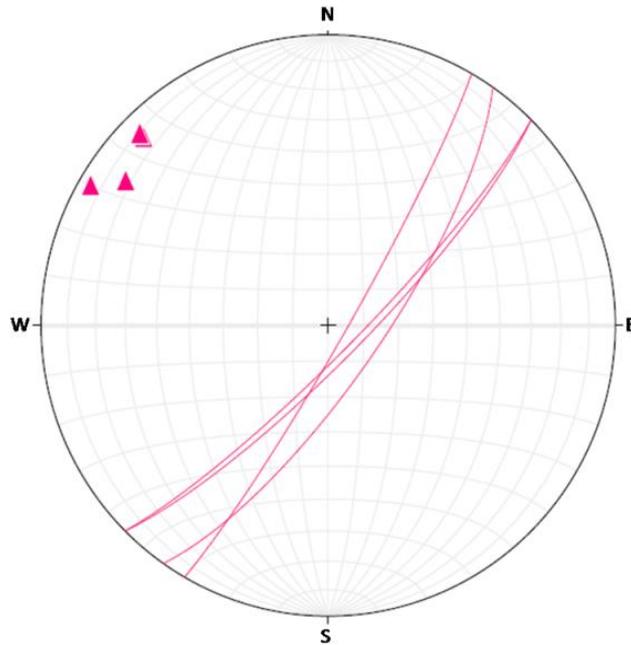


Figure 26 : Répartition des pôles et des plans des quatre failles N30 à N45 dans le gisement Draa Sfar Nord.

### 3.3 Diaclases subhorizontales (joints de compression) :

En parallèle à la schistosité de flux S1 et de fracture S2. Les terrains sont affectés par une famille de diaclases subhorizontales appelées joints, avec un espacement centimétrique (environ 25 cm). Les résultats de concentration des pôles de ces plans montrent une famille principale de joints subhorizontales.

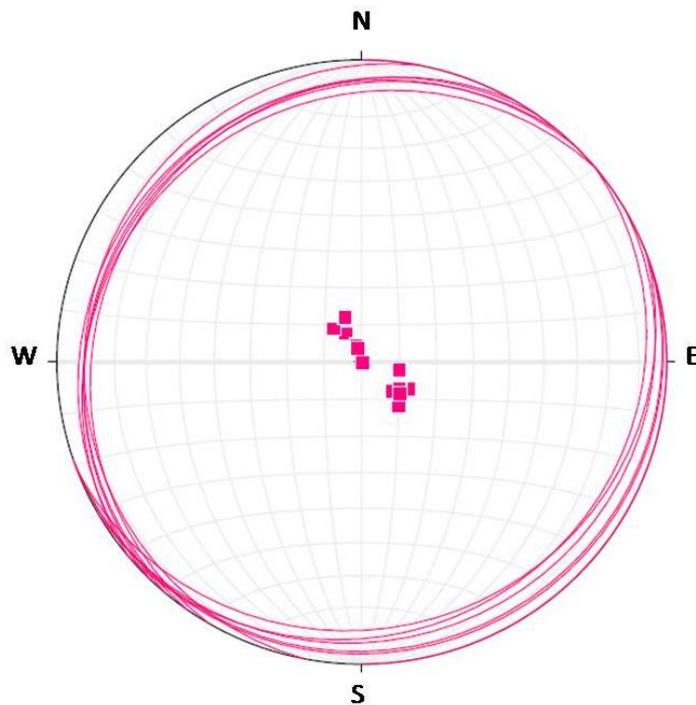


Figure 27 : Répartition des pôles et des plans des diaclases dans le gisement Draa Sfar Nord.

Le traçage des polygones permet de mettre en évidence deux familles selon le pendage, une famille importante de direction N50 avec un pendage de 15° vers le NW, et une petite famille de direction N70 avec un pendage de 12° vers le SSE.

### **3.4 Relation failles et minéralisations :**

La masse minéralisée à Draa Sfar se présente en méga lentille cisailée, boudinée et allongée dans les plans de la S1, le contrôle structural de la minéralisation est très bien visible à l'échelle du gisement, des niveaux, des stations et à une échelle microscopique. Dans cette étude on s'est focalisé sur les structures ductiles et cassantes observées surtout dans le stérile ou bien le contact minéralisation stérile pour essayer d'établir une logique de tous les événements structuraux.

D'après une analyse des levés disponibles dans le service géologique et les observations faites sur le terrain dans différentes tailles de la mine, il s'est avéré que la déformation cassante au sein de la minéralisation ne suit pas la logique qui règne sur le reste des faciès, on a des failles avec des directions et des pendages quelconques sans aucune direction préférentielle, ni pendage précis, donc une étude structurale qui tient compte seulement de la déformation au sein de la minéralisation ne donnera pas des résultats satisfaisants. Cela peut être expliqué par les propriétés physiques (la rhéologie) de la pyrrhotite, qui présente un comportement fragile cassant, donc la déformation sur l'ensemble des faciès à Draa Sfar Nord est enregistrée sous forme de plans de S1, S2, des familles de failles tandis que dans le minerai la déformation cassante se fait d'une façon anarchique.

## **IV. CONCLUSION**

L'analyse structurale de l'ensemble volcanosédimentaire de Draa Sfar a montré que ces formations sont structurées par trois phases de déformation :

-une phase synsédimentaire D0, responsable de l'instabilité tectonique du bassin au cours de la sédimentation et la mise en place de la masse minéralisée. Elle se traduit par des failles synsédimentaires qui accompagnent l'ouverture du bassin de Jebilets centrales pendant le Carbonifère inférieur;

-une phase majeure D1 synschisteuse, responsable de la structuration du secteur de Draa Sfar. Elle est marquée par des plis P1, une schistosité de flux portant une linéation d'étirement peu marquée.

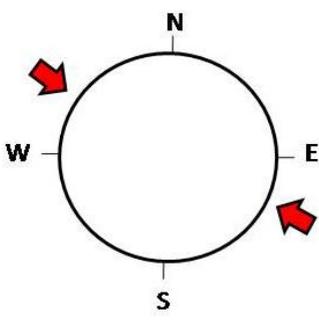
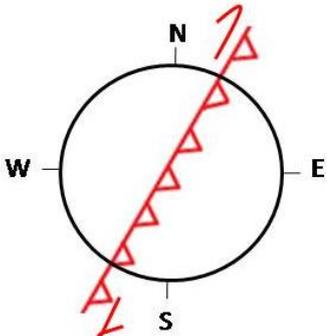
Dans la masse minéralisée, cette phase de déformation est matérialisée par le boudinage des lentilles. La forme sigmoïdale des lentilles (voir les coupes dans le chapitre de la modélisation) résulte de mouvements horizontaux le long des plans de la schistosité S1, en rapport avec le jeu sénestre des zones de cisaillement ductiles qui engendrent des lentilles complètement cisillées par rapport à leur position initiale.

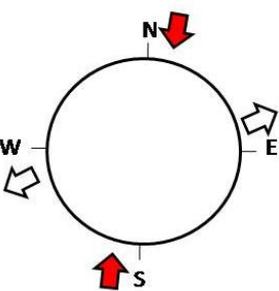
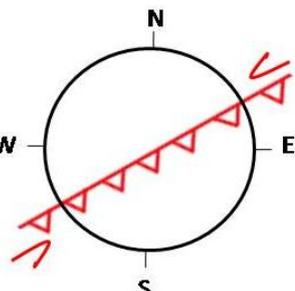
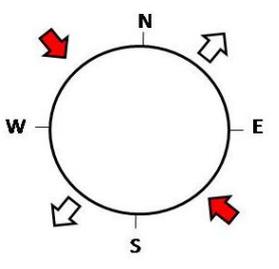
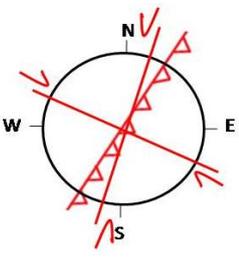
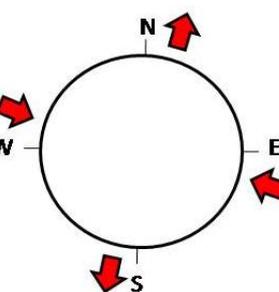
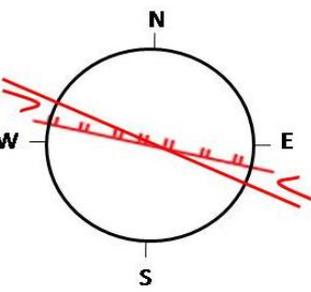
L'évolution paléogéographique du secteur de Draa Sfar est liée au serrage hercynien qui s'inscrit dans l'évolution générale de la meseta centro-occidentale pendant le Viséen. Evolution qui se caractérise par l'individualisation d'un bassin mesetien subsident (Michard, 1976).

Une troisième phase D2, moins intense, qui se traduit par des plis P2 associés à une schistosité S2 (crénulation et/ou de fracture) et des cisaillements C2. Cette phase d'âge probablement Carbonifère supérieur (Namurien) a repris les structures de la phase D1 en petits plis millimétriques à centimétriques. Elle est responsable de la structure actuelle de Draa Sfar.

Une phase plus tardive, de nature cassante, bien exprimée dans tout le secteur. Elle se matérialise par une fracturation post hercynienne (tardi-hercynien à atlasique), associée parfois à des diaclases et des kinks-bands.

**Tableau 1: Différentes phases et leurs effets sur le secteur de Draa Sfar**

Phases	Contrainte	Jeu	Résultats	Origine
D3			Phase de nature cassante, bien exprimée dans tout le secteur, elle est marquée par des failles de direction avec présence des kinks-bands	Tardi-Hercynienne à Atlasique

D2			<p>Responsable de la schistosité de crénulation (S2) ; elle est marquée par des plis (P2) ainsi que des zone de cisaillement (C2) qui sont confondue avec la famille de faille N70 à N90</p>	<p>Déformation hercynienne tardive (Namurien)</p>
D1			<p>Responsable de la structuration du secteur de Draa Sfar, une schistosité de flux (S1), Plis (P1), des zones de cisaillements ductile (C1)</p>	<p>Serrage hercynien qui s'inscrit dans l'évolution générale de la meseta centro-occidentale pendant le carbonifère (Viséen)</p>
D0			<p>Responsable de l'instabilité tectonique du bassin au cours de la sédimentation et la mise en place de la masse minéralisée se traduit par des slumps et des faille synsédimentaire</p>	<p>L'ouverture du bassin de Jebilets centrales d'âge probablement carbonifère inférieur.</p>

## Chapitre IV : Etude gîtologique :

### I. MORPHOLOGIE DES COUPES MINERALISEES :

A Sidi M'barek, la minéralisation se présente en lentilles échelonnées selon une direction plus ou moins Nord-Sud. Dans la partie Nord du gisement, sur les travaux miniers on distingue

quatre lentilles minéralisées encaissées dans des métapélites verdâtres à noirâtres qui sont par ordre d'importance : la lentille 1, lentille 2, lentille 3 et lentille 4. Les lentilles 3 et 4 (Fig.28).

**Lentille 1 (en rouge)** : c'est une lentille de pyrrhotite massive à chalcopryrite, et pyrite disséminée ;

**Lentille 2 (en jaune)**: cette lentille présente une texture rubanée avec une alternance de chalcopryrite, pyrite ;

**Lentille 3 (en vert)**: cette lentille est à pyrrhotite massive avec la chalcopryrite et pyrite disséminées ;

**Lentille 4 (en bleu)**: c'est une lentille mince, de l'ordre de un mètre, avec une direction similaire aux autres lentilles.

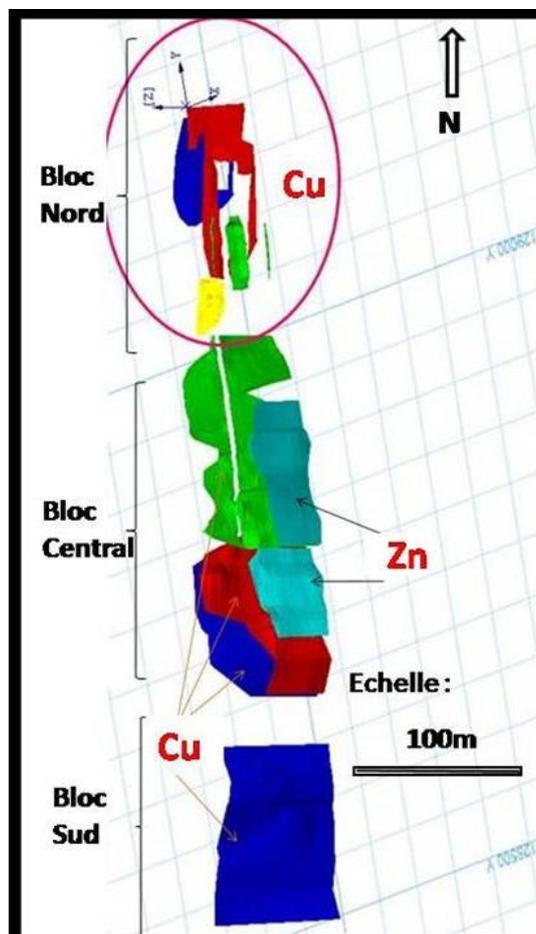


Figure 28 : Vue 3D des lentilles du bloc Nord de Sidi M'barek (Draa Sfar Nord) (d'après document interne Draa Sfar, rapport inédit 2016)

## II. DESCRIPTION DU MINERAI ET SON ENCAISSANT :

En se basant sur les échantillons collectés au fond et sur les sondages carottés qui traversent les lentilles minéralisées, on a procédé à la description des différents faciès, et du minerai de la

zone de Sidi M'barek. Les sondages carottés étudiés sont : DS154, DS178, DS187, DS128, DS194 et DS175.

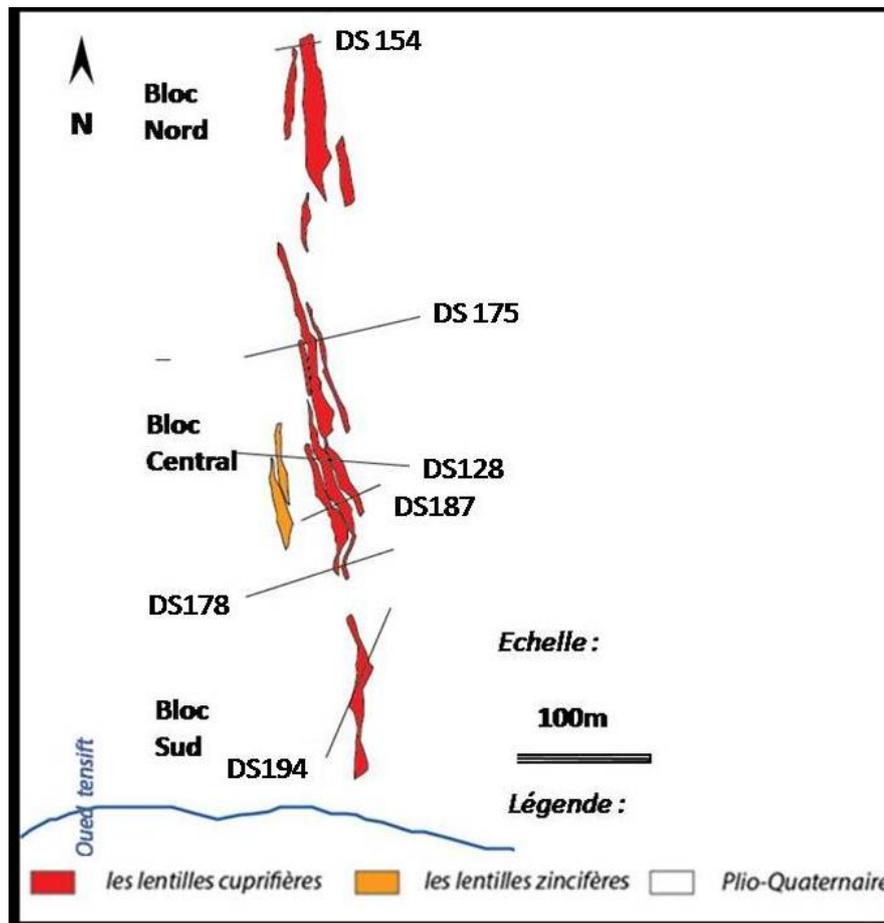


Figure 29 : localisation des sondages étudiés à Draa Sfar Nord (d'après document interne Draa Sfar, rapport inédit 2016).

## 2.1 Le sondage carotté DS154

Le sondage carotté DS154 qui porte les coordonnées lambert ( $x= 240976.48$   $y= 129080.299$  et  $z= 14.84$ ) est d'une profondeur de 75 m avec un pendage de  $60^\circ W$  et une direction de N270, traverse un corps minéralisé.

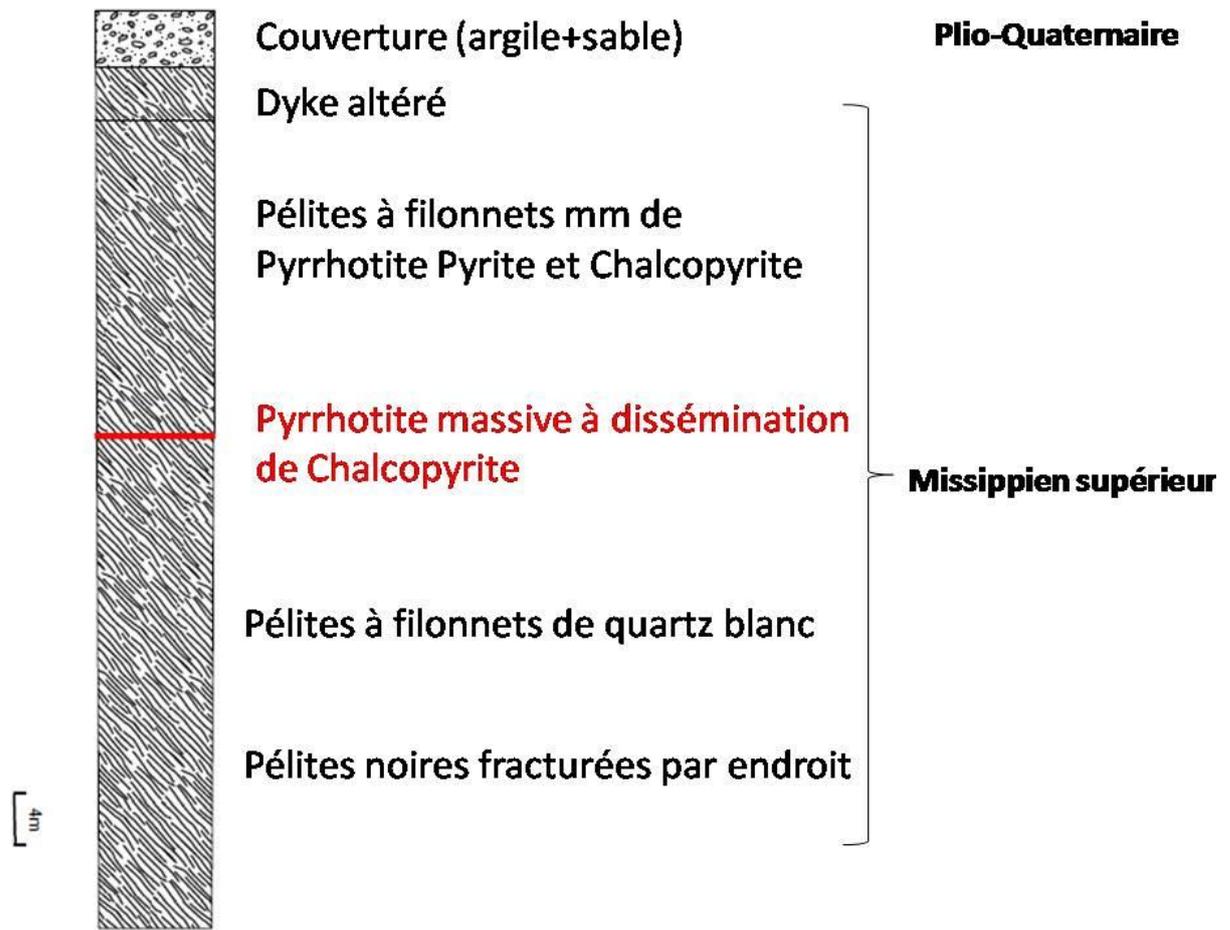
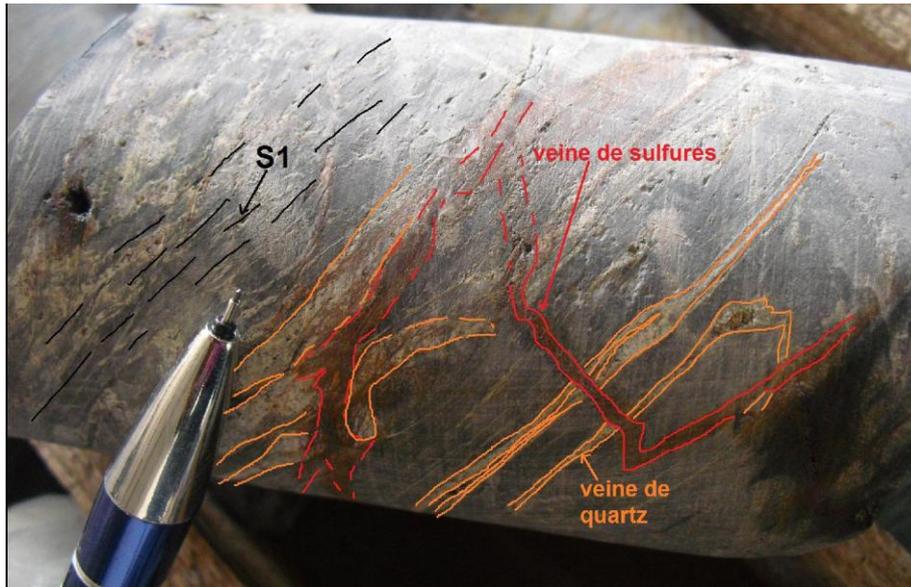


