



Département des Sciences de la Terre

Licence des Sciences et Techniques

GARM

RAPPORT DU PROJET DE FIN D'ETUDE

Étude géologique du gisement de Draa Sfar sud aval -1000m. (Jebilet centrales, Hercynien, Maroc)

Réalisé par :

- EL HOUFY Asmae
- EL HOUFY Fatima-zohra

Encadré par :

- Mr A.SAIDI FST Marrakech
- Mr A.OUTIGUA CMG Draa Sfar

Soutenu : le 21 Juin 2017

Devant le jury composé de :

Mr A.SAIDI	FSTG, Encadrant
Mr A.OUTIGUA	CMG, Encadrant
Mr A.HAFID	FSTG, Examineur

SOMMAIRE

Liste des figures	3
Liste des photos	3
Liste des abréviations	4
Remerciements	5
Résumé	6
Objet et méthodologie de travail :.....	7
1.Objet :	7
2.Méthodologie :	7
Partie 1 : Généralités	8
I/ Introduction :	8
II/ Les Domaines structuraux du Maroc :.....	8
III/ Le massif des Jebilet:.....	9
III.1/ Le cadre géologique et géographique des Jbilet :.....	9
III.2/ Zonation structurale :	10
III.3/ La série stratigraphique des Jebilet :	10
III.4/ Structuration et métamorphisme :	11
III.5/ Le magmatisme :	11
IV/ Cadré géologique et géographique du secteur Draa Sfar :	12
IV.1/ le cadre géographique :	12
IV.2/ le cadre géologique :	13
IV.3/ Historique de la mine :	15
IV.4/ Formation du gisement de Draa Sfar (VMS) :.....	16
Partie 2 : Etude géologique du gisement de Draa Sfar Sud aval -1000m.....	17
I. Etude Lithostratigraphique et minéralogique de la série de Draa Sfar Sud :.....	17
I.1/Introduction :	18
I.2/Etude pétrographique des sondages de la série de Draa Sfar :.....	18
I.2.1/Formation de base :	21
I.2.2/Formation médiane :	25
I.2.3/Formation de toit :	28
I.3/Les coupes géologiques des sondages réalisées :.....	31
I.3.1/ Coupe DF314/DF317 :	31
I.3.2/Coupe DF305 :	32
I.3.3/Commentaire des coupes :	32
I.4/Conclusion	34

II. Etude géochimique et géostatistique.....	35
II.1/Etude géochimique et altération hydrothermale :	36
II.1.1/Variation de certains éléments majeurs dans les sondages DF271 et DF294 :	37
II.1.2/ les variations des indices d'altération dans les sondages DF271 et DF294 :	40
II.2/Etude géostatistique :	42
II.2.1/Tableau statistique :	42
II.2.2/ Matrice de corrélation :	43
II.2.3/Cercle de corrélation :	43
II.3/Conclusion.....	44
III. Etude structurale	45
III.1/Introduction :	45
III.2/La déformation synsédimentaire (D0) :	47
III.3/La déformation synschisteuse hercynienne majeure D1 :	47
III.3.1/La schistosité S1 :	47
III.3.2/Le plissement P1 :	49
III.3.3/Les zones de cisaillement ductiles C1 (Shear zones) :	49
III.3.4/Le boudinage :	50
III.4/ La déformation hercynienne tardive D2 :	50
III.4.1/La schistosité S2:.....	51
III.4.2/Les kink-bands :	51
III.4.3/Le plissement P2 :	51
III.4.4/Le cisaillement C2.....	51
III.5/La déformation cassante tardi-hercynienne :	52
III.6/Conclusion :	53
Conclusion générale :	54
Références bibliographiques	56
Annexe	58

Liste des figures

Figure 1: Principaux domaines structuraux du Maroc (Piqué et Michard, 1989).	9
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.	10
Figure 3: Situation géographique du gisement de Draa Sfar.	12
Figure 4: Photo satellite montrant la subdivision de gisement de Draa Sfar.	13
Figure 5: Carte géologique simplifiée du domaine du Draa Sfar (Ben Aissi, 2008 document modifié de CMG/Draa Sfar).	14
Figure 6: Vue tridimensionnelle des lentilles de la mine de Draa Sfar (Document interne Draa Sfar, rapport inédit).	15
Figure 7: Modèle génétique de formation du gisement de Draa Sfar. Pas à l'échelle (Rziki, 2011).	16
Figure 8: Log stratigraphique du sondage DF314.	18
Figure 9: Log stratigraphique du sondage DF317.	19
Figure 10: Log stratigraphique du sondage DF305.	20
Figure 11: Coupe géologique des Sondages DF314/DF317.	31
Figure 12 : Coupe géologique de Sondages DF305.	32
Figure 13: les logs stratigraphiques des sondages analysés avec la position des échantillons dans les sondages (a : DF294.b :DF271).	36
Figure 14: Profils illustrant la variation des éléments majeurs en fonction de la profondeur pour le sondage DF271.	37
Figure 15: Profils illustrant la variation des éléments majeurs en fonction de la profondeur pour le sondage DF294.	38
Figure 16: Profils illustrant la variation des indices d'altération allant du toit au mur pour le sondage DF271.	40
Figure 17: Profils illustrant la variation des indices d'altération allant de mur au toit pour le sondage DF294.	41
Figure 18: Coupe schématique de la cheminée d'altération associée à un VMS (Gibson et Galley, 2007) montre la disposition des principales zones d'altération, et les mouvements d'ions.	42
Figure 19: Structure de corrélation.	43
Figure 20: Levé réalisé N780.	46
Figure 21: Rosace de projection des directions de la schistosité S1(a) et pendage des pôles de la schistosité S1 (b).	48
Figure 22: Fente suivie par une fracture cisailante dextre.	49
Figure 23: Représentation schématique des kink-bands dans la S1.	51
Figure 24: Présentation stéréographique de différentes familles de failles observées.	52

Liste des photos

Photo 1: Aspect microscopique de rhyolite (GrX10).	21
Photo 2: Aspect macroscopique de la rhyolite.	21
Photo 3: Vue microscopique des métapelites gréseuses (GrX4).	22
Photo 4: Alternance des lits gréseux et des lits pélitiques.	22
Photo 5: Injection de rhyolite avec des lambeaux de pélites et de quartz au sein des métapelites gréseuses.	22
Photo 6: Vue microscopique des tufs fins avec une veine de quartz (GrX4).	23

Photo 7:Vue microscopique des tufs grossiers rholitiques (GrX4).	23
Photo 8:Les tufs grossiers.....	24
Photo 9:Le sphène et le quartz volcanique dans les tufs rhyolitiques(GrX4).	24
Photo 10: Dissémination des sulfures dans les tufs fins.....	24
Photo 11: Minerai submassif.	25
Photo 12:Minerai massif.	25
Photo 13:Aspect microscopique d'une minéralisation à texture massive « py: Pyritr.Po : pyrrhotite. Sp: sphalérite. Arsp : arsénopyrite .Cpy : chalcopryrite.Gg : gangue» (GrX10).	27
Photo 14:Aspect microscopique d'une minéralisation à texture submassive « py: Pyritr.Po : pyrrhotite. Sp: sphalérite. Gg : gangue» (GrX10).	27
Photo 15: La chalcopryrite dans les ombres de pression Po : pyrrhotite. Cpy : chalcopryrite .Gg : gangue». (GrX10).	27
Photo 16:Les différents aspects de sphalérite dans la minéralisation «Po : pyrrhotite. Sp: sphalérite. Gg : gangue». (GrX10).....	27
Photo 17:Aspect microscopique des métapelites carbonatées (GrX10).....	28
Photo 18 : Aspect macroscopique des métapelites noires carbonatées.	28
Photo 19: Les enclaves des tufs rhyolitiques dans les métapelites carbonatées.	29
Photo 20: Les veines du quartz dans les métapelites gréseuses suivent les plans de schistosité.....	29
Photo 21: Deux générations des veines du quartz, des veines parallèles à la S1 les autres la recourent.....	30
Photo 22:Une veine de quartz plissée.....	30
Photo 23: La pyrrhotite disséminée au sein des tufs.	30
Photo 24: Faille à remplissage broyé au contact minerai-encaissant.	33
Photo 25: Faille à remplissage de quartz au contact minerai-encaissant.....	33
Photo 26:La S0 dans les métapelites gréseuses.	47
Photo 27:Les slumps dans les métapelites carbonatées.....	47
Photo 28:Un quartz moulé par la S1 (GrX4).....	48
Photo 29: La S1 dans les métapelites gréseuses.	48
Photo 30:Les fentes de tension disposées en échelon de direction E-W.	49
Photo 31: microplissement d'entraînement de la sphalérite dans la zone de cisaillement (GrX10).	50
Photo 32:Filon boudiné à quartz carbonaté observé au passage minéralisation-tufs.	50
Photo 33:Système de kink-bands affectant la schistosité S1.	51

Liste des tableaux

Tableau 1: Les caractéristiques statistiques des données d'analyse.....	42
Tableau 2:Matrice de corrélation.	43
Tableau 3:les différentes phases tectoniques affectant le secteur de Draa Sfar.	55
Tableau 4:les analyses chimiques du sondage DF271.	58
Tableau 5:Les analyses chimiques du sondage DF294.	58
Tableau 6: les analyses chimique du sondage DF305.	59

Liste des abréviations

Arsp	Arsénopyrite	Gn	Galène
CMG	Compagnie minière des Guemassa	Py	Pyrite
Cpy	Chalcopryrite	Po	Pyrrhotite
Gg	Gangue	Sp	Sphalérite

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier nos encadrants Monsieur A.SAIDI et Monsieur A. OUTIGUA qui n'ont épargné aucun effort pour nous soutenir tout le long de la période de notre stage.

