



Université Cadi Ayyad
Faculté des sciences et techniques de Marrakech
Département Sciences de la Terre



Compagnie Minière Guemassa

Projet de fin d'étude

Licence : Géologie Appliquée au Ressources Minières

LST GARM

Laboratoire de GEORESSOURCES

Unité associée au CNRST

(URAC 42)

Contribution à l'étude minéralogique du Draa Sfar central aval N-640 (Jebilet centrales, Hercynien, Maroc)

Réalisé par :

HIMMI hanane

LAABID Sara

Soutenu le 1^{er} Mars devant le jury :

Encadrants : Pr A .REDDAD (FSTG)

Pr A .SAIDI (FSTG)

Examineur : Pr A. RIZKI (FSTG)

Année universitaire : 2013/2014

Dédicace

Ce mémoire est dédié à :

Nos chers parents

Nos familles

Nos professeurs

Nos ami(e)s

REMERCIEMENT

Ce travail ne serait être accompli sans la bienveillance et la bonne volonté des uns et l'aide et l'assistance des autres .C'est alors pour nous un grand plaisir d'exprimer nos reconnaissances et nos gratitudees envers ceux qui de loin ou de près ont contribué a sa réalisation.

Qu'il nous soit permis au terme de ce travail d'exprimer nos plus vifs remerciements et nos plus profondes gratitudees à Mr. ESSAOUDI pour nous avoir offert l'opportunité d'effectuer notre stage de fin d'études dans la mine de Draa Sfar.

Nous tenons à remercier également Mr. BOUKKEROU cadre géologue à Draa Sfar, et aussi notre encadrant Mr. A .OUTIGUA, non seulement pour l'opportunité qu'ils nous ont offerte pour réaliser notre projet, mais aussi pour leur intérêt, leur engagement et leurs précieux conseils.

Nos sincères remerciements vont aussi l'ensemble des responsables de la mine de Draa Sfar qui nous ont aidés dans la réalisation de ce travail. De même nous devons une mention spéciale à tout le personnel du service géologie Spécialement Mr HAMYANE et Mr kamal qui n'ont cessé de mettre à notre disposition tous les moyens nécessaires à l'aboutissement de notre travail.

Nos sincères et spéciaux remerciements pour Mr R. ADRAOUI pour ces conseils, son aide et partage des remarques et des idées.

Nous tenons finalement à être reconnaissants à tous les enseignants du département de Géologie Appliquée et en particulier , le chef de filière Mr A .SAIDI responsable de la formation Géologie Appliquée aux Ressources Minières (GARM), notre encadrant Mme A.REDDAD, qui nous a apporté le plaisir et le pas vers l'avant avec ces précieuses informations qu'elle nous a prodiguées avec intérêt et compréhension, et pour les efforts qu'elle n'a cessé de déployer pour notre formation, Mr A.RIZKI de bien vouloir juger notre travail. Ainsi que Mr B.IGMOULLAN chef de département de géologie à la faculté des sciences et technique MARRAKECH

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet.

Résumé

Le grand aval Draa Sfar (aval Niveau 640) représente l'extension et la portion la plus importante d'un gisement polymétallique du viséen Supérieur. Ce gisement se situe à environ 13Km au NW de Marrakech, il est divisé du Sud vers le Nord en trois blocs : le bloc sud, le bloc central et le bloc nord.

Notre étude est faite à base de deux sondages DF173, DF193 réalisés à partir de niveau-640, d'une façon à recouper toute la série de Draa Sfar, Ainsi nous avons, effectué un levé de terrains au fond (N726).

Dans le bloc central la minéralisation est sous forme des lentilles encaissées entre une série volcano-sédimentaire du mur constituée de pélites gréseuses, des tufs et des rhyolites, une série sédimentaire du toit, constituée de pélites carbonatées.

La pyrrhotite est le sulfure de fer dominant au niveau du gisement de Draa Sfar (85%) associée à la sphalérite, la galène, la chalcopyrite, la pyrite et l'arsénopyrite. les minéraux de gangue sont représentés par les carbonates, le quartz, les chlorites, et la séricite.

La chloritisation est l'altération hydrothermale proximale dominante dans la série de Draa Sfar.

Sommaire

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERAL « Présentation de la mine de Draa Sfar »	7
I – Introduction.....	8
II Domaines structuraux du Maroc.....	8
1 / Le domaine Anti-Atlasique	9
2/Domaines atlasique et mésetien :.....	9
3/Domaine rifain.....	10
III Cadre géologique du massif des Jebilet.....	10
1 / Zonation structurale	11
2/ Le magmatisme.....	12
3/ L'évolution du bassin carbonifère des Jebilet :.....	12
IV – Cadre géologique et géographique.....	12
1 – Situation géographique	12
2 - Cadre géologique	13
V- Evolution lithostratigraphique de gisement de Draa sfar	13
VI – Historique de la mine :	15
VII- But et méthodologie	15
1 – Objectif de l'étude.....	15
2- Méthodologie.....	16
2-1 Sur le terrain :	16
2-2Au laboratoire	16
VIII_ Mode de mise en place des dépôts de la minéralisation type VMS :	16
1- La Source des métaux.....	18
2-Source du soufre et du carbone	18
CHAPITRE II : ETUDE DU BLOC CENTRAL.....	18
I/ Etude lithostratigraphique et pétrographique.....	20
1- Introduction	20
2-Description des faciès.....	24
2-1 Introduction.....	24
2 -2formation de base	24
2 -2 formation de toit	32
2 -3 formation médiane.....	35

III- tectonique :	40
1-A l'échelle de jilet	40
2-A l'échelle de Draa Sfar central	40
2-1La déformation synschisteuse hercynienne majeure D ₁ :	40
2-2La déformation hercynienne tardive D ₂ :	46
2-3 La déformation cassante tardi-hercynienne	46
III/Altération.....	48
Introduction :	48
1- Séricitisation :	48
2-Chloritisation :	49
3- Carbonatation :	49
4- Silicification	50
IV/ La géochimie.....	51
1- Les signatures hydrothermales de la série de Draa Sfar central.....	51
2- La variation géochimique	52
3- Conclusion :	53
CHAPITRE III : COMPARAISON AVEC LE BLOC SUD	51
1- La série encaissante de la minéralisation	56
2- la minéralisation	56
3- L'altération hydrothermale	56
Conclusion général	51
Liste des figures	60
Liste des photos	61
Liste des tableaux	51
Référence bibliographique	62

**CHAPITRE I : INTRODUCTION
GENERALE « PRESENTATION DE LA
MINE DE DRAA SFAR »**

I – Introduction

La province hercynienne marocaine, est caractérisée par son potentiel métallifère, qui se manifeste par l'abondance de gisements à intérêts économique majeur. Certains gisements de la province ont été exploités et abandonnés (Kettara), d'autres sont encours d'exploitation (Hajjar, Draa Sfar) ou d'exploration (Koudiat Aicha, Tiferouine) et d'autres sont en indices à confirmer (Lamrah). Cette province hercynienne est l'une des provinces les plus prospectés au Maroc. La présente étude se penche sur la caractérisation morphologique, minéralogique et géochimique d'une importante partie du gisement de sulfures massifs polymétalliques de Draa sfar.

II Domaines structuraux du Maroc

La structure du Maroc résulte d'une évolution géologique extrêmement variée, liée depuis les temps les plus anciens au caractère liminaire de cette contrée entre les grandes zones orogéniques méditerranéennes et la masse archaïque du bouclier continental africain. Cette évolution comprend au moins deux orogénèses précambriennes, plusieurs phases orogéniques hercyniennes et plusieurs alpines (Michard, 1976). Ainsi du Sud au Nord, s'individualisent le domaine anti-atlasique, le domaine atlasique et mésétien 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 font des nappes de charriage tertiaires entre les deux domaines centraux et septentrionaux. Le domaine anti-atlasique a été surtout façonné par les orogenèses précambriennes, et d'une manière subordonnée, par les orogenèses hercyniennes; par contre les domaines mésétien et atlasique ont été surtout affectés respectivement par les orogenèses hercyniennes et alpines (Michard, 1976; Piqué, 1994). « Figure 1 »

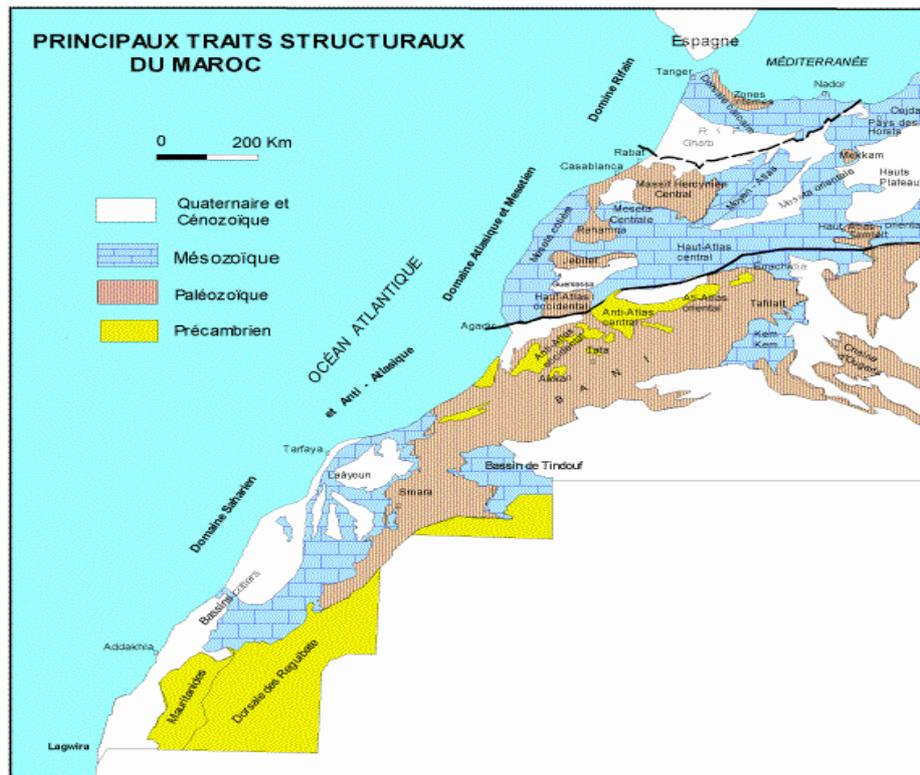


Figure 1 : Les principaux traits structuraux du Maroc (Piqué et Michard, 1981)

1 / Le domaine Anti-Atlasique

Intimement lié au bouclier ouest africain au Sud et limité par l'accident sud-atlasique au Nord, ce domaine est formé par un socle protérozoïque constitué par les ensembles suivants :

La partie Nord de la dorsale archéenne des Reguibat, datée à 2800 Millions d'années, la plus ancienne du pays et qui est affectée par l'orogénèse éburnéenne à 2200 Millions d'années. Ces formations protérozoïques sont recouvertes en discordance par des séries transgressives allant de l'Infracambrien au Carbonifère et qui sont déformées, comme celles qu'elles recouvrent, par l'orogénèse hercynienne.

2/Domains atlasique et mésetien :

Situés entre l'accident sud atlasique et la limite sud du Pré rif, Ils sont constitués par :

- Un socle paléozoïque (les mesetas) depuis le Cambrien jusqu'au Carbonifère, constitué essentiellement par des terrains sédimentaires avec une intense activité volcanique bimodale au Viséen. Ce socle a été structuré par l'orogénèse hercynienne responsable aussi de la mise en place de nombreuses intrusions de granitoïdes.

· Une couverture, formée des terrains essentiellement carbonatés, mésozoïques et cénozoïques comportant deux unités structurales comprenant le Haut et le Moyen Atlas, les hauts plateaux et le pays des horsts dans le Maroc oriental.

3/Domaine rifain

Il est constitué par un noyau essentiellement cristallophyllien paléozoïque autour duquel sont disposées concentriquement des formations carbonatées et schiste-gréseuses du Mésozoïque et du Tertiaire. Il est affecté par une tectonique alpine majeure engendrant des nappes de glissement et de charriage.

III Cadre géologique du massif des Jebilet

Les Jbilet, situées immédiatement au Nord de la ville de Marrakech, forment un ensemble de collines et de plaines rocheuses de terrains paléozoïques, plissées et métamorphisées orientées suivant une direction atlasique E-W sur une longueur environ de 170 Km et 7 à 40 Km de large (Huvelin, 1977). (Figure 2)

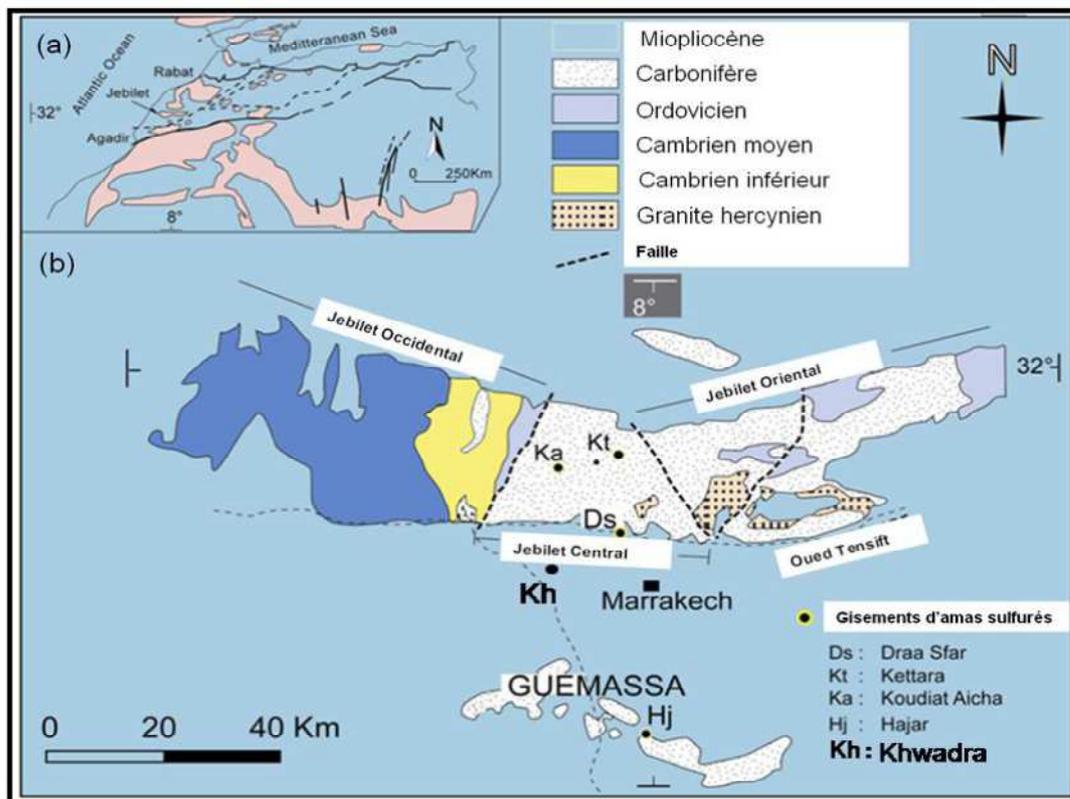


Figure 2 : (a) Localisation du massif des Jebilet dans le cadre des affleurements paléozoïques d'Afrique du Nord (en gris) ; (b) Carte géologique générale des Jebilet et du massif de Guemassa montrant la localisation du gisement de Draa Sfar et des principaux gisements de sulfures massifs (Huvelin, 1977).

1 / Zonation structurale

De l'Est vers l'Ouest, le massif des Jebilet est composé de la juxtaposition de trois unités : (figure 3)

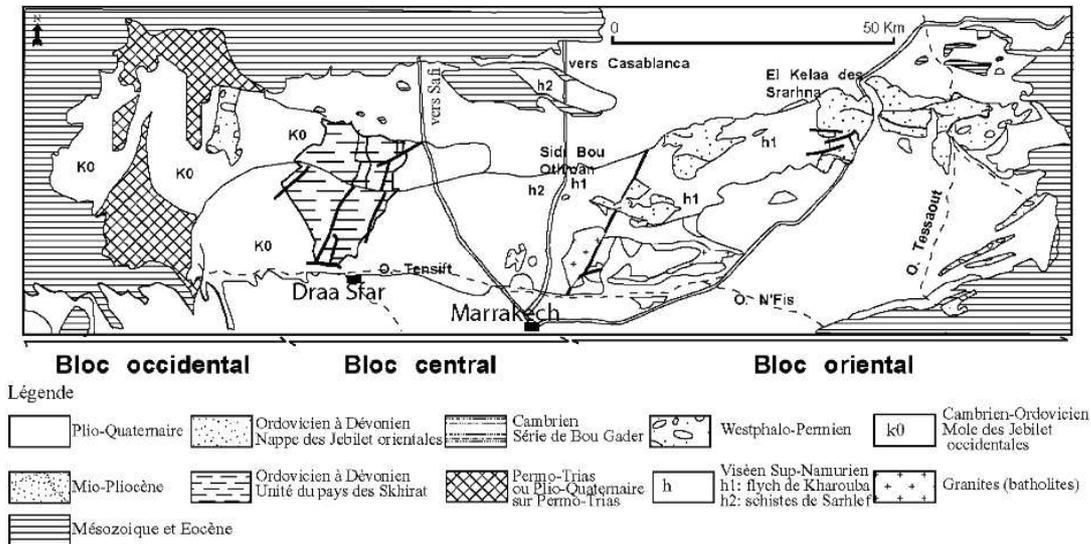


Figure 3 : Carte géologique simplifiée du massif des Jebilet (d'après Huvelin, 1977).

i- 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).

ii- La zone centrale, qui encaisse le gisement de Draa Sfar, correspond aux schistes de Sarhlef, d'âge Viséen supérieur 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).

iii- 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 (môle côtier) (Michard, 1976).