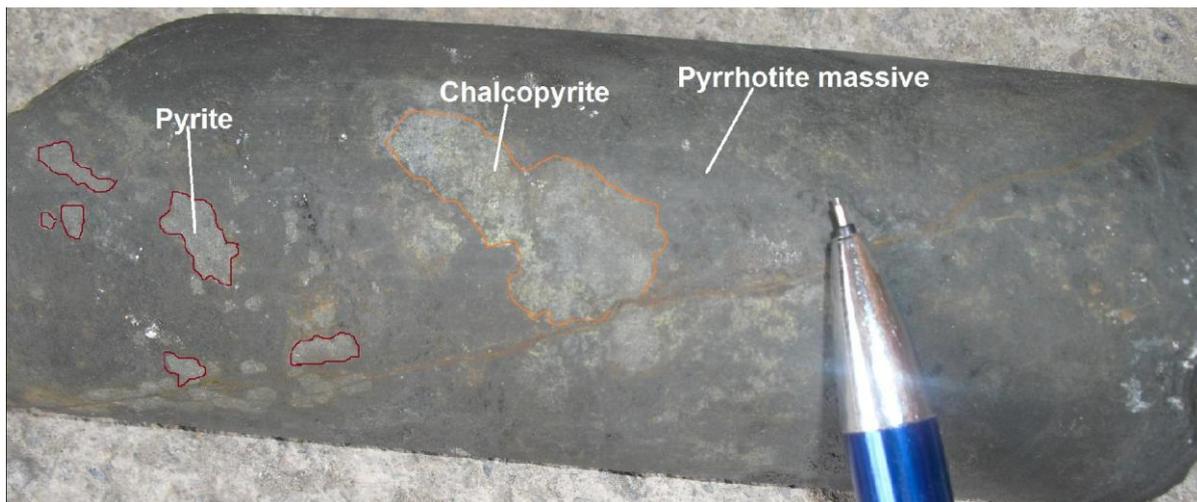
Figure 30 : log stratigraphique du sondage carotté DS154 de Sidi M'barek

Dans ce sondage qui traverse une structure minéralisée, on distingue des métapélites vertes et noires fracturées, altérées, schistosés  $S1=30-45^\circ$  (par rapport à l'axe de la carotte N270). Dans ces métapélites du Tournaisien on trouve des veines de quartz, de carbonates et de sulfures (pyrite, chalcopyrite et pyrrhotite), qui sont parfois parallèles à la schistosité S1, ou parfois sécantes sur celle-ci, (Photo.12).



**Photo 12: veines de quartz parallèle à la schistosité S1 avec les veines de sulfures qui coupent les veines de quartz**

Les échantillons récoltés dans les niveaux miniers au fond, montrent un minerai en pyrrhotite massive avec quelque trace en chalcopryite, pyrite, avec des oxydes de fer (Photo.13).



**photo 13 : minéralisation traversée par le sondage carotté DS154.**

## 2.2 Le sondage carotté DS178 :



Figure 31 : log stratigraphique du sondage carotté DS178 de Sidi M'barek

Le sondage carotté DS178 ( $x=240775$   $y=128598$  et  $z=-19.16$ ) traverse un corps minéralisé dans la partie Sud du discret miner sidi M'barek (la lentille 1 Sud) (Fig.29) avec une profondeur de 240 m, un pendage de  $50^\circ E$  et une direction N90.

Cette structure minéralisée (lentille 1 Sud) est orientée N-S, et encaissée dans les métagéolites noire à veines de calcite au toit et métagéolites gréseuses au mur d'âge Tournaisien. Ces dernières présentent une schistosité S1 ( $= 30$  à  $35^\circ$  par rapport à l'axe du carotte N90), recoupée par plusieurs veines de sulfures et de quartz. Le sondage présente des zones de faille de puissance variable (centimétrique à métrique) le remplissage parfois est du métagéolites très fracturées pour les failles qui sont loin du corps minéralisé par contre les zones proche sont remplier par des brèches et des sulfures.

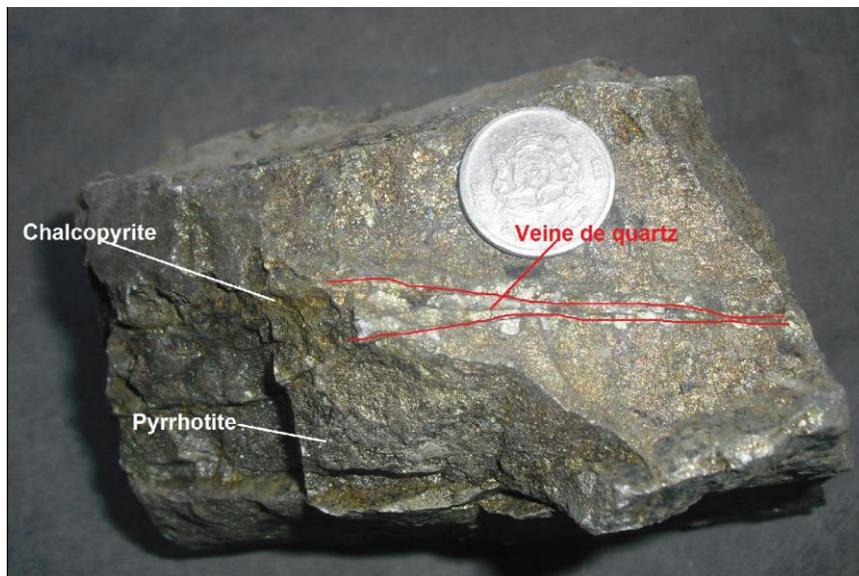
Le corps minéralisé (La lentille 1 Sud) : est à une profondeur de 154.1 à 158.9m. C'est une minéralisation à pyrrhotite massive avec la chalcoppyrite et la pyrite secondaire disséminé

(Photo.14), on note par endroit l'existence des veines de sulfures qui recoupe la schistosité de flux.



**photo 14: minéralisation massive traversée par le sondage carotté DS178 (chalcopryrite et pyrite dans la pyrrhotite massive**

Dans la galerie au centre de la lentille on remarque une abondance de la pyrrhotite déformée avec la chalcopryrite, et on distingue de petites fractures remplies par le quartz, il y a également la pyrite secondaire, (Photo.15.).



**photo 15 : photographie macroscopique de la lentille 1 Sud à Sidi M'barek**

Vers la périphérie, en s'éloignant de la minéralisation, la chalcopryrite et la pyrrhotite sont disséminées dans les métapélites, avec des oxydes de fer (Photo.16).

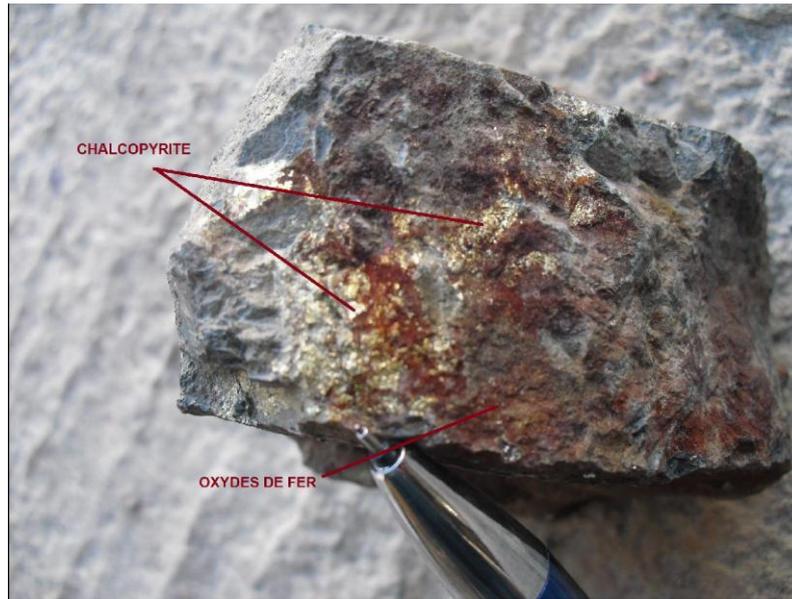


Photo 16: photographie macroscopique des oxyde de fer avec de la minéralisation sulfurée sous forme disséminée.

### 2.3 Le sondage carotté DS128 :

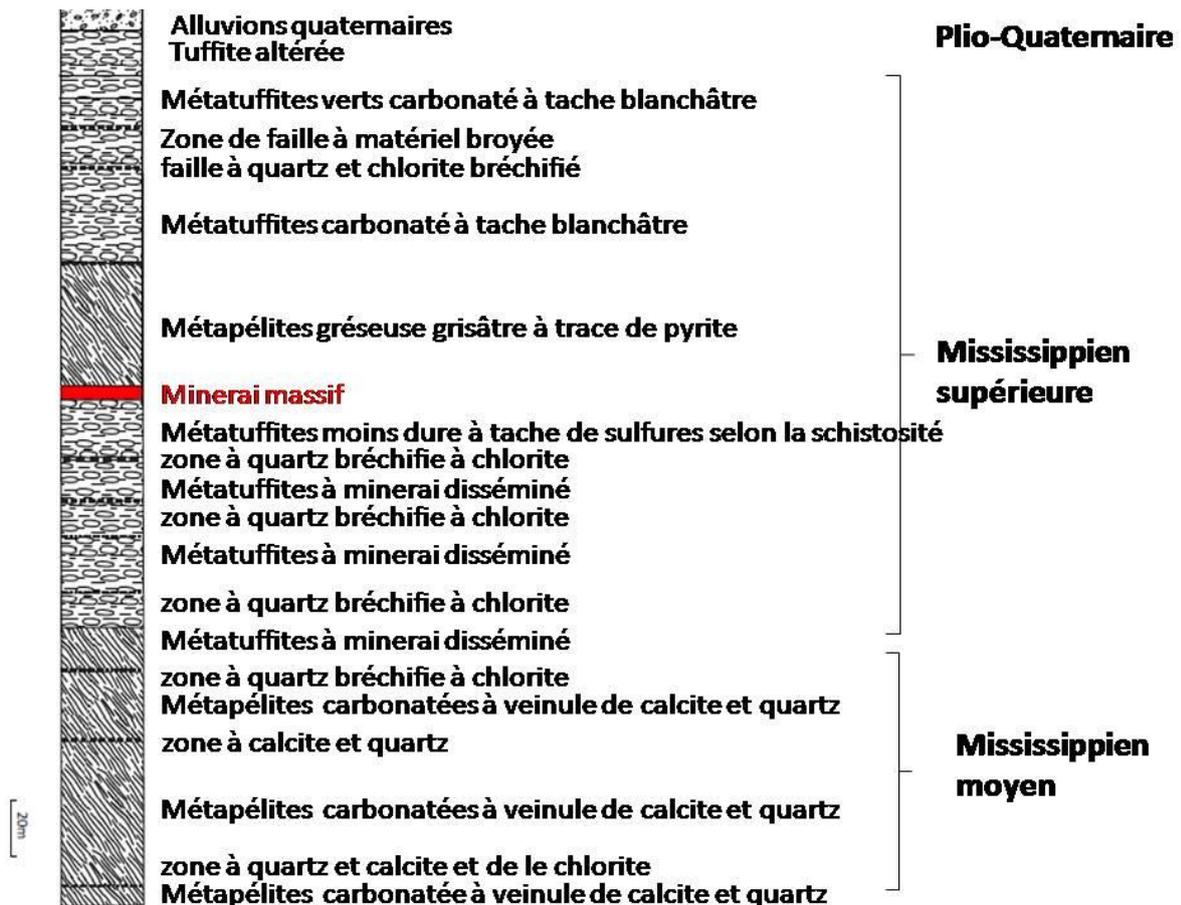


Figure 32 : log stratigraphique du sondage carotté DS128 de Sidi M'barek

L'observation macroscopique de ce sondage carotté, qui porte les coordonnées Lambert ( $x= 240960.94$ ,  $y= 128676.14$  et  $z= -19.16$ ) avec une profondeur de 317.4m et de direction N286.2 et pendage 57.5W montre l'existence de deux faciès : les métatuffites et les métapélites noires (carbonatées) avec un niveau de minéralisation massive.

Les métatuffites d'âge Mississippien supérieur (Numérien)-selon une datation des rhyodacites par la méthode  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  sur des micas blancs de recristallisation qui a donné un âge de  $331,7 \pm 7,9$  Ma du Mississippien supérieur (Marcoux et al., 2008)-est le faciès dominant dans ce sondage c'est une roche volcano-sédimentaire verdâtre à tache blanchâtre, contenant environ 50% au moins de débris pyroclastiques fins (lapillis, cendres), pris dans un ciment calcaire, et se présentant en couches interstratifiées dans la sédimentation.

Des métapélites noires à texture fine à passées carbonatées à pyrite, constituent le mur de ce sondage. Ce faciès contient une alternance des lamines millimétriques en pyrite et pyrrhotite recoupée par des microfractures chloritisées et calcifiée (Photo.17).



**Photo 17 : métapélites carbonatées à pyrite et chalcopirite**

L'ensemble est affecté par des failles de puissance variable (centimétrique à métrique) avec un remplissage bréchiq ue et parfois des sulfures. Le niveau minéralisé est localisé à 133.8m jusqu'à 139m de profondeur riche en chalcopirite et pyrite (Photo.18) le tout dans une matrice de pyrrhotite, sachant que la minéralisation est aussi présente dans l'encastrement mais disséminée.



Photo 18 : la minéralisation massive à chalcopryrite et pyrite secondaire avec de la pyrrhotite.

## 2.4 Le sondage carotté DS 175 :

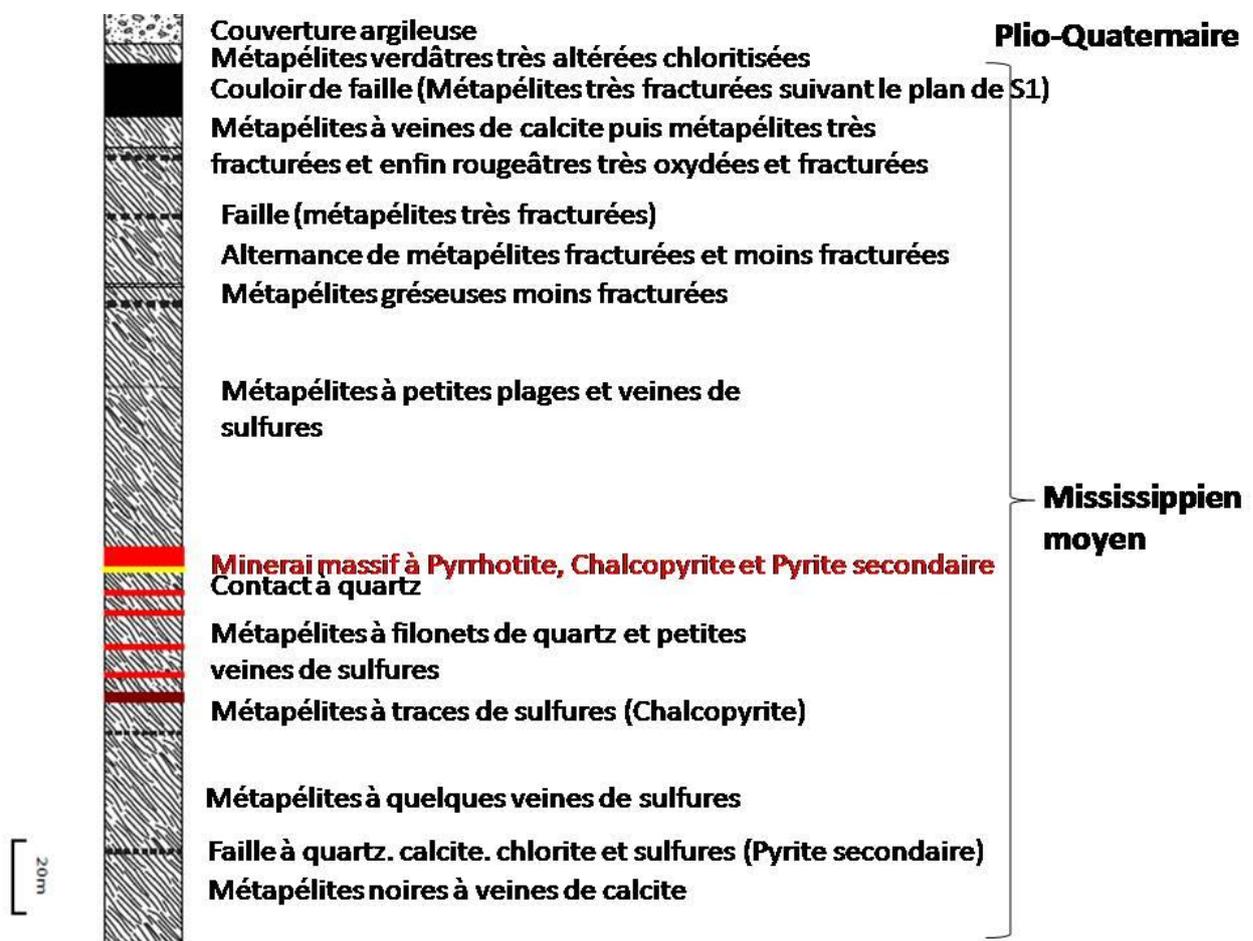
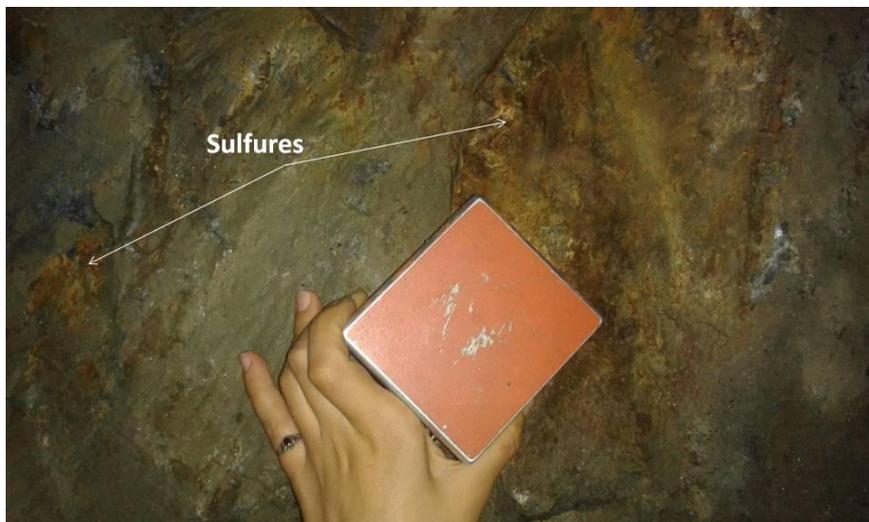


Figure 33 : Log stratigraphique du sondage DS175 de Sidi M'barek

Les informations technique de ce sondage DS175 sont : les coordonnées lambert (x=241009.1, y=128809.72 et z=-16.94), la profondeur 269m, la direction de N268 et le pendage de 52°W.