Nous exprimons également notre gratitude et nos sincères reconnaissances à l'ensemble de nos enseignants au département des Sciences de la Terre de la FSTG MARRAKECH et spécialement Mr HIPTI pour toutes ses précieuses explications.

Nos sincères remerciements vont aussi à l'ensemble des responsables de la mine de Draa Sfar qui nous ont aidés dans la réalisation de ce travail, Mr. ESSAOUDI : le chef du service géologie pour nous avoir offert l'opportunité d'effectuer notre stage de fin d'études dans la mine de Draa Sfar. Ainsi Mr HAMYANE, Mr CHOUBOUB, Mr ABRAOUI et Mlle SALAMA qui n'ont cessé de mettre à notre disposition tous les moyens nécessaires à l'aboutissement de notre travail.

Nos vif remerciements et reconnaissances s'adressent à notre famille pour leurs aides morales et financières durant ce stage et tout au long de nos études universitaires.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce rapport.

Résumé

Le massif des Jebilet reste l'un des massifs Hercyniens les plus importants du point de vue métallogénique (Draa Sfar, Kettara, Koudiat Aicha,...). Cette région était le lieu d'une activité volcanique intense qui a probablement 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 formations carbonatées (dites unités sommitales) et des formations volcano-sédimentaires (unités basales). L'ensemble a été attribué à la série de saghlef d'âge Viséen supérieur. 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 Sud est formé par un seul corps affecté 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 arrivant à 18 m, et un dédoublement ou étirement de la minéralisation. La profondeur actuelle de la structure minéralisée dépasse 1,5 km.

Objet et méthodologie de travail :

1.Objet :

La présente étude s'intègre dans le cadre de la formation de LST GARM et représente le stage de fin d'étude. Elle porte sur la mine de Draa Sfar qui est un secteur de la CMG (Compagnie Minière des Guemassa), filiale de Managem, mise en production depuis juillet 2004.

Notre étude est focalisée sur la partie sud du gisement Draa Sfar Sud, plus précisément l'aval-1000m à savoir la continuité de la structure minéralisée vers l'aval, sa morphologie, les zones d'amincissement, les zones d'épaississement, ensuite la caractérisation structurale du gisement, pour mieux comprendre les quatre étapes de déformation décrites antérieurement, qui ont affecté la région ainsi que leur impact sur le gisement.

Enfin, on va essayer de caractériser les altérations hydrothermales associées à la minéralisation et la corrélation entre les métaux de base.

Donc cette étude, vise la caractérisation géologique (lithostratigraphie; pétrographie ; géochimie et structurale) de l'aval -1000m.

2.Méthodologie :

Afin d'aboutir aux objectifs ciblés, plusieurs études ont été réalisées :

- ✓ Réalisation des coupes géologiques à partir des sondages traités DF305, DF317, DF314, et une description macroscopique détaillée des faciès et de la minéralisation.
- ✓ Sélection des échantillons dans le sondage DF305 pour la confection des lames minces et des sections polies,
- ✓ Réalisation d'un Levé structural des galeries N780.
- ✓ Des analyses chimiques ICP des éléments majeurs ont été faites pour avoir une idée sur la variation de ces éléments le long du sondage : DF271 et DF294, et par la suite établir une corrélation entre les métaux de base à partir des teneurs des éléments dans le sondage DF305.

Partie 1 : Généralités

I/ Introduction :

La chaîne hercynienne marocaine a fait l'objet de nombreux travaux de recherches depuis le début du siècle dernier. Cette chaîne est l'une des plus prospectées du Maroc, et où plusieurs gisements ont été découverts. Certains massifs hercyniens d'intérêt économique capital pour le Maroc, sont situés dans la partie sud de la Meseta occidentale, dont les massifs des Jebilet centrales, qui sont des provinces métallogéniques à amas sulfurés, dont le potentiel métallique est variable. Certains gisements de cette province hercynienne ont été exploités et abandonnés (Mine de Kettara), d'autres sont actuellement en cours d'exploitation (Hajjar, Draa Sfar), ou d'exploration et de valorisation (Koudiat Aicha, Tiferouine, Laachach) et autres sont en indices à confirmer (Lamrah). Ils constituent une source importante du soufre, de métaux de base (Fe, Cu, Pb, Zn) et de métaux précieux (Ag et Au).

II/ Les Domaines structuraux du Maroc :

Structuralement le Maroc peut être subdivisé en grands domaines, cette subdivision est due essentiellement aux orogénèses qui l'ont affecté. Ces domaines structuraux varient selon les auteurs : trois pour Choubert et Marçais (1956) jusqu'à cinq pour Piqué et Michard (1989). Ces derniers distinguent du sud vers le nord les domaines suivants (figure1):

- 1. Le domaine saharien ou dorsal des Reguibates :** constitue une partie du craton ouest africain (Fabre, 1971). Ce domaine est constitué de terrains d'âge protérozoïque inférieur, intensément déformés et métamorphisés durant l'orogénèse éburnéenne (2000 Ma). L'ensemble est couvert au Nord par les roches paléozoïques non déformées du bassin de Tindouf.
- 2. Le domaine anti-atlasique :** constitué d'un socle structuré par l'orogénèse panafricaine (680 et 570 Ma) (Leblanc et Lancelot, 1980). Sa couverture protérozoïque terminale et paléozoïque est affectée par une déformation hercynienne relativement modérée. La couverture mésozoïque et cénozoïque ayant une faible puissance est non déformée.
- 3. Le domaine mesetien :** défini comme un domaine de la chaîne hercynienne est recouvert en discordance par les séries mésozoïques et cénozoïques non déformées (Gentil, 1918). Il est divisé en deux parties distinctes : la meseta occidentale (Meseta Marocaine) et la meseta orientale (Meseta Oranaise).
- 4. Le domaine atlasique :** correspond à la chaîne intracontinentale du Moyen-Atlas et du Haut-Atlas. Il est constitué de terrains mésozoïques et cénozoïques structurés par l'orogénèse atlasique.
- 5. Le domaine rifain :** représente la limite septentrionale du Maroc. Il est constitué de nappes allochtones liées à l'orogénèse alpine chevauchant le domaine mesetien. Les terrains paléozoïques sont connus dans les zones internes de la chaîne (nappes paléozoïques).

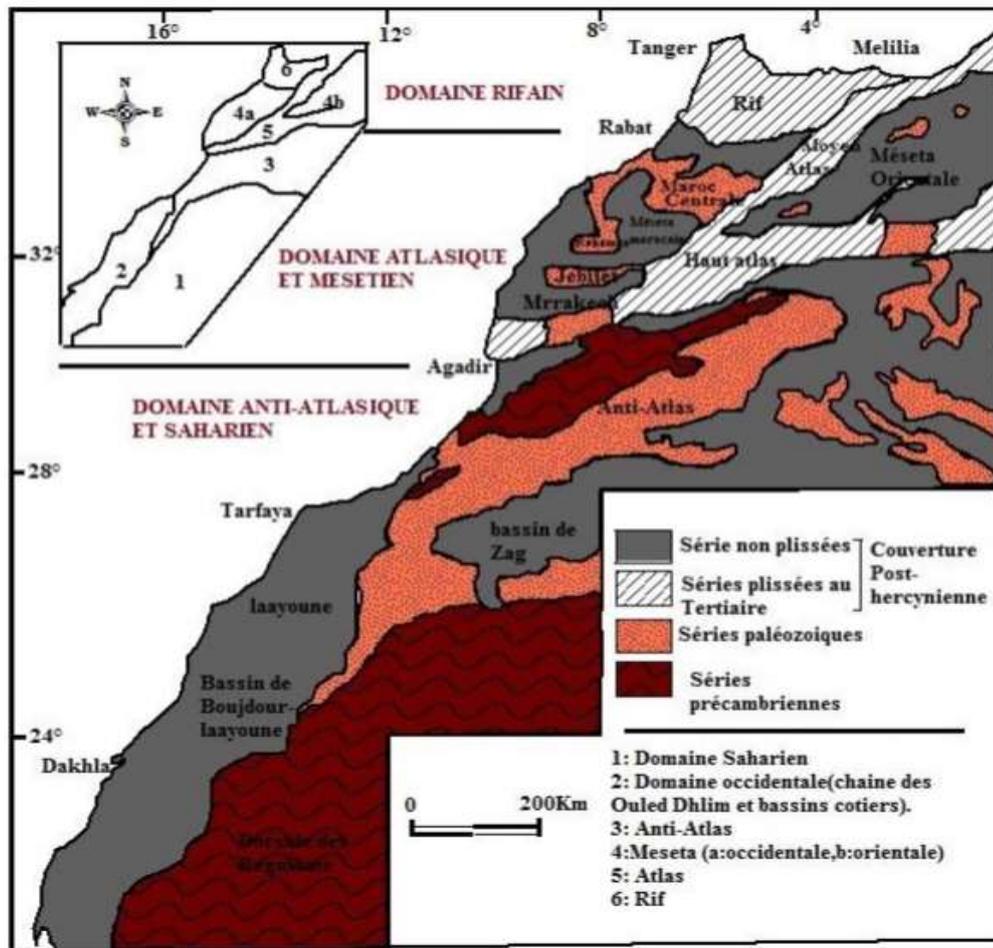


Figure 1: Principaux domaines structuraux du Maroc (Piqué et Michard, 1989).

III/ Le massif des Jebilet:

III.1/ Le cadre géologique et géographique des Jbilet :

Le massif hercynien des Jebilet appartient à la Meseta marocaine, la région comprise entre le Rif et le Haut Atlas, situé immédiatement au Nord de la ville de Marrakech, forme un ensemble de collines et de plaines rocheuses de terrains paléozoïques, plissés et métamorphisés orientés suivant une direction atlasique E-W sur une longueur d'environ 170 Km et 7 à 40 Km de largeur (Huvelin, 1977).