2/ Le magmatisme

Trois principaux types de roches magmatiques se retrouvent dans les Jebilet. Ils ont été calés dans le temps par rapport au paroxysme de la déformation hercynienne (Huvelin, 1977; Bordonaro, 1983; Kharbouch, 1982; Aarab, 1984, 1995 ; Essaifi, 1995) :

- i- Un magmatisme bimodal intrusif dans la partie centrale, représenté par de nombreux corps acides et basiques associés à des termes intermédiaires rares (Aarab, 1984),
- ii- Le deuxième magmatisme qualifié de syntectonique, se manifeste dans la partie centrale des Jebilet, il est marqué par la présence des granites calco-alcalins. (Huvelin, 1977).
- iii- Un faisceau de filons de micro diorites recoupe les granites. Il ne montre pas de déformation synschisteuse notable (Huvelin, 1977 ; Aarab, 1995 ; Essaifi, 1995). Il s'agit du troisième type tardi-orogénique.

3/ L'évolution du bassin carbonifère des Jebilet

Il s'agit d'un bassin géosynclinal intracontinental d'âge Dévono-Carbonifère, entre la bordure de l'épicraton présaharien au S-E caché sous la chaîne atlasique, et celle de la mole côtière, vaste bloc rigide et non subsidient, au N-W (Michard, 1976).

D'après Bernard (1974), c'est un bassin d'arrière cordillère, la cordillère étant située au SE des massifs hercynides. Ce bassin a fonctionné à partir du Dévonien supérieur jusqu'au Namurien.

Les derniers modèles géodynamiques proposés attribuent une histoire intracontinentale à la chaîne hercynienne marocaine (Piqué et Michard, 1989 ; Kharbouch, 1994) ; par la suite, Aarab (1995), dans son étude du magmatisme des Jebilet, a proposé un modèle d'ouverture du bassin carbonifère des Jebilet, en système de «pull apart». Il est lié au jeu de décrochements qui s'accompagne d'une distension limitée avec individualisation de failles profondes qui ont servi d'accès aux émissions magmatiques tholéitique auxquelles est lie spatialement et génétiquement la métallogénie de jbilet.

IV – Cadre géologique et géographique

1 – Situation géographique

Le secteur de Draa Sfar est situé au niveau de la limite Sud du massif hercynien des Jbilet centrale, à 16km du Nord- ouest de la ville de Marrakech.

L'accès du 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 recoupées par l'Oued Tensift. La partie Nord de Draa Sfar est reconnue par un chapeau de fer bien développé.

2 - Cadre géologique

La zone centrale du massif des jbillets qui encaisse le gisement de Draa Sfar, avec les schistes de sarhlef d'âge Viséen supérieur namurien est caractérisée par une déformation majeure synschisteuse et un métamorphisme régional épigonal (Huvelin, 1977) associé localement à des auréoles de métamorphisme de contact autour des intrusions granitiques (Rosé, 1987)

Il est constitué de trois grandes unités subméridiennes qui sont d'Ouest en Est : (figure 4)

- i- Un mole stable (autochtone), à matériel cambro-ordovicien à carbonifère ;
- ii- Une unité centrale d'âge viséen supérieur, schistosée et métamorphisée au cours de la déformation post-viséenne.
- iii- Une unité orientale, composée essentiellement de terrains anté-viséens, et des termes du viséen supérieur, une tectonique tangentielle syn-sédimentaire est bien décrite, la tectonique post-viséenne reste discrète. (HUVELIN, 1977).

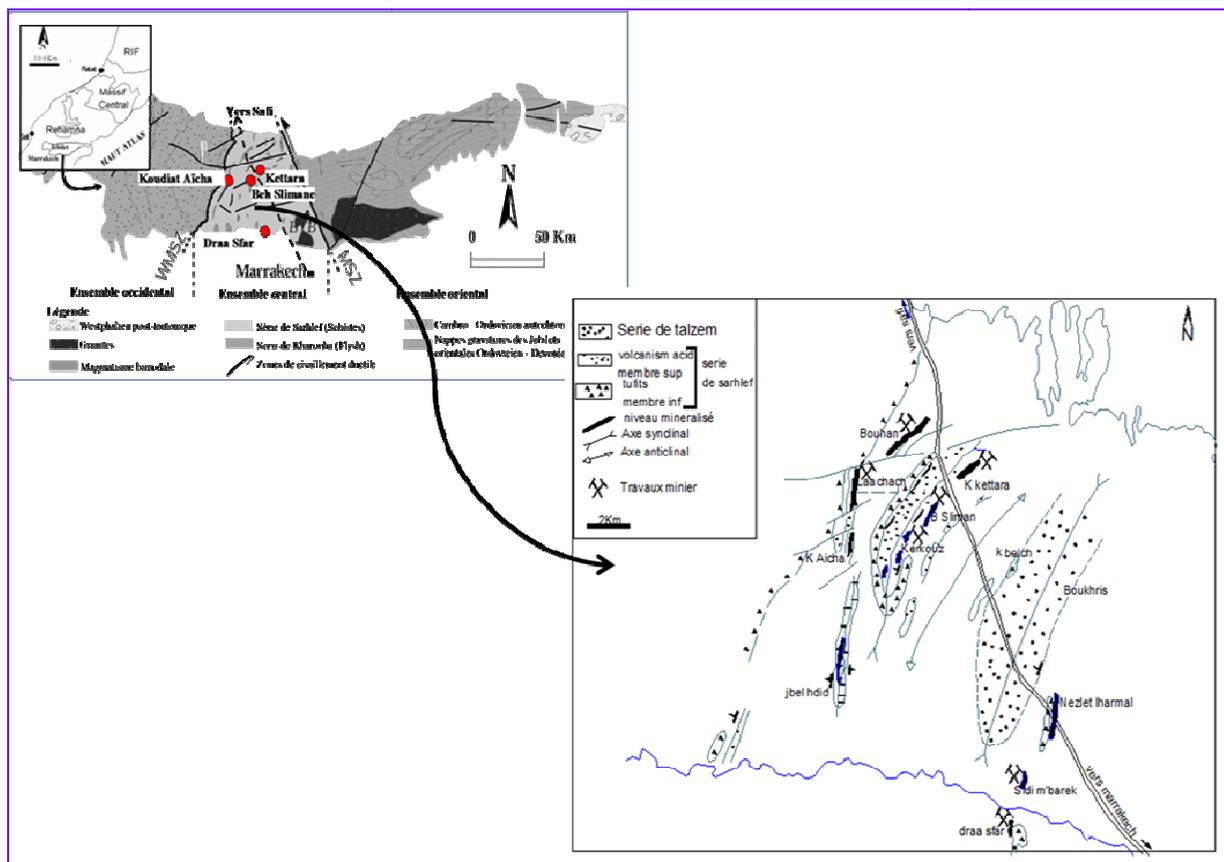


Figure 4 : Localisation des principaux gisements sulfurés de jbillets centrales (Mairers 1984);

V- Evolution lithostratigraphique du gisement de Draa sfar

Le secteur de Draa-sfar est subdivisé en trois blocs, Draa Sfar Nord (Sidi M'barek) , Draa Sfar Sud (Koudiat Tazakourt) et Draa sfar Central, localisés respectivement sur les rives Nord et Sud de l'Oued Tensift. 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 pléo-quaternaires.

Sur la rive Sud, affleure le corps principal minéralisé de Draa Sfar (actuellement exploité par la C.M.G /Draa Sfar) ainsi que l'essentiel des corps volcaniques acides associées. Alors que le bloc Central se situe entre ces deux blocs, ce dernier est totalement recouvert, par une couverture pléo-quaternaire. Voir (figure 5)

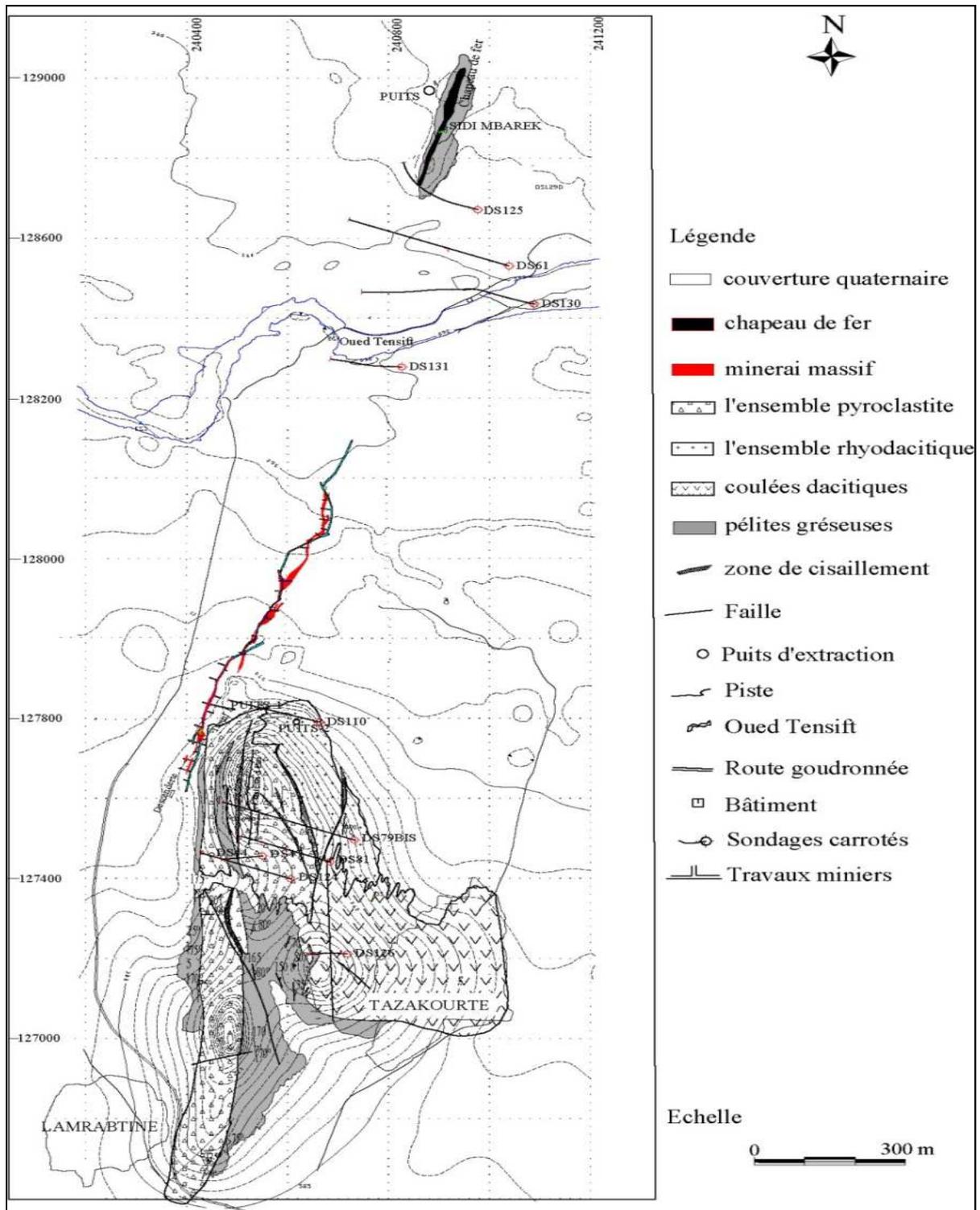


Figure 5 : Carte géologique simplifiée du domaine du Draa Sfar (Ben Aissi, 2008 document modifié de CMG/Draa Sfar)

VI – Historique de la mine :

- 1953 : découverte du chapeau de fer de Draa Sfar nord par le Service des Gites Minéraux « SEGM »
- 1962 : mise en évidence d'une anomalie magnétique suite aux travaux géophysiques effectués par l'ONA (compagnie de prospection géophysique), et la découverte de l'anomalie de Koudiat Tazaakourt par Vanden Bosch.
- 1966 : réalisation de sondages, et découverte d'un amas sulfuré à pyrrhotine et métaux base sur Draa Sfar
- 1982 : réalisation du levé gravimétrique sur l'ensemble du secteur par le BRPM
- 1998-2000 : réalisation de sondage et plusieurs travaux minières « Reminex », et travaux de géophysique « SAGAX »
- 2002 : lancement du programme de préparation géologique et installation des infrastructures minières
- 2004 : Démarrage de la mise en production du site
- 2005 : concentration des travaux d'exploration par des sondages carottés fond sur l'aval du N-640 (le niveau le plus bas développé)
- 2006 : démarrage des travaux miniers sous terrains pour le développement de l'aval du N-640

VII- But et méthodologie

1 – Objectif de l'étude

L'objectif de ce travail c'est d'étudier le bloc central aval N-640, tels : La lithologie, la pétrographie et la minéralogie des faciès encaissants de la minéralisation avec l'étude des altérations hydrothermales associées, afin de faire une comparaison avec le bloc sud.

Pour réaliser notre objectif nous allons suivre le parcours suivant :

- Réalisation et interprétation des logs de sondage carottés, tels le sondage DF173 et DF193.
- Levés géologique des galeries
- Etude pétrographique et minéralogique des faciès encaissants.
- Interprétation des données.
- La compilation des données Bloc Sud+ Bloc central.

2- Méthodologie

Pour atteindre les objectifs cités ci-dessus, plusieurs méthodes ont été utilisées aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire.

2-1 Sur le terrain :

Le travail a consisté tout d'abord à la description des deux sondages carottés et au levé effectué dans la zone sus-citée.

Cette phase a été accompagnée de prélèvements d'échantillons pour la confection de lames minces et de sections polies.

2-2 Au laboratoire

Le travail a consisté en :

- _ Une étude pétrographique (microscopie optique) des différents faciès interceptés par sondages
- _ Une étude métallographique des différents échantillons minéralisés.
- _ Une synthèse des résultats et la rédaction du mémoire.

VIII_ Mode de mise en place des dépôts de la minéralisation type VMS :

Les VMS, ou « Volcanogenic massive sulfides » (ou gisements exhalatifs sulfurés) sont des minéralisations primaires, ou syngénétiques (elles se sont formées en même temps que les roches-hôtes), piégées à l'intérieur d'une couche donnée « stratabound », elles ne recourent pas la stratigraphie, ils sont composés principalement de sulfures et formés sur ou près du fond de l'océan. Ce sont les manifestations d'une activité hydrothermale de type « fumeur noir ». Ils sont riches en métaux tels que Fe, Mn et Cu, Zn, Pb et des teneurs variables de l'Au et Ag, essentiellement sous forme de sulfures de ces métaux : pyrrhotite et pyrite (sulfures de fer) ; chalcopyrite (Cu), galène (Pb), sphalérite (Zn), etc.

Les gîtes de sulfures massifs volcanogènes issus du volcanisme sous-marin sont parmi les plus grandes concentrations de métaux de base et de métaux précieux au monde. Il existe plus de 800 gîtes connus dans le monde avec une réserve de plus de 200 000 t dont 350 gîtes au Canada (Galley et al, 2007). Ils sont mis en place dans les fonds océaniques en expansion et dans les arcs, avec un réseau qui permet la circulation de fluides hydrothermaux.

Ci-dessous un schéma idéal (figure 6) de mode de dépôt des amas sulfurés type VMS :

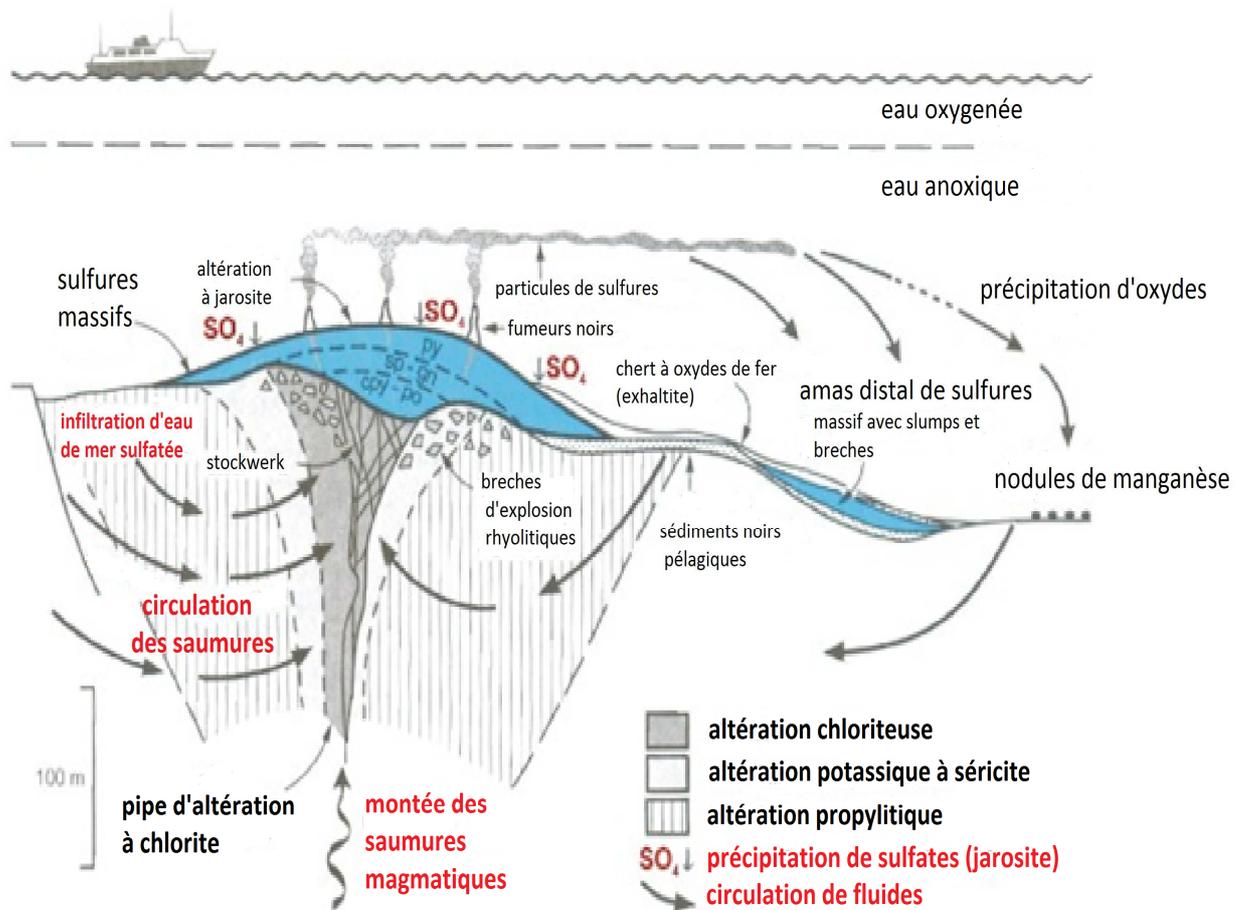


Figure6 : Coupe d'un amas sulfuré de type VMS (Jébrack et Marcoux, 2008)

Les VMS sont la manifestation d'une circulation hydrothermale océanique, Leur formation nécessite les éléments suivants :

- i. Une source de chaleur, pour fournir l'énergie du système. Ici, il s'agit de plutons de plagiogranites.
- ii. Une zone de réaction, où des fluides acides et à haute température réagissent avec les roches. Ces réactions se déroulent aux alentours de 400°C. Le résultat de ces réactions aboutit à un fluide riche en ions, en particulier le Fe et les éléments géochimiquement proches comme Cu, Zn, etc. Les éléments incompatibles avec une affinité pour les fluides (dont le soufre) sont aussi mis en solution.
- iii. Un toit imperméable et une zone de décharge (comme un système de fractures) ; les deux éléments vont « focaliser » les circulations d'eau chaude, les canaliser le long des fractures (et empêcher une percolation diffuse dans la roche).
- iv. Une zone de précipitation, sur le fond océanique, à l'endroit où l'eau chaude et minéralisée rentre en contact avec l'eau froide de l'océan. L'essentiel de la précipitation va avoir lieu in-situ et construire un monticule de sulfures (la cheminée du « fumeur noir ») ; une partie de la matière s'échappe dans l'océan sous forme d'un

panache hydrothermal, qui va se dissoudre et/ou précipiter à distance, en plus faibles quantités.