DS175 traverse plusieurs niveaux minéralisés qui sont encaissés dans des métapélites noires à texture fine à passes carbonatés constituent le toit et le mur dans ce sondage, on note également la présence des veines de calcite qui sont parfois parallèle ou elle recoupe les plans de schistosité, qui fait un angle de 45 à 50° par rapport à l'axe de la carotte.

La minéralisation la plus épaisse dans ce sondage est localisée entre 155 à 160.2m sous forme de pyrrhotite massive avec de la chalcopryrite et la pyrite secondaire. On remarque le dépôt d'environ deux mètre du quartz avec la chlorite, juste après ce dépôt il y a une alternance entre des métapélites noires a veine de sulfures et des niveaux de minerai massive à pyrrhotite et chalcopryrite, on note aussi que la minéralisation disséminées est largement présente sur tout le sondages (du pyrite et chalcopryrite) surtout sur les plans de schistosité. (Photo.19).



**Photo 19:: La minéralisation épousant les plan de schistosité**

Sur le plan structural, le sondage présente des zones de failles avec une puissance et un remplissage différents ; sauf que les failles à cote du minerai sont remplies par des sulfures et des brèches. L'analyse macroscopique de ce sondage montre une richesse des indices structuraux (fracturation, des fentes de tensions et des plis et parfois des zones de cisaillement) (Photo.20).



Figure 34 : une fracture remplie par du quartz décalée par une autre postérieure avec un jeu décrochant dextre.

## 2.5 Le sondage carotté DS194 :

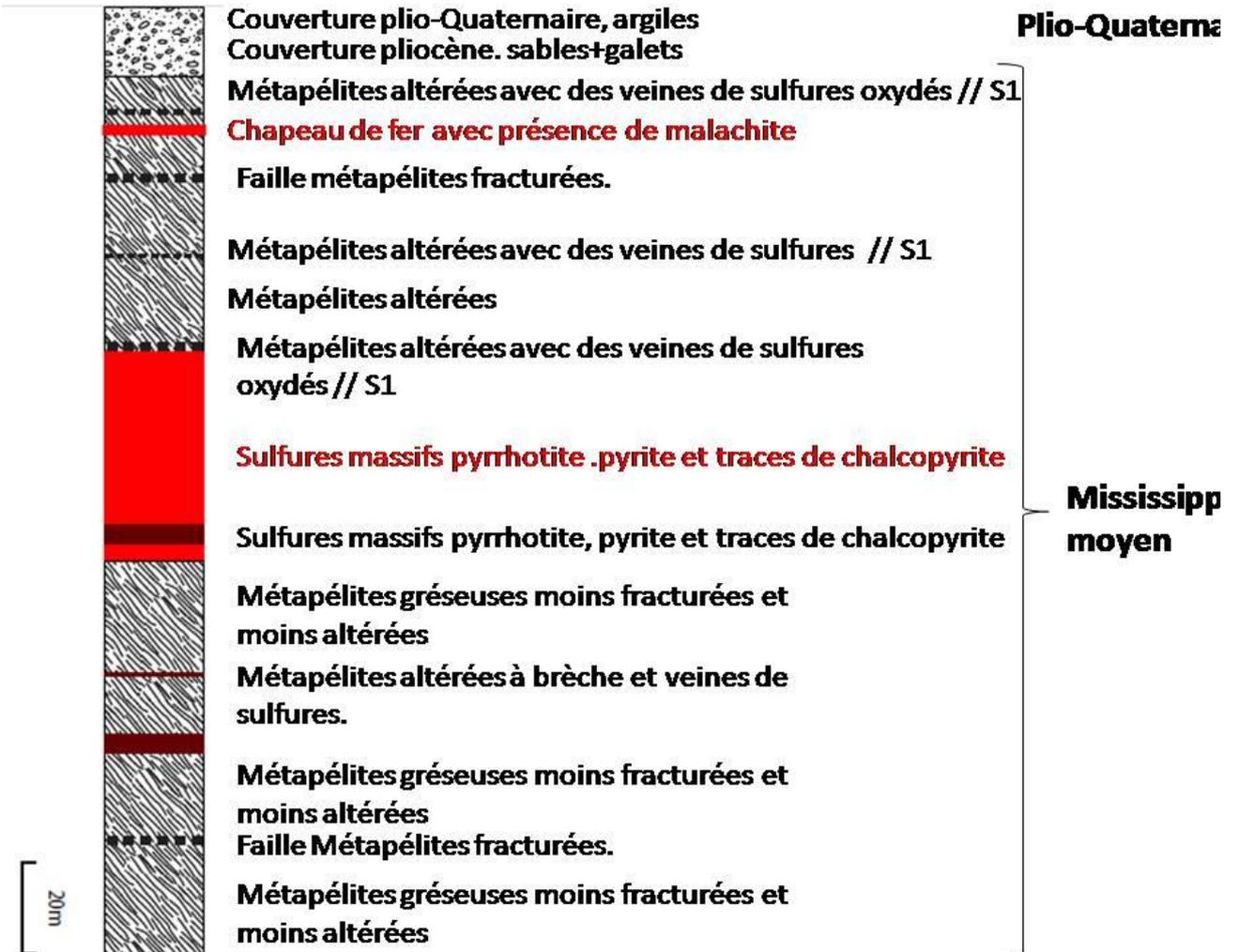


Figure 35: Log stratigraphique du sondage DS194

Les informations technique du sondage carotté DS194 sont comme suit : les coordonnées lambert ( $x=240807.992$ ,  $y=240807.992$  et  $z=-22.5$ ) et la profondeur est de 230.5m avec une direction de N47 et un pendage d'environ 50°E

Le début de ce sondage carotté est marqué par une oxydation intense qui caractérise une métapélites verdâtre à grisâtre (Photo.20), cette oxydation est due à l'influence de la rivière de tensift sur les formations voisines (Fig.29).



**Photo 20: métapélites très oxydées et fracturées**

Le long de la carotte de ce sondage, on distingue l'abondance des métapélites gréseuses et silicifiées, à passées carbonatées entrecoupées par des failles. Elle présente une minéralisation massive, sub-massive voire disséminée de pyrite et de pyrrhotite.

Ce sondage touche un chapeau de fer riche en malachite à une profondeur de 28 jusqu'à 30.4m, juste après 50m le minéral apparaît de nouveau et cette fois avec une puissance importante de 40.5m sous forme de pyrrhotite massive, pyrite et traces de chalcoppyrite.

De point de vue tectonique on note la présence de plusieurs zones de faille de puissance variable qui sont soit remplies en métapélites fracturés ou bien soudé par le quartz ou par la calcite. La photo 21 montre les premières fractures sont totalement en quartz qui sont recoupées par une fracture postérieure avec un remplissage calcique formant un jeu apparent décrochant dextre donc le remplissage en quartz est antérieur a celui du calcite.



**Photo 21 : Des veines de quartz recoupées par une autre postérieure**

## 2.6 Le sondage carotte DS187 :



Figure 36: Log stratigraphique du sondage carotte ds187 du Draa Sfar Nord

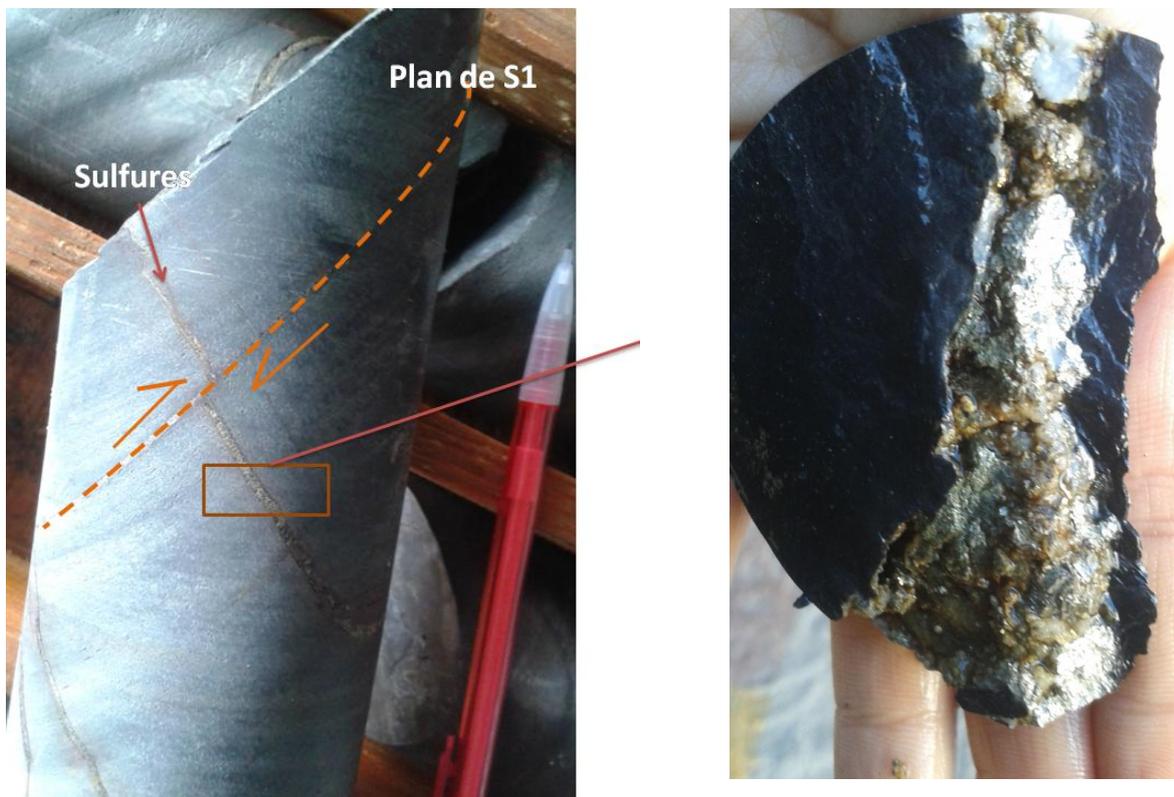
Les coordonnées lambert du DS187 ( $x=240930.815$ ,  $y=128669.876$  et  $z=-17.66$ ) et de longueur de 130 m avec une direction de N256 et un pendage de 50°W.

La couverture Plio-Quaternaire dans ce sondage carottés présente une épaisseur qui atteint 19 m. L'analyse de la carotte permet de distinguer deux types de métagéolites (noire et gréseuse), portant quelques millimètres de minéralisations (pyrite et chalcopryrite).

Les métagéolites carbonatées est le faciès le plus dominant dans ce sondage carottés avec des veines de calcite et parfois du quartz, ce faciès fait un angle de 35 à 50° par rapport à l'axe du carotte ; cette variation du pendage est due soit à un léger plissement ou bien à une déviation de la tige du sondage.

Les métapélites gréseuses caractérisent aussi les faciès qui traversent ce sondage carotté. Elles sont plus dure et montrent une résistance par rapport aux métapélites noires, ils sont plus riche en viennes de quartz parfois sont parallèle aux plans de schistosités.

La minéralisation de type disséminée apparaît à 40m de profondeur formant le remplissage de quelques fractures qui recoupent la S1. Celle-ci est décalée par des décrochements dextres suivant le plan de schistosité (Photo.22). La minéralisation massive est focalisée dans une profondeur de 80m dans des zones de failles formant le remplissage de ces derniers (pyrrhotite, pyrite et quelque trace de la chalcopryrite) avec des métapélites fracturées.



**photo 22: fracture minéralisée en chalcopryrite et pyrite avec du quartz recoupée par une fracture parallèle au plan de la S1**

Le sondage montre un couloir de cisaillement à l'échelle de la carotte avec des fentes de tension en forme («Z») sigmoïde montrant un jeu décrochant senestre (Photo.23); qui pourraient être responsable du plissement des ces métapélites (Photo.24)

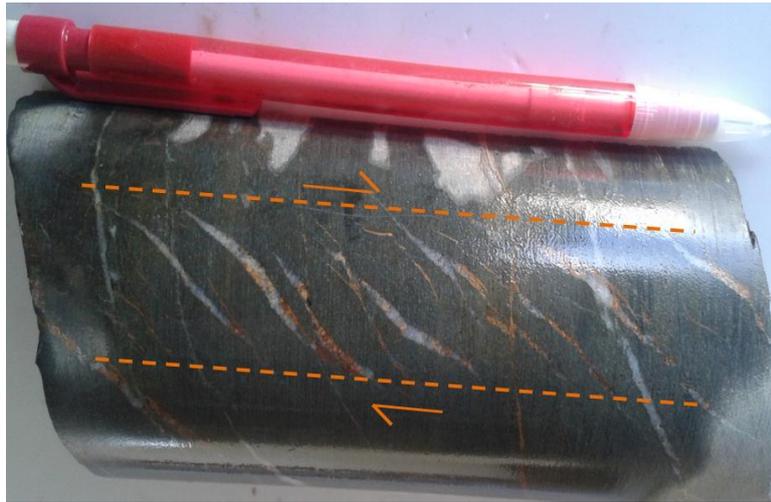


photo 23: couloir de cisaillement à jeu décrochant dextre et fentes sigmoïdes



Photo 24 : plissement des métapélites carbonatées

Tableau 2 : les minéraux et leurs formules chimiques

Minéraux	Formule chimique
<i>Pyrrhotite</i>	$FeS$
<i>Pyrite</i>	$FeS_2$
<i>Chalcopyrite</i>	$CuFeS_2$

## Chapitre V : Etude pétrographique et métallogénique :

### I. INTRODUCTION

Cette partie est basée sur l'étude pétrographique microscopique des faciès qui apparaissent dans les sondages. Nous avons effectué un échantillonnage le long des sondages carottés DS154, DS178, DS175, DS128, DS194 et DS187 (fig.29) dans l'objectif de caractériser les différentes

minéralisations et leur encaissants. Ainsi, dans le but d'expliquer les relations génétiques qui existent entre elles, et d'étudier l'impact de la tectonique sur l'ensemble encaissant/minéralisations, on a procédé à l'étude pétrographique et métallogénique d'un nombre de vingt lames minces et sections polies.

## II. ETUDE PETROGRAPHIQUE

L'étude pétrographique au microscope polarisant en lumière polarisée et naturelle des différents faciès lithologique du secteur de Sidi M'barek, nous a permis de différencier plusieurs types de faciès.

### 2.1 Métapélites :

C'est un faciès à dominance de quartz, chlorite, muscovite, et calcite. L'épidote, la biotite et la séricite sont en faible pourcentage. Le quartz a subi une forte déformation qui a laissée des zones abritées caractéristiques des cristaux du quartz. Les veines de quartz sont accompagnées par le chlorite, constituant en général des veines de remplissage, déposées par le fluide hydrothermal (Photo.25). Ces veines traversent les métapélites, quant aux veines de calcite tardive recourent les veines de quartz. Le chlorite et la muscovite sont étirés dans le sens de la schistosité S1 (Photo.26).

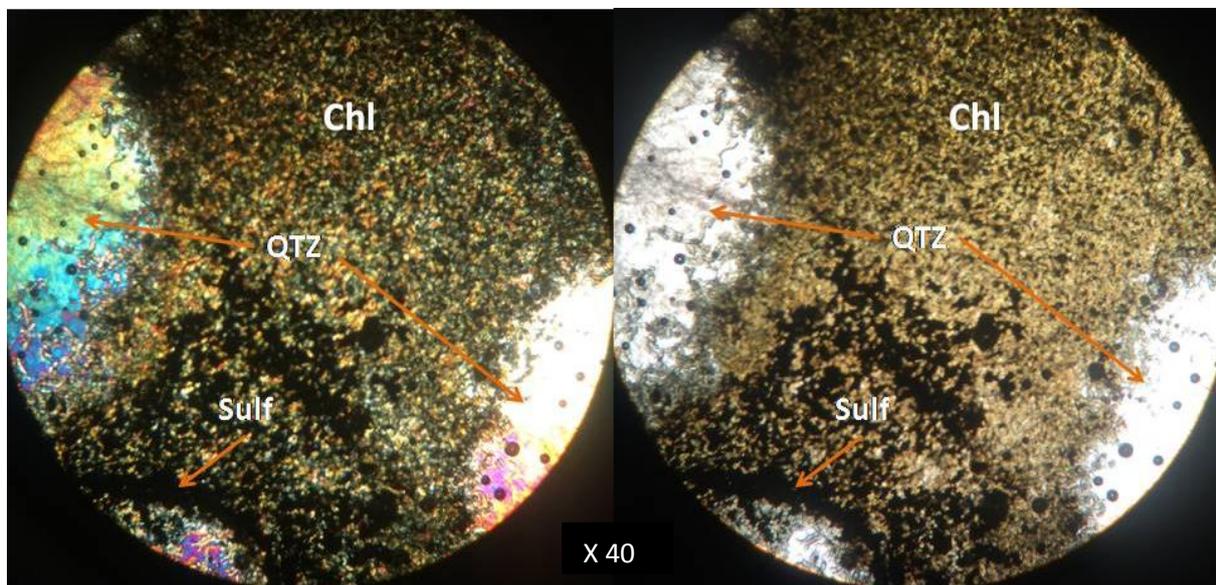


photo 25 : microphotographie montrant l'association quartz et chlorite hydrothermaux dans une métapélites (LP à droite et en LN à gauche)

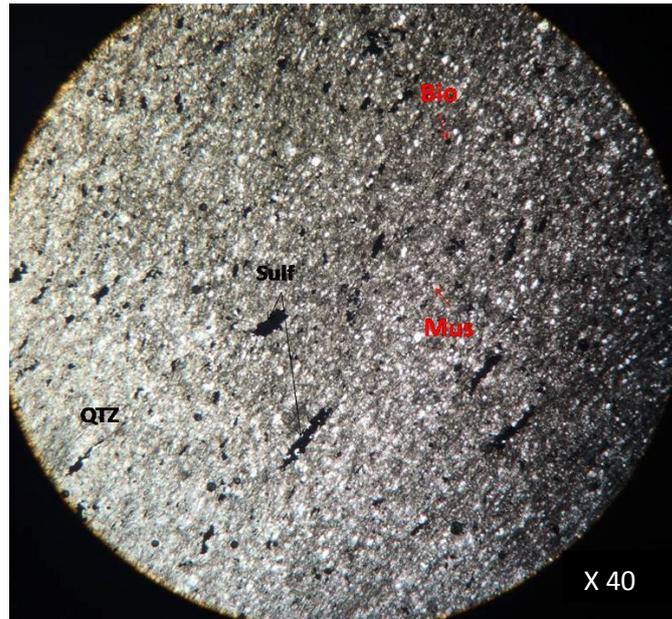


photo 26: microphotographie d'une métapélites (LP) montrant l'étirement des cristaux de chlorite et la muscovite dans les plans de S1.

## 2.2 Métapélites gréseuses :

C'est un faciès à quartz, chlorite, séricite et muscovite, traversé par des veines de quartz et de chlorite déformées, boudinées et cisillées. Ces dernières forment un rubanement parallèle à la schistosité S1 (photo. 27). Les cristaux de quartz sont de grande taille. Ils semblent en équilibre avec la sphalérite, qui cristallise dans leurs joints (Photo. 28).

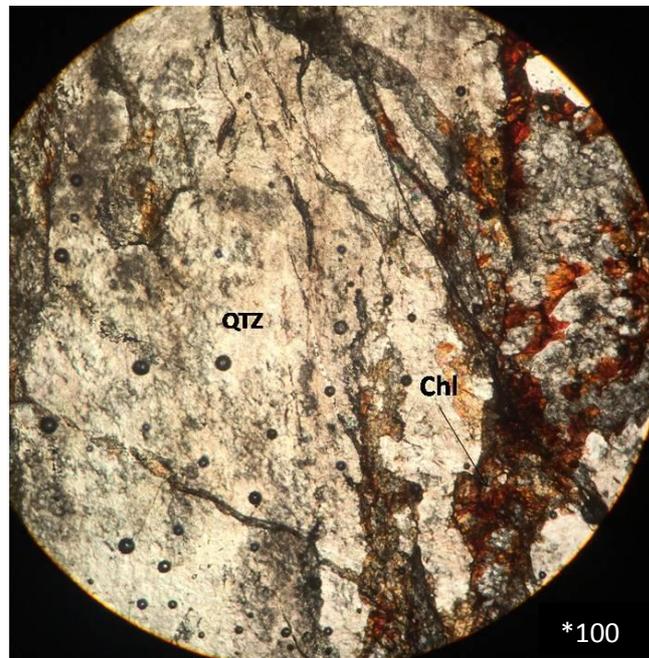


photo 27: microphotographie d'une veine de quartz et chlorite déformées au sein des métapélites

gréseuse en (LP).