Le massif des Jebilet se caractérise par rapport aux autres massifs hercyniens de la meseta marocaine par l'intensité de l'activité magmatique pré à syn-orogénique qu'a connue cette région vers la fin du Carbonifère (Huvelin, 1977).

Ce massif, parallèle au haut atlas de MARRAKECH, est encadré par :

- La plaine de Bahira au Nord.
- La plaine d'El Haouz au sud.
- Les collines jurassico-crétacé des Mouissat à l'Ouest.
- L'atlas de Beni Mellal à l'Est.

III.2/ Zonation structurale :

Le massif des Jebilet orienté globalement E-W, a été subdivisé en trois ensembles distincts ; d'Est en Ouest on observe (figure 2).

- **Zone orientale** (flyschs de Kharrouba) : constitué de métasédiments datés de Viséen supérieur et caractérisés par la présence d'olistostromes et de séries ordovico-dévonniennes (Permingeat, 1954 ; Huvelin 1977) mises en place par des phénomènes de glissements gravitaires dans le bassin viséen (Huvelin, 1977 ; Bamoumen, 1988).
- **Zone centrale** (schistes de Sarhlef) : dont les terrains sont également d'âge viséen namurien (Huvelin, 1977). Ils sont déformés métamorphisés dans des conditions anchi à épizonales. Cet ensemble est caractérisé par la mise en place de corps intrusifs acides et basiques ainsi que des magmas granitiques.
- **Zone occidentale** : essentiellement formé de séries cambro-ordoviciennes (Gigout, 1951 ; Huvelin, 1977), faiblement plissées (direction sub-méridienne) et peu ou pas métamorphisées.

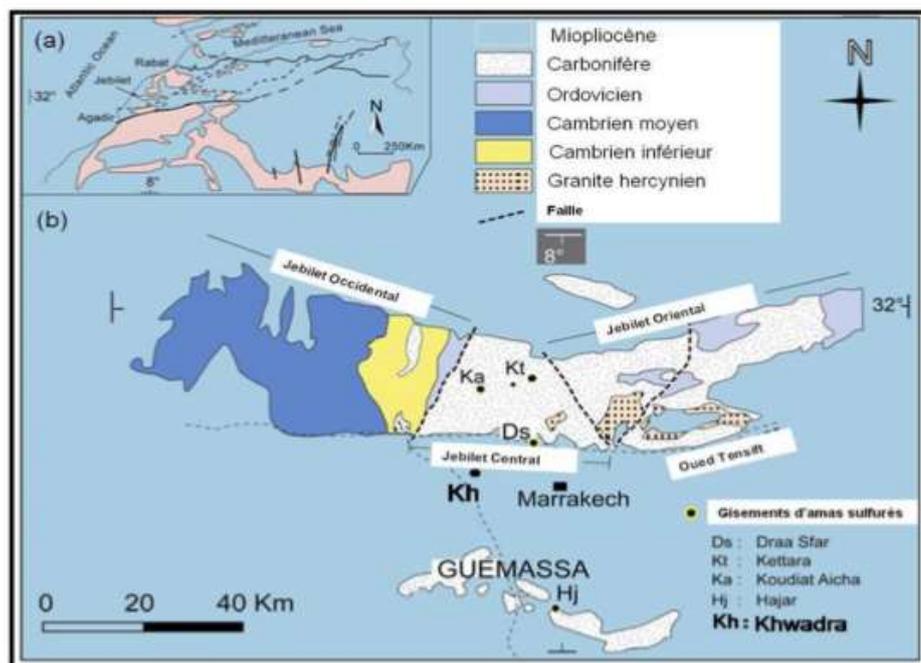


Figure 2:(a) Localisation du massif des Jebilet dans le cadre des affleurements paléozoïques d'Afrique du Nord (en gris) ; (b) Carte géologique générale des Jebilet et du massif de Guemassa montrant la localisation du gisement de Draa Sfar et des principaux gisements de sulfures massifs.

III.3/ La série stratigraphique des Jebilet :

Malgré l'effet de la tectonique responsable de la structuration du massif des Jebilet avec la présence de métamorphisme et la mise en place d'intrusions magmatiques responsables de la minéralisation, l'évolution stratigraphique a pu être défini avec deux unités correspondant aux périodes, anté-viséen supérieur et viséen supérieur et montrant la succession stratigraphique suivante :

La période anté-Viséen supérieur :

- ✓ Le Cambrien : est représenté surtout par des faciès détritiques rouge (Conglomérat) avec des traces d'activité volcanique affleurant surtout dans les Jebilet occidentales, où on distingue le cambrien inférieur et moyen, tandis que le cambrien supérieur est absent.
- ✓ L'ordovicien : est représenté par des schistes argileux avec des sédiments détritiques qui affleurent dans les Jebilet occidentale et surmonte en discordance le cambrien.
- ✓ Le Silurien : affleure exclusivement dans les Jebilet orientale. Il est représenté par des dépôts argileux à Graptolithes se déposant en concordance sur l'ordovicien.
- ✓ Le Dévonien : est reconnu essentiellement dans les Jebilet occidentales. Il est formé essentiellement de conglomérats rouges et des calcaires avec des grés quartziques, et des schistes avec des bancs de calcaires et grés dans les Jebilet centrales.
- ✓ Le Tournaisien et le Viséen inférieur sont lacunaires dans les Jebilet.

La période Visée supérieur :

Correspond à une transgression majeure, originaire de l'Est ou du NE (Beauchamp, 1984 ; Piqué, 1994), et représenté dans les Jebilet orientales par les flyschs de Kharrouba (la série la plus ancienne) constitué par une alternance de pélites et des grés, en revanche dans les Jebilet centrales, il est représenté par les schistes de Saghlef constitué par des calcaires et des grés, avec des lentilles d'amas sulfurés et des tufs, la série de Saghlef est subdivisée en plusieurs niveaux.

III.4/ Structuration et métamorphisme :

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 ; J adid, 1989). Cependant, d'autres plaident beaucoup plus en faveur d'une mise en place syntectonique, dans un contexte compressif (Admou, 1986 ; Saber, 1986, et Essaifi, 1987, 1989). Ces derniers insistent sur le caractère syn-tectonique, (1995) ; Boukerrou (2009). Contemporain de la déformation hercynienne et de la mise en place des plutons granodioritiques calcoalcalins, (sécants sur le plan de la stratification). L'évolution des structures et des microstructures ainsi que la quantification de la déformation finie, montrent l'existence d'un gradient de déformation à l'approche de ces corps intrusifs, ce qui est en faveur de l'hypothèse anté à syn-tectonique pour Essaifi et Lagarde, (1990).

III.5/ Le magmatisme :

Selon Huvelin (1977), la fin du Carbonifère se traduit dans les Jebilet centrales par une activité magmatique très intense. On distingue ainsi 3 types de magmas :

- _ Un volcanisme bimodale : matérialisé par des corps intrusifs de nature acide (tufs, rhyolites) et basique (basaltes, dolérites) (sous forme d'intrusion et de lentilles).
- _ Un plutonisme granodioritiques : matérialisé par des plutons syntectoniques, contemporains du raccourcissement post-viséen.

_ Un magmatisme filonien : matérialisé par des filons de microdiorite contenant divers types d'enclaves précambriennes (Huvelin 1977), et généralement parallèles aux axes des plis hercyniens, ils recourent localement les produits magmatiques acides et basiques, ainsi que les plutons granitiques.

IV/ Cadré géologique et géographique du secteur Draa Sfar :

IV.1/ le cadre géographique :

Le site de Draa Sfar est situé à 13 km au nord-ouest de Marrakech, à cheval sur la bordure nord du Haouz, et la limite sud des Jebilet central (figure 3). Le site de Draa Sfar possède un potentiel important en minerais polymétalliques, de plus d'un kilomètre de profondeur, Draa Sfar est la mine la plus profonde de l'Afrique du Nord.

Le secteur de Draa-sfar est subdivisé en trois blocs (figure4):

- Draa Sfar Nord (Sidi M'barek).
- Draa Sfar Sud (Koudiat Tzakourt).
- Draa sfar Central.

Ces trois blocs sont localisés respectivement sur les rives Nord et Sud de l'Oued Tensift.

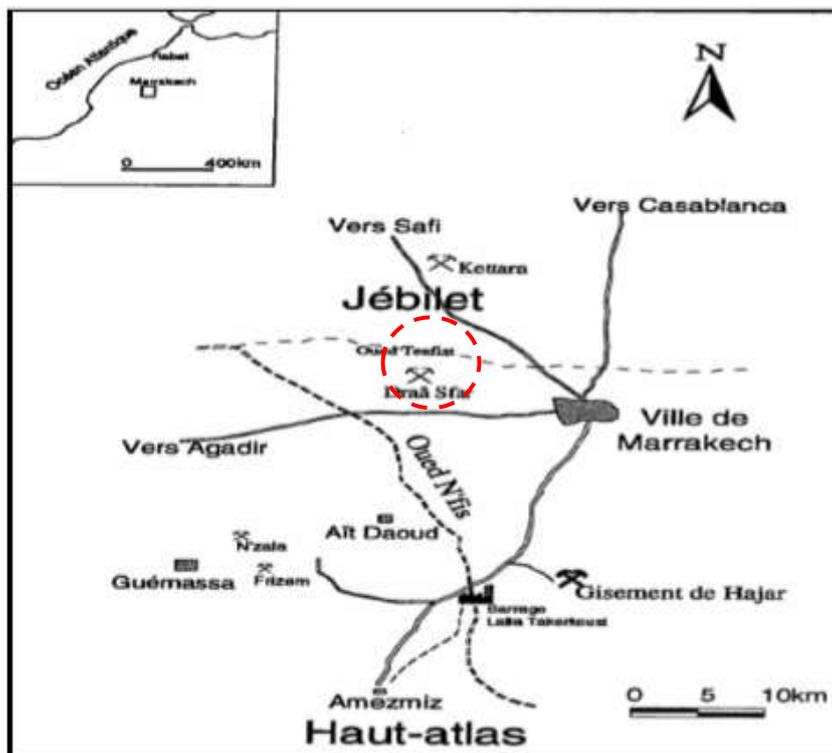


Figure 3: Situation géographique du gisement de Draa Sfar.