- v. Enfin, de l'eau de surface s'infiltré (sans doute par des fractures également) et descend en profondeur remplacer les fluides chauds sortis par le fumeur noir.

1- La Source des métaux

La plupart des métaux sont présents en quantité variable dans la croûte terrestre, la formation d'un gisement nécessite donc certaines conditions pour la concentration de ces métaux. Il est difficile de distinguer la source des métaux et le type de gisement considéré. La croûte et le manteau terrestres sont, dans tous les cas, le réservoir initial de ces métaux. Les gisements hydrothermaux mis en cause des circulations de fluides généralement chauds capables de lessiver les métaux des roches encaissantes (sédimentaires ou magmatiques) et de les redéposer, leur dépôt au niveau marin, est régi par la concentration et densité de ces métaux ainsi que le PH de milieu.

2-Source du soufre et du carbone

Le soufre et le carbone présents dans les fluides hydrothermaux proviennent en grande partie de l'eau de mer, mais aussi des fluides magmatiques. Les apports en carbone et en soufre proviennent aussi du dégazage magmatique. Généralement les gaz contiennent 90% en mol de H₂O, 5 à 10 % en mol de CO₂, ainsi que 1 à 2 pourcent en mole de soufre sous la forme SO₂ et H₂O. Les magmas felsique étant plus oxydant comparativement aux magmas mafique, soit SO₂ le gaz magmatique sulfureux le plus important (Shanks, W.C. Pat, III, Thurston, Roland, 2012).

Chapitre II : Etude du Bloc Central

I/ Etude lithostratigraphique et pétrographique

1- Introduction

L'étude lithologique du Bloc Central est faite à base de plusieurs sondages carottés, traçages et levés des galeries. Dans notre étude on va se baser sur deux sondages DF173, DF193.

Ces deux sondages ont été réalisés à partir de niveau-640, d'une façon a recoupé toute la série de Draa Sfar, Ainsi nous avons, effectué un levé de terrains au fond (N726). (Tableau 1)

SONDAGES	POINT DE DEPART Z	X	Y	INCLINAISON	LONGUEUR
DF173	635	240575	127750	0°	67,3m
DF193	635	240635	127735	+5°	198m

Tableau 1 : Caractéristiques des différents sondages carottés étudiés.

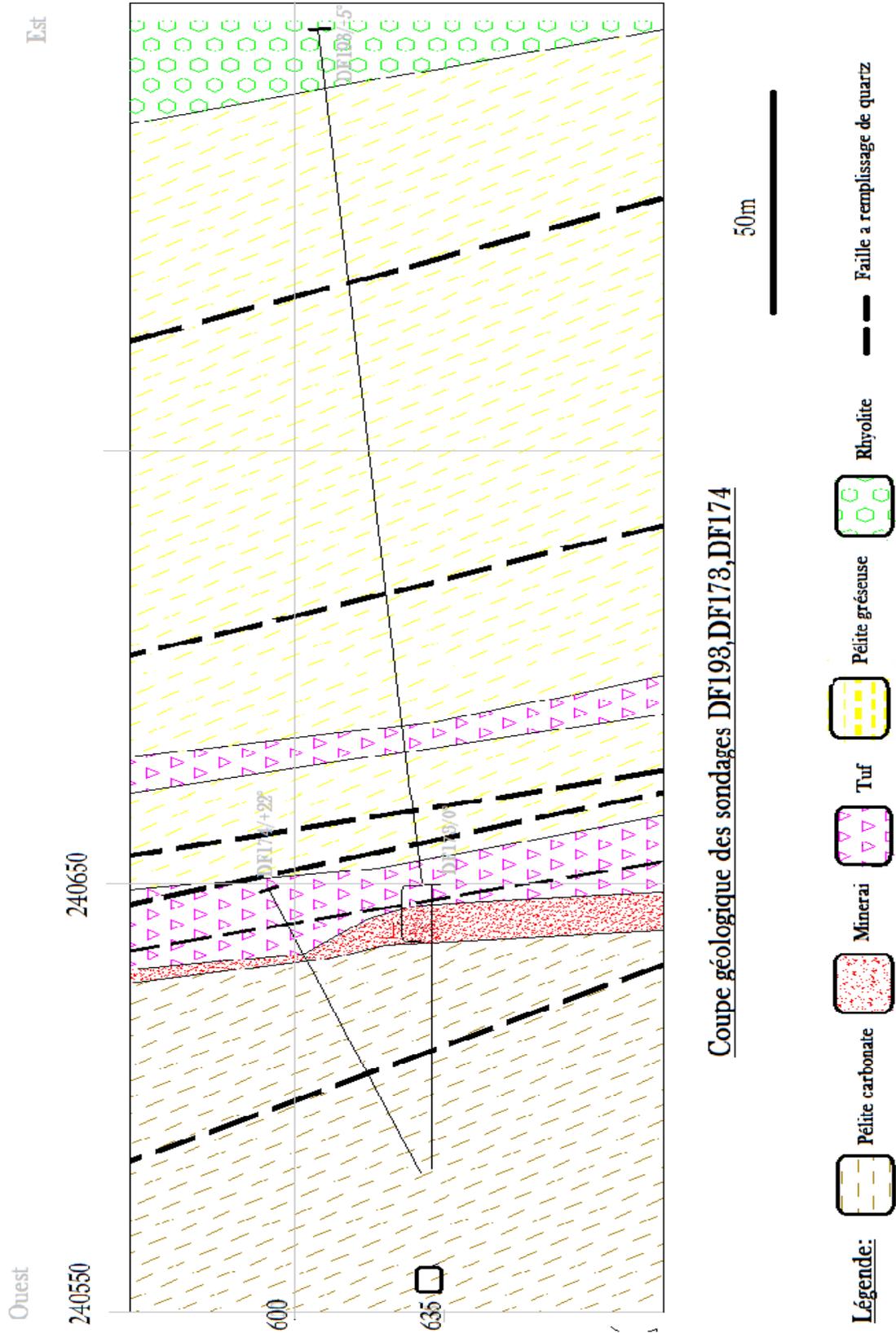
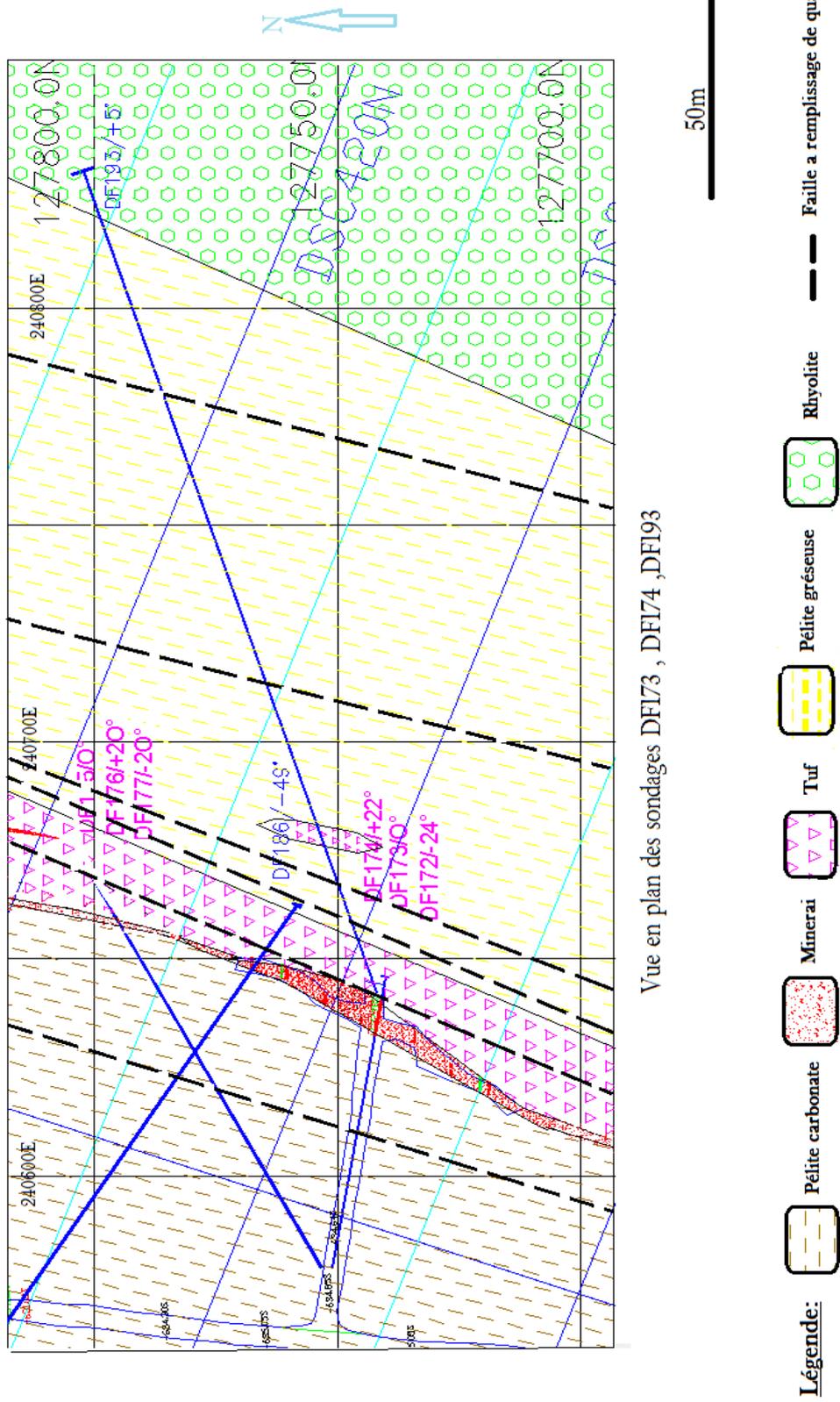


Figure 7 : coupe géologique des sondages DF173, DF174 et DF193.



Vue en plan des sondages DF173 , DF174 ,DF193

Figure 8 : vue en plan des sondages DF173, DF193.

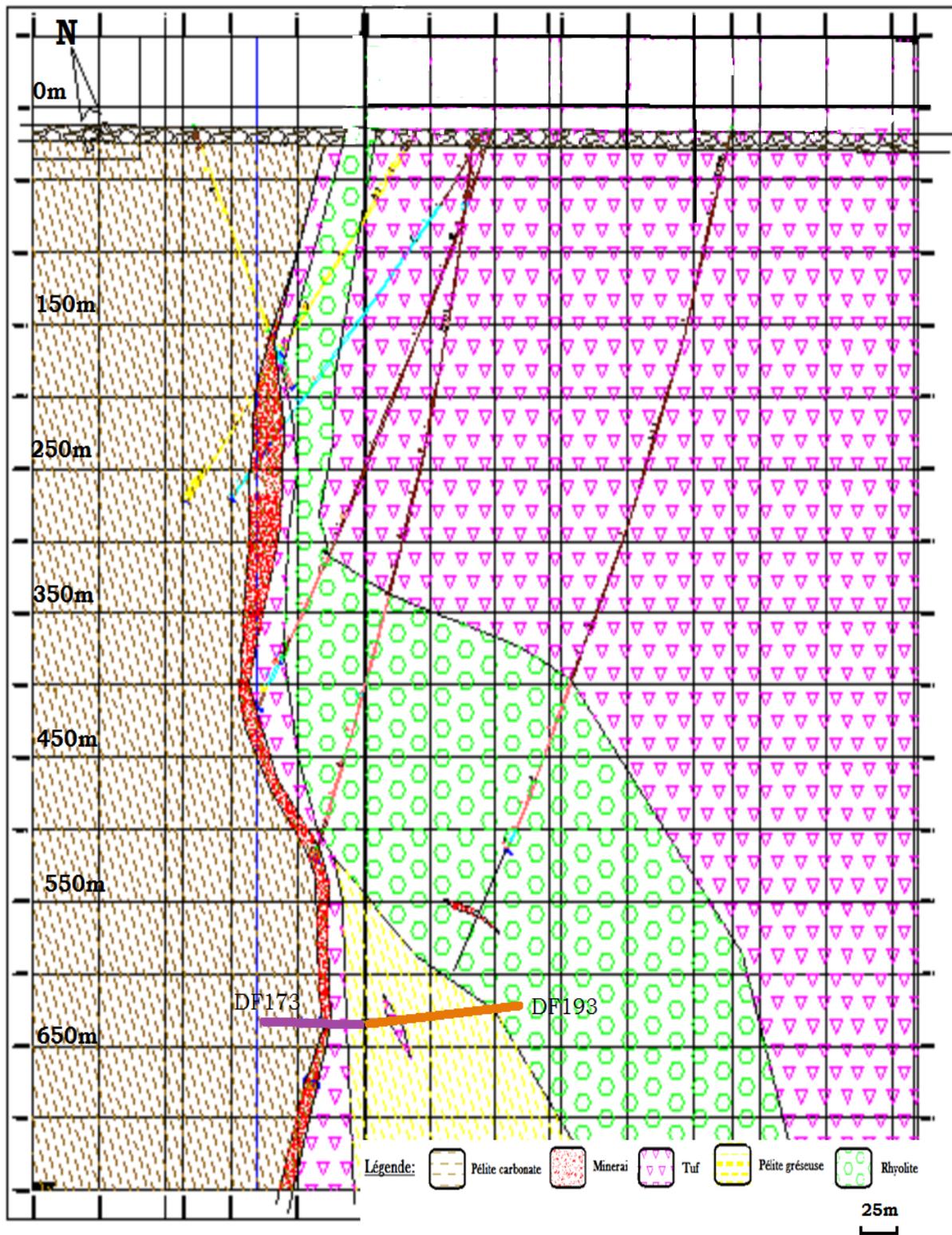


Figure 9 : Coupe géologique transversale intégrant les sondages DF173, FD193, DS103, DS143.