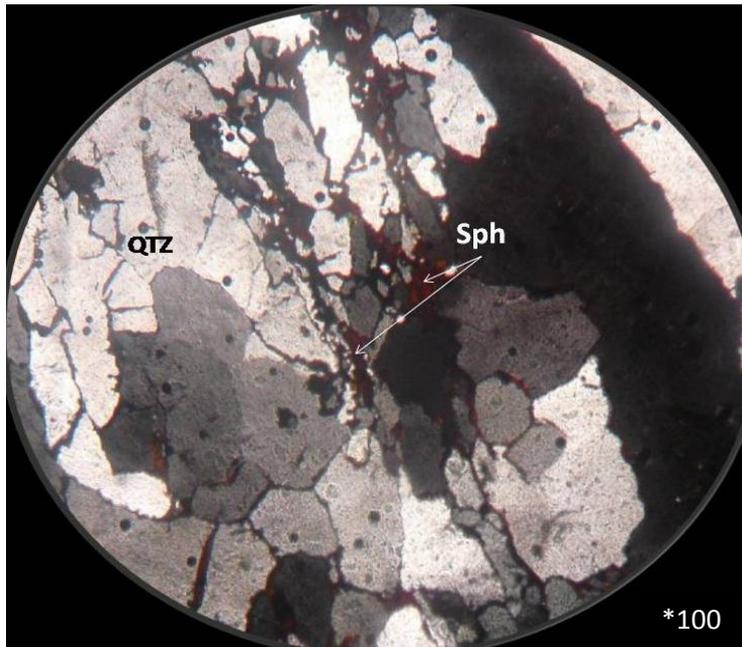


photo 28: Veine de quartz avec de la sphalérite au sein des métapélites

### 2.3 Chlorito-schiste :

C'est un faciès rubané, présentant une schistosité S1 de direction moyenne N15. Il est formé par le chlorite, la muscovite, le quartz et la séricite. Ces minéraux sont orientés parallèlement aux plans de schistosité S1. Ce faciès présente un rubanement avec des niveaux quartziques, où les cristaux de quartz recristallisés et représentent des points triples. Le contact entre les lits phylliteux et les lits quartziques se fait toujours par le biais d'un liserai chloriteux (Photo.29)

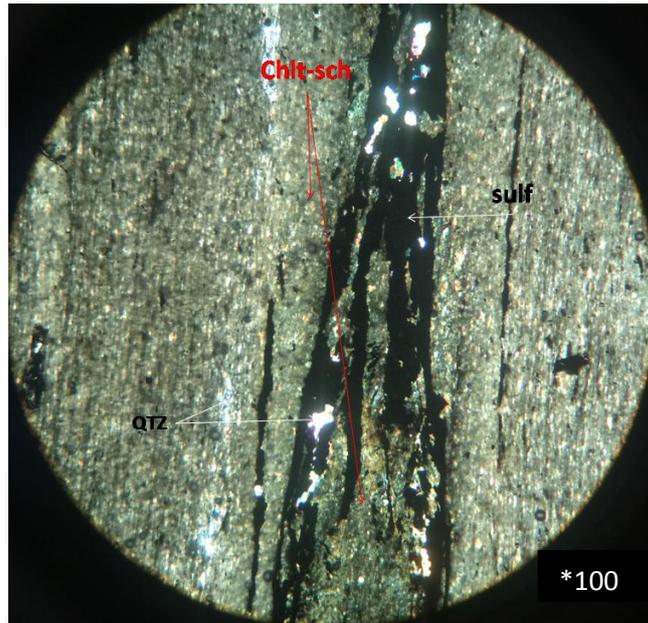


Photo 29 : microphotographie du chlorito-schiste en (LP).

## 2.4 Chloritite :

Les chloritites sont formées de chlorite, quartz, muscovite, biotite, épidote et calcite. A l'instar des métapélites précédentes et des schistes, ce faciès est traversé par des veines de quartz. En effet les veines de quartz sont des veines de remplacement, ce qui explique les reliques de schiste dans les veines de quartz. (Photo.30et 31).

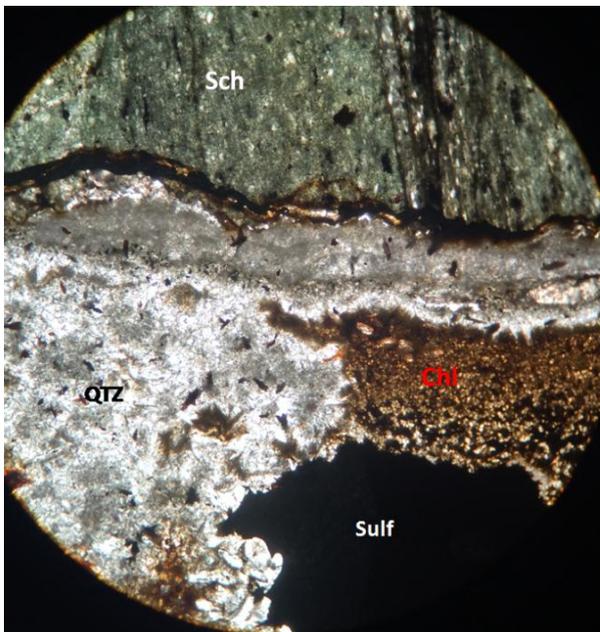


photo 30: microphotographie d'une chloritite en (LP) montre des chlorites avec des schistes et des sulfures



photo 31: microphotographie d'une chloritite en (LP) montre les micas (biotite et la muscovite) avec du quartz

Chaque faciès métamorphique est défini par une gamme de P et de T° et par la présence de minéraux index. Un minéral index est un minéral ayant un champ de stabilité (P, T) restreint. Dans notre cas les minéraux index sont les chlorites et l'épidote, ces derniers nous renseignent sur le faciès métamorphique qui est dans ce cas de type schiste vert, caractérisé par une gamme de T° = 300–500 °C et P = 2–8Kbar

### **III. ETUDE METALLOGENIQUE :**

L'étude métallogénique à partir des lames minces et des sections polies au microscope métallographique, nous a permis de définir les différents types de minerais à travers leur minéralogie et leur texture. Cette étude nous a révélé cinq types de minéralisation : massive, rubanée, disséminée, de remplissage et en stockwork.

#### **3.1 Les textures du minerai :**

Selon les associations minérales (sulfures et gangue), nous avons identifié quatre types de minéralisations.

##### **3.1.1 Minerai massif :**

D'après les levés géologiques qui ont été fait; ce type de minéralisation est rencontré dans les lentilles 1 et 3 (Fig.29). Microscopiquement, on note qu'il est formé de la paragenèse suivante (Photo.33 et 43) :

- la melnicovite : c'est un sulfure de fer, elle est très abondante et en grande plages, elle présente une texture collomorphe concentrique rempli de sphalérite, et correspond à une texture hydrothermale primaire de basse température.
- la chalcopryrite : elle est moins abondante que la melnicovite, elle se présente aussi en grande plage ;
- Pyrite : elle présente des cristaux automorphe et se trouve soit dans la chalcopryrite, soit dans la melnicovite ;
- Arsénopyrite : elle se présente en cristaux losangiques, le plus souvent à l'intérieur de la chalcopryrite ;
- Sphalérite : elle est imprégnée en cristaux automorphes dans les plages de chalcopryrite, et elle remplit les fractures créées par les textures concentriques dans la melnicovite marquant les zones de croissance dans cette dernière ;



photo 32 : Vue au microscope métallographique en lumière réfléchie du minerai massif montre la dominance du Melnicovite avec la sphalérite.

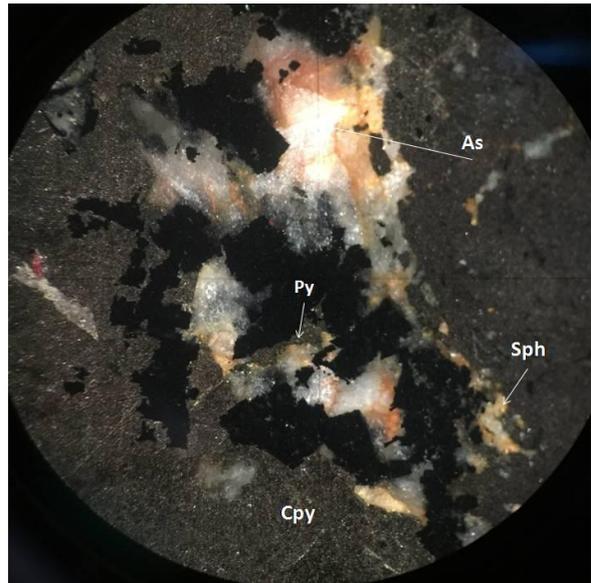


photo 33 : Vue au microscope métallographique en lumière réfléchie du minerai massif montre représente la pyrite, la sphalérite et l'arsénopyrite dans une patte de chalcopyrite.

### 3.1.2 Minerai rubané :

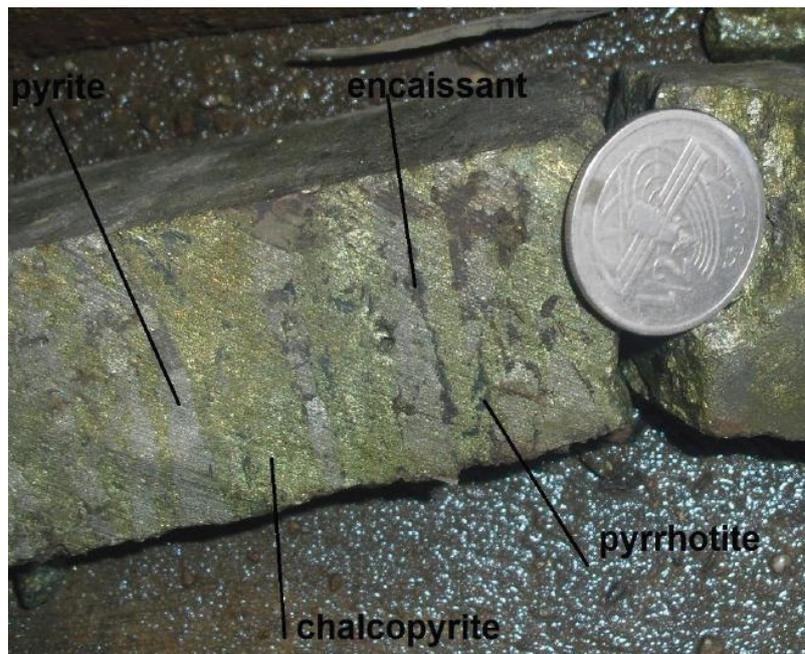


Photo 34: Minéralisation en rubanement

C'est une minéralisation très importante de point de vue économique. Ce type de minerai caractérise la lentille 2 au niveau du sondage DS154. Ce rubanement est matérialisé par une alternance de lits de pyrite et de lits de chalcopyrite (Photo.34). Microscopiquement on distingue la paragenèse suivante :

- les rubans de chalcopryrite contiennent de la pyrite, de la sphalérite, de la pyrrhotite et de l'arsénopyrite (Photo.35) ;
- les rubans de pyrite contiennent de la chalcopryrite et de la sphalérite (Photo.36).

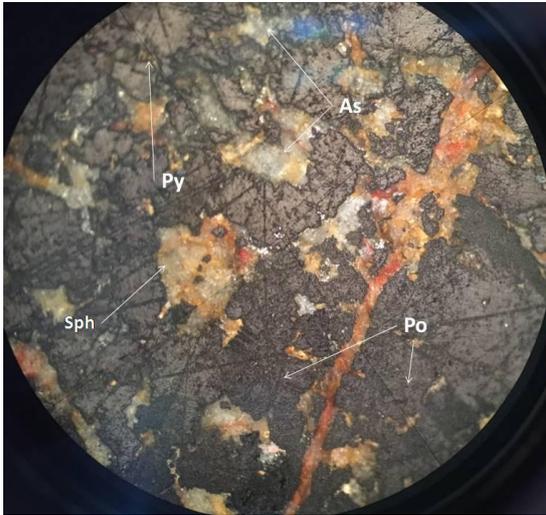


photo 35 : microphotographie en lumière réfléchie du minerai rubané montre la présence de la pyrite, l'arsénopyrite, la sphalérite aussi avec la pyrrhotite.



photo 36 : microphotographie en lumière réfléchie du minerai rubané montre la présence de la chalcopryrite et la sphalérite.

### 3.1.3 Minerai disséminé :

Ce type de minerai se présente en dispersion de pyrrhotite, pyrite, sphalérite, et arsénopyrite dans la matrice métapélitique. Il montre des formes soit en veinules ou en traces dans la matrice. Microscopiquement on distingue :

- le cuivre gris qui a une couleur gris clair, et il est généralement disséminé,
- l'arsénopyrite en petits cristaux disséminés,
- la pyrite est aussi en petit cristaux,
- la pyrrhotite est associée à la chalcopryrite, et parfois à la magnétite.

Cette minéralisation est affectée par la schistosité S1 et elle est contemporaine des veines de quartz.

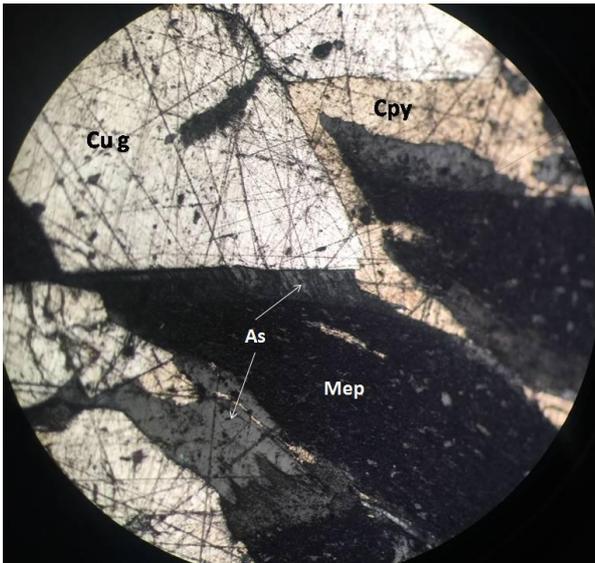


photo 37 : microphotographie en microscope métallographique en lumière réfléchie du minerai disséminé montre la présence du cuivre gris entouré par la chalcopyrite avec parfois l'arsénopyrite au sien du métapélites.

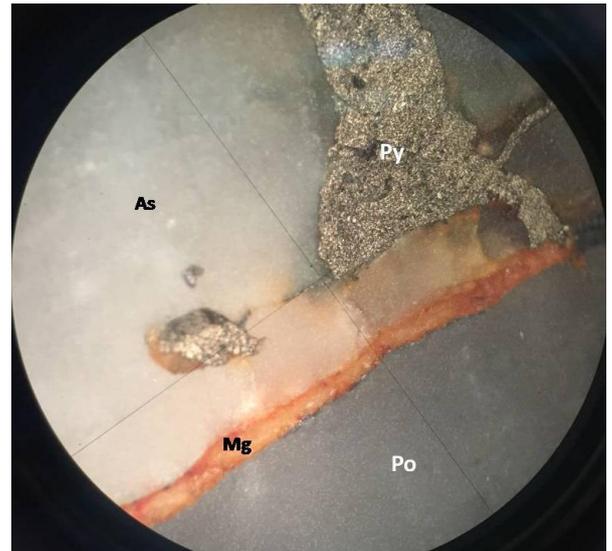


photo 38 : microphotographie en microscope métallographique en lumière réfléchie du minerai disséminé caractérisé par la pyrrhotite, la pyrite et l'arsénopyrite avec des oxydes de fer sous forme de magnétite.

### 3.1.4 Minerai de remplissage :

C'est une minéralisation sulfurée en remplissage des veines qui matérialise les plans, les fractures, et les fissures. Ces veines sont déformées, plissées et moulées par la schistosité S1. Elles sont constituées de sphalérite, chalcopyrite plus fréquente et la bornite avec parfois de la pyrrhotite (photo.39). Parfois ces veines sont remplies de sphalérite et pyrite (photo.40)

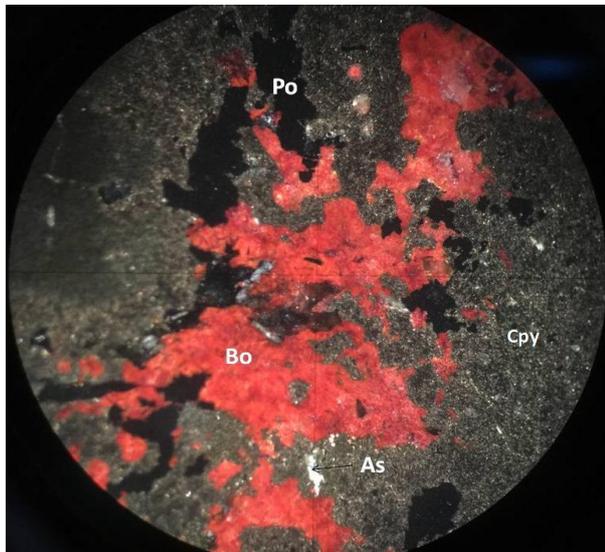


photo 39: Photographie microscopique en lumière réfléchie du minerai de remplissage ; Bornite, Chalcopyrite et l'Arsénopyrite.

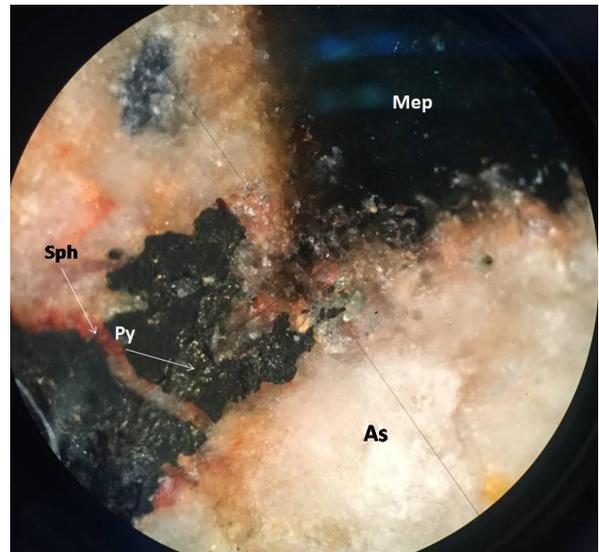
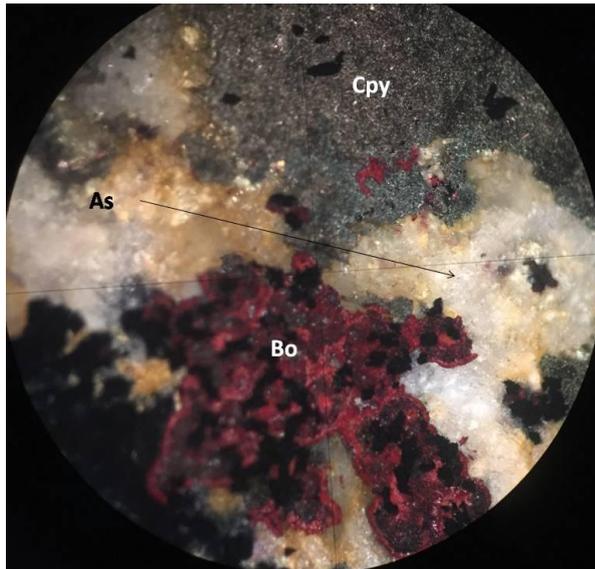


photo 40: Photographie microscopique en lumière réfléchie du minerai de remplissage ; Arsénopyrite, Pyrite, Sphalérite et les métapélites



**photo 41 : Photographie microscopique en lumière réfléchie du minerai de remplissage ; Bornite, Arsénopyrite et la chalcopyrnite.**

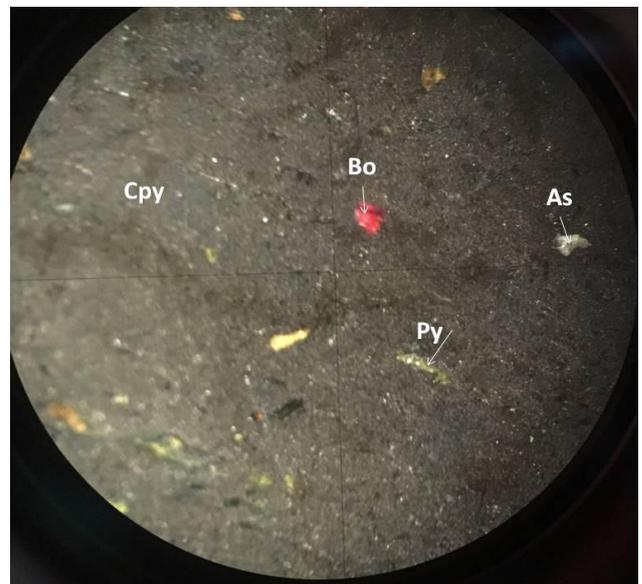
### **3.1.5 Minerai en stockwork :**

Il s'agit d'un réseau de fissures et de plages de chalcopyrnite. La puissance de ce type de minéralisation peu atteindre quelques mètres. A l'échelle microscopique on observe :

- de grandes plages de chalcopyrnite,
- la pyrite qui est associée à la chalcopyrnite mais celle-ci est moins abondante,
- l'arsénopyrite est d'autant abondante et elle est corrodée par la chalcopyrnite comme c'est d'ailleurs le cas pour la pyrrhotite et la sphalérite qui sont en faible pourcentage ;
- la bornite est en grain soit dans la chalcopyrnite soit dans la matrice.