Figure 4: Photo satellite montrant la subdivision de gisement de Draa Sfar.

IV.2/ le cadre géologique :

Le gisement de Draa Sfar appartient à la province métallogénique des amas sulfurés à pyrrhotite dominante du massif hercynien des Jebilet- Guemassa (Huvelin, 1977). Les corps minéralisés de Draa Sfar sont encaissés dans la série de Sarhlef qui couvre la majeure partie des Jebilet central. Cette série est composée d'une séquence sédimentaire grésopélique (Huvelin, 1977; Bordonaro, 1983; Rziqi, 2006; Moreno et al. 2008) avec des intercalations des roches volcaniques et volcanosédimentaires acides et basiques (Aarab, 1995; Essaiifi, 1995; Gibson et al. 2005 et Rziqi, 2011).

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 (figure 5). 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.

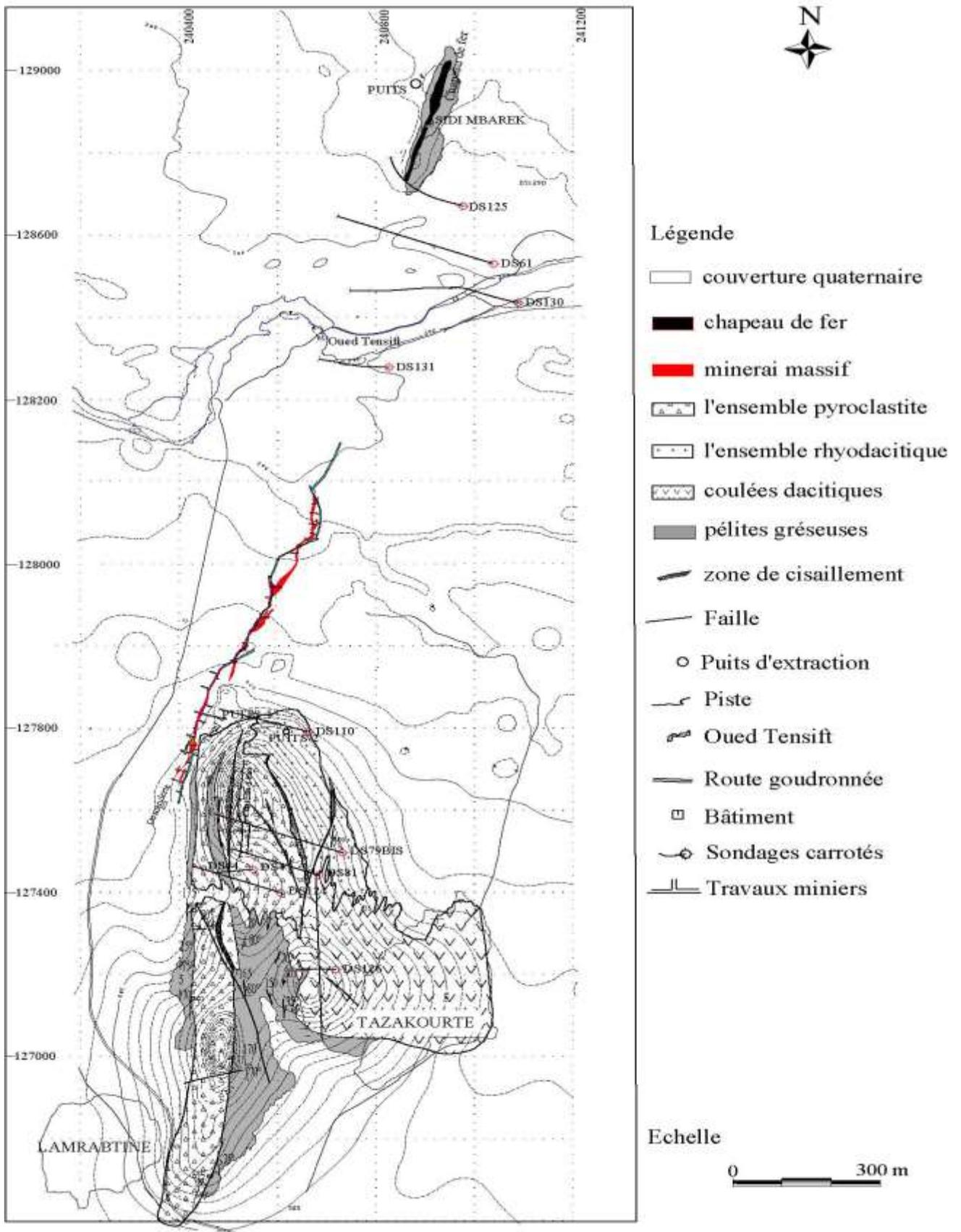


Figure 5: Carte géologique simplifiée du domaine du Draa Sfar (Ben Aissi, 2008 document modifié de CMG/Draa Sfar).

La présentation en 3D de la mine de Draa Sfar montre une vue en bloc diagramme de la mine de Draa Sfar, la vue est de l'Ouest vers l'Est, la formation du toit est enlevée, dans ce diagramme les laves rhyodacitiques ont une épaisseur importante dans le bloc Sud, et elles s'amincissent en allant vers le Nord. Elles sont absentes au bloc central et le bloc Nord. Les tufs sont présents au bloc Sud qu'au bloc central et absents au bloc Nord. La série grés pélitique est continue dans tous les trois blocs de Draa Sfar (figure 6).

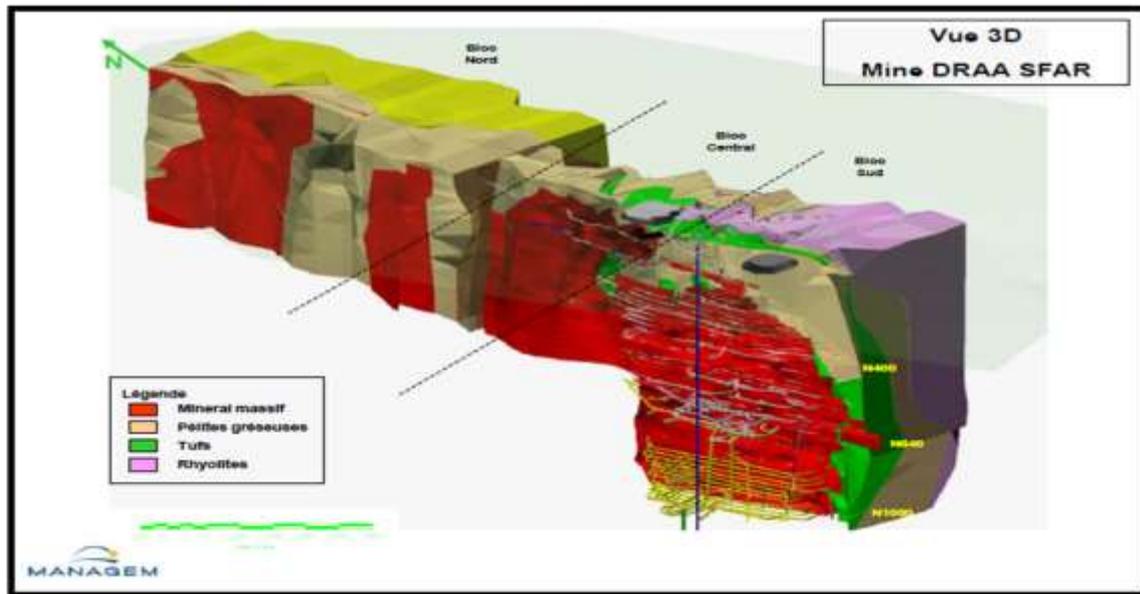


Figure 6: Vue tridimensionnelle des lentilles de la mine de Draa Sfar (Document interne Draa Sfar, rapport inédit).

La masse minéralisée est étendue sur 1.5 Km de longueur et plus de 1Km de profondeur et repose en contact normal sur l'ensemble volcanique, volcanoclastique et les pélites gréseuses. Le corps minéralisé est surmonté par les pélites calcareuses de toit. En allant du bloc Sud vers le bloc Nord, le corps minéralisé présente des variations morphologiques verticales et latérales. Il passe de 40m de puissance dans le bloc Sud à des puissances allant de 1 à 5m dans le bloc Nord.

IV.3/ Historique de la mine :

- **1953** : découverte du chapeau de fer de Draa Sfar nord par le Service d'Etude 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.

IV.4/ Formation du gisement de Draa Sfar (VMS) :

Le gisement de type VMS « Volcanogenic massive sulfides » de Draa Sfar nécessite une source de métaux et de chaleur comme moteur, une alimentation continue en fluides et des structures ou failles qui permettent de focaliser la sortie de ces fluides. Un modèle de mise en place en trois étapes a été proposé pour le gisement de Draa Sfar (RZIKI 2011).