Draa Sfar Central constitue la continuité vers le Nord de Draa Sfar Sud figure 9, ainsi on a une variation lithologique et morphologique de la lentille sulfurée. Au niveau de Draa Sfar Central, les sondages DF173 et DF 193 effectuées, montrent que la série est complète et comprend des termes volcaniques à la base 'Rhyolites', et des termes volcano-sédimentaires 'tufs et pélites gréseuses', et enfin les termes sédimentaires au sommet 'pélites carbonatées', ces derniers surmontent la lentille minéralisée en contact normal avec un pendage vers l'Est. voir (Figures : 7, 8,9)

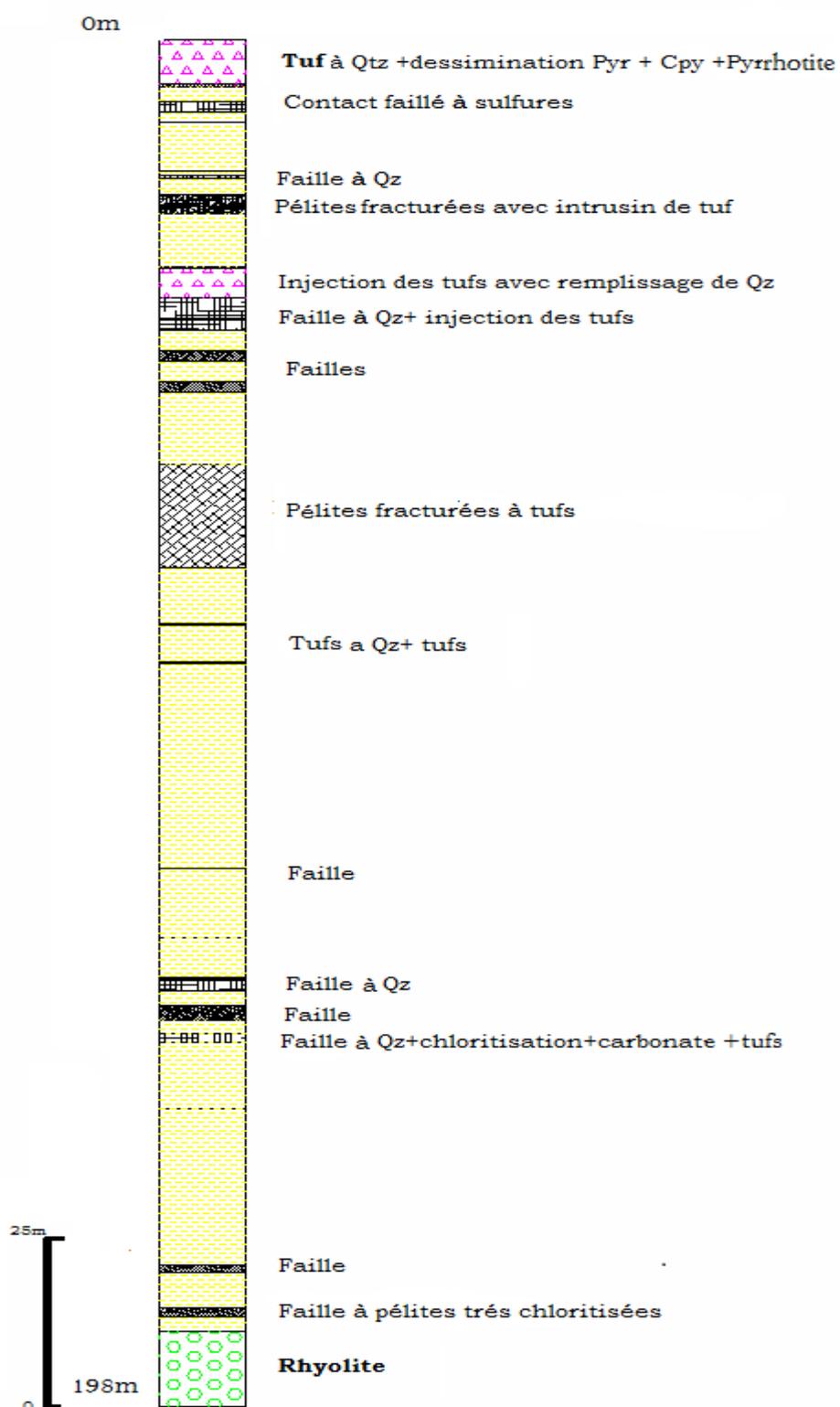
2-Description des facies

2-1 Introduction

Comme objet de cette étude on a fait une étude macroscopique via la réalisation des logs des sondages, accomplis par l'étude microscopique, à partir de la réalisation des lames dans chaque facies et des sections dans le minerai.

2 -2formation de base

C'est la formation qui se situe du coté Est de la minéralisation, constituée d'un ensemble volcanique et volcano-sédimentaires. On trouve de base au sommet ; des Rhyolites, des tufs et des pélites gréseuses (Figure 10).



Log synthétique du sondage DF 193

Figure 10: Log synthétique du sondage DF193.

Rhyolite



Photo 1: Rhyolite « sondage DF193 »

Macroscopiquement, ce sont des roches massives de couleur grisâtre, très compétentes, peu affectées par la schistosité, fracturées et chloritisées avec des veines de quartz (photo 1). Les Rhyolites constituent la base de la série volcano-sédimentaire du Draa Sfar, elles sont limitées dans la partie Sud du bloc Central, ce ci est confirmé par le sondage DF 193, ce facies ne traverse pas la totalité du bloc central, elles sont constituées principalement de quartz, feldspath, chlorite et séricite. Ces rhyolites ont une puissance de 11m au sondage DF 193. La puissance réelle n'est pas délimitée à ce niveau.

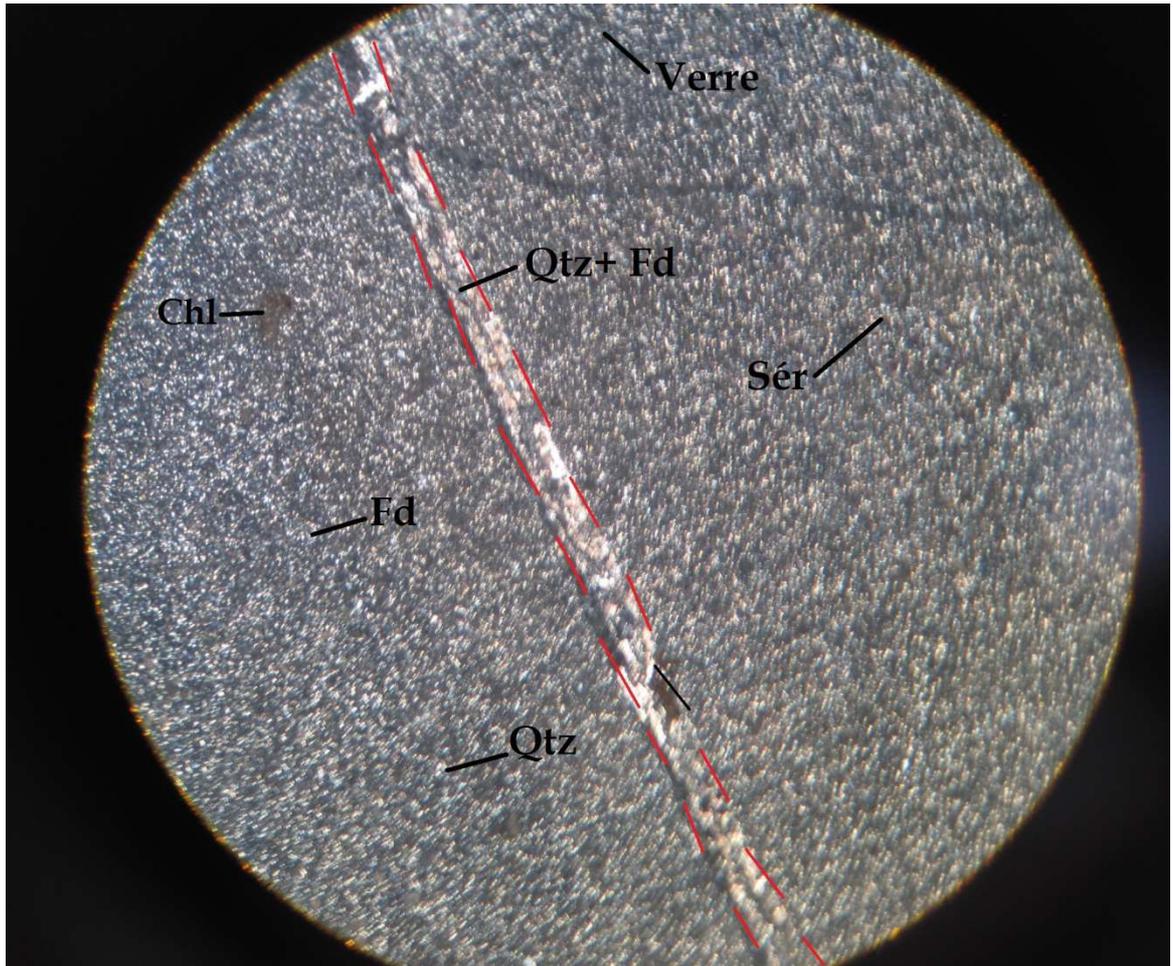


Figure 11 : Photo microscopique de Rhyolite avec des fractures à remplissage de quartz et feldspath
 ' Qtz : quartz ; Sér : séricite ; Fd : feldspath ; Chl : Chlorite' « Gr400 »

Microscopiquement, les Rhyolites ont une minéralogie dominée par le quartz, plagioclase et feldspath potassique largement altérées en séricite, avec une texture félicitique (figure11), on note aussi la présence d'une matrice cryptocristalline à quartz et feldspath. Avec une proportion '10 à 15%' de verre.

Les pélites gréseuses



Photo 2 : Pélites gréseuses « sondage DF193 »

Macroscopiquement, ce sont des pélites à niveaux gréseux de couleur verdâtre altérées chloritisées, très schistosées (Photo 2), elles sont largement représentées dans la série volcano-sédimentaire. On note aussi la présence de chlorite et de la silice au niveau du plan de la schistosité (S1), des veines du quartz par endroit, et des failles à remplissage de matériel chloritisé et sulfures disséminés. Les pélites gréseuses sont observées au sondage DF 193 avec une puissance de 170m.

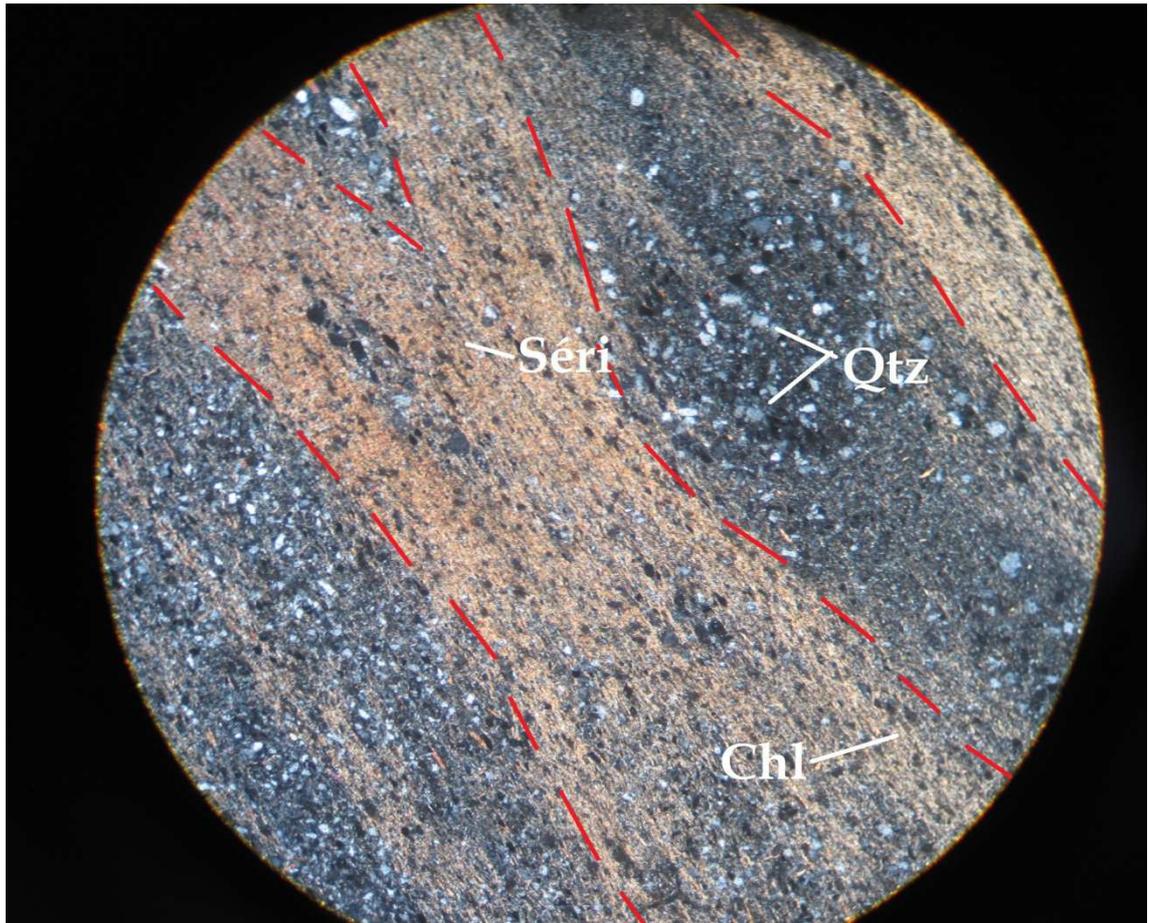


Figure 12: Photo microscopique des pélites gréseuses à alternance de lits de quartz et lits de séricite et chlorite, les lits de quartz sont boudinés et disloqués.
'Qtz : quartz ; Chl : chlorite ; Séri : séricite' « Gr *100 ».

Microscopiquement, les pélites gréseuses ont une minéralogie dominées par le quartz sous forme arrondie et sub arrondie. Ils sont moulés dans une matrice très fine constituée essentiellement de séricite avec un peu de chlorite et quelques grains de sulfures. (figure 12)

Les tufs



Photo 3 : Tufs « sondages DF193 ».

Macroscopiquement, les tufs ont une couleur verdâtre, confondues souvent avec les pélites gréseuses, avec une texture grenue, (photo3), ce faciès est très chloritisé et séricitisé et se compose essentiellement de quartz, feldspath, avec des traces de pyrite, pyrrhotite, et chalcopryrite au niveau des tufs observés au sondage DF193 avec une puissance de 22m.

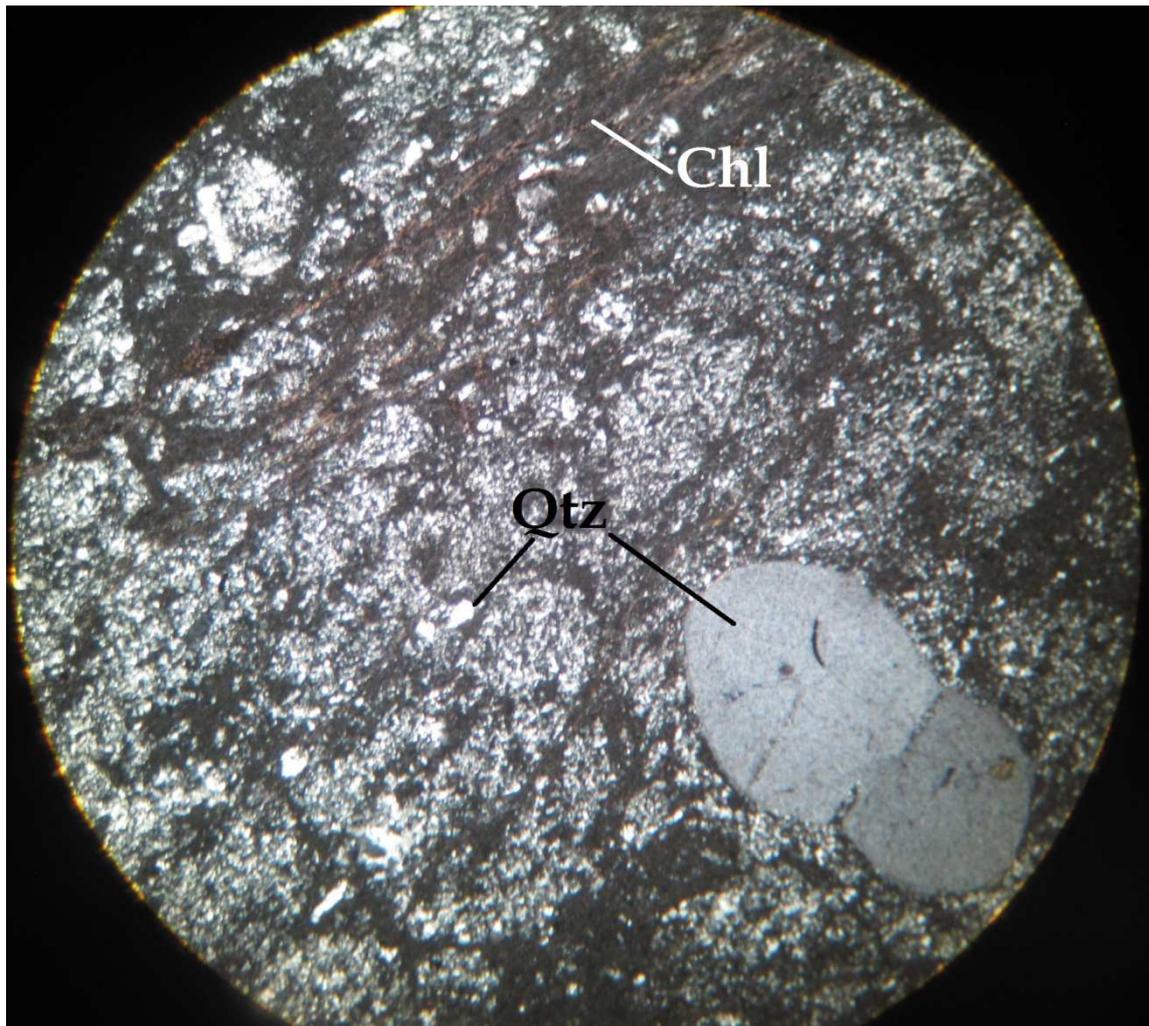


Figure 13 : Photo microscopique des tufs à grains du quartz avec une matrice de chlorite
'Chl :chlorite ; Qtz : quartz' « Gr*100 ».

Microscopiquement, les tufs sont constitués essentiellement par le quartz (figure13), de forme arrondie à sub arrondie de taille variable moulé par la schistosité (S1). On note aussi la présence de phénocristaux de quartz.

La roche est formée par des lits clairs constitués du quartz et feldspath, et des lits sombres représentés par le chlorite orienté suivant la (S1).