**photo 42 : microphotographie en lumière réfléchie du minerai en stockwork**



**photo 43 : microphotographie en lumière réfléchie du minerai en stockwork**

#### IV. LA SUCCESSION PARAGENETIQUE :

La paragenèse minérale observée au niveau de notre secteur d'étude (sidi M'brek) est la même. La pyrrhotite représente le sulfure de fer dominant au niveau du gisement. Il s'agit d'une pyrrhotite déformée. La pyrite représente la phase majoritaire après la pyrrhotite dans les lentilles de sidi M'brek surtout les lentilles 1 et 3, elle se développe parfois au mur et parfois au toit de la minéralisation. La pyrite contient des traces de pyrrhotite, ces reliques prouvent d'une ancienne minéralisation de nature pyrrhotitique (Eric Marcoux. 2008). Dans ce minerai pyriteux, on note aussi l'abondance de la chalcopryrite remobilisée dans les fissures qui affectent les cristaux de pyrite. Cette dernière apparaît en deux générations l'une relativement précoce, de petite taille et parfois corrodée par la pyrrhotite. L'autre plus tardive apparaît en grande taille. L'arsénopyrite se présente en cristaux automorphes, groupés ou isolés dans la pyrrhotite et la chalcopryrite. Elle est présente dans tous les types de minerai moulés par la schistosité (S1). On remarque que l'arsénopyrite et la pyrrhotite sont remplacés par la chalcopryrite. Elle forme des cristaux étirés dans les plans de schistosité (S1). La chalcopryrite présente un caractère tardif, en remplacement des cristaux de pyrrhotite et d'arsénopyrite. Les minéraux du cuivre gris se présentent sous forme de minuscules grains associés à la galène et emballés dans la sphalérite, elle-même enclavée dans la pyrrhotite ou bien sur l'encaissant métapélitique. La gangue du minerai peu abondante est composée par la sidérite, la calcite, le talc, le chlorite et du quartz.

Tableau 3:Les déformations de chaque phase minéralisée

Déformation Phase minéralisée	Déformation cinématique	anté- bréchification et remobilisation synschisteuse
<i>Pyrrhotite</i>	████████████████████	████████████████████
<i>Pyrite</i>	████████████████████	████████████████████
<i>Chalcopryrite</i>	████████████████████	████████████████████
<i>Arsénopyrite</i>	████████████████████	████████████████████
<i>Melnicovite</i>	████████████████████	████████████████████
<i>Cuivre gris</i>	████████████████████	████████████████████
<i>Sphalérite</i>	████████████████████	████████████████████
<i>Bornite</i>	████████████████████	████████████████████
<i>Or</i>	████████████████████	?

Tableau 4: les minéraux et leurs formules chimiques

<b>Minéraux</b>	<b>Formule chimique</b>
<i>Pyrrhotite</i>	<i>Fe S</i>
<i>Pyrite</i>	<i>FeS<sub>2</sub></i>
<i>Chalcopyrite</i>	<i>CuFeS<sub>2</sub></i>
<i>Arsénopyrite</i>	<i>Fe As S</i>
<i>Melnicovite</i>	<i>FeFe<sub>2</sub>S<sub>4</sub></i>
<i>Cuivre gris</i>	<i>5Cu<sub>2</sub>S, 2(Cu, Fe)S, 2(Sb. As)<sub>2</sub> S<sub>3</sub></i>
<i>Sphalérite</i>	<i>ZnS</i>
<i>Bornite</i>	<i>Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub></i>
<i>Or</i>	<i>Au</i>

## **Chapitre VI: Modélisation de mise en place des minéralisations :**

### **I. INTRODUCTION**

Pour une meilleure compilation des données, on a choisi de réaliser des coupes à partir des sondages carottés, réalisés dans la zone d'étude. Dans ces derniers, on peut voir la géométrie, la structure et la profondeur des lentilles minéralisées. Ces coupes ont été réalisées à partir de nos travaux de terrain et de la carte géologique de Sidi M'barek.

Cette étape consiste à étudier les sondages carottés réalisés dans la zone, en se basant sur la description lithologique des carottes. Ainsi on a pu distinguer les différents faciès lithostratigraphique, et à partir des références bibliographiques nous avons attribué les âges à chaque faciès.

Après avoir réalisé ce travail, il est nécessaire de corréliser entre les données des sondages, afin de faire la liaison entre les données de terrain et les données des sondages carottés.

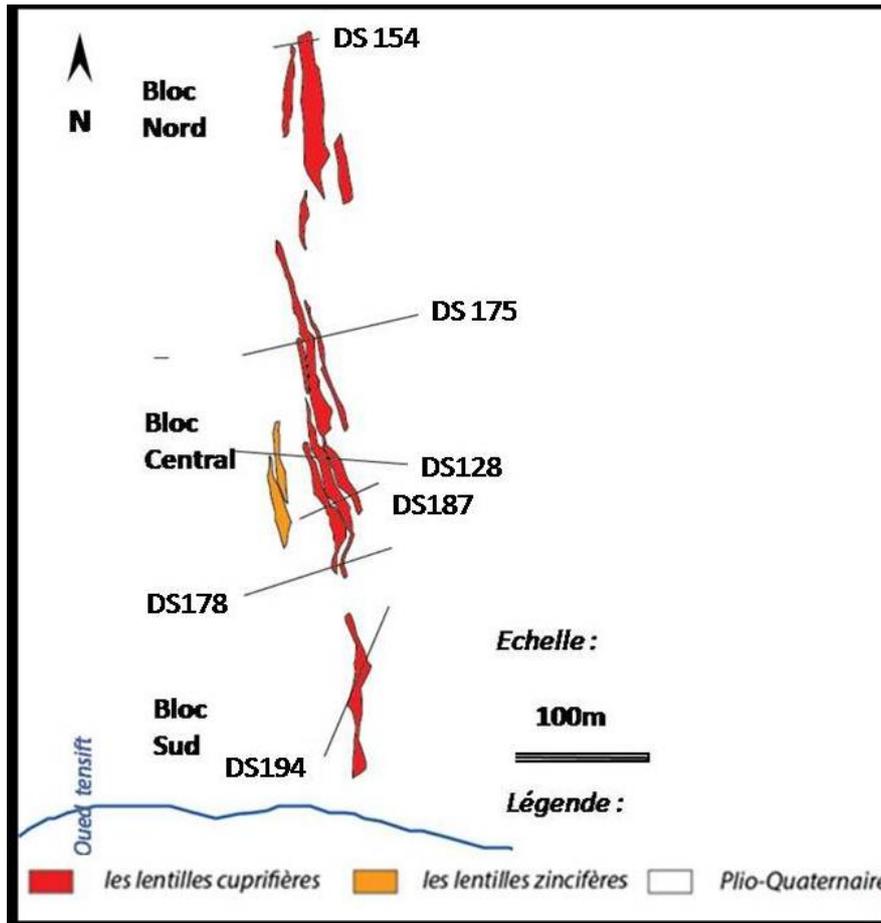


Figure 37 : Localisation des sondages sur la carte géologique.

## II. LA REALISATION DES COUPES

La coupe d'un sondage carotté est réalisée à partir de la description lithologique qui nous a permis d'identifier les faciès lithostratigraphique. La réalisation d'une coupe de sondage nécessite la connaissance de l'inclinaison, l'azimut, les coordonnées et la longueur totale de l'ouvrage. L'étude des coupes nous a permis de décrire la structure et la géométrie des amas et filons minéralisés, ainsi que l'aspect des couches encaissantes. Le travail que nous avons effectué dans la zone minière et au bureau peut être résumé aux étapes suivantes :

- une corrélation des faciès, en se basant sur les sondages et leur interprétation,
- reporter les travaux miniers des niveaux -55 m, -75 m, -100 m, -120 m, -140 m,
- reporter les failles et la schistosité S1.

La réalisation des coupes a pour objectif de visualiser l'allure de la minéralisation, des failles et des faciès en profondeur.

## 2.1 La coupe interprétative du sondage carotté DS 154

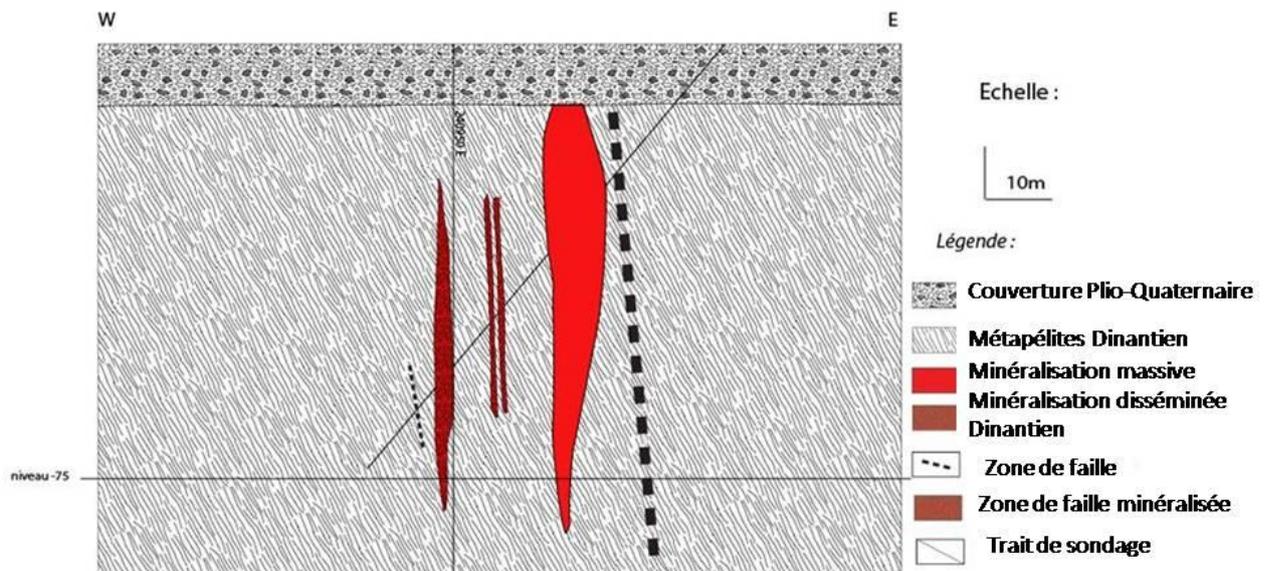


Figure 38 : Coupe interprétative du sondage carotté DS 154.

Le sondage DS154 est réalisé sur un affleurement des dépôts détritiques d'âge Plio-Quaternaire, dans la partie extrême Nord du gisement de Draa Sfar (Fig.37). Ces dépôts présentent une épaisseur moyenne de 5 m, et correspondent à des sédiments fluviatiles déposés par Oued Tensift. Le contact entre la couverture Plio-Quaternaire et les métapélites du socle paléozoïque, correspond à une discordance angulaire. Une grande partie du corps minéralisé a été érodé avant qu'elle soit recouverte par les formations de la couverture.

A partir de la coupe on peut déduire également l'allure des structures minéralisées en profondeur. Il s'agit d'une seule structure qui se localise à une faible profondeur ne dépassant pas 75 m). Notre sondage vise le niveau -55 m dont la puissance de la minéralisation est d'environ 5m, corrélée avec le niveau -75 m marquant une puissance de 1 m de la même structure.

Notre sondage montre que la caisse minéralisée de Sidi M'brek est encaissée dans des schistes métapélitique à fraction gréseuse au mur de la minéralisation ; alors que le toit est de nature carbonatée. Dans ce sondage carotté, on a pu lever des fractures de tailles variables. On distingue deux types de fractures : l'un est à remplissage bréchique avec des sulfures, et l'autre est stérile (sans minéralisation).

## 2.2 La coupe interprétative du sondage carotté DS 175

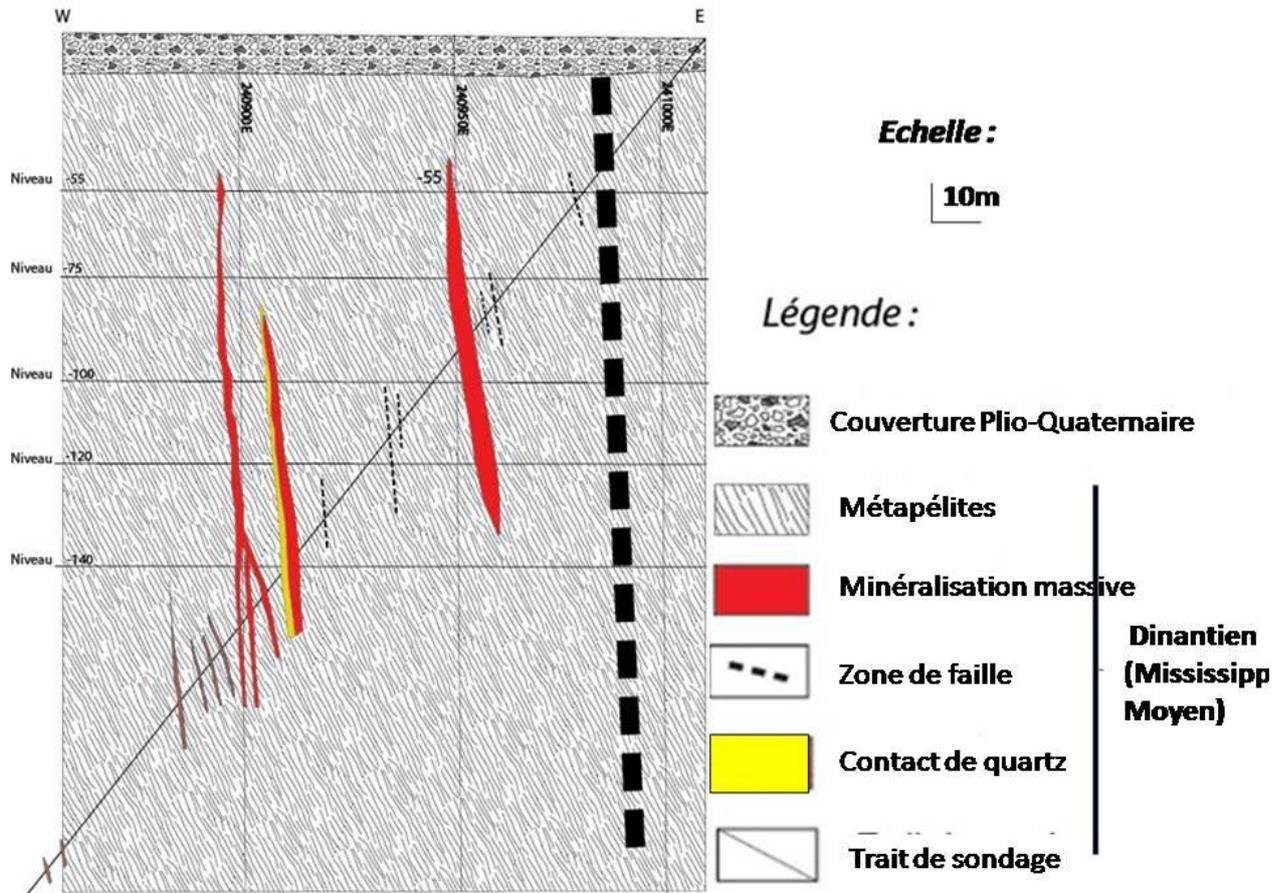


Figure 39 : La coupe interprétative du sondage carotté DS 175

Le chapeau de fer Draa Sfar Nord a été fortement exploité depuis les premières années de l'indépendance. Ainsi plusieurs sondages ont été implantés sur l'anomalie géophysique relevée dans cette partie, pour une meilleure compréhension de la géométrie du corps minéralisé et l'estimation des réserves exploitables. L'absence des travaux miniers dans cette zone nous limite à utiliser uniquement les données lithostratigraphiques relevées sur le sondage DS 175 et les affleurements.

Du haut vers le bas on distingue trois faciès lithostratigraphique. La couverture plio-quaternaire formée par des alluvions de puissance 10 m. Ces derniers reposent en discordance angulaire sur une série constituée par des métapélites fines de couleur noirâtre, caractérisées par l'abondance de passées carbonatées très fines. Cette formation est très riche en matière organique et sulfures sous forme disséminés (pyrrhotite, pyrite, chalcopryrite,.).

Notre coupe montre la présence des lentilles à minéralisation polymétallique, dont les puissances sont variables allant de 0,5 m jusqu'à 5 m. Sa partie supérieure quant à elle est marquée par des lentilles à minéralisation massive essentiellement à pyrrhotite et riches en métaux de base (Cu, Zn et Pb). Les bordures de ces structures minéralisés sont formés par du quartz et des chlorites.

Les failles levées montrent des puissances variables dont la première est nommer « faille sévère » à cause de sa puissance qui est de l'ordre de 5 m, à remplissage bréchique. Les corps minéralisés suivent les zones faillées ; indiquant des directions privilégiées.

Les failles qui se localisent à proximité des corps minéralisés sont remplis par des sulfures essentiellement en pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite forment une preuve sur la circulation des fluides hydrothermales synchrone à la mise en place des corps minéralisés qui sont l'objet d'exploitation par la CMG.

La base du sondage est formée par des faciès très schistosé et altéré (chlorite et silice). Ces métapélites gréseuses montrent une alternance de niveaux sombres de puissance très réduite par rapport à des niveaux clairs gréseux. Cependant, il est caractérisé par un enrichissement important en chlorite, donnant à la roche une couleur verdâtre, ainsi que par une silicification. Ce faciès est caractérisé par la présence de sulfures disséminés dans la roche ou allongées selon les plans de la schistosité régionale N15.