- **La première étape** dans le processus ayant régi la formation du gisement de Draa Sfar pourrait être affectée au début de l'édification du dôme rhyodacitique et d'une mince séquence de volcanoclastites. Le comblement du bassin a été assuré surtout par des dépôts sédimentaires terrigènes représentés principalement par des métapelites gréseuses interstratifiées avec des lentilles de calcaires bioclastiques qui se développent dans la partie nord du bassin.
- **La deuxième étape** est marquée par le déclenchement d'un système hydrothermal responsable d'une part de dépôt de minéralisation sulfurée polymétallique par des processus de remplacement des roches encaissantes et d'autre part d'une altération hydrothermale des faciès encaissants caractérisés par le développement du chlorite, talc, séricite, calcite et quartz au mur de la minéralisation.
- **La troisième étape** : le gisement de Draa Sfar et les formations encaissantes ont subi l'effet de la phase tectonique hercynienne majeure. Cette phase tectonique est responsable de la verticalisation et du cisaillement des corps minéralisés aujourd'hui orientés selon la direction N10 (figure 7). Elle est également responsable du plissement et de la schistosité qui s'est développé dans la minéralisation et son encaissant dans un climat métamorphique épizonal.

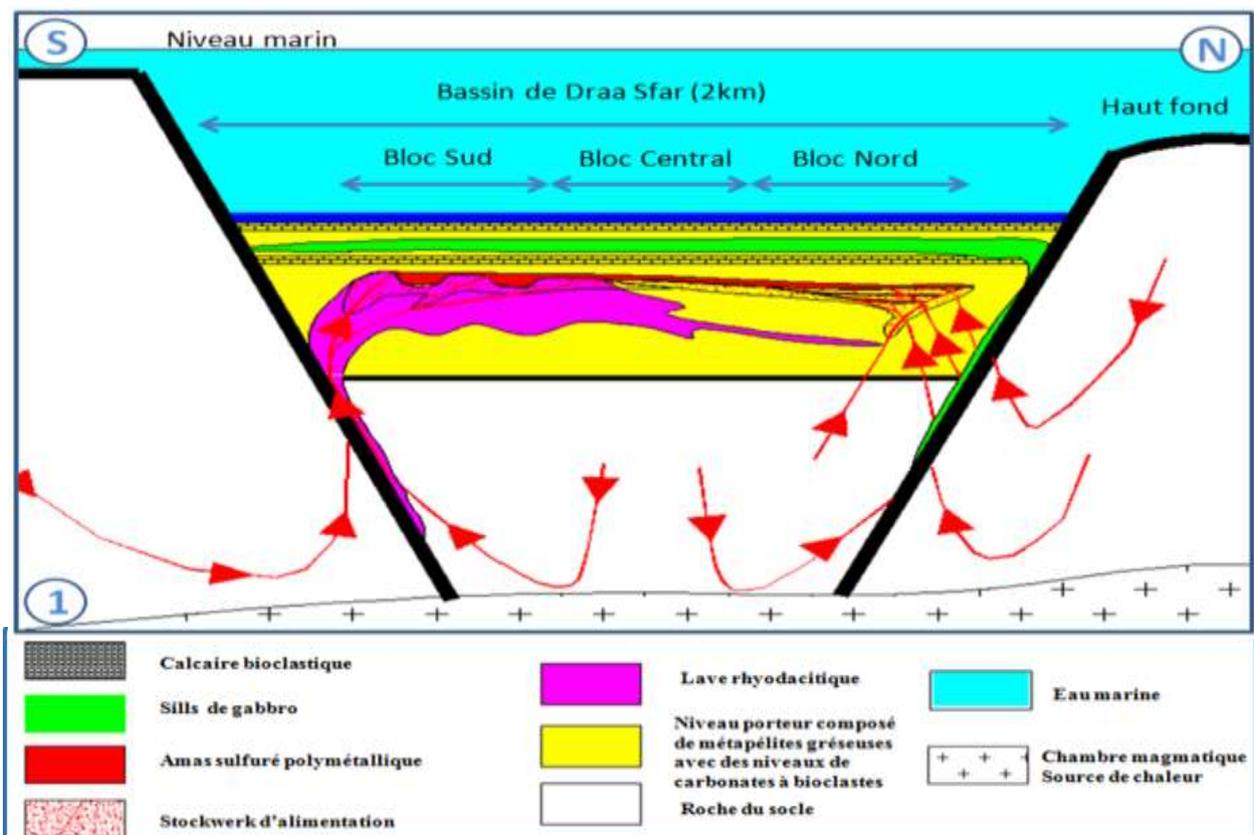


Figure 7: Modèle génétique de formation du gisement de Draa Sfar. Pas à l'échelle (Rziki, 2011).

**Partie 2 : Etude géologique du gisement de
Draa Sfar Sud aval -1000m.
(Jebilet centrales, Hercynien, Maroc)**

**I. Etude Lithostratigraphique et minéralogique de la
série de Draa Sfar Sud :**

I.1/Introduction :

L'étude lithologique du Bloc sud aval -1000m est basée sur plusieurs sondages carottés, les deux premiers : **DF314** et **DF317** sont implantés au niveau de la même zone : niveau 1045m, avec un même point de départ. Le sondage DF314 est horizontal, le **DF317** est incliné avec un pendage de 60°. Le troisième sondage **DF305** a été réalisé à partir du niveau -1000m.

Ces sondages sont faits de façon à recouper toute la série de Draa Sfar.

Cette partie de notre travail a pour but de préciser les différentes unités lithologiques, leur relation avec la minéralisation, les textures de refroidissement ou encore la présence plus ou moins importante de l'hydrothermalisme.

I.2/Etude pétrographique des sondages de la série de Draa Sfar :

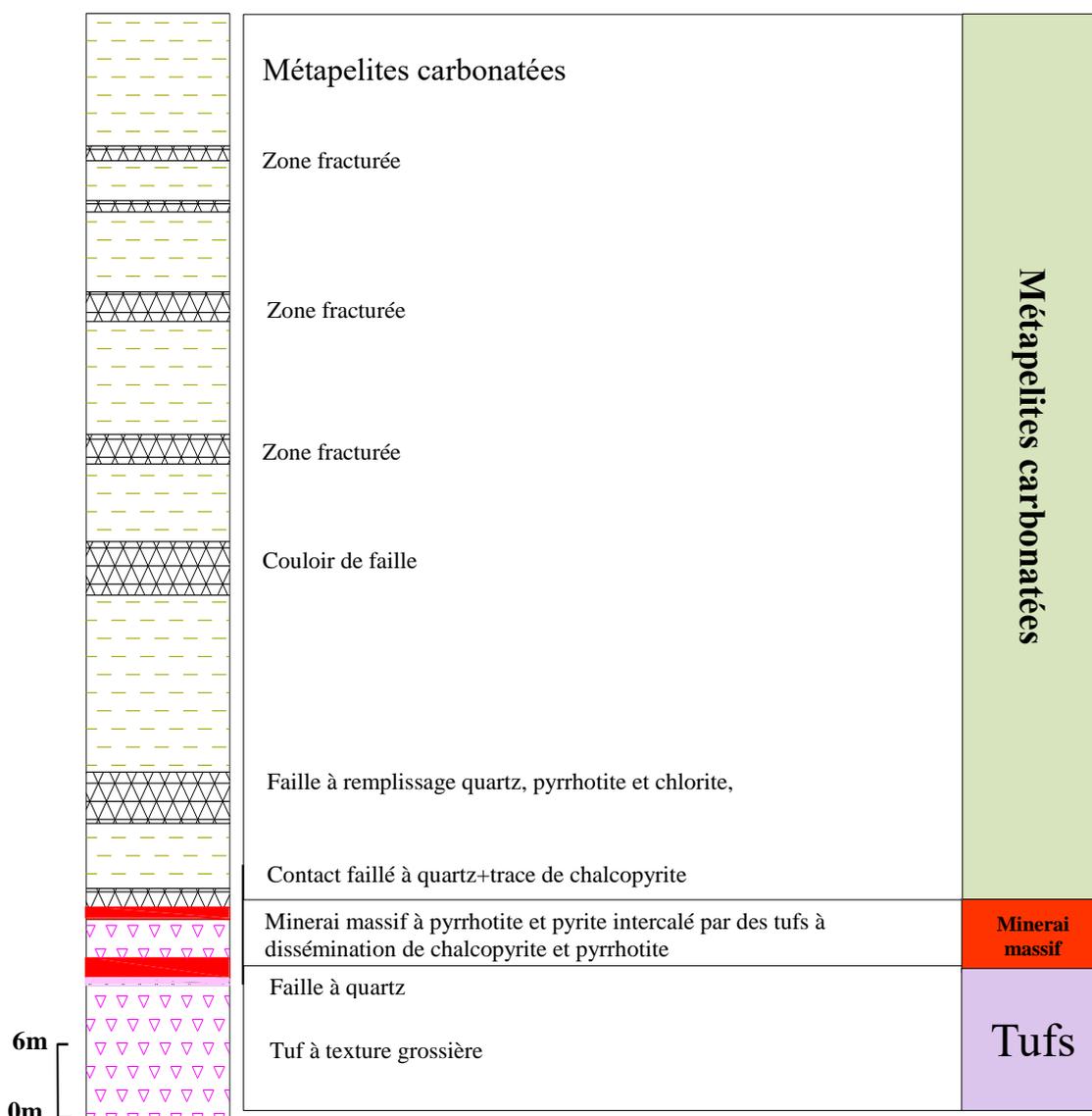


Figure 8: Log stratigraphique du sondage DF314.