2 -2 formation de toit

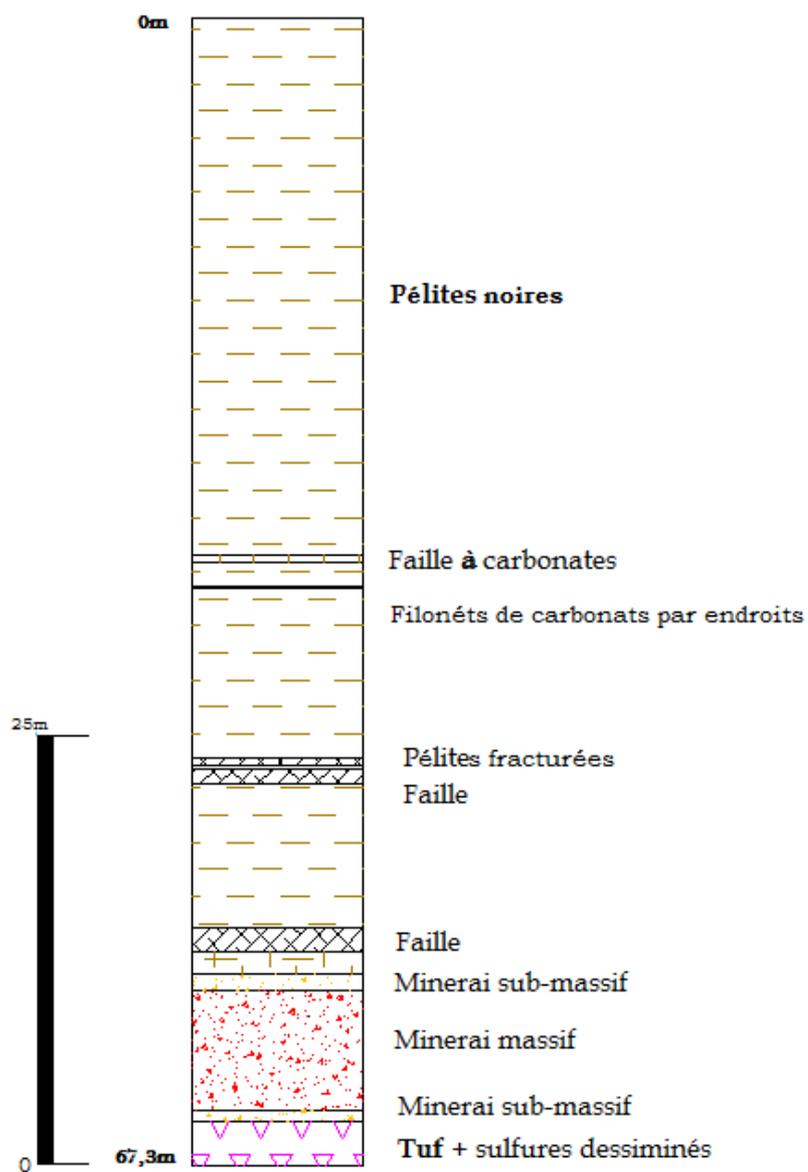


Figure 14: Log synthétique du sondage DF173.

❖ *Les pélites noires ‘ carbonatées’*



Photo 4: pélites noires à carbonates « sondages DF173 ».

Le toit de la minéralisation est constituée principalement par les pélites noires carbonatées (grâce à leur matrice riche en carbonates), ce facies présente un aspect lité, avec une intense séricitisation et peu de chloritisation, avec sa couleur caractéristique qui indique sa richesse en matière organique avec des filonnets de quartz et carbonates,(photo4), il constitue la partie sommitale de la série de Draa Sfar, et repose, généralement, sur la minéralisation avec une puissance de 56m observé au sondage DF 173

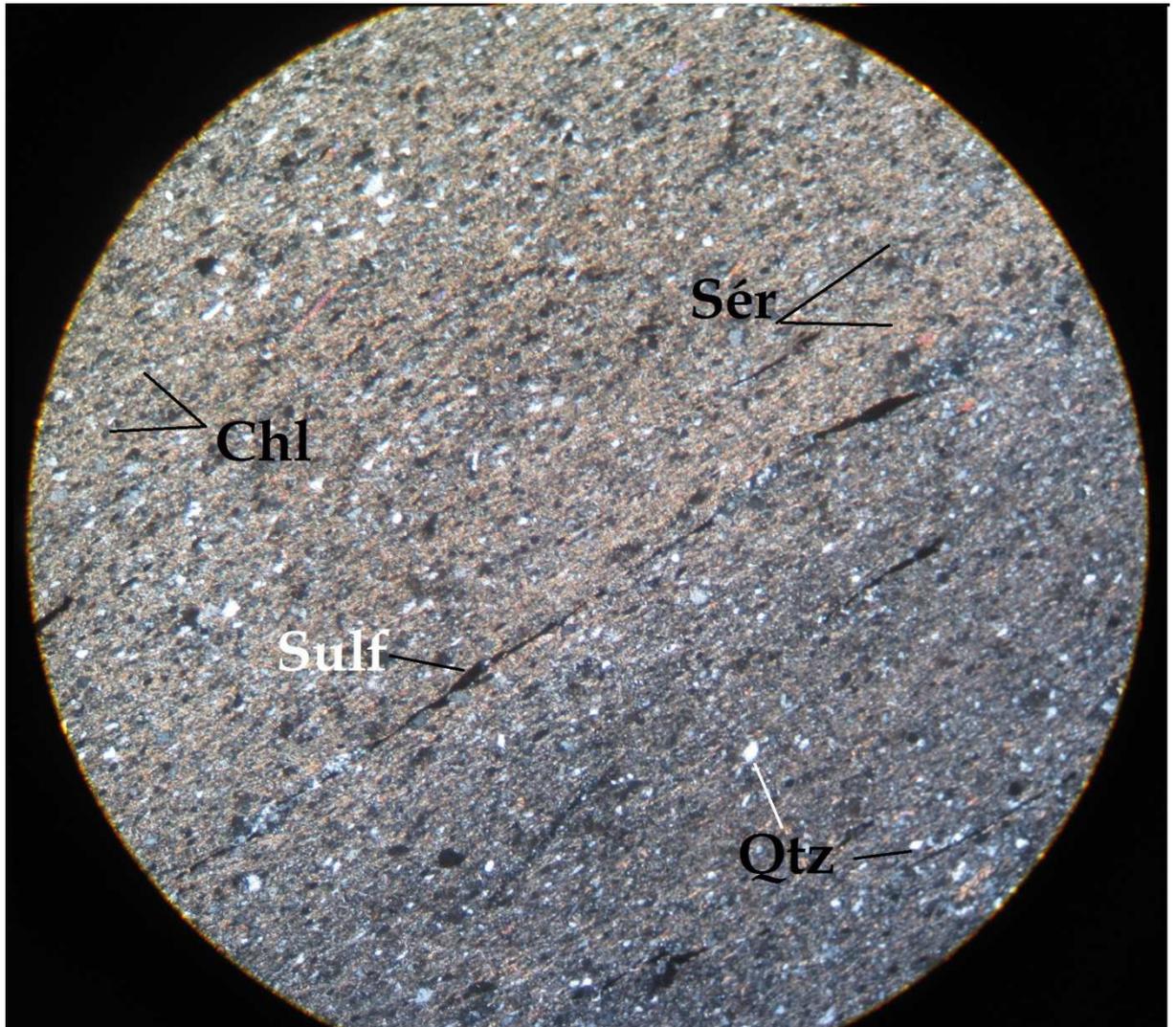


Figure 15: Photo microscopique des pélites carbonatées à quartz, Chlorite, séricite
'Qtz : quartz ; Sér : séricite ; Chl : Chlorite ; Sulf :sulfures' « Gr*400 ».

Microscopiquement, ces pélites montrent un aspect lité, elles sont constituées essentiellement par des lits sombres formés par la chlorite et la séricite, et des lits claires représentées par le quartz, les lits sont généralement orientés selon la schistosité (S1) (figure15).

On note aussi la présence des sulfures étirés dominées par la pyrrhotite, la pyrite et la chalcopryrite.

2 -3 formation médiane

L'unité médiane : qui correspond à l'horizon minéralisée, formée par la lentille sulfurée, est encadrée par l'unité volcanique et volcano-sédimentaire de base (figure10), et l'unité sédimentaire constituée essentiellement de pélites carbonatées du toit (figure14).

C'est une lentille formée principalement de pyrrhotite, avec des traces de pyrite et dissémination de chalcopyrite.

❖ *Morphologie du gisement*

La lentille du Bloc Central présente une méga lentille avec une extension de 455m, et une direction moyenne N-S. et se limite à 700m au Nord du puits2. La puissance minéralisée est assez mince par rapport au bloc Sud elle peut atteindre jusqu'à 8m, prouvée par le sondage DF173, avec un plongement de 75° vers l'Est, la minéralisation est encaissée entre les pélites carbonatées du toit et les tufs (série du mur) (figures : 7,8,9) .

C'est une minéralisation de type VMS dont sa mise en place est contrôlée par une tectonique synsédimentaire.

La lentille minéralisée au bloc Central est reconnue par certains travaux miniers au N-110, N-150, N-400, N-640 et par sondages carottés jusqu'au niveau 1000.

❖ *Minéralisation*

L'amas sulfuré de Draa Sfar présente une minéralogie essentiellement à pyrrhotite, Sphalérite, Galène, chalcopyrite, arsénopyrite, pyrite, cette minéralisation est encadrée par une série volcano-sédimentaire à la base. Et une série détritique carbonatée au sommet; le corps découpé en trois blocs (bloc Sud, bloc Central et bloc Nord) est constitué par plusieurs amas aplatis renversés et verticalités avec un pendage vers l'Est. (belkbir 2007)

Dans le bloc central L'étude des sondages : DF193 et DF173 nous a permis de distinguer deux types de minéralisation :

- La minéralisation massive : constituée principalement de pyrrhotite et qui représente le corps minéralisé.



Photo 5 : La minéralisation massive «sondage DF173 ».

- La minéralisation sub massive à disséminée : qui présente en plus des sulfures un pourcentage variable des fragments de roches encaissantes ; les sulfures sont plus abondants que les fragments des roches encaissantes.



Photo 6: La minéralisation sub massive « sondage DF173 ».

L'étude métallographique menée sur les sections polies à partir des sondages carottés DF173 et DF 193 a permis de distinguer les minéraux majeurs suivants :

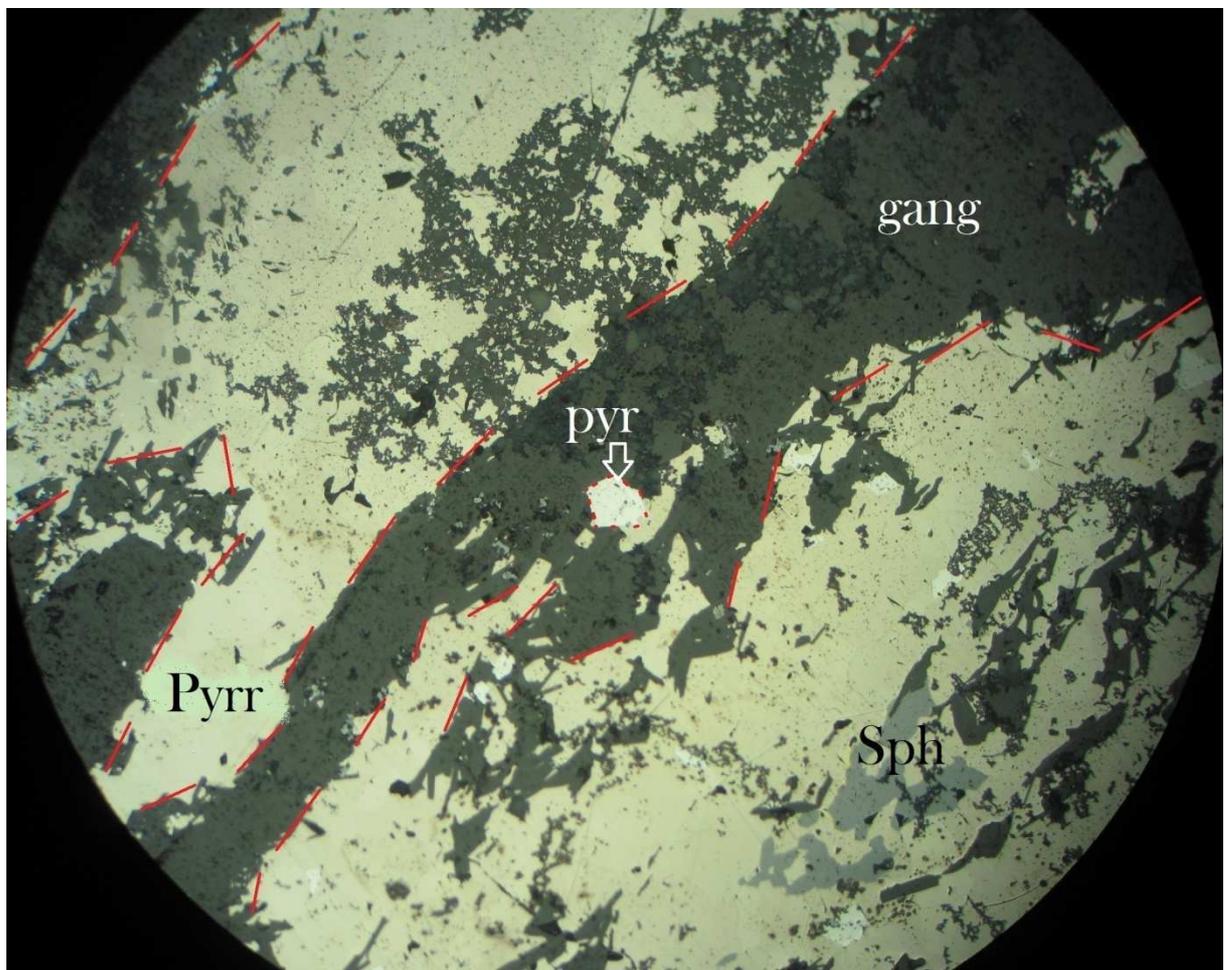


Figure 16 : Aspect microscopique d'une minéralisation à texture sub massive
« pyr: pyrrhotite. Sph: sphalerite. Pyr: pyrite » "Gr*100".

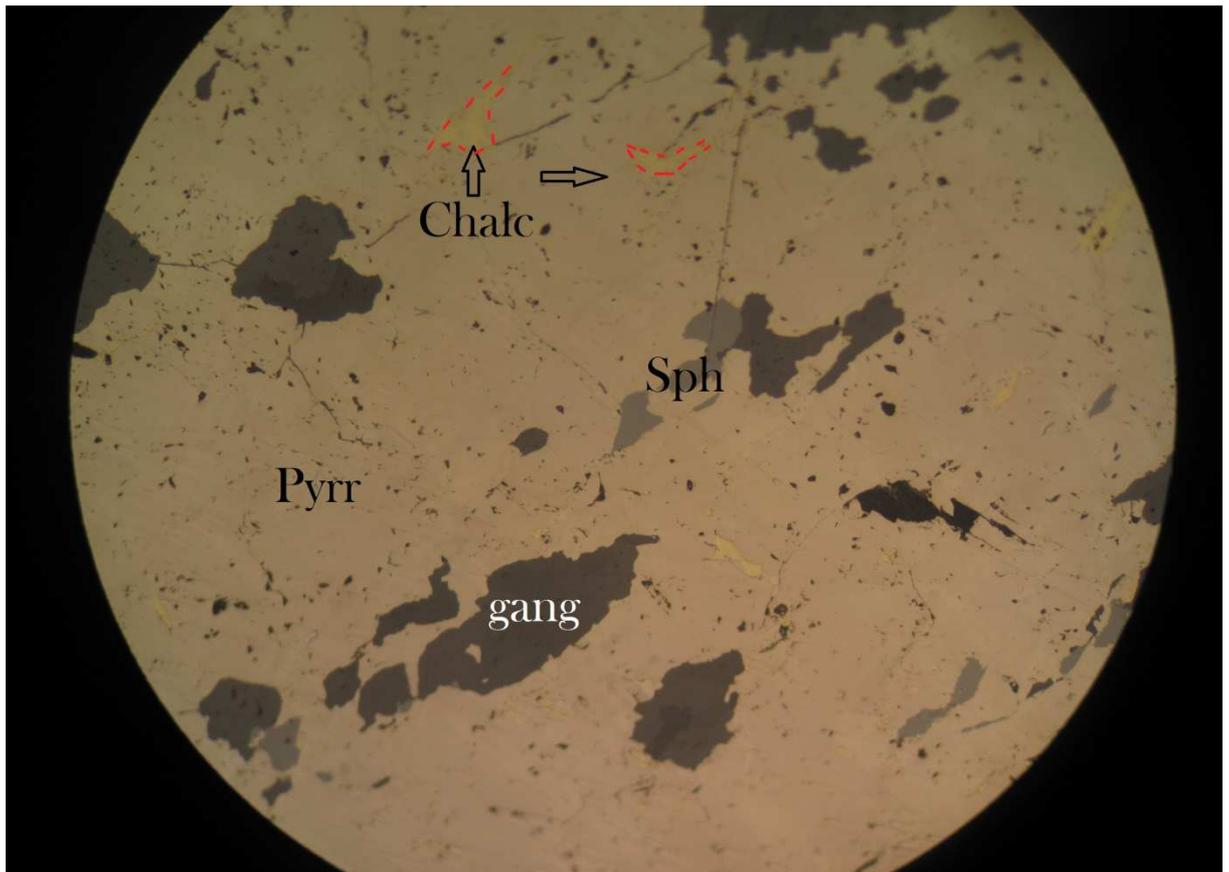


Figure 17 : Aspect microscopique d'une minéralisation massive
« Pyrr :pyrrhotite. Chalc: chalcopyrite. Sph : Sphalerite »"Gr*100".

- **Pyrrhotite** : est un minéral avec des couleurs passant du crème brunâtre clair au brun nettement rosé-clair, il représente la phase la plus dominante dans la minéralisation. Les cristaux sont orientés selon la schistosité S1.
- **Sphalérite** : la 2ème phase après la pyrrhotite avec une couleur grisâtre, sous forme de petites plages.
- **Galène** : c'est la 3ème phase après la sphalérite, il apparaît généralement sous forme d'inclusions dans les autres phases.
- **Pyrite** : est un minéral rarement rencontrée dans notre section polie, de couleur blanc avec une nuance jaune bien visible
- **Chalcopyrite** : moins représentée dans le minerai, caractérisé par sa couleur jaunâtre bien visible, elle est présente en dissémination au sein de la pyrrhotite et par fois dans la pyrite.
- **Arsénopyrite** : c'est la dernière phase rencontrée, caractérisée par des cristaux automorphes avec une couleur blanc largement nuancé d'un point de jaune.