## 2.3 La coupe interprétative du sondage carotté DS 128 :

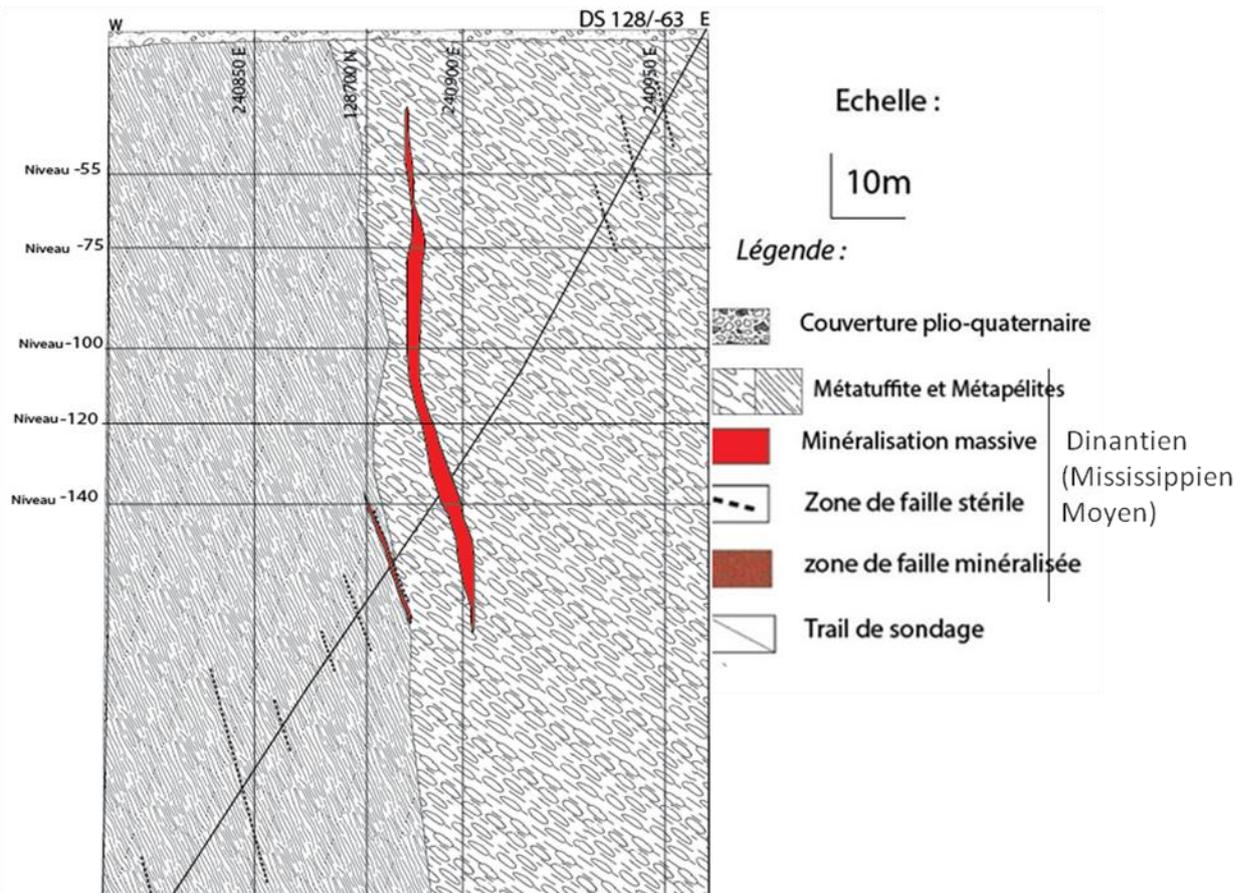


Figure 40: La coupe interprétative du sondage carotté DS 128 :

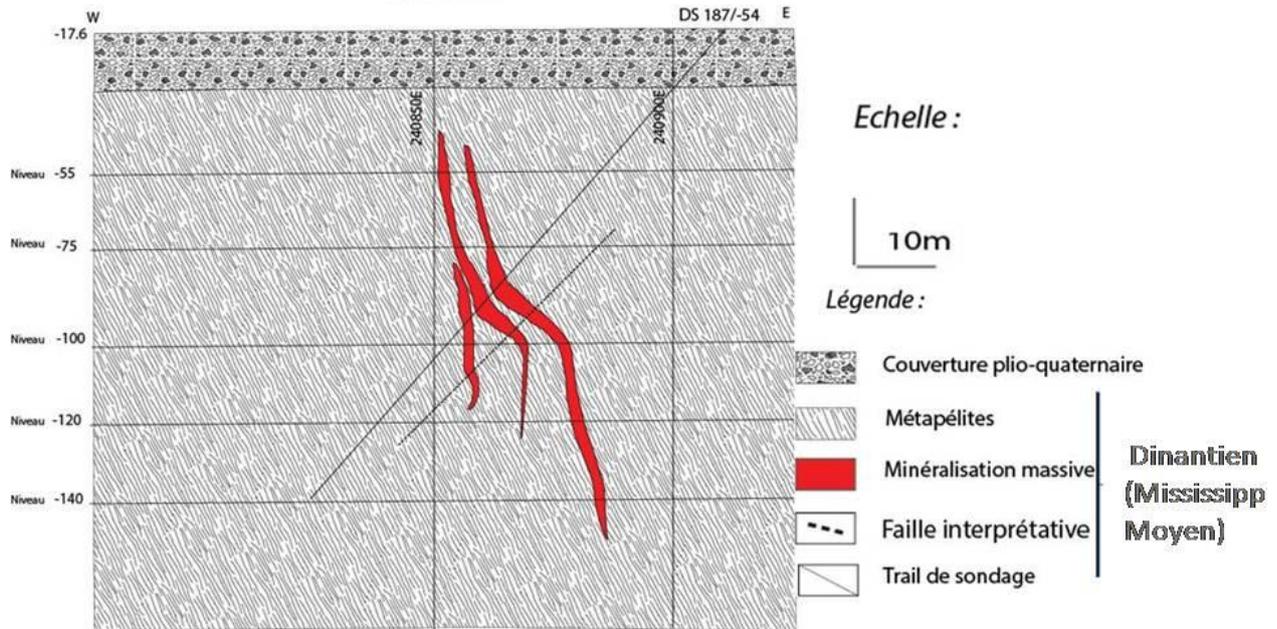
Le sondage DS128 est réalisé sur un affleurement des dépôts détritiques d'âge Plio-Quaternaire, dans la partie Centrale du gisement de Draa Sfar Nord (Fig.37). Ces dépôts présentent une épaisseur moyenne de 5 m, et correspondent à des sédiments fluviatiles déposés par Oued Tensift. Le contact entre la couverture Plio-Quaternaire et les métapélites du socle Paléozoïque, correspond à une discordance angulaire.

A partir de la coupe on peut déduire également l'allure des structures minéralisées en profondeur. Il s'agit d'une seule structure qui se localise à une profondeur entre les niveaux -35 et -150 m. Notre sondage vise le niveau -140 m dont la puissance de la minéralisation est d'environ 4m, corrélée avec les autres niveaux marquant une puissance variable de la même structure.

Notre sondage montre que la caisse minéralisée de Sidi M'brek est encaissée dans des schistes métapélitique à fraction gréseuse au mur de la minéralisation ; alors que le toit est représenté par des métatuffites. Dans ce sondage carotté, on a pu lever des fractures de tailles variables. On distingue deux types de fractures : l'un est à remplissage bréchiq

sulfures, et l'autre est stérile (sans minéralisation) très réponsus dans les métapélites gréseuses a cause de leur fragilités devant les métatuffites qui sont plus compétentes.

## 2.4 La coupe interprétative du sondage carotté DS 187 :



**Figure 41 : La coupe interprétative du sondage carotté DS 187.**

Cette coupe W-E est située au centre de la zone de Draa Sfar Nord. Plusieurs sondages ont été implantés le long de cette coupe nous permettant ainsi de mieux cerner la géométrie du corps minéralisé et de comprendre les relations spatiales entre les différents faciès.

La couverture Plio-Quaternaire présente une puissance d'environ 18 m. Celle-ci repose en discordance angulaire sur les métapélites gréseuses altérés et oxydés de couleur verdâtre. Elles sont formées par une alternance grès-pélique noirâtre, à passées carbonatées très fines, ainsi que des imprégnations très fines et très denses de pyrite cubiques et de pyrrhotite en plages orientées selon S1. Cette dernière présente une direction moyenne N20

La structure minéralisée traverse en contact normal les métapélites gréseuse à chlorite, silice et séricite. C'est un amas massif qui se présente sous forme des trois lentilles allongées selon la direction N-S avec une puissance de 3 mètres, mesurée sur le sondage DS187. Le minerai est massif avec une structure rubanée, très riche en minéraux de talc allongés parallèlement au rubanement. La partie sommitale de cette minéralisation est caractérisée par la présence d'un minerai bréchique à pyrrhotite, chalcopryrite et pyrite sous forme des fragments emballés dans une matrice sédimentaire totalement transformée en chlorite et silice. La

corrélation entre les différents niveaux minéralisés montre un léger rebroussement des trois lentilles. Cette constatation nous a permis d'interpréter l'existence d'une failles normale postérieure, responsable de ce décalage.

Les Métapélites noires constituant la base du sondage DS187, recouvrent directement la masse minéralisée. Elles sont formées par des métapélites fines, noires, carbonatées et très riches en matière organique. L'ensemble se caractérise par sa richesse en sulfures soit sous forme disséminée dans la matrice ou en remplissage des microfractures.

## 2.5 La coupe interprétative du sondage carotté DS 178 :

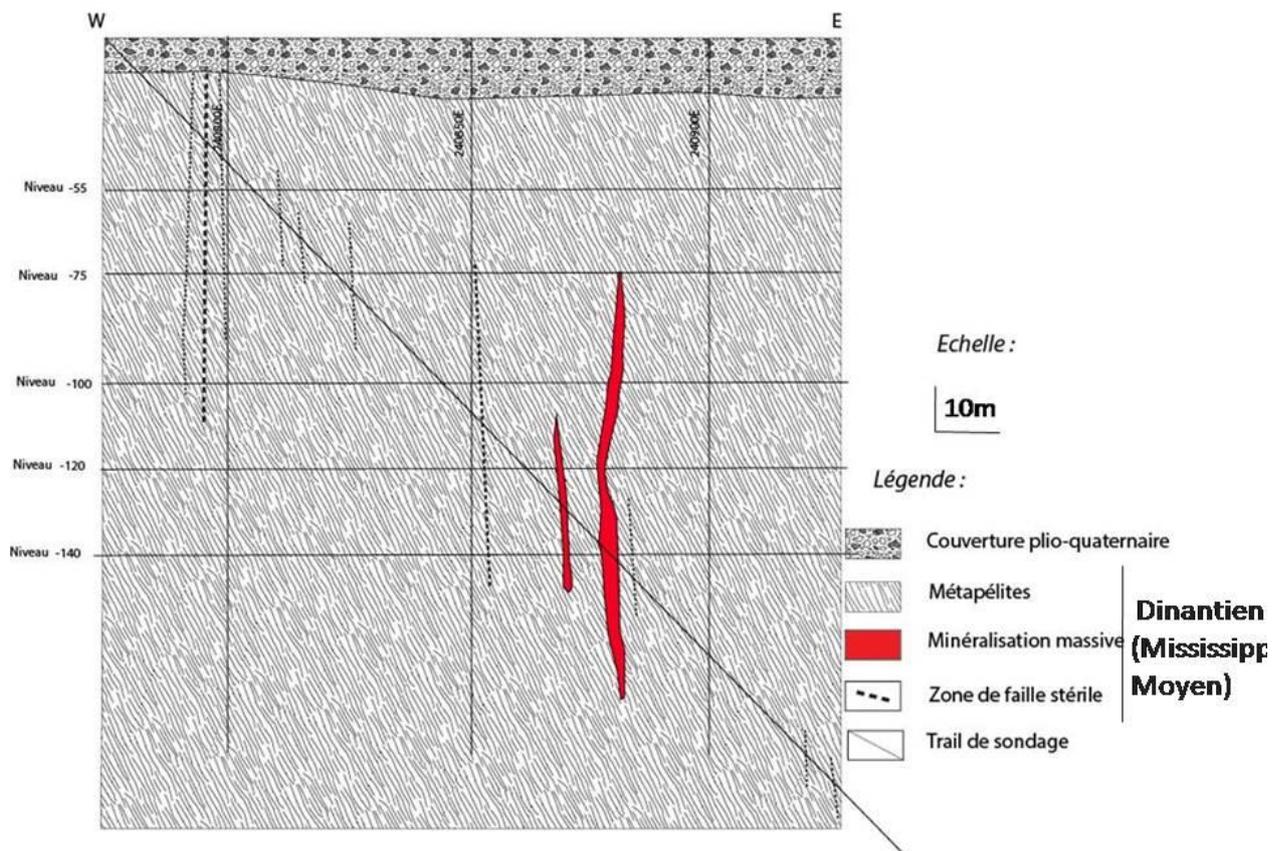


Figure 42 : La coupe interprétative du sondage carotté DS 178

Cette coupe du sondage DS178, orientée W-E, est située à l'extrémité Sud du bloc central de Draa Sfar Nord (Fig.37). L'absence de travaux miniers dans cette zone nous oblige à utiliser uniquement les données lithostratigraphique relevées sur notre sondage carotté DS178 et sur les affleurements. L'avantage de cette coupe est de montrer la succession de deux ensembles lithologiques, l'un de nature sédimentaire et l'autre volcanosédimentaire.

L'ensemble sédimentaire forme des formations d'âge Plio-Quaternaire de puissance moyenne de 10 m, recouvrant le deuxième ensemble qui est de nature métapélitique gréseuse très schistosés. Ces métapélites gréseuses montrent une alternance de niveaux sombres de puissance très réduite par rapport à des niveaux clairs gréseux. Cependant, il est caractérisé par un enrichissement important en chlorite, donnant à la roche une couleur verdâtre, ainsi que par une silicification. Ce faciès est caractérisé par la présence de sulfures disséminés dans la roche et/ou en lentilles millimétriques allongées selon les plans de la schistosité (S1).

Ce sondage touche deux structures minéralisées. La première de puissance 1,5 m et la deuxième 5m (au niveau -140m), cette dernière présente un minerai massif en pyrrhotite, la chalcopirite et la pyrite secondaire.

A l'approche des failles, les roches voisines deviennent très friables et acquièrent une teinte verdâtre avec présence de chlorite, la séricite, l'épidote et la calcite. Par endroit, on trouve des zones de failles à remplissages de sulfures, qui témoignent de la circulation de fluides hydrothermaux et par conséquent une intense altération hydrothermale de métapélites gréseuse.

## 2.6 La coupe interprétative du sondage carotté DS 194 :

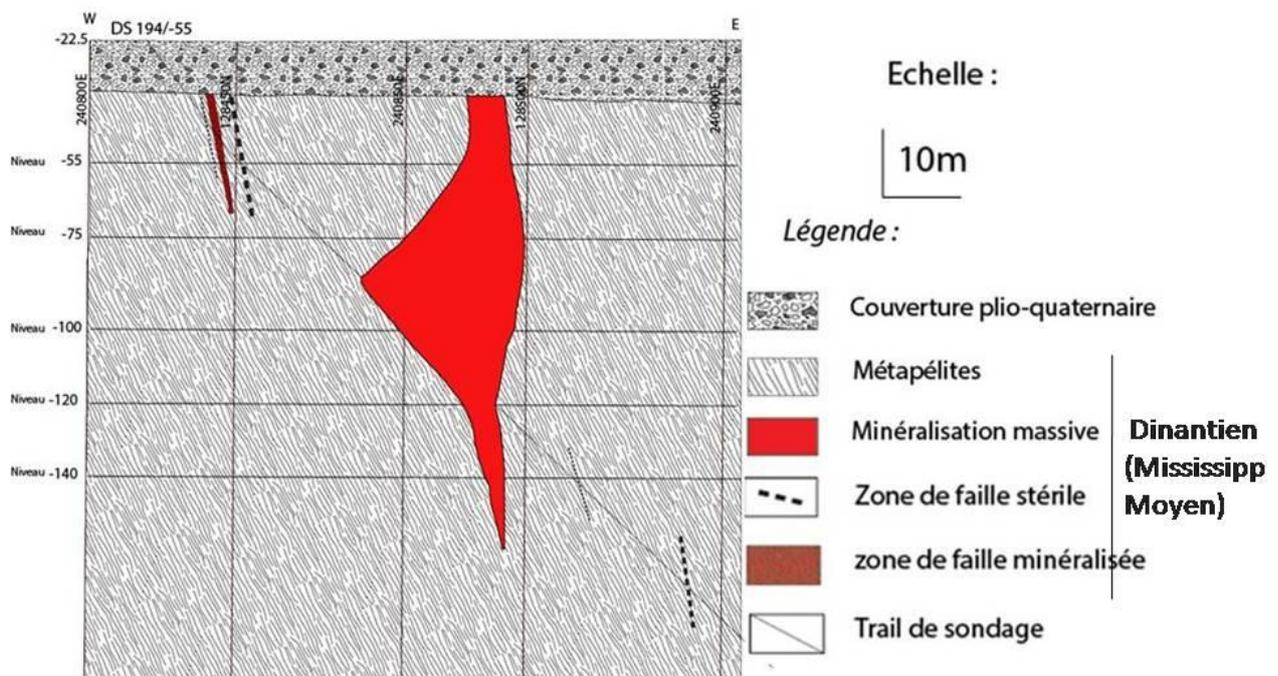


Figure 43 : La coupe interprétative du sondage carotté DS 194

Cette coupe se situe dans la rive Nord de l'Oued Tensift. Elle permet, sur 231 m, d'observer tous les faciès de la série de Draa Sfar Nord. Plusieurs sondages ont été implantés sur

cette coupe dont le DS194 fait partie. Ce dernier traverse les faciès de mur et de toit de la minéralisation. Il nous a permis de préciser et de compléter nos observations sur les relations spatiales entre les différents faciès, ainsi que la position géométrique de l'amas sulfuré et son contact avec l'encaissant (toit et mur). Les faciès observés du haut vers le bas sont les suivants :

-les métapélites gréseuse : Ce faciès, de couleur gris luisant et d'une puissance important. Les structures primaires (de dépôt) ont été souvent masquées par la déformation et les recristallisations très intenses de phases secondaires. Les termes gréseux sont plus abondants à la base par rapport au sommet. Quand la puissance de ces bancs gréseux est réduite ; ils sont boudinés, aplatis et emballés dans les métapélites. On note ainsi l'apparition vers le bas de passées carbonatées qui se présentent actuellement sous forme de fines petites lentilles, boudinées et étirées dans les plans de la schistosité (S1) ;

-la masse minéralisée : Elle repose en contact normal sur la série précédente à chlorite, silice et séricite. C'est un amas massif en pyrrhotite pyrite et des trace de chalcopyrite qui se présente sous forme d'une lentille allongée N-S avec une puissance de 40 mètres mesurée sur le sondage DS124 ;

-les métapélites carbonatés : il s'agit d'une formation qui repose en contact normal sur les faciès précédents, composée de métapélites noires légèrement carbonatées avec de rares passages à grès carbonatés vers la base. L'ensemble est très déformé et affecté par une schistosité très pénétrative avec par endroit du chlorite et de la silice qui confèrent aux roches une teinte verdâtre. Cette formation, dont la puissance est difficile à estimer puisque la fin de sondage DSC194 n'atteint pas la terminaison de ce faciès, se caractérise par la présence de sulfures disséminés dans la matrice et/ou en nodules et dans les microfractures.

### **III. INTERPRETATION :**

La réalisation des coupes est basée sur les données des sondages qui passent par les lentilles minéralisées du secteur d'étude. Les six coupes que nous avons choisi et dont on a fait la corrélation de la minéralisation et des faciès encaissants montre que :

- la minéralisation est regroupée en plusieurs lentilles orientées N-S, et allongées verticalement et horizontalement (plans des niveaux miniers) ;
- l'encaissant est constitué essentiellement de métapélites, soit gréseuse soit carbonatée,
- la schistosité S1 est subparallèle à la minéralisation,

- les failles sont le plus souvent parallèles aux lentilles minéralisées et elles sont à remplissage polymétallique.