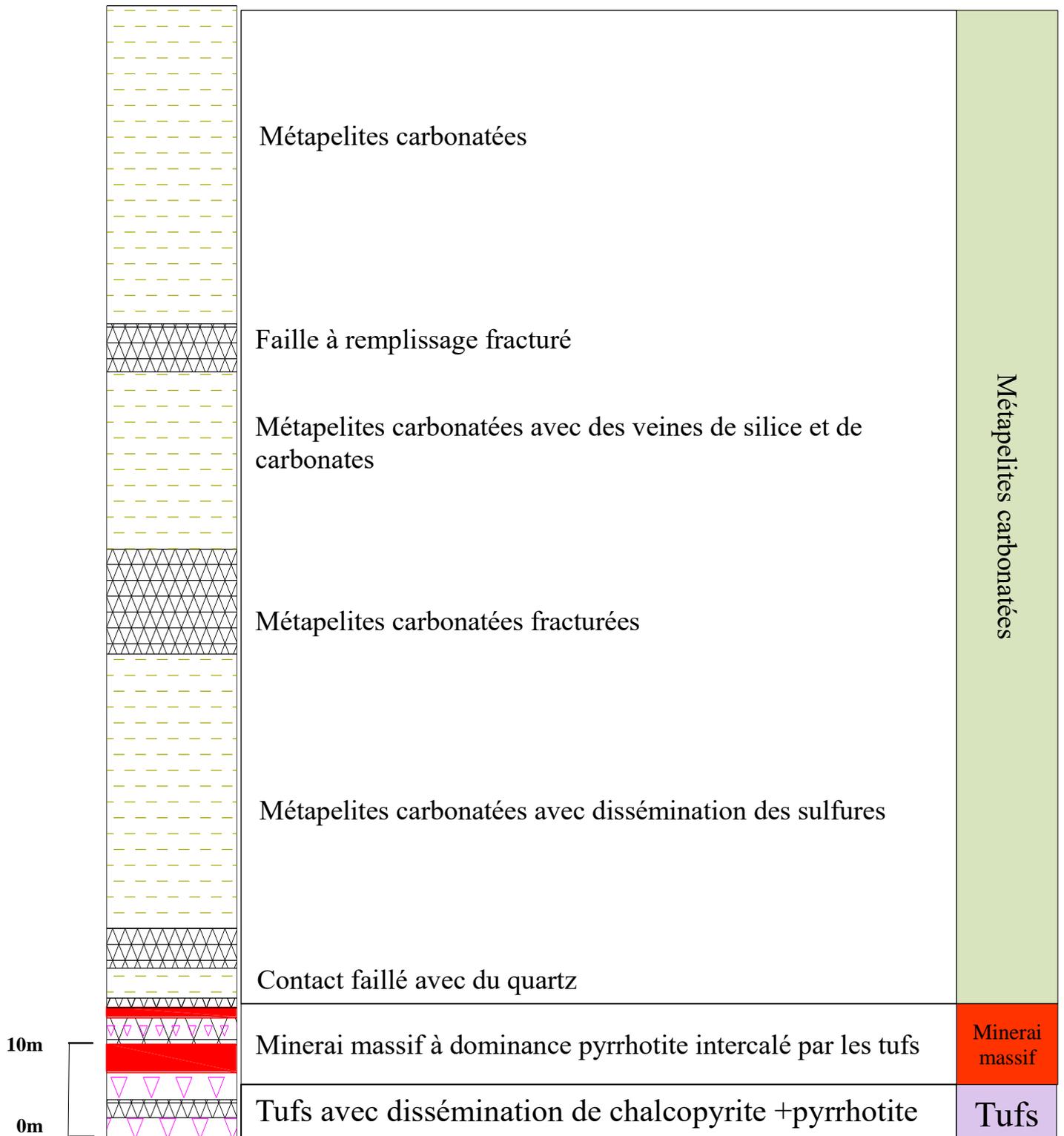


Figure 9: Log stratigraphique du sondage DF317.

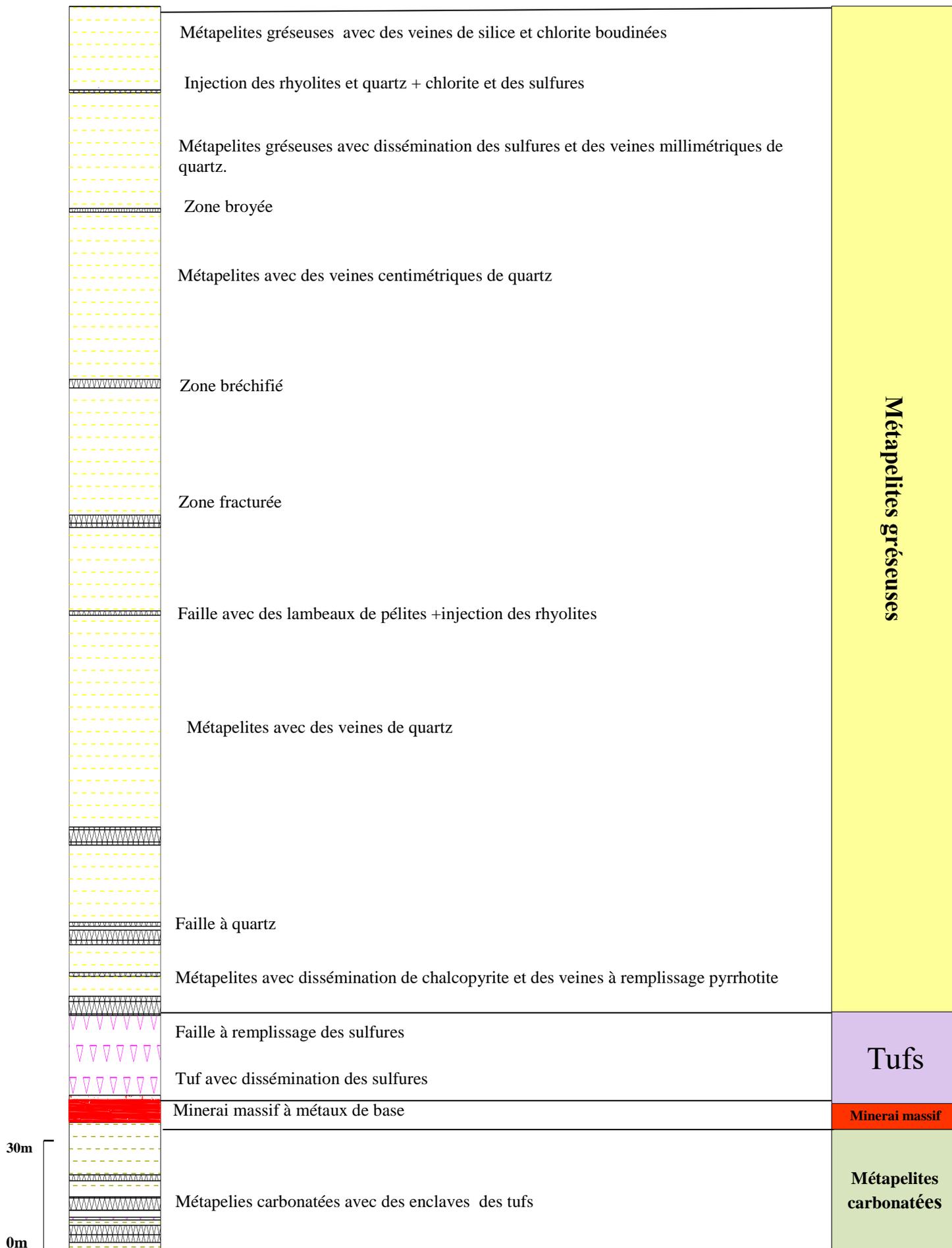


Figure 10: Log stratigraphique du sondage DF305.

A partir des résultats de ces sondages carottés (figure 8, 9,10), on peut conclure que la série de Draa Sfar est constituée du mur au toit de :

I.2.1/Formation de base :

C'est la formation qui se situe du côté Est de la minéralisation, constituée d'un ensemble volcanique et volcano-sédimentaires. On trouve de la base vers le sommet ; des rhyolites, des pélites gréseuses et des tufs.

Rhyolites :

Ce sont des roches sombres qui présentent une texture aphanitique à porphyrique renfermant des cristaux de quartz arrondi. Elles sont localement silicifiées avec des veinules de quartz (1cmx0.5cm). Elles sont massives très compétentes, peu affectées par la schistosité, Les rhyolites constituent la base de la série volcano-sédimentaire du Draa Sfar (photo 1).

Au microscope, il s'agit d'une roche très altérée avec une matrice formée de quartz et feldspath qui est relativement séricitisée avec des xénocristaux de quartz rhyolitique et plagioclases. (Photo 2).



Photo 2: Aspect macroscopique de la rhyolite.

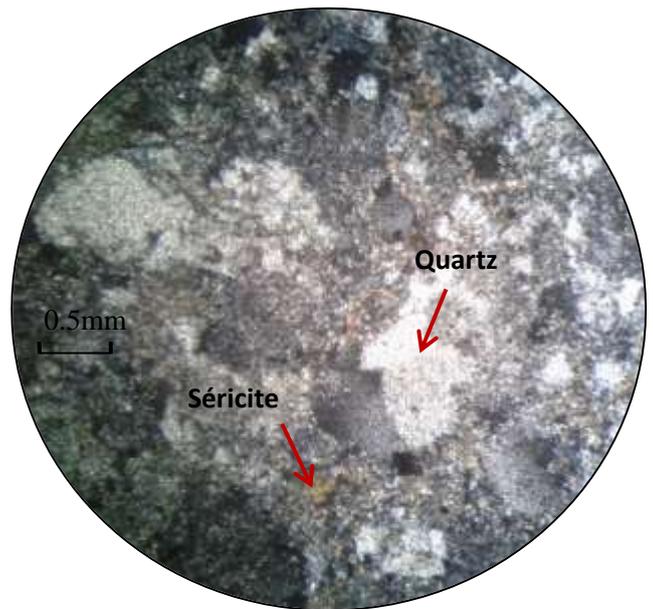


Photo 1:Aspect microscopique de rhyolite (GrX10).