Conclusion de l'étude métallographique

L'étude métallographique des sections polies prises dans l'unité médiane qui correspond au sondage DF173 (figures 16, 17) a montré que la lentille sulfurée qui correspond à l'horizon minéralisée se compose de :

- La pyrrhotite : le sulfure de fer qui représente la phase la plus dominante dans la minéralisation au niveau du bloc Central.
- La sphalérite : le sulfure de Zn, c'est la 2ème phase après la pyrrhotite, il est souvent associé avec la pyrrhotite. C'est le minéral le plus exploité.
- La galène : le sulfure de Pb, c'est le 2ème élément important pour l'exploitation de la minéralisation de Draa Sfar Sud après le Zn (extrait dans la sphalérite).

	Phase précoce	Phase tardive
Pyrrhotite	████████████████████	
Sphalérite	████████████████	
Galène	████████████████	
Arséno pyrite	────────────────	
Chalcopyrite	────────────────	
pyrite		────────────────

Tableau 2 : Succession paragenétique relevée au bloc central.

III- tectonique

1-A l'échelle de Jbilet

Dans le massif des Jebilet, et particulièrement sa partie centrale, les études structurales entreprises visaient surtout la caractérisation des relations entre le magmatisme acide basique et la déformation syn-schisteuse. En effet, pour certains auteurs, ces corps magmatiques sont anté-tectoniques (Huvelin, 1977 ; Aarab, 1984, 1995 ; Bordonaro, 1983 ; Jadid, 1989).

Ce pendant, d'autres plaident beaucoup plus en faveur d'une mise en place dans un contexte compressif (Amdou, 1986 ; Saber, 1986, Ait Taher, 1987 ; Essaifi, 1987, 1989). Ils insistent sur le caractère syn-tectonique, contemporain de la déformation hercynienne syn-schisteuse et de la mise en place des plutons granodioritiques calco-alcalins, (sécants sur le plan de stratification, l'évolution des structures et des microstructures et la quantification de la déformation finie montre l'existence d'un gradient de déformation à l'approche de ces corps intrusifs, d'où on néglige l'hypothèse anté-tectoniques. (Essaifi et Lagarde, 1990 ; Essaifi, 1995).

Ainsi la présence de trois phases

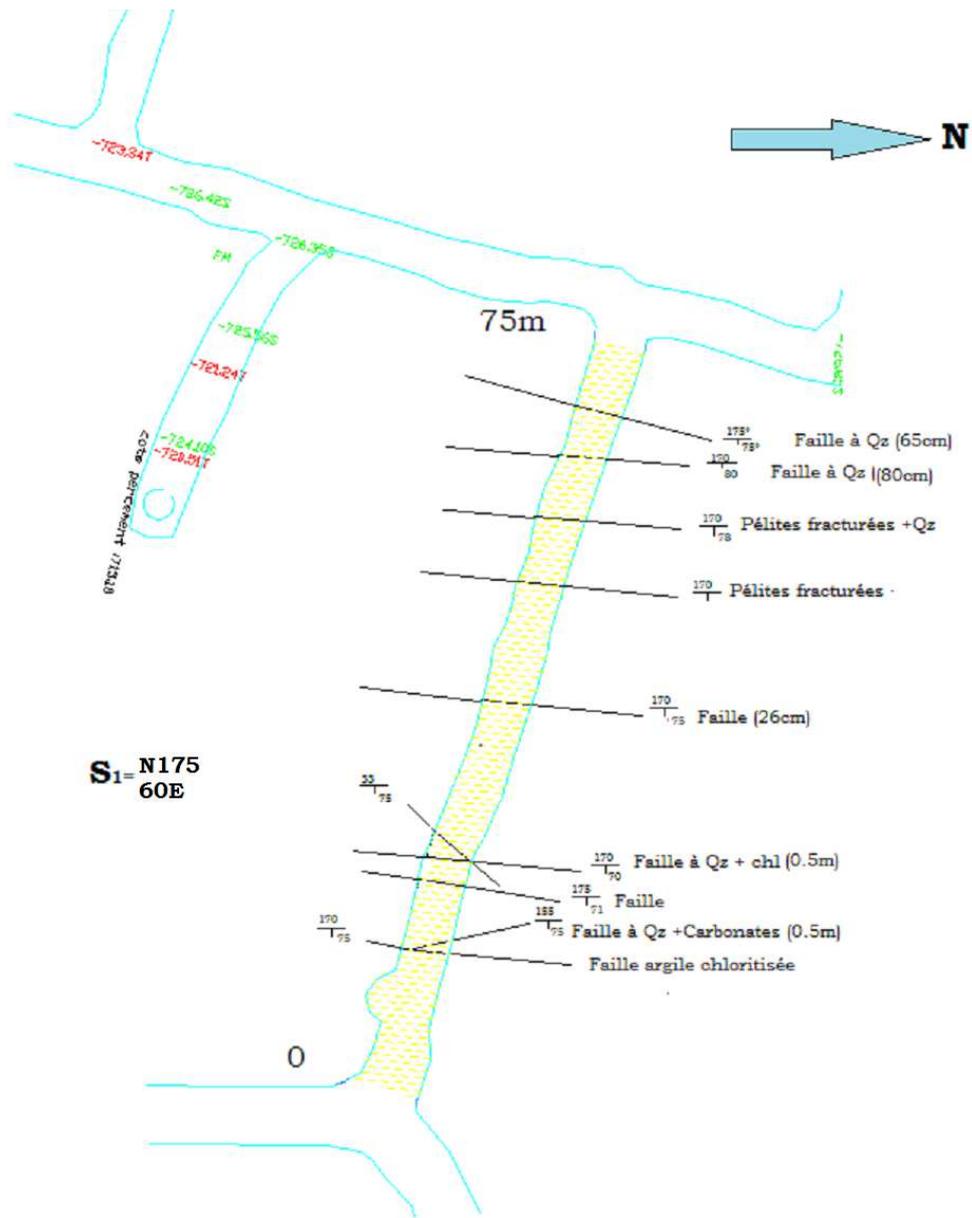
- Une phase majeure synschisteuse (D1) post Viséenne (Namurien à Westphalien inférieur) (Huvelin, 1977 ; Michard et Piqué, 1979) liée à un fort serrage E-W, caractérisée par la transposition de la stratification (S0) dans la schistosité régionale (S1). Cette phase est contemporaine d'un métamorphisme régional qui affecte l'ensemble de la région et qui se déroule en climat épizonal. Cette phase s'achève par la mise en place de plusieurs plutons granitiques (Rosé, 1987).
- Une deuxième phase, de faible intensité, non pénétrative (D2), se manifeste par le microplissement de S1 avec une S2 de crénulation. Cette phase ne semble pas être accompagnée de recristallisation importante.
- Une troisième phase tardive, cassante, affecte enfin l'ensemble des formations et qui se traduit par un système de failles conjuguées compatible avec un raccourcissement global subméridien.

2-A l'échelle de Draa Sfar central

Les travaux réalisés dans la partie aval de Draa Sfar central, permis de distinguer plusieurs structures tectoniques caractérisées principalement par des plans à schistosité (S1) des plis et des cisaillements Nord-Sud, dextres et senestres.

2-1 La déformation synschisteuse hercynienne majeure D1

Cette phase à caractère synschisteux (S1) est caractérisée principalement par des plans à schistosité (S1) des plis et des cisaillements Nord-Sud, dextres et senestres.



Levé d'une partie du N726 TB

Légende:



Figure 18: Levé d'une partie du niveau 726

NB : les deux blocs Sud et Central de Draa Sfar s'intègrent au même régime tectonique. L'activité minière n'est pas aussi bien développée dans Draa Sfar central que dans Draa Sfar Sud pour cette raison, nous avons effectué un levé au niveau 726 du Bloc sud (figure18).

❖ Les failles

Ce sont des discontinuités d'ouverture et de remplissage différentes. Ce sont des failles orientées (N170°E à NS) avec un pendage de 70° à 8°E. Le remplissage est différent selon le faciès intercepté, il est soit à quartz, soit à chlorite, parfois à sulfures remobilisés surtout dans le côté Ouest (figure19).



Figure 19 : Photo montrant une faille a remplissage argile chloritisée N170 75 (Niveau 640)

❖ La schistosité S1

Elle est très visible au niveau des galeries souterraines de la mine et elle affecte toute la série de Draa Sfar surtout les formations pélitiques « figure14 » Les mesures sur le terrain de cette schistosité (S1), donnent des directions variant entre N175° E et N10° E et un fort pendage (70° à 80°) vers l'Est. « Figure 20 », selon les études antérieures il y'a transposition de la stratification par S1.



Figure 20: Photo montrant le plan de schistosité S1 dans les pélites gréseuses « niveau 726 ».

❖ **Plissement P1**

Dans Draa Sfar central on remarque la présence de plissement centimétrique, métriques à décamétriques. « Figure 21 » issus de la déformation ductile synchronisée à l'orogénèse hercynienne 'compression E-W' ce sont des plis à axe orienté N-S.



Figure 21 : Photo montrant des plis centimétriques à carbonates dans les pélites du toit « Niveau 640 ».

❖ **Zone de cisaillement ductile « shear zone » C1**

Grâce aux virgations des plans de la schistosité S1, des zones de cisaillement sont bien visibles dans les pélites. Dans la masse minéralisée, le contact entre l'amas massif et l'encaissant du toit est un cisaillement senestre qui se traduit par la virgation des plans de schistosité et de rubanement (Ben Aissi, 2008). « Figure 22 »

Ainsi on a des fentes centimétrique à métrique remplies de quartz et de carbonates. « figure 23 »

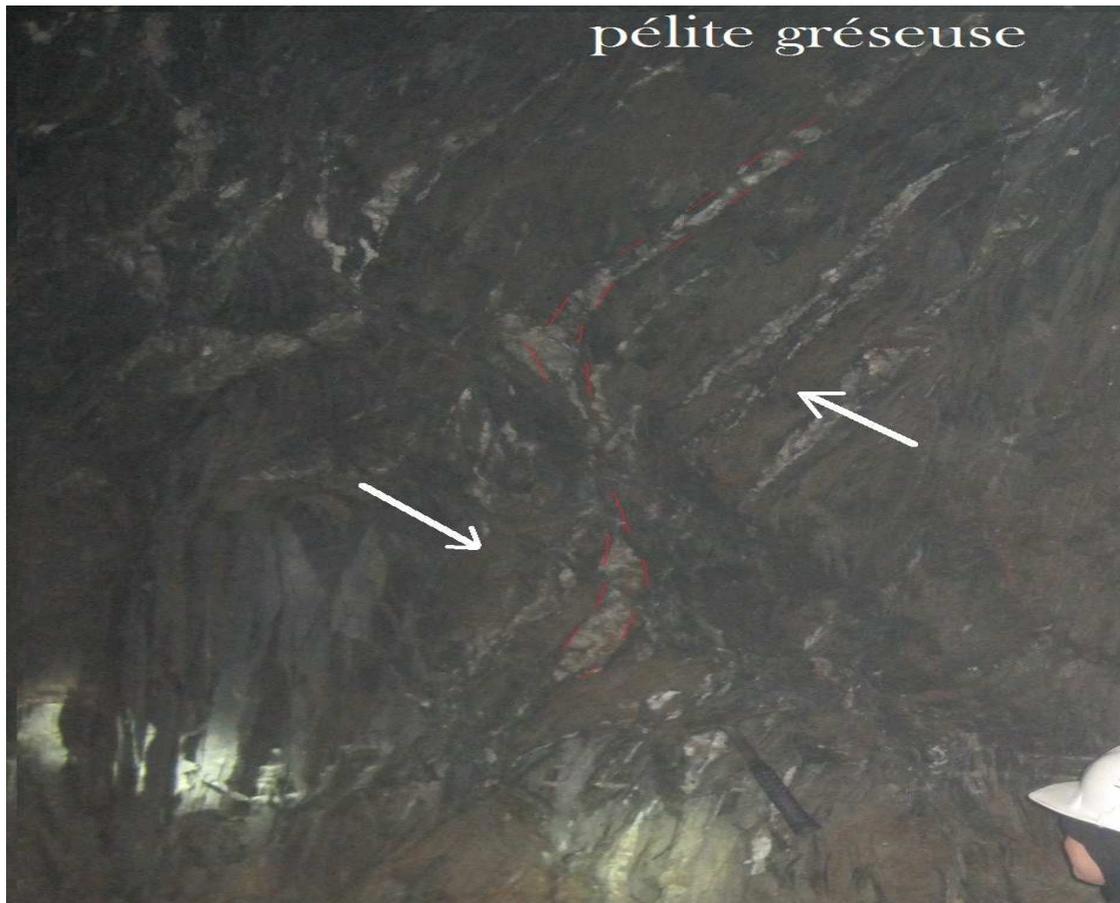


Figure 22 : Photo montrant un cisaillement senestre dans les pélites gréseuses (Niveau 640).



Figure 23 : Photo des fentes métrique à carbonates dans les pélites du toit (Niveau 640)

2-2 La déformation hercynienne tardive D₂ :

Cette phase est marquée par le développement d'une schistosité S₂ et un plissement P₂ ainsi que des cisaillements C₂ et des fentes (OUTIGUA 2012)

❖ La schistosité S₂

La série de Draa Sfar est affectée du Sud au Nord par une schistosité S₂, perpendiculaire à la S₁. Elle est de direction variable, allant de N85 à N120 avec un pendage fort vers le Sud. Elle est de fracture au niveau des roches compétentes (Rhyolites, tufs) et de crénulation au niveau des pélites.

❖ Le plissement P₂

En plus de la schistosité S₂, La déformation D₂ a développée un plissement bien net au niveau des pélites. Les plis sont d'échelle centimétrique et replissent les plans de la S₁.

❖ Le cisaillement C₂

De direction variable entre N70 à N90, à jeu décrochant dextre, ils décalent les cisaillements C₁. Ces cisaillements développent des fentes d'ordre secondaire à remplissage de quartz.

2-3 La déformation cassante tardi-hercynienne

Cette déformation paraît homogène au niveau de la série de Draa Sfar. Le suivi de certaines failles au niveau de la galerie de recherche (640), a montré leur continuité du bloc Sud vers le bloc Central. Au bloc Sud quatre familles de failles peuvent être distinguées (Outigua 2012)

- a) Des failles de direction N95 à N100, avec un jeu décrochant à rejet métrique senestre, parfois dextre. Elles s'observent bien au niveau de la minéralisation où elles sont accompagnées d'un remplissage de sulfures remobilisés.
- b) Deux familles de failles conjuguées de direction N35 à N45 et de pendage 80°E et de direction N50 à N60 avec un pendage de 70°W; les plans subverticaux enregistrent deux familles de tectoglyphes (stries et gradins d'arrachement)..
- c) Des failles N10 à N20 et de pendage 70°W subparallèles à la direction des zones de cisaillement C₁. Les plans sont verticaux et présentent des stries bien visibles, qui témoignent d'un jeu normal. Elles sont parfois associées à des fentes rectilignes, remplies de quartz.
- d) Des failles de direction N140 à N155 et de pendage 80°NE ; elles ont un jeu inverse et tardives par rapport aux failles précédentes

Conclusion

La série de Draa Sfar a subi un ensemble de déformations, résumées en trois phases de différentes intensités, dont chacune a des empreintes remarquables. Le stade DI compressive (la schistosité S1, le plissement et le boudinage), le stade DII (la schistosité S2) et le stade DIII cassant (les failles NNW). Cette succession de stades de déformation masquent les traces génétiques de la mise en place de la minéralisation et celle du bassin de Draa Sfar. Toutes ces phases ont affecté la minéralisation, ce qui confirme l'antériorité de sa mise en place par rapport aux phases suscitées. La forme géométrique actuelle de la minéralisation de Draa Sfar est héritée de la morphologie initiale du bassin, et aussi par le résultat des phases de déformations successives. Cette reconstitution structurale est compatible avec celle proposée par Belkabir et al. (2007), et qui répond aux observations que nous avons répertoriées à travers les phases de déformation décrites.

III/Altération

Introduction

L'étude des altérations dues à l'intense circulation de fluides hydrothermaux, dans les endroits immédiats de la lentille sulfurée, a permis de caractériser le mur et le toit de la minéralisation massive volcano-gène.

Nous avons effectué un échantillonnage sur des sondages carottés réalisés du côté l'Ouest vers Est traversant les faciès de la série de base et l'horizon minéralisé, du bloc central, de Draa Sfar.

Les signatures d'altérations hydrothermales varient d'un contexte géologique à l'autre, alors que dans les deux sondages qu'on a étudiés on remarque :

- Le mur est surtout caractérisé par la chloritisation et la silicification qui deviennent de plus en plus intense en s'approchant de la minéralisation
- Le toit de la lentille minéralisée est caractérisé principalement par la chloritisation et le développement de la séricite (Belkabir et al).

1- Séricitisation

La séricitisation: la séricite se présente dans toute la série de Draa Sfar Central, elle représente la phase d'altération la plus importante. Elle est dominante au niveau du mur (figure10) de la minéralisation et généralement associée aux pélites gréseuses, et devient de moins en moins importante vers la minéralisation.