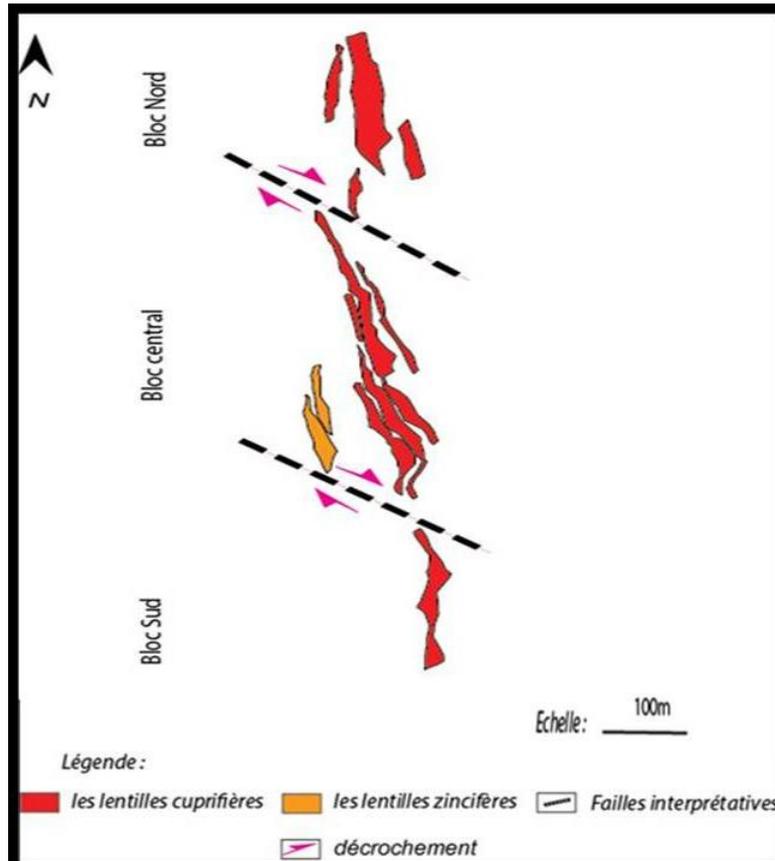
L'analyse des coupes montre que la minéralisation n'est pas toujours continue. Elle est sous forme de lentilles dont l'épaisseur est variable, avec des zones stériles qui rendent l'exploitation difficile. Les coupes nous donnent une vue en trois dimensions qui nous permet de viser les zones minéralisées avec plus de précision, et d'éviter de tomber sur l'encaissant. Elles sont très utiles de point de vue économique et de point de vue géologique.

### **Conclusion générale**

Après toutes les observations faites sur le terrain (surface et sub-surface), les levés des sondages carottés et les levés géologiques, ainsi que l'analyse microscopique de la fracturation, des sections polies et des lames minces nous avons pu établir les conclusions ci-dessous.

#### ➤ **Sur le plan structural :**

Nous avons constaté que le contrôle structural dans le gisement cuprifère de Draa Sfar Nord, joue un rôle important dans la mise en place des minéralisations dans ce gisement. Ce contrôle agit sur la géométrie des corps minéralisés, la structure des roches volcaniques et les décalages des filons minéralisés. Ainsi nous avons pu constater des amincissements, des dédoublements des formes sigmoïdales en coupe transversales (voir le chapitre de la modélisation) et longitudinale (Fig.44). L'impact de ce contrôle structural sur les teneurs est très important, il a induit une remobilisation de certains éléments.



**Figure 44: Vue en plan des lentilles minéralisées en formes sigmoïdales contrôlées par deux décrochements dextres interprétatifs de direction moyenne NW-SE à NNW-SSE.**

Pour comprendre la structuration du gisement de Draa Sfar qui fait partie des Jebilets centrales, nous allons essayer d'agrandir notre champ de vision à l'échelle du schéma structural des Jebilets centrales, en tenant compte de l'âge de la minéralisation et l'évolution géologique des Jebilets. Le gisement de Draa Sfar est encaissé dans une série volcano-sédimentaire (Série de sarhlef), avec une forte présence de volcanisme acido-basique probablement lié à l'ouverture qu'a connue la meseta à l'époque.

L'évolution orogénique du domaine hercynien au Maroc a déjà commencé dans le dévonien, avec un raccourcissement régional orienté NE-SW (Fig.45) donnant naissance à des plis majeurs orientés N-S à vergence Ouest dans la meseta orientale. La compression s'accroît et continue à fonctionner au Tournaisien. Au niveau de la meseta centrale cette compression a engendré des décrochements senestres Est-Ouest responsables de l'ouverture des bassins en « pull-apart » (Fig.46). Cette distension est à l'origine du volcanisme bimodal qui représente une source de chaleur donnant ainsi des circulations hydrothermales sous forme de cellules de convection (Hibti, 2001). Ces circulations se font probablement à travers les failles synvolcaniques (Ben Aissi, 2008) ; vont lessiver les formations d'âge cambrien-ordovicien et

vont circuler dans les pélites gréseuses et les tufs qui ont une forte perméabilité qui favorise le dépôt des lentilles zincifères à Draa Sfar Sud et celui des lentilles cuprifères à Draa Sfar Nord. Cette mise en place de la minéralisation se fait au fond d'un bassin sédimentaire, ce qui explique une minéralisation rubanée (témoin d'un dépôt primaire). La déformation synsédimentaire est dû essentiellement à l'instabilité tectonique du planché sédimentaire et aussi liée à l'irrégularité topographique du fond du bassin, sur lequel circulait le fluide porteur de la minéralisation. Après le dépôt de la minéralisation et la fin de l'événement minéralisateur principal, la sédimentation continue par les pélites carbonatées qui sont déposés sur le toit de la minéralisation (Fig.47). Malgré que l'âge de la minéralisation ouvre encore des débats, la plupart des travaux antérieurs réalisés sur Draa Sfar, penchent vers un âge Viséen supérieur (Moreno et al., 2008 ; Marcoux, 2008). La fermeture du bassin s'est faite pendant la compression de direction NW-SE post viséen supérieur. Cette compression a provoqué le rejeu des failles normales synsédimentaires en failles inverse (Hibti, 2001), les anciens décrochements senestres E-W en décrochements dextres et la fermeture des « pull-apart » (Fig.48). Cette phase de déformation s'exprime à l'échelle du district minier de Draa Sfar par une déformation sous forme de plis (P1) affectant toutes les unités (unité de mur, minéralisation et toit). La déformation continue dans le temps et donne naissance à la schistosité de flux (S1). L'accentuation de la déformation se traduit par des mouvements cisailants inverses au niveau de la minéralisation en contact avec les formations de mur et de toit. Ces cisaillements inverses accompagnent une circulation importante de la silice au niveau du contact mur dû à la composition chimique de base (tufs et rhyolite) riches en silice (plus de 71%). Les structures sigmoïdales sont le résultat de ces cisaillements. Cette déformation pourra évoluer localement en failles inverses (Fig.49).

Une autre phase compressive de direction N-S affecte l'ensemble de la meseta centrale (Michard, 1989). A l'échelle du gisement de Draa Sfar, elle s'exprime par une Schistosité de fracture S2 légèrement ressentie dans la série lithologique du secteur. Ainsi que le boudinage des structures minéralisées donnant les formes observables actuellement. Cette phase est marquée aussi par les cisaillements C2 qui provoquent l'épaississement des corps minéralisés.

Une phase tectonique cassante tardive s'exprime par des failles et des recristallisations secondaires en quartz et/ou carbonates en structures de type kink-bands.

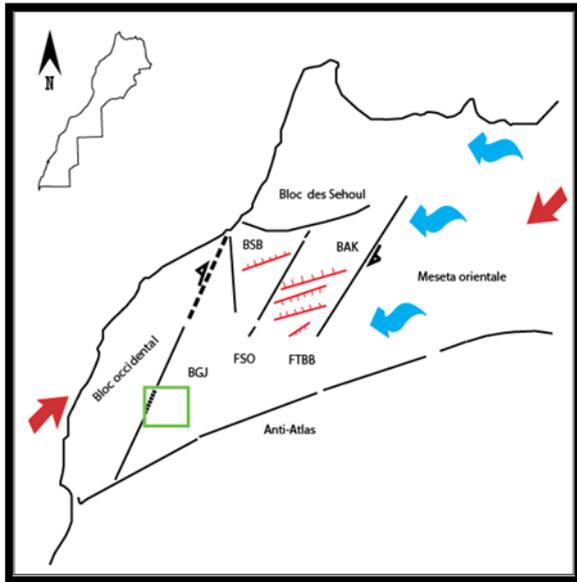


Figure 45: La chaîne hercynienne du Maroc au Tournaisien (d'après Bouabdelli, 1989) (BJC : bassin des Guemassa et des Jebilet, BSB : bassin de sidi Bettache, BAK : bassin d'Azrou-, FSO : faille Smaâla- Oulmes, FTBB : faille de Tazekka-Bsabis-Bekrit.

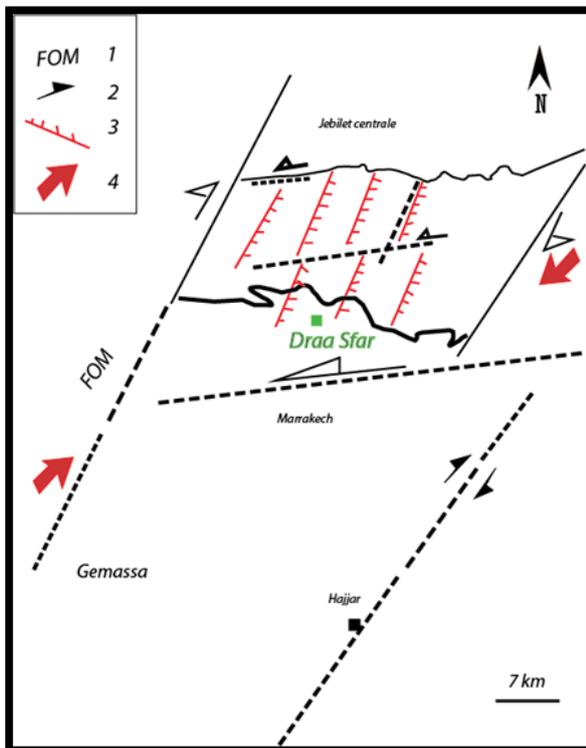


Figure 46: Modèle d'ouverture du bassin des Jebilet (1 : faille Ouest Mesetienne, 2 : décrochement, 3 : faille normale, 4 : raccourcissement régional (d'après Bouabdelli, 1989).

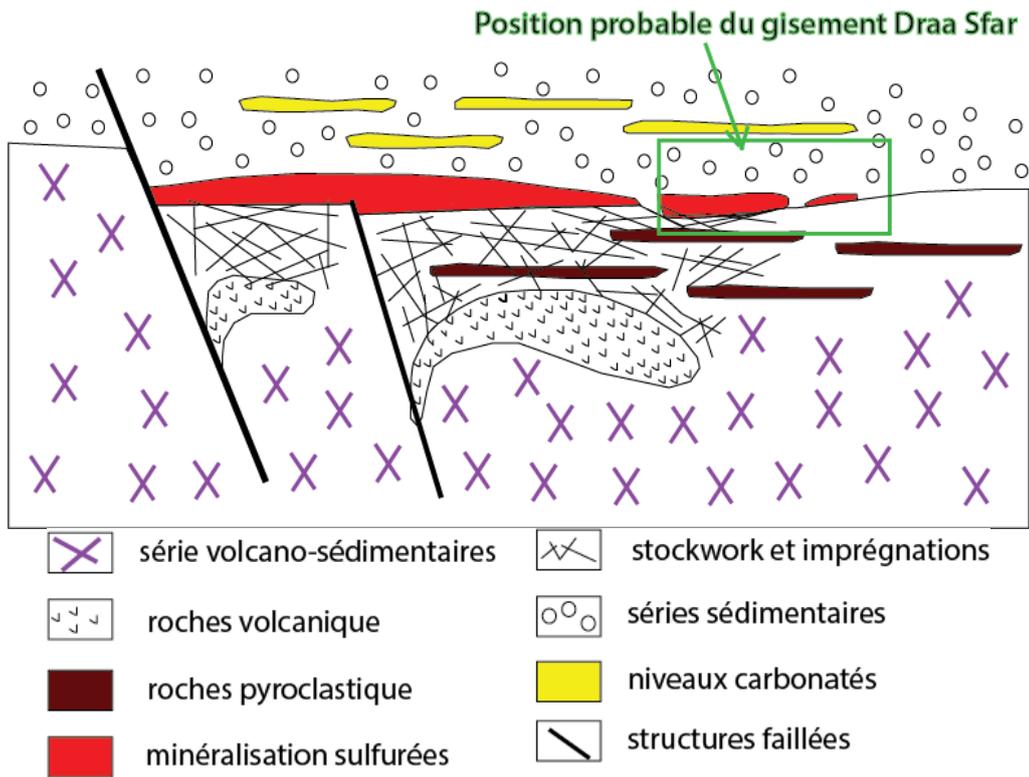


Figure 47 : Modèle schématique de formation des minéralisations sulfurées des Jebilet (d'après Hibti, 2001 modifié).

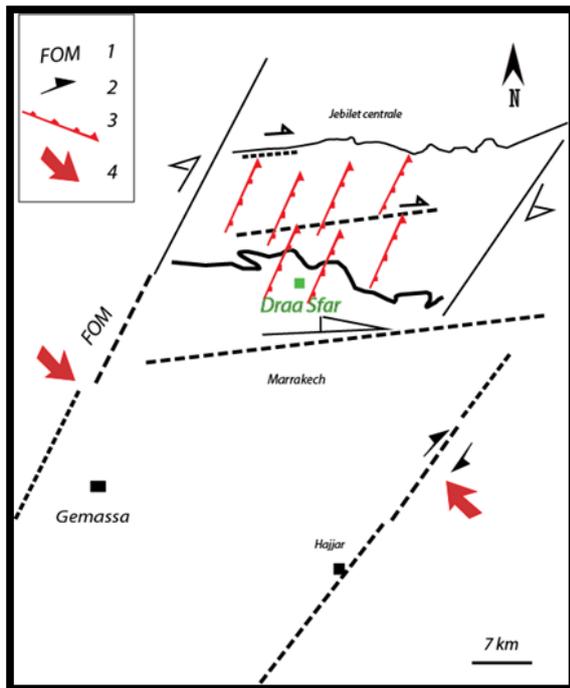


Figure 48 : effet de la compression post-namuro-westphalienne sur le bassin des Jbilet (d'après Bouabdelli, 1989)

(1 : faille Ouest Mésetienne, 2 : décrochement, 3 : faille inverse, 4 : raccourcissement régional).

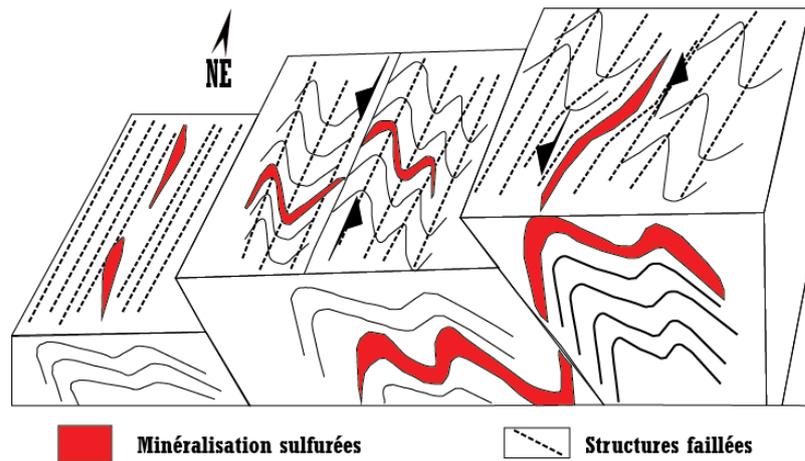


Figure 49 : Phase de fermeture du bassin des Jebilets et déformation de Draa Sfar, (d'après Hibti, 2001).

➤ **Sur le plan géologique :**

D'après les descriptions et les analyses des six sondages carottés effectués dans le secteur de Draa Sfar Nord, et que nous avons étudié ; on peut conclure que de point de vue lithologique, les lentilles minéralisées de la zone d'étude sont encaissées dans des métapélites vertes et noires altérées et rubéfiées. Celles-ci sont affectées par une schistosité S1 de direction moyenne N10° à 30°, avec une abondance des veines de quartz. La minéralisation est représentée par la pyrrhotite, pyrite et chalcoppyrite.

➤ **Sur le plan pétrographique et métallographique**

En se basant sur nos analyses microscopique faites sur les échantillons prélevés des sondages, nous avons pu différencier pour les sondages carottés DS154, DS175, DS128 et DS187 ; des métapélites, des métapélites gréseuses, des chlorito-schistes et des chloritites. Alors que pour les sondages carottés DS178 et DS194 ; c'est essentiellement des métapélites et des chloritites. L'étude microscopique des échantillons minéralisés provenant de tous les sondages carottés, a révélée cinq types de textures de minerai. Les textures rubanée et en stockwork caractérisant le sondage DS194 et DS178, alors que les autres textures massive, disséminée et de remplissage se rencontrent dans les sondages carottés restant (DS178, DS128, DS175 et DS154 et aussi dans DS194).

La succession paragenétique est la même pour l'ensemble de la zone d'étude, elle montre une dominance en pyrrhotite (pyrrhotite déformée). La pyrite est classée dans la deuxième classe soit de petite taille ou en grande taille, et la chalcoppyrite présente la troisième phase dominante. Celle-ci a un caractère tardif en remplaçant les cristaux de pyrrhotite et d'arsénopyrite, avec des minéraux en traces comme le cuivre gris ou la bornite. Le tout est situé dans une gangue composée de sidérite, de calcite, et de chlorite.

## *Liste des figures :*

Figure 1: carte des principaux domaines structuraux marocains (d'après Piqué et al, 2006) .....	9
Figure 2: Carte géologique simplifiée du domaine meseto-atlasique (d'après Piqué, 1994) .....	10
Figure 3 : Carte géologique simplifiée du Haut Atlas (d'après Piqué, 1994).....	11
Figure 4 : Carte géologique simplifiée du Moyen Atlas (d'après Piqué, 1994) .....	12
Figure 5: Emplacement de la zone cisailante de la Meseta occidentale par rapport aux massifs hercyniens (en hachuré) du Maroc occidental (d'après Piqué et al., 1980). .....	14
Figure 6 : carte des terrains paléozoïques et des massifs granitoïdes hercyniens du Nord marocain (d'après Piqué et Michard, 1981). .....	15
Figure 7 : La disposition des blocs continentaux lors de l'orogénèse hercynienne (d'après Faure M., Leliox C., Roig J.Y. 1997). .....	16
Figure 8 : Bloc-diagramme illustrant le cadre géodynamique de mise en place des roches volcaniques et hypovolcaniques d'âge Dévono-Dinantien de la Meseta Marocaine [H2O: hydratation du manteau par les fluides issus d'une écaïlle sous-chariée de la croûte continentale (d'après Kharbouch, 1994). .....	18
Figure 9 : Carte géologique générale des Jebilet (d'après Edition du service géologie du Maroc (Notes et Mémoires N°232c), 1972) .....	20
Figure 10 : Le géosynclinal Sud-mesetien vers la fin du Namurien: Modèle interprétatif avant dislocation de sa marge occidentale. A, magma acide; B, magma basique; Abréviations stratigraphiques usuelles: (FS.di), Faille à jeu Siluroéo-Dévonien; (FVs), Faille à rejeu Viséen supérieur. (d'après Bordonaro et al., 1979) .....	22
Figure 11: Généralisation de la tectonique tangentielle dans les massifs hercyniens des Jebilet et des Rehamna (d'après Sougy et al., 1978). .....	22
Figure 12 : Localisation du gisement de Draa Sfar sur un extrait de la carte géologique des Jebilet centrales au 1/500 000, Notes et Mem. Serv. geol. Maroc, n° 232. ....	28
Figure 13 : Localisation géographique de la mine de Draa Sfar sur la carte topographique de Marrakech Ouest au 1/50000. ....	28
Figure 14 : Carte géologique simplifiée du domaine du Draa Sfar (document modifié de CMG/ Draa Sfar 2008). ...	29
Figure 15 : Formation du bassin et mise en place des sulfures de Draa Sfar : modèle présenté par Moreno, et al (2008) .....	30
Figure 16 : Carte géologique de l'affleurement minéralisé Draa Sfar Nord, (d'après rapport inédit de CMG/Draa Sfar 2008). .....	32
Figure 17 : Log synthétique de la série lithologique de Draa Sfar Nord (d'après Ben Aissi, 2008) .....	33
Figure 18 : Vue tridimensionnelle des lentilles de Sidi M'barek (document interne Draa Sfar, rapport inédit 2016). .....	35
Figure 19 : techniques de mesure de la direction et du pendage. ....	38