Méapelites gréseuses :

Macroscopiquement, ce sont des pélites à niveaux gréseux, très altérées chloritisées, très schistosées d'une puissance allant de 50 à 150m.

Leur fine granulométrie conjuguée à leur schistosité, les rapproche des schistes pélitiques ou argileux hétérogènes à clastes. Ces méapelites se caractérisent par une couleur grisâtre, parfois verdâtre (photo 4), cette couleur est le résultat de l'altération hydrothermale et plus précisément lorsqu'il s'agit d'une chloritisation intense, avec l'injection des rhyolites et des veines millimétriques à centimétrique de quartz et chlorite ou de pyrrhotites (photo 5).

Par endroit, on remarque quelques disséminations des sulfures au niveau de ces métapelites.

On note que ce faciès présente souvent une alternance des niveaux sombres et d'autres clairs, et qui gardent les structures sédimentaires primaires à savoir un litage S0 et des slumps.

NB : Au niveau de ces métapelites la schistosité fait un angle généralement de 45° à 50° avec l'axe de carotte.

Au microscope, il s'agit d'un faciès fin lité, avec alternance des lits clairs et des lits sombres, cette alternance se traduit par des zones micacées à chlorite et séricite et des zones à quartz et feldspath. La matrice argileuse est transformée en séricite et muscovite avec un peu de chlorite. On note également la présence des cristaux de quartz aplatis suivant la direction de la déformation générale. Les minéraux opaques sont fréquents en tâches orientés suivant les plans de schistosité (photo 3).



Photo 4: Alternance des lits gréseux et des lits pélitiques.

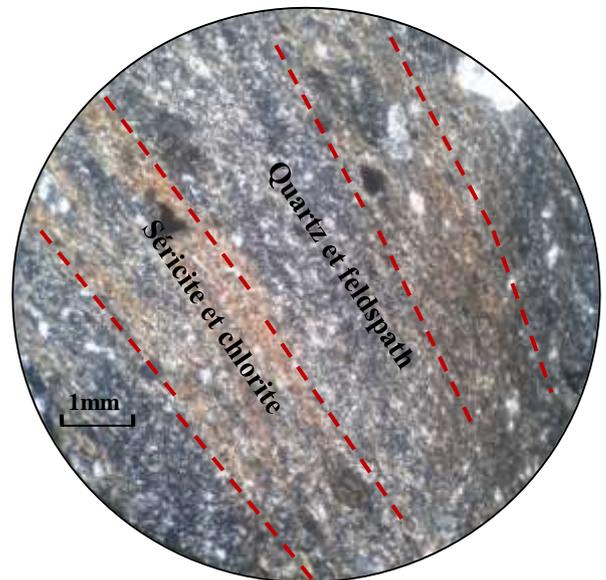


Photo 3: Vue microscopique des métapelites gréseuses (GrX4).

Lambeau de
pélites



Photo 5: Injection de rhyolite avec des lambeaux de pélites et de quartz au sein des métapelites gréseuses.

Tufs :

D'origine volcanique résultant de la consolidation de débris volcaniques, confondus souvent avec les pélites gréseuses sauf qu'ils présentent une texture bréchique de couleur grise et ils sont affectés intensivement par la chloritisation. Ils contiennent des phénocristaux de quartz arrondis donnant un touché rugueux dans la cassure fraîche. Ils sont nommés des métatufs car ils ont subi un métamorphisme de faible degré. On note la dissémination de la chalcopyrite et des sulfures au sein de ces tufs (photo 10). On distingue deux types : tufs fins et tufs grossiers (photo 8).

L'homogénéité des tufs témoigne d'une formation rapide provenant d'une même source. Ils forment par endroits la base de la minéralisation sulfurée, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une faille à remplissage de chlorite ou de quartz.

Microscopiquement, les tufs sont constitués essentiellement du quartz de taille variable et des feldspaths très altérés dans une matrice dominée par la chlorite, la séricite et la biotite en voie de transformation en chlorite. Ce faciès montre aussi deux aspects différents (photo 6,7), les tufs fins et des tufs rhyolitiques grossiers dominés par une mésostase fine dans laquelle on observe des phénocristaux de quartz corrodé et quelques cristaux de sphène (photo 9).

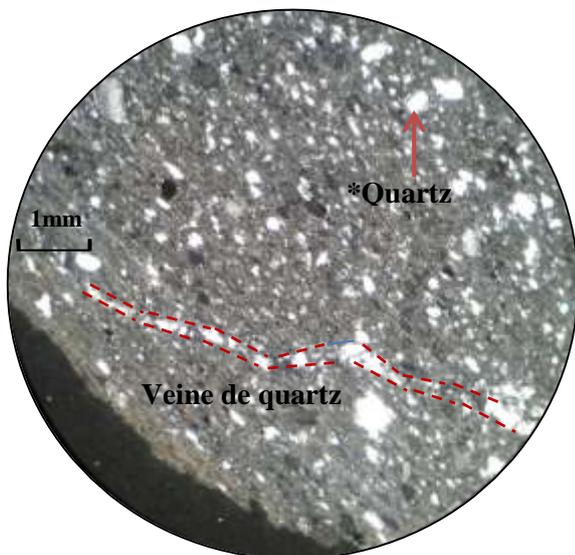


Photo 6: Vue microscopique des tufs fins avec une veine de quartz (GrX4).



Photo 7: Vue microscopique des tufs grossiers rhyolitiques (GrX4).



Photo 8: Les tufs grossiers.

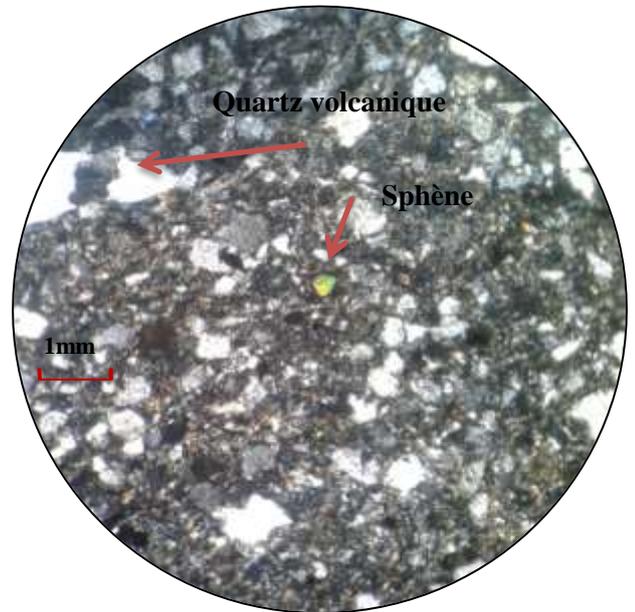


Photo 9: Le sphène et le quartz volcanique dans les tufs rhyolitiques (GrX4).



Photo 10: Dissémination des sulfures dans les tufs fins.

I.2.2/Formation médiane :

C'est un amas massif qui se présente sous forme de lentille allongée N-S avec une puissance de 2.5m mesurée sur le sondage DF314 à 7m sur le sondage DF305. Elle est formée principalement de pyrrhotite, avec des traces de pyrite et de chalcoppyrite disséminée, en plus des autres sulfures d'intérêt économiques non visible à l'œil nu avec un potentiel important en métaux de base : Cu–Zn–Pb.

Elle est subdivisée en deux parties de texture différente (photo 11,12). La première partie est composée de pyrrhotite massive. La deuxième partie est composée de pyrrhotite submassive avec des traces centimétriques de chalcoppyrite et avec un pourcentage variable des fragments des roches encaissantes.



Photo 11: Minerai submassif.

Textures de la
minéralisation



Photo 12: Minerai massif.

L'étude métallographique menée sur les sections polies nous a permis de distinguer les phases minérales suivant :

a. La pyrrhotite :

La pyrrhotite représente le sulfure de fer dominant au niveau du gisement qui n'est pas économique mais qui englobe les phases minérales exploitables économiquement telle que la sphalérite, la chalcoppyrite, la galène associés à des enclaves d'encaissant. Elle est sous forme des plages de dimensions de quelques microns à une centaine de micron, étirée aplatie et déformée suivant la direction de la déformation régionale (photo 14).

b. La sphalérite :

La sphalérite est bien exprimée dans le minerai, de couleur gris clair avec des réflexions internes blanches jaunes, et qui se présente sous forme des petites plages fines isolées (20µm à 200µm) au sein de la pyrrhotite ou des masses anastomosées. Elle contient localement des inclusions de la chalcopyrite, de la galène ou de la pyrrhotite.

La sphalérite apparaît abondante dans les rubans riches en Pb-Zn avec de dimensions relativement importantes dans les zones abritées associées à la gangue. Elle apparaît également sous forme de plages grossières au sein de la gangue (photo16).

c. La chalcopyrite :

C'est la phase la plus abondante après la sphalérite. Elle est très fine et disséminée dans la pyrrhotite, sous forme de plages ou de liseré dans les joints lorsqu'il s'agit d'une remobilisation ou dans les ombres de pression (photo 15), elle est caractérisée par sa couleur jaunâtre bien visible.

d. La galène :

La galène est légèrement représentée dans le minerai, sous forme de plages ou des grains fins (<50µm) ou des inclusions associées à la pyrrhotite, ou sous forme de liseré qui souligne le contact entre les grains (photo 13).

e. La pyrite :

La pyrite est moins abondante dans les échantillons étudiés, elle se présente aussi bien dans la masse minéralisée que dans l'encaissant, qui est caractérisée par son mauvais polissage (photo 14).

f. l'arsénopyrite :

L'arsénopyrite est faiblement représenté, et rassemblée en agrégat (photo 13).