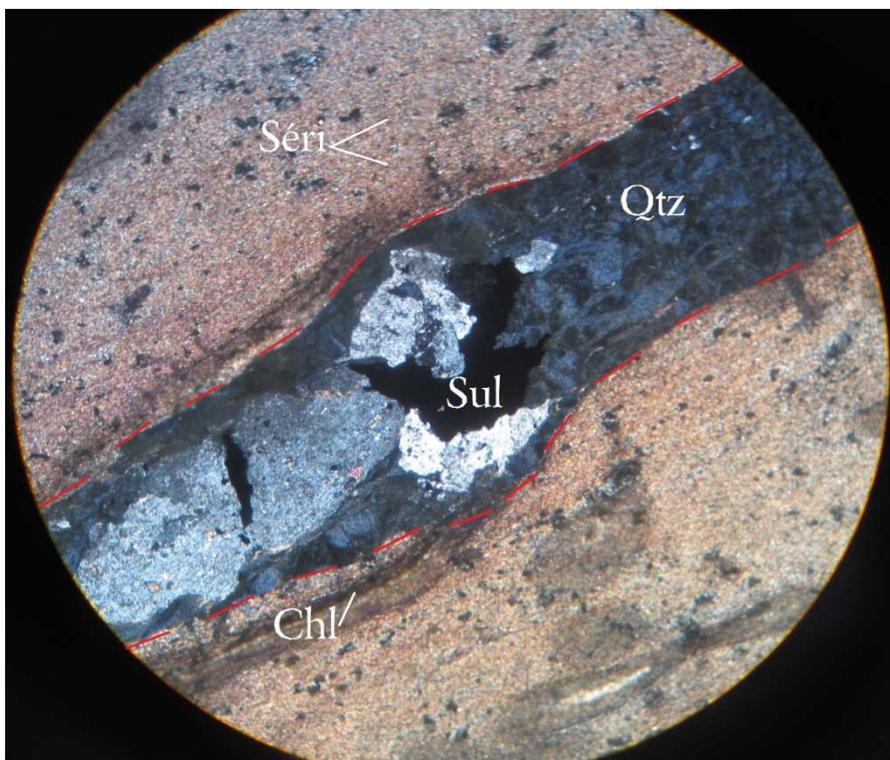


Figure 24: Photo microscopique montrant l'abondance de la séricite dans les pélites gréseuses DF193

(chl:chlorite ; sul:sulfure ;Qtz : quartz; séri: séricite) "Gr 100"

2-Chloritisation

La chlorite est le minéral le plus abondant dans toute la série, au niveau du toit et le mur de la minéralisation, et il devient très intense en s'approchant de la lentille minéralisée. La gangue de la minéralisation est aussi très chloritisée.

La chloritisation se présente avec des teintes brune-sombre en lumière naturelle disposées parallèlement à la schistosité (S1)



Photo 7 : Photo montrant une faille à remplissage de chlorite DF193

3- Carbonatation

La carbonatation est l'altération la plus fréquente dans les gisements hydrothermaux de type VMS, c'est la phase d'altération hydrothermale la plus tardive.

Les carbonates se présentent sous forme de taches dans les pélites carbonatées et sous forme de plages dans la minéralisation « figure 25 ».

Les carbonates sont développés dans la minéralisation et principalement dans les pélites du toit.

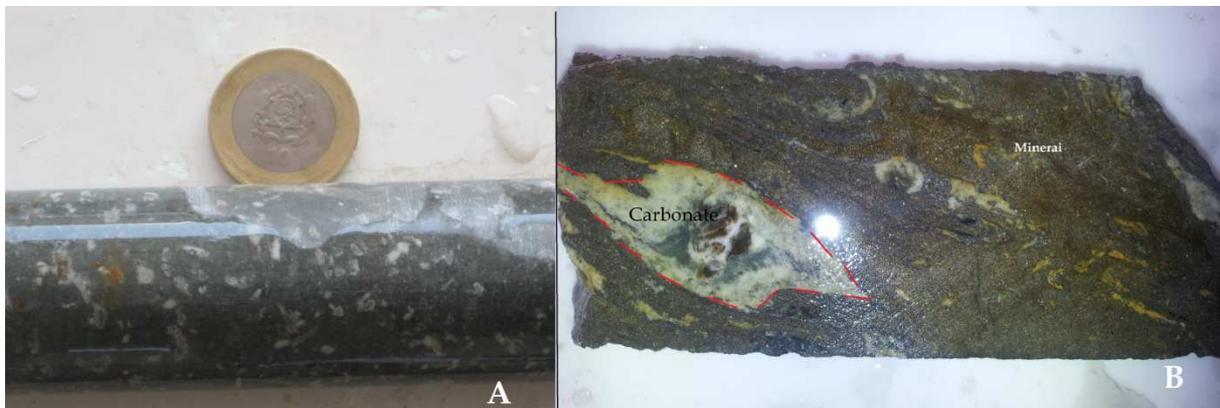


Figure 25 :A : Photo montrant des taches de carbonate dans les pélites noires DF193; B : photo de carbonates au sein de la minéralisation ;

4- Silicification

La silicification marque toutes les phases de l'altération hydrothermale et se développe sur l'ensemble des faciès du mur et du toit de l'amas sulfuré.

La silice se présente sous forme de cristaux de quartz avec des tailles variables en traversant toute la série, Dans les veines hydrothermales traversant les faciès, le quartz remplit les fractures aussi bien dans la série du mur que celle du toit.

L'abondance des veines remplies de quartz associé au chlorite (photo8), augmente en s'approchant de la minéralisation



Photo 8: Photo d'une faille a remplissage de quartz dans les pélites gréseuses DF193

IV/ La géochimie

Pour caractériser chimiquement les altérations hydrothermales associées à la minéralisation du Draa Sfar central, on a analysé les différents faciès le long des sondages DF 173 et DF 193, qui ont été réalisés à partir du niveau 640, d'une façon à recouper toute la série.

Les analyses chimiques des éléments majeurs ont été faites selon le changement de faciès dans les deux sondages DF173 et DF 193 passant par la série du mur, la minéralisation et la série du toit, au centre de recherche de REMINEX.

1- Les signatures hydrothermales de la série de Draa Sfar central

Cette identification est basée sur le calcul des indices d'altération

- ISER : Indice de séricite $(K_2O/K_2O+Na_2O)*100$
- ICHLO : Indice de chlorite $100 * MgO+Fe_2O_3 / (MgO+Fe_2O_3+2CaO+2Na_2O)$
- AI : Indice de d'Ishikawa $(MgO+K_2O / K_2O+Na_2O+ MgO+CaO) *100$

Avec $AI > 45\%$ = les faciès les plus altérés

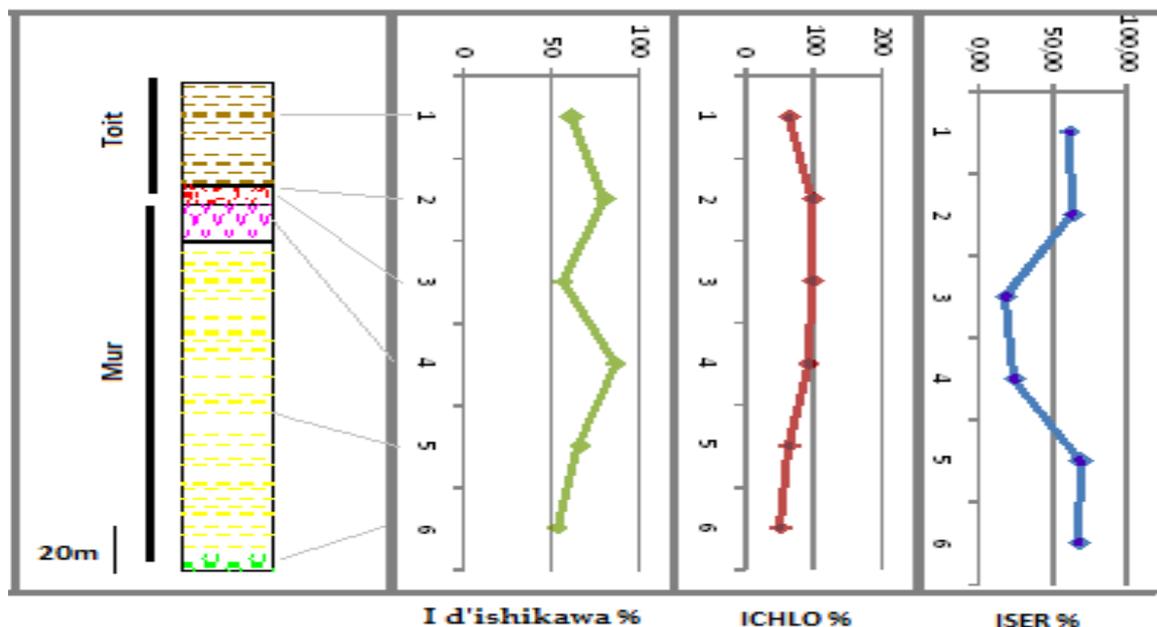


Figure 26: Profils illustrant la variation des indices d'altération en fonction de la profondeur

- **ISER** : c'est l'indice qui traduit l'abondance de la séricite.
Les pélites noires du toit ont un indice de séricitisation inférieur à celui de la chloritisation, contrairement aux pélites du mur qui représentent des pourcentages supérieures à la chloritisation.

On note que la séricite présente des valeurs minimales au sein de la minéralisation, et des valeurs plus importantes au niveau du mur. Ce résultat est compatible avec les données de l'étude pétrographique.

- **ICHLO** : c'est l'indice qui traduit l'abondance du chlorite, il représente des valeurs maximales atteignant jusqu'à 97% au sein de la minéralisation, et dans les pélites carbonatées.

On note que les rhyolites sont moins affectées par la chloritisation que la séricitisation.

- **AI** : c'est l'indice qui indique l'intensité de l'altération hydrothermale en fonction de la proximité de l'amas sulfuré, de la base vers le sommet de la série. L'indice AI représente des valeurs moins importantes au sein de la minéralisation qui correspond à la séricitisation, alors qu'on s'éloignant de la minéralisation les valeurs deviennent importantes dans la série volcano-sédimentaire du mur, comme le cas des tufs avec 87% qui représentent la chloritisation intense.

2- La variation géochimique

Les variations des concentrations en éléments majeurs dans la série de Draa Sfar central, sont expliquées par des enrichissements et des lessivages, causés par les circulations des fluides hydrothermaux.

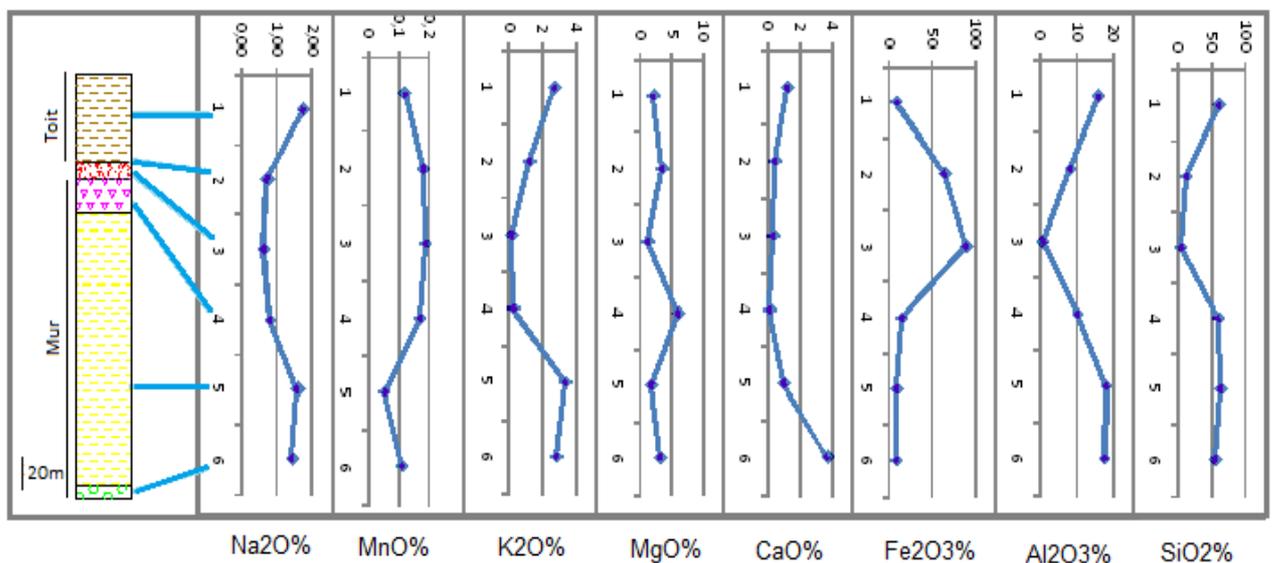


Figure 27 : Profils illustrant la variation des éléments majeurs en fonction de la profondeur.

- SiO_2 : représente des teneurs très élevées dans la série du toit (péllites noires) et la série de base (tufs, péllites gréseuses, rhyolites), et diminue en s'approchant de la minéralisation, ceci est bien marquée par la présence des cristaux de quartz aux lames minces.
- Fe_2O_3 présente des valeurs maximales au sein de la minéralisation, avec des teneurs assez faibles dans la série de mur (péllites gréseuses).
- MgO et CaO présentent des teneurs moins importantes dans la série de toit, avec une énorme richesse au niveau de la série de mur, cette variation est expliquée par le degré d'altération hydrothermale très intense au mur par rapport au toit de la lentille minéralisée.
- Na_2O : enregistre des teneurs faibles dans toute la série de Draa Sfar central, avec une légère baisse au niveau de la zone proximale de la minéralisation, cette variation peut être expliquée par un degré de lessivage très poussé.

3- Conclusion

L'altération issue de la circulation des fluides hydrothermaux au voisinage de l'amas sulfuré de Draa Sfar Central, est plus intense en s'approchant de la minéralisation.

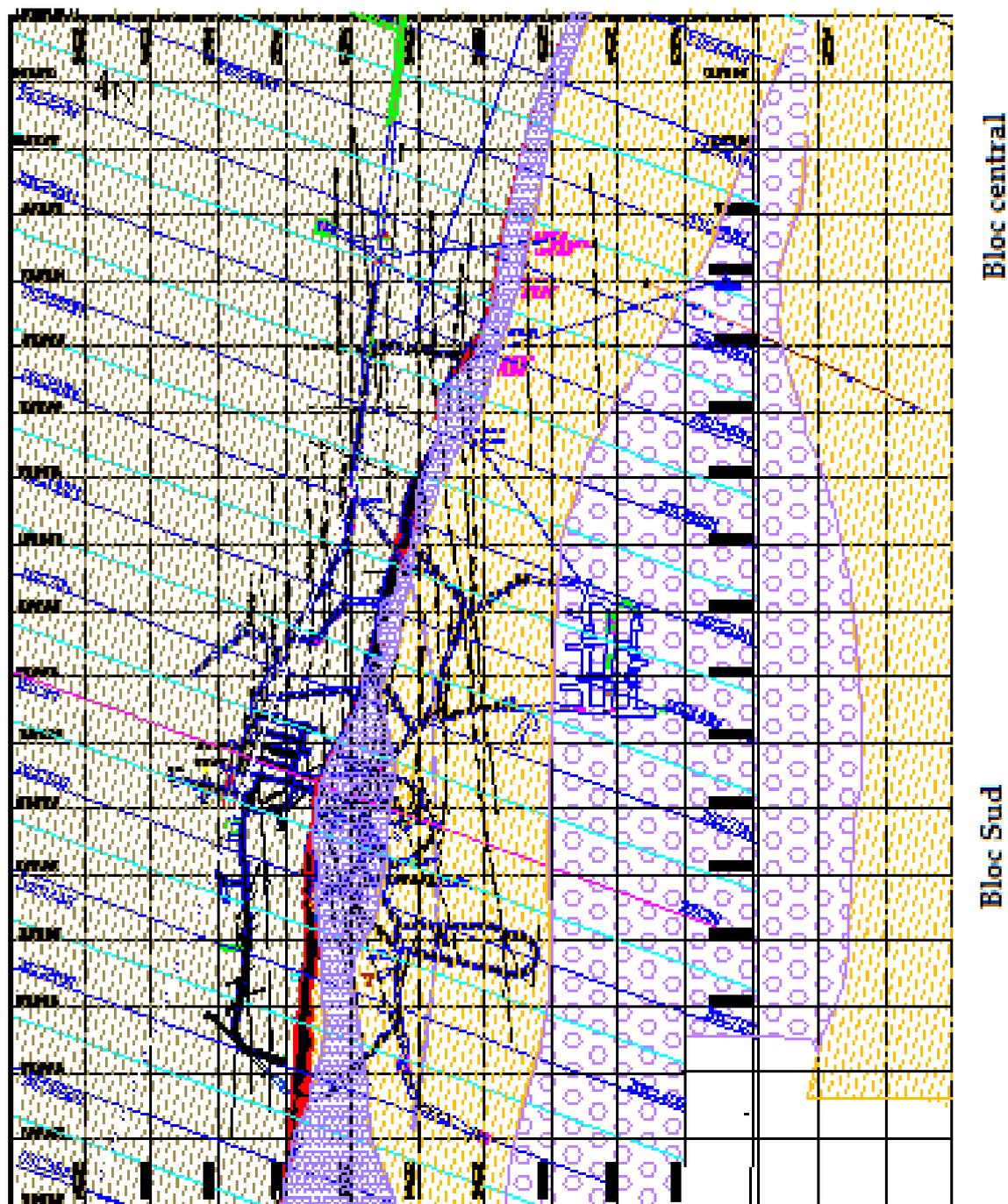
Cette altération est caractérisée par un enrichissement de certains éléments et un appauvrissement en d'autres éléments,

Parfois le lessivage d'un élément conduit à un enrichissement d'un autre.

Au mur de la lentille minéralisée, les éléments majeurs se mobilisent en notant un enrichissement en MgO , CaO avec un appauvrissement en MnO , Fe_2O_3 et Na_2O

Au toit de la lentille on a généralement un enrichissement en K_2O , par contre au niveau du mur on note un appauvrissement en K_2O et un gain en $\text{MgO-Fe}_2\text{O}_3$ qui indiquent une diminution de la séricite et une augmentation en chlorite.