Figure 20 : Répartition des pôles de S0 dans les métapélites (d'âge Tournaisien) de Draa Sfar Nord. ....	40
Figure 21: Carte des trajectoires de la schistosité de flux S1 et de fracture S2. (b) Rosace des principales directions de failles dans le secteur de Draa Sfar (Ben Aissi.2008).....	41
Figure 22: rosace de projection des directions de la schistosité S1 et pendage des pôles de la schistosité S1 de Draa Sfar Nor. ....	43
Figure 23 : rosace de projection des directions de la schistosité S2 et stéréogramme de ses pôles.....	44
Figure 24 : Répartition des pôles et des plans des failles N-S à NNE-SSW affectant les métapélites gréseuses dans le gisement Draa Sfar Nord.....	48
Figure 25 : Répartition des pôles et traces cyclographiques des failles N140 à N160 80°NE dans le site Draa Sfar Nord. ....	49
Figure 26 : Répartition des pôles et des plans des quatre failles N30 à N45 dans le gisement Draa Sfar Nord. ....	51
Figure 27 : Répartition des pôles et des plans des diaclases dans le gisement Draa Sfar Nord.....	51
Figure 28 : Vue 3D des lentilles du bloc Nord de sidi M'barek (Draa Sfar Nord) (d'après document interne Draa Sfar, rapport inédit 2016).....	55
Figure 29 : localisation des sondages étudiant à Draa Sfar Nord (d'après document interne Draa Sfar, rapport inédit 2016). ....	56
Figure 30 : log stratigraphique du sondage carotté DS154 de Sidi M'barek.....	57
Figure 31 : log stratigraphique du sondage carotté DS178 de Sidi M'barek.....	59
Figure 32 : log stratigraphique du sondage carotté DS128 de Sidi M'barek.....	61
Figure 33 : Log stratigraphique du sondage DS175 de Sidi M'barek.....	63
Figure 34 : une fracture remplier par du quartz décalée par une autre postérieure avec un jeu décrochant dextre. ....	65
Figure 35: Log stratigraphique du sondage DS194 .....	65
Figure 36: Log stratigraphique du sondage carotte ds187 du Draa Sfar Nord.....	68
Figure 37 : Localisation des sondages sur la carte géologique. ....	82
Figure 38 : Coupe interprétative du sondage carotté DS 154.....	83
Figure 39 : La coupe interprétative du sondage carotté DS 175.....	84
Figure 40: La coupe interprétative du sondage carotté DS 128 :.....	86
Figure 41 : La coupe interprétative du sondage carotté DS 187.....	87
Figure 42 : La coupe interprétative du sondage carotté DS 178.....	88
Figure 43 : La coupe interprétative du sondage carotté DS 194.....	89

Figure 44: Vue en plan des lentilles minéralisées en formes sigmoïdales contrôlées par deux décrochements dextres interprétatifs de direction moyenne NW-SE à NNW-SSE.....	92
Figure 45: La chaîne hercynienne du Maroc au Tournaisien (d'après Bouabdelli, 1989) (BJC : bassin des Guemassa et des Jebilet, BSB : bassin de Sidi Bettache, BAK : bassin d'Azrou-, FSO : faille Smaâla- Oulmes, FTBB : faille de Tazekka-Bsabis-Bekrit. ....	94
Figure 46: Modèle d'ouverture du bassin des Jebilet (1 : faille Ouest Mesétienne, 2 : décrochement, 3 : faille normale, 4 : raccourcissement régional (d'après Bouabdelli, 1989). ....	94
Figure 47 : Modèle schématique de formation des minéralisations sulfurées des Jebilet (d'après Hibti, 2001 modifié).....	95
Figure 48 : effet de la compression post-namuro-westphalienne sur le bassin des Jebilet (d'après Bouabdelli, 1989) .....	95
Figure 49 : Phase de fermeture du bassin des Jebilet et déformation de Draa Sfar, (d'après Hibti, 2001). ....	96

### *Liste des photos :*

Photo 1: le plan de schistosité S1 dans les métapélites noires du Tournaisien.....	40
Photo 2 : Les métapélites schistosités du Tournaisien de sidi M'bark.....	42
Photo 3: la schistosité de crénulation dans les métapélites carbonatés du Tournaisien. ....	43
Photo 4: une veine de quartz plissé et affectée par la S1 dans le sondage DS128. ....	44
Photo 5 : Microplissement dans les métapélites du Dinantien. ....	45
Photo 6 : La S2 est confondue avec les axes des plis P2. ....	45
photo 7 : un filon de quartz boudiné .....	46
Photo 8 : les fentes de tension à remplissage quartzeux.....	47
Photo 9 : Les fentes de tension sigmoïdes à remplissage de quartz et du sulfures dans une carotte de sondage DS187.....	47
Photo 10 : observation microscopique d'une fente de tension à remplissage de sulfures (en LP et LN)..	48
Photo 11 : faille tardive N70 qui coupe la S1 et les veines de quartz plissées, boudinées et cisailées dans les métapélites gréseuses au mur de la minéralisation. ....	50
Photo 12: veines de quartz parallèle à la schistosité S1 avec les veines de sulfures qui coupent les veines de quartz .....	58
photo 13 : minéralisation traversée par le sondage carotté DS154. ....	58
photo 14: minéralisation massive traversée par le sondage carotté DS178 (chalcopyrite et pyrite dans la pyrrhotite massive.....	60
photo 15 : photographie macroscopique de la lentille 1 Sud à Sidi M'barek .....	60
Photo 16: photographie macroscopique des oxyde de fer avec de la minéralisation sulfurée sous forme disséminée.....	61
Photo 17 : métapélites carbonatés à pyrite et chalcopyrite .....	62
Photo 18 : la minéralisation massive à chalcopyrite et pyrite secondaire avec de la pyrrhotite. ....	63
Photo 19:: La minéralisation épousant les plan de schistosité .....	64
Photo 20: métapélites très oxydées et fracturées .....	66
Photo 21 : Des veines de quartz recoupées par une autre postérieure .....	67
photo 22: fracture minéralisée en chalcopyrite et pyrite avec du quartz recoupée par une fracture parallèle au plan de la S1.....	69

photo 23: couloir de cisaillement à jeu décrochant dextre et fentes sigmoïdes .....	70
Photo 24 : plissement des métapélites carbonatées .....	70
photo 25 : microphotographie montrant l'association quartz et chlorite hydrothermaux dans une métapélites (LP à droite et en LN à gauche) .....	71
photo 26: microphotographie d'une métapélites (LP) montrant l'étirement des cristaux de chlorite et la muscovite dans les plans de S1. ....	72
photo 27: microphotographie d'une veine de quartz et chlorite déformées au sein des métapélites gréseuse en (LP). ....	72
photo 28: Veine de quartz avec de la sphalérite au sein des métapélites.....	73
Photo 29 : microphotographie du chlorito-schiste en (LP). ....	74
photo 30: microphotographie d'une chloritite en (LP) montre des chlorites avec des schistes et des sulfures .....	74
photo 31: microphotographie d'une chloritite en (LP) montre les micas (biotite et la muscovite) avec du quartz .....	74
photo 32 : Vue au microscope métallographique en lumière réfléchi du minerai massif montre la dominance du Melnicovite avec la sphalérite.....	76
photo 33 : Vue au microscope métallographique en lumière réfléchi du minerai massif montre représente la pyrite, la sphalérite et l'arsénopyrite dans une patte de chalcopryrite.....	76
Photo 34: Minéralisation en rubanement.....	76
photo 35 : microphotographie en lumière réfléchi du minerai rubané montre la présence de la pyrite, l'arsénopyrite, la sphalérite aussi avec la pyrrhotite. ....	77
photo 36 : microphotographie en lumière réfléchi du minerai rubané montre la présence de la chalcopryrite et la sphalérite. ....	77
photo 37 : microphotographie en microscope métallographique en lumière réfléchi du minerai disséminé montre la présence du cuivre gris entouré par la chalcopryrite avec parfois l'arsénopyrite au sien du métapélites. ....	78
photo 38 : microphotographie en microscope métallographique en lumière réfléchi du minerai disséminé caractérisé par la pyrrhotite, la pyrite et l'arsénopyrite avec des oxydes de fer sous forme de magnétite. ....	78
photo 39: Photographie microscopique en lumière réfléchi du minerai de remplissage ; Bornite, Chalcopryrite et l'Arsénopyrite.....	78
photo 40: Photographie microscopique en lumière réfléchi du minerai de remplissage ; Arsénopyrite, Pyrite, Sphalérite et les métapélites .....	78

photo 41 : Photographie microscopique en lumière réfléchie du minerai de remplissage ; Bornite, Arsénopyrite et la chalcopryrite. ....	79
photo 42 : microphotographie en lumière réfléchie du minerai en stockwork.....	79
photo 43 : microphotographie en lumière réfléchie du minerai en stockwork.....	79

***Liste des tableaux :***

Tableau 1: Différentes phases et leurs effets sur le secteur de Draa Sfar .....	53
Tableau 2 : les minéraux et leurs formules chimiques.....	70
Tableau 3:Les déformations de chaque phase minéralisée .....	80
Tableau 4: les minéraux et leurs formules chimiques.....	81

### *Liste des références bibliographiques :*

**Aarab, EM. (1984).** Mise en évidence du caractère co-génétique des roches magmatiques basiques et acides dans la série volcano-sédimentaire de Sarhlef (Jebilet, Maroc hercynien). Thèse 3ème cycle. Univ. Nancy. 145 p.

**Aarab, EM. (1995).** Genèse et différenciation d'un magma tholeiitique en domaine extensif intracontinental, l'exemple du magmatisme pré-orogénique des Jebilet (Maroc hercynien). Thèse de doct. d'Etat. Univ. Marrakech. 251 p

**Ait Taher, M. (1987).** Géométrie et cinématique de la déformation post- Viséen autour des gabbros des Jebilets : L'exemple des gabbros de Kettara et de Jbel El Harach, massif hercynien des Jebilet. Thèse 3ème cycle, Univ. Marrakech.

**Admou, H. (1986).** Etude de la déformation synschisteuse dans le secteur Est de Jebel Sarhlef (Jebilet centrales). Mém C. E. A. Univ, Marrakech.

**Beauchamp, J. (1984)** . Le carbonifère inférieur des Jebilet et de l'Atlas de Marrakech (Maroc), migration et comblement d'un bassin marin. Bull. Soc. Géol. France, 1987,(7),t. XXVI,N°6,p. 1025-1032.

**Belkabir, A., Gibson, H., Marcoux, E., Lentz, D., Rziki, S., (2007).** this issue. Geology and Wall-Rock Alteration at the Hercynian Draa Sfar Zn–Pb–Cu Deposit, Morocco Ore Geology Reviews.

**Ben Aissi, L. (2008).** Contribution à l'étude gîtologique des amas sulfurés polymétalliques de Draa Sfar et de Koudiat Aïcha : comparaison avec les gisements de Ben Sliman et de Kettara (Jebilets centrales, Maroc hercynien) Thèse de Docteur Présentée à la Faculté des Sciences Semlalia Marrakech,Maroc ,313p

**Bernardin, C. (1988).** Interprétation gravimétrique et structure profonde de la Meseta marocaine et de sa marge atlantique. Thèse Doct. d'Univ. Aix Marseille III, France, 157 p. et Trav. Lab. Sci. Terre,St.Jérôm, Marseille, (B), n°29, 1988, 162 p.

**Bonatti, E. Guerstein Honnorez RM. and Honnorez J. (1976).** Copper Iron Sulfide Mineralization from the equatorial Mid-Atlantic Ridge., Econ. Geol., 71., 1515-1525.

**Boummane, Olivier(1994)** The Oulad Ouaslam Variscan granitic pluton (Jebilets Massif, Southwestern Moroccan Meseta): A forcibly emplaced laccolithic intrusion characterized by its magnetic and magmatic fabrics

**Bordonaro, M. (1983).** Tectonique et pétrographie du district à pyrrhotite de Kettara (Paléozoïque des Jebilet, Maroc). Thèse de 3ème cycle, Université. Strasbourg, 132 pp.

**Bordonaro, M. et J.Gaillet, J. L et Michard, A., (1979 )**Le géosynclinal carbonifère Sud-mésétien dans les Jebilet (Maroc) ; une corrélation avec la province pyriteuse du Sud de l'Espagne .C. R. Acad. Sc. Paris, 288 p.

**Charroud, M. (2002)** Evolution géodynamique des Hauts plateaux (Maroc) et de ses bordures du Mésozoïque au Cénozoïque , Thèse de Docteur d'Etat Es-Sciences, Université Sidi Mohamed ben abdellah Faculté des Sciences et Techniques 314 pp.

**Choubert et Marçais (1952).** Les grands traits de la géologie du Maroc, in lexique stratigraphique du Maroc. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. N° 134, p.3-38. Rabat.

**Choubert G et Marçais, J. (1956).** Les grands traits de la géologie du Maroc, in lexique stratigraphique du Maroc. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc. n° 134, p. 3-38.

**Cornée, J. J., et Sougy. J. (1982).** Style et âge de mise en place des nappes hercyniennes dans le massif des Réhamna orientales Maroc. C. R. Acad Sci. Paris. II, 294, p. 1107-1110.

**Essaifi, A. (1987).** Schémas de déformation finie autour des corps acides des Jebilet centrales : l'exemple de Kt. Hamra. Implication sur le contexte géodynamique de mise en place. Mém C. E. A. Univ, Marrakech.

**Essaifi, A. et Lagarde, (1990).** Reconnaissance de corps granitique syntectonique dans les séries magmatiques pré orogéniques des Jebilet centrales (Hercynien, Maroc). Implications géodynamiques. C.R. Acad. Sci. Paris. 310, série II. p : 67-73.

**Essaifi, A. (1995).** Relations entre magmatisme, déformation et altération hydrothermale, l'exemple des Jebilet centrales (hercynien, Maroc). Thèse de Docteur d'Etat Es-Sciences, Université. Cadi Ayyad. Marrakech 308 pp.

**Faure M., Leloix C., Roig J.Y. (1997)** - L'évolution polycyclique de la chaîne hercynienne. Bull. Soc. Géol. France, t. 168, n° 6, p.695-705.

**Hamyane, M. (2011).** Contribution à l'étude pétrographique, métallogénique et structural de Draa Sfar Nord (sidi m'barek) (Jebilets central, Maroc hercynien). Master Présentée à la Faculté des Sciences Semlalia Marrakech, Maroc.

**Haimeur, J. (1988).** Contribution à l'étude de l'environnement volcano-sédimentaire et de la minéralisation de l'amas sulfuré de Douar Lahjar (Guemassa- Maroc). Lithostratigraphie, paléovolcanisme, géochimie et métallogénie. Thèse, de l'INPL, Nancy, 154 p.

**Hibti, (2001).** Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilets (Meseta Sud-Occidentale, Maroc) : Témoins de l'hydrothermalisme précoce dans le bassin mesetien. Thèse de Docteur d'Etat Es-Sciences. Université. Cadi Ayyad. Marrakech, 296 pp.

**Hinaje, S. (1995).** : apport de l'analyse de la tectonique cassante tardi et post-panafricaine à la modélisation de la mise en place des minéralisations dans la boutonnière de Bou-Azzer (Anti-Atlas, Maroc) Thèse de Docteur d'Etat. Université Mohammed V Faculté des Sciences de Rabat 238 pp.

**Hoepffner,** Le magmatisme pré et post-orogénique hercynien dans le Paléozoïque des Réhamna, in : A. Michard (Ed.), Le massif paléozoïque des Réhamna (Maroc). Stratigraphie, tectonique et pétrogenèse d'un segment de la chaîne varisque, Notes et Mém. Serv. géol. Maroc 303 (1982) 150-163

**Huvelin, P. (1977).** Etude géologique et géologique du massif hercynien des Jebilet (Maroc occidental). Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc, 232 bis.

**Kharbouch, F. (1994).** Les laves dévono-dinantiennes de la méséta marocaine, étude pétro-géochimique et implications géodynamiques. *Thèse de doct d'Etat. Univ.Brest.*

**Lagarde, J. L et Choukroune, P. (1982).** Cisaillement ductile et granitoïdes syntectoniques : l'exemple du massif hercynien des Jebilet (Maroc). Bull. Soc. Géol. France. t. XXIV, N° 2, p. 389-395.

**Large R. R.; J. Bruce Gemmel, Holger Paulik and Huston, D. L. (2001).** (a). The Alteration Box Plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and lithochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Eco Geol.* Vol.96, p. 957-971.

**L'Heureux, M. (1992).** Caractérisations géochimiques des volcanites et d'une cheminée d'altération dans la partie Ouest du bloc de Powell, Rouyn-Noranda, Québec. *Mémoire de maîtrise, Université de Québec.*

**Marcoux Eric, Abdelhay Belkibir, Harold-H. Gibson, David Lentz, Gilles (2008).** Draa Sfar, Morocco: A Visean (331 Ma) pyrrhotite-rich, polymetallic volcanogenic massive sulphide deposit in a Hercynian sediment-dominant terrane. *Ore Geology Reviews, Elsevier, 2008, 33 (3-4), pp.307-328.*

**Michard. A. (1976).** Eléments de géologie marocaine. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc. 252 , p. 252-408.

**Permingeat, F. (1954).** Sur la véen des Jebilet Orientales au Sud de l'Ouest Tensift. Notes et Nom. Serv. Géol. Maroc. 121: 17-22.

**Piqué, A. (1972).** Contribution à la géologie structurale des Rehamna. Le matériel paléozoïque et son évolution hercynienne dans l'Ouest du massif. Thèse de 3eme cycle, Univ.Strasbourg, Fr. ;pp101

**Piqué, A.(1979)** évolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne : la meseta marocaine Nord occidentale. Thèse d'Etat, Univ. Strasbourg, Fr., pp253.

**Piqué, A., Bossie`re, G., Bouillin, J.P., Chalouan, A., Hoepffner, Ch.J., 1993.** Southern margin of the Variscan belt: the northwestern Gondwana mobile zone (eastern Morocco and northern Algeria).*Geol. Rundsch.* 82, 432-439

**Pique. A et Michard. A. (1989).** Moroccan hercynides, a synopsis. The paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa. *Am. J. Sci.*298, p. 286-330.

**Rziki, S. et al. (2012).** Environnement géologique et modèle 3D du gisement polymétallique de Draa Sfar (Massif hercynien des Jebilet, Maroc) : Implications et perspectives de développement. *Thèse présentée à la Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech. Maroc.*

**Saber, N. (1986).** Etude pétrographique et structurale du massif de Kaddour Labdi (Jebilet centrales). Mem C. E. A. Univ, Marrakech

**Saquaque, A., 1985.** De'formation et mise en place d' un pluton granitique synciné'matique: l' exemple du granite hercynien du Bramram - Tabouchennt - Bamega (Jebilet centrales, Maroc). The`se 3e cycle, Marrakech, Maroc, 144 p.

**Scott, S.D et Binns, R. A. (1993).** Presently forming hydrothermal seafloor deposits of Marius and Woodlark Basins, S.W. Pacific, as models for ancient ores. In: Fenoll Hach-Ali et al. (Editors), *Current Research in Geology Applied to Ore Deposits, S. G. A. Granada, p. 381-384.*

**Sougy, J.( 1976)** Existence d'une importante tectonique tangentielle avec nappes repliées, dans les Jebilettes occidentales et Centrales (Meseta marocaine Hercynienne). Trav .Lab. Sci. Terre, St.jérôme, Marseille III .171p.

**Tahiri, (1991)** Le Maroc central septentrional : stratigraphie, sédimentologie et tectonique du Paléozoïque ; un exemple de passage des zones internes aux zones externes de la chaîne hercynienne du Maroc, thèse, Université de Bretagne occidentale, Brest,pp 300.

**Tahiri, L. Ait Brahim, A. Saidi, (1996)** Analyse de la fracturation tardi-hercynienne dans le bassin permien de Bou Achouch. Modèles de réactivation des accidents hercyniens dans le Maroc central, in : Le Permien et le Trias du Maroc, état des connaissances, Éditions Pumag, pp. 99-112.

**Tanguay, R . Carignan, J ; Piché, M ; Beaudry, C, et Bonenfant, A. (1990).** Caractéristiques pétrologiques et géochimiques de la cheminée d'altération du gisement Isle-Dieu, Matagami, Québec. Dans La Ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois: Synthèse de 60 ans d'exploration minière. Edité par M. Rive, P.Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Si mord. *L'Institut canadien des mines et de la métallurgie*, Volume spécial 43, p. 349-361.

**WAFIK, A ;(1992).** Processus de métallogénie sur les dorsales lentes :l'exemple de l'amas sulfure de snake pit (dorsale atlantique A23N) .thèse de doctorat de l'université de Bretagne occidentale. 366p.