Chapitre III : Comparaison du bloc central et bloc sud



Légende:

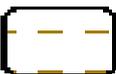
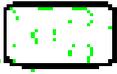
- | | | | | | |
|---|-------------------|---|-----------|--|-----|
|  | Pélites noires |  | Minerai |  | Tuf |
|  | Pélites gréseuses |  | Rhyolites | | |

Figure 28 : Vue en plan des deux blocs Sud et central de Draa Sfar

1- La série encaissante de la minéralisation

La série de base de la minéralisation de Draa Sfar centre est constituée d'une série essentiellement volcano-sédimentaire, qui présente la série du mur, composé de tufs, de péllites gréseuses et de termes volcaniques représentés par les rhyolites.

La série du toit est constituée essentiellement de péllites carbonatées.

Par l'observation de la (figure 28) qui représente les 2 blocs : (Draa Sfar central et Draa Sfar Sud), on peut constater que :

- Dans la série de mur, Les termes volcanique (Rhyolite) du bloc Sud, ont une continuité au niveau du bloc central avec une diminution appréciable d'épaisseur et une extension moins importante, comme le cas des tufs.
- La série de toit avec les péllites noirs de la minéralisation est identique pour les deux blocs.

2- la minéralisation

- Au niveau du bloc central la minéralisation est sous forme d'une lentille massive avec une puissance qui varie de 0m à 18m, composée de minéralisation disséminée constituée essentiellement de pyrrhotite, pyrite et de chalcopryrite.
- En remarque ainsi un amincissement de la lentille minéralisée au niveau de la structure minéralisée au bloc central par rapport au bloc Sud avec une épaisseur qui passe de 40m au Draa Sfar Sud à 18m Draa Sfar Central.

3- L'altération hydrothermale

L'étude de l'altération au bloc central via les deux sondages DF193 et DF173 montre que l'altération à Draa Sfar central ne présente pas de différence notable, allons du bloc sud au bloc central.

Ainsi l'ensemble de la série de Draa Sfar est caractérisée par une intense chloritisation à l'approche des lentilles minéralisées, spécialement la série de mur (les tufs, les péllites gréseuses et les rhyolites).

La séricitisation est intense dans la zone distale et dans la série du toit (les péllites noires).

La carbonatation est plus développée dans la minéralisation et dans la série du toit.

Conclusion général

L'étude lithologique du Bloc Central est faite à base de plusieurs sondages carottés, traçages et levés des galeries. Draa Sfar Central constitue la continuité vers le Nord de Draa Sfar Sud ainsi on a une variation lithologique et morphologique de la lentille sulfurée.

Au niveau de Draa Sfar Central, les sondages DF173 (figure14) et DF 193(figure10) effectués, montrent que la série est complète et comprend des termes volcaniques à la base 'Rhyolites' surmontés par des termes volcano-sédimentaires 'tufs et pélites gréseuses', et des pélites carbonatées qui surmontent la lentille minéralisée en contact normal avec un pendage vers l'Est.

Formation de mur

- Rhyolites : ce sont Des roches acides massives de couleur grisâtre, très compétentes, peu affecter par la schistosité (sauf des diaclases sont présent) fracturés et chloritisées avec des veines de quartz. Les Rhyolites constituent la base de la série volcano-sédimentaire du Draa Sfar, elles sont limitées dans la partie Sud du bloc Central, ce ci est confirmé par le sondage DF 193, ce facies ne traverse pas la totalité du bloc central
- Pélites gréseuses : ce sont des pélites à niveaux gréseux de couleur verdâtre altérées chloritisées, très schistosées, elles sont largement représentées dans la série volcano-sédimentaire.
- Tufs : les tufs ont une couleur verdâtre, confondues souvent avec les pélites gréseuses, avec une texture grenue, ce facies est très chloritisé et séricitisé et se compose essentiellement de quartz, feldspath, avec des traces de pyrite, pyrrhotite, et chalcopyrite

Formation de toit

- Le toit de la minéralisation est constituée principalement par les pélites noires carbonatées (grâce à leur matrice riche en carbonates), ce facies présente un aspect lité, avec une intense séricitisation et peu de chloritisation, avec sa couleur caractéristique qui indique sa richesse en matière organique avec des filonnets de quartz et de carbonates. Il constitue la partie sommitale de la série de Draa Sfar, et repose, généralement, sur la minéralisation.

Sur le plan géologique, l'amas sulfuré de Draa Sfar est en concordance par rapport à l'encaissant. Il est sous forme d'une méga-lentille, avec une extension de 455m, et une direction moyenne N-S. et se limite à 700m au Nord du puits 2. La puissance minéralisée est assez mince par rapport au bloc Sud, elle peut atteindre jusqu'à 18m, prouvée par le sondage

DF173, avec un plongement de 75° vers l'Est, la minéralisation est encaissée entre les pélites carbonatées du toit et les tufs.

Les phases sulfurées qui la constituent sont dominées par la pyrrhotite, associée à la sphalérite, la galène, la chalcopryrite. La pyrite et l'arsénopyrite sont minoritaires. Cette minéralisation montre plusieurs textures (litées à massives, bréchiques, cisailées, filoniennes et disséminées). Comme son encaissant, elle est affectée par un ensemble de fractures marquant les traces de différentes phases majeures de déformations liées à l'orogénèse hercynienne.

Sur le plan structural, la série de Draa Sfar a subi un ensemble de déformations, résumées en trois phases de différentes intensités, dont chacune a des empreintes remarquables. Le stade D1 compressive (la schistosité S1, le plissement et le boudinage), le stade D2 (la schistosité S2) et le stade D3 cassant (les failles NNW). Cette succession de stades de déformation masque les traces génétiques de la mise en place de la minéralisation et celle du bassin de Draa Sfar. Toutes ces phases ont affecté la minéralisation, ce qui confirme l'antériorité de sa mise en place par rapport aux phases suscitées. Certes que la forme géométrique actuelle de la minéralisation de Draa Sfar est héritée de la morphologie initiale du bassin, et aussi le résultat des phases de déformations successives.

L'étude des altérations hydrothermales, dans les endroits immédiats de la lentille sulfurée, réalisée sur la base d'observations des échantillons prélevés dans deux sondages carottés au fond du grand aval Draa Sfar a permis de caractériser le mur et le toit de la minéralisation massives volcano-gènes.

Les signatures de l'altération hydrothermale varient d'un contexte géologique à l'autre, alors que dans les deux sondages qu'on a étudiés on remarque ;

- Au mur de la lentille minéralisée, les éléments majeurs se mobilisent en notant un enrichissement en MgO, CaO avec un appauvrissement en MnO, Fe₂O₃ et Na₂O
- Au toit de la lentille on a généralement un enrichissement en K₂O,

La mobilité des éléments majeurs, traduit une chloritisation au mur et une séricitisation au toit.

La comparaison entre les deux blocs Draa Sfar central et Draa Sfar sud a été faite en fonction de la série encaissante, la minéralisation et l'altération hydrothermale associée.

➤ La série encaissante de la minéralisation

- Dans la série de mur, les termes volcaniques (Rhyolite) du bloc Sud, ont une continuité avec le bloc central avec une diminution appréciable d'épaisseur et une extension moins importante, comme le cas des tufs.
- La série de toit avec les pélites noires de la minéralisation est identique pour les deux blocs.

➤ la minéralisation

- Au niveau du bloc central la minéralisation est sous forme d'une lentille massive avec une puissance qui varie de 0m à 18m, composée de minéralisation disséminée constituée essentiellement de pyrrhotite, pyrite et de chalcopyrite.
- En remarque ainsi un amincissement de la lentille minéralisée au niveau de la structure minéralisée du bloc central par rapport au bloc Sud avec une épaisseur qui passe de 40m au Draa Sfar Sud à 18m Draa Sfar Central.

➤ L'altération hydrothermale

L'étude de l'altération au bloc central via les deux sondages DF193 et DF173 montre que l'altération à Draa Sfar central ne présente pas de différence notable en allant du bloc sud au bloc central. Ainsi l'ensemble de la série de Draa Sfar est caractérisé par une intense chloritisation à l'approche des lentilles minéralisées, spécialement la série de mur. La séricitisation est intense dans la zone distale et dans la série de toit. La carbonatation est plus développée dans la minéralisation et dans la série de toit.

Liste des figures

Figure 1 : Les principaux traits structuraux du Maroc (Piqué et Michard, 1981)

Figure 2 :(a) Localisation du massif des Jebilet dans le cadre des affleurements paléozoïques d'Afrique du Nord (en gris) ; (b) Carte géologique générale des Jebilet et du massif de Guemassa montrant la localisation du gisement de Draa Sfar et des principaux gisements de sulfures massifs (Huvelin, 1977).

Figure 3 :carte géologique simplifiée des jilet(d'après huvelin,1977)

Figure 4 : Localisation des principaux gisements sulfurés de jilets centrales (Maiers 1984);

Figure 5 :Carte géologique simplifiée du domaine du Draa Sfar (Ben Aissi, 2008 document modifié de CMG/Draa Sfar) ;

Figure 6 : Coupe d'un amas sulfuré de type VMS (Jébrack et Marcoux, 2008)

Figure 7 : coupe géologique des sondages DF173,DF174 et DF193

Figure 8 : vue en plan des sondages DF173,DF193.

Figure 9 : Coupe géologique transversale intégrant les sondages DF173, FD193, DS103, DS143...

Figure 10: log synthétique du sondage DF193

Figure 11 : photo microscopique de Rhyolite avec des fractures a remplissage de quartz et feldspath

Figure 12: Photo microscopique des pélites gréseuses à alternance de lits de quartz et lits de séricite et chlorite, les lits de quartz sont boudinés et disloqués

Figure 13 : Photo microscopique des tufs à grains du quartz avec une matrice de chlorite, et un phénocrystal de feldspath poste tectonique

Figure 14: Log synthétique du sondage DF173

Figure 15: Photo microscopique des pélites carbonatées à quartz, Chlorite, séricite

Figure 16 : aspect microscopique d'une minéralisation a texture sub massive « pyrr: pyrrhotite. Sph: sphalerite. Pyr: pyrite »

Figure 17 : aspect microscopique d'une minéralisation massive « Pyrr :pyrrhotite. Chalc: chalcopyrite. Sph : Sphalerite »

Figure 18: levé d'une partie du niveau 726

Figure 19 : photo montrant une faille a remplissage argile chloritisée N170 75 (Niveau 640)

Figure 20: photo montrant le plan de schistosité S1 dans les pélites gréseuses « niveau 726 »

Figure 21 : photo montrant des plis centimétrique à carbonate dans les pélites du toit « Niveau 640 »

Figure 22 : photo montrant un cisaillement senestre dans les pélites gréseuses (Niveau 640).

Figure 23 : photo des fentes métrique a carbonate dans les pélites du toit (Niveau 640)

Figure 24: Photo microscopique montrant l'abondance de la séricite dans les pélites gréseuses DF193

(chl:chlorite ; sul:sulfure ;Qtz : quartz; séri: séricite)

Figure 25 : A : photo montrant des taches de carbonate dans les pélites noires DF193; B : photo de carbonates au sein de la minéralisation

Figure 26: profils illustrant la variation des indices d'altération en fonction de la profondeur

Figure 27 : profils illustrant la variation des éléments majeurs en fonction de la profondeur

Figure 28 : vue en plan des deux blocs Sud et central de Draa Sfar

Liste des photos

Photo 1: Rhyolite « sondage DF193 »

Photo 2 : pélites gréseuses « sondage DF193 »

Photo 3 : tufs « sondages DF193 »

Photo 4: pélites noires a carbonates « sondages DF173 »

Photo 5 : la minéralisation massive «sondage DF173 »

Photo 6: la minéralisation sub massive « sondage DF173 »

Photo 7 : photo montrant une faille a remplissage de chlorite DF193

Photo 8: photo d'une faille a remplissage de quartz dans les pélites gréseuses DF193

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des différents sondages carottés étudiés

Tableau 2 : succession para-génétique relevée au bloc central.

Références bibliographique

- Aarab, E. M. (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.
- Aarab, E. M. (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
- B. Dubé, et al.,** Gold rich volcanogenic massive sulphide deposits FSSM / Géosciences appliquées aux ressources minérales et énergétiques GARM / 2011/2012
- B. Dubé, P. Mercier-Langevin,** the LaRonde Penna World-Class Au-Rich Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Abitibi, Québec: Mineralogy and Geochemistry of Alteration and Implications for Genesis and Exploration, ©2007 Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 102, pp. 633–666.
- Beaudoin, G.** Manuel de cours géologie 2006
- Belkabir et al., 2008.** Geology and Wall–Rock Alteration at the Hercynien Draa Sfar Zn–Pb–Cu Deposit, Morocco, *Ore Geology Reviews* 33 (2008), pp. 280–306.
- Ben Aissi, L. (2001).** Gisement de Draa Sfar: Etude géologique et métallogénique des minéralisations et des altérations hydrothermales associées, Jebilet centrales, Maroc. Thèse 3ème cycle, Université Cadi Ayyad Marrakech, 82 pp.
- Bordonaro, M. (1983).** Tectonique et pétrographie du district à pyrrhotite de Kettara (Paléozoïque des Jebilet, Maroc). Thèse de 3èmes cycles, Université. Strasbourg, 132 pp.
- Boukerrou,** Contribution à l'étude géologique géologique des amas sulfurés polymétalliques hercyniens : Exemple du grand aval Draa Sfar (Jebilet centrales, Maroc hercynien) (2009); 123p
- Ch. HOEPFFNER,** 1ère partie de cours de Géologie du Maroc Le domaine saharien (Sahara et An ti-Atlas) Le domaine mésétien (Meseta)
- El Hassani, A.** Bull. Insl. Sci., Rabat, 1994, N° 18, pp. 107-124, Tectonique de la Meseta nord occidentale. *Virginie Harcouet : Modélisations thermiques de gisements orogéniques mesothermaux : Application au Ghana* pp 38 ,39.
- El Hassani, A.** Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 1982, no 6, p. 1 à 43.
- Essaifi (1995) ; Capdevila R.** Relations entre magmatisme-déformation et altération hydrothermale: l'Exemple des Jebilet centrales (Hercynien, Maroc);
- 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.
- Estudios Geológicos,** Vol 64, No 2 (2008) doi:10.3989/egeol.08642.020.
- Galley et al., 2007,** Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow W.D.,eds. *Mineral deposits of Canada*, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, No 5, p. 141-161.
- Géologie géophysique et perspectives de développement (Massif hercynien des Jebilet centrales, Maroc) . Thèse de doct. D'Etat. Univ. Marrakech. 343p ©2012

- Hibti, M. (2001).** Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilet (Meseta Sud-Occidentale, Maroc) : Témoins de l'hydrothermalisme précoce dans le bassin mésétien. Thèse de Docteur d'Etat Es-Sciences. Université. Cadi Ayyad. Marrakech, 296 pp.
- Huvelin, P. (1961).** Sur l'âge Viséen Supérieur des Schistes de Kettara et de Djebel Sarhlef (Jebilet Centrales, Maroc). C. R. Sommaire Soc. Géol. France, 10: 290-291.
- Huvelin, P. (1977).** Etude géologique et gîtologique du massif hercynien des Jebilet (Maroc occidental). Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc, 232 bis.
- Ilboudo, H. & Wenmenga, U.** Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 2009, n° 31, 9-20. Note préliminaire sur un indice de minéralisations sulfurées associées aux formations leptynitiques du centre-Est du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest).
- Izart, et al.** Stratigraphie séquentielle du Carbonifère inférieur du Haut Atlas central et des Jebilet (Maroc): un exemple de bassins à turbidites contrôlés par la tectonique
- Kharbouch, F. (1982).** Pétrographie et géochimie des laves dinantiennes de la meseta nord-occidental et oriental marocaine, thèse du 3^{ème} cycle .Univ. Louis Pasteur .Strasbourg .p140
- L. Ben Aissi*, A. El Boukhari*, M. Hibti**, M. Elharfi***, L. Maacha***, Y. Zinbi (2005).** Altération hydrothermale et déformation ductile des
- L. Ben Aissi, (2008)** Contribution à l'étude gîtologique des amas sulfurés polymétalliques de Draa Sfar et de Koudiat Aïcha : comparaison avec les gisements de Ben Slimane et de Kettara (Jebilet centrales, Maroc hercynien) Thèse de Docteur Présentée à la Faculté des Sciences Semlalia Marrakech, Maroc ,313p
- Lagarde, J. L et Choukroune, P. (1982).** Cisaillement ductile et granitoïdes syntectoniques : l'exemple du massif hercynien des Jebilet (Maroc). Bull. Soc. Geol. France.
- Maier W.O.(1984)** .Réflexions sur la gîtologie des amass sulfurés des jilet centrales .BRPM . Rabat ,inédit
- Michard A. (1976)** : Elément de géologie marocaine .No t. Mém Serv .géol. Maroc, n°252, p251-408
- Outigua,** Le bloc central du gisement polymétallique de Draa Sfar (Jebilet centrales, Hercynien, Maroc) Gîtologie et relations entre l'or et les métaux de base (2012) ; 70p
- Piqué, A.** Bull. Insl. Sei., Rabat, 1994, W 18, pp. 201-205, Le Massif central et la Meseta orientale; leur place dans la chaîne hercynienne marocaine.
- roches acides volcanique acides associées au gisement sulfuré de Draa Sfar (Jebilet centrales, Maroc). Estudios Geol., 61: 147-160.
- Roddaz M., et al.** Reply to the Comment on "the Moroccan Hercynides" Journal of African Earth Sciences (2006).
- Rosé M.F (1987)** : Les types granitiques du maroc hercynien .Thèse unie
- Rziki,** gisement polymétallique de Draa Sfar ;Compilation et modélisation tridimensionnelle
- S. Rziki, (2006).** Contribution à l'étude géologique du gisement polymétallique (Zn, Pb, Cu) de Draa Sfar, dans le cadre du Diplôme des études
- Souaré, A. T. (1988).** Contribution à l'étude des amas sulfurés du district des Jebilet centrales et de leurs altérations supergènes (chapeau de fer). Comparaison avec les minéralisations sulfurées d'Agouim (Haut Atlas, Maroc). Thèse 3ème cycle, Univ. Marrakech.