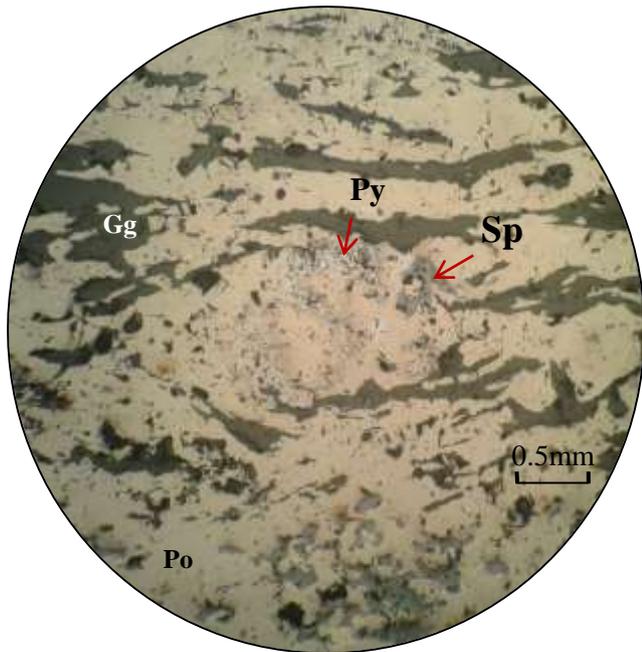


Photo 14: Aspect microscopique d'une minéralisation à texture submassive « py: Pyritr.Po : pyrrhotite. Sp: sphalérite. Gg : gangue» (GrX10).

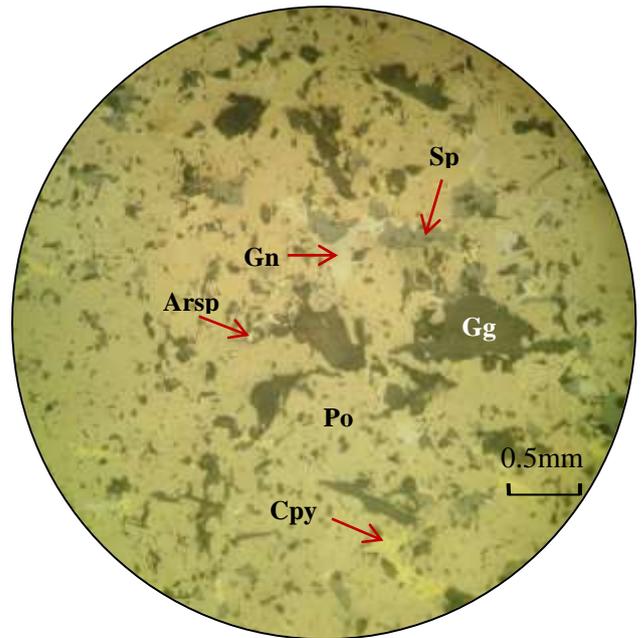


Photo 13: Aspect microscopique d'une minéralisation à texture massive « py: Pyritr.Po : pyrrhotite. Sp: sphalérite. Arsp : arsenopyrite .Cpy : chalcopyrite.Gg : gangue» (GrX10).

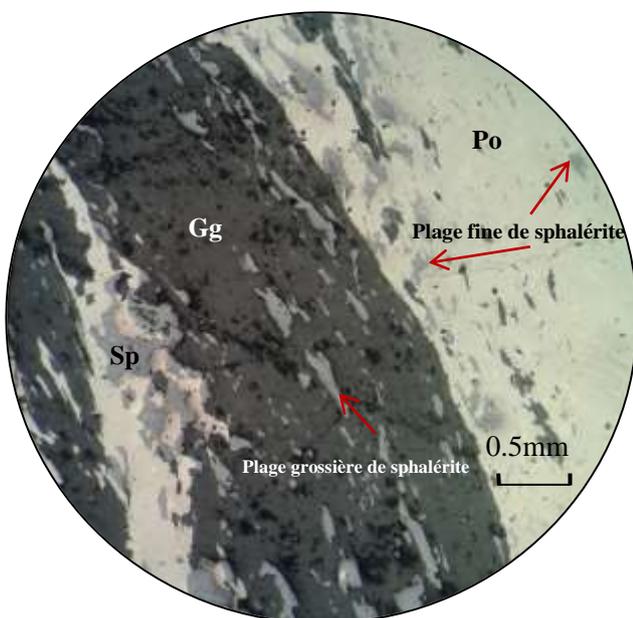


Photo 16: Les différents aspects de sphalérite dans la minéralisation «Po : pyrrhotite. Sp: sphalérite. Gg : gangue». (GrX10).

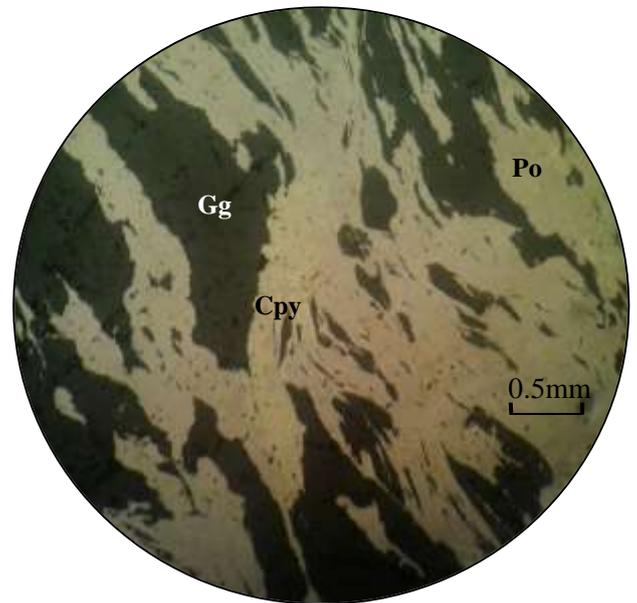


Photo 15: La chalcopyrite dans les ombres de pression Po : pyrrhotite. Cpy : chalcopyrite .Gg : gangue». (GrX10).

I.2.3/Formation de toit :

Métapelites carbonatées :

Ce faciès sédimentaire coiffe directement la masse minéralisée .Il est imprégné par un réseau de veines et veinules à remplissage carbonaté ou de quartz, avec une matrice carbonatée.

Elles sont grisâtres mais par endroit se présentent avec des teintes verdâtres, cela peut être due à une forte activité hydrothermale et généralement c'est la chloritisation qui est responsable de ses teintes vertes (photo 18).

La présence des enclaves des tufs au sein de métapelites peut être expliquée par le fait que les tufs ont subi une érosion et qu'au moment de sédimentation ils ont été emballés avec les métapelites (photo 19).

Ces métapelites sont intensément schistosées où la S1 fait un angle qui varie de 40° à 50° avec l'axe de la carotte, avec des zones à dissémination des sulfures, ceci nous renseigne sur la proximité de la zone minéralisée.

Les métapelites carbonatées montrent généralement au microscope une minéralogie dominée par du quartz, du feldspath et des carbonates avec dissémination des minéraux opaques (photo 17).



Photo 18 : Aspect macroscopique des métapelites noires carbonatées.

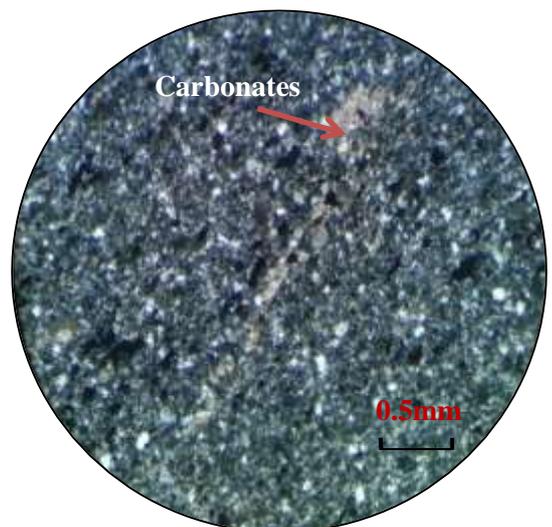


Photo 17: Aspect microscopique des métapelites carbonatées (GrX10).

Les enclaves des tufs rhyolitiques



Photo 19: Les enclaves des tufs rhyolitiques dans les métapelites carbonatées.

Remarque : les métapelites gréseuses et carbonatées contiennent parfois des veines millimétrique à centimétrique de quartz ou de calcite, avec une génération de veines qui suit la schistosité et d'autres générations la recoupe (photo 20, 21, 22,23).



Photo 20: Les veines du quartz dans les métapelites gréseuses suivent les plans de schistosité.



Photo 21: Deux générations des veines du quartz, des veines parallèles à la S1 les autres la recourent.



Photo 22: Une veine de quartz plissée.



Photo 23: La pyrrhotite disséminée au sein des tufs.

I.3/ Les coupes géologiques des sondages réalisés :

A partir des données récoltées des trois sondages on a pu réaliser des coupes géologiques pour corréler entre les différents sondages qui ont été implanté au niveau de la même zone (figure 11,12).

Ces coupes vont nous permettre de bien comprendre la relation entre les différents faciès et la succession des diverses formations qui constituent la série de Draa Sfar, et également de comprendre la géométrie du corps minéralisé, et suivre l'évolution de l'amincissement de la minéralisation.

I.3.1/ Coupe DF314/DF317 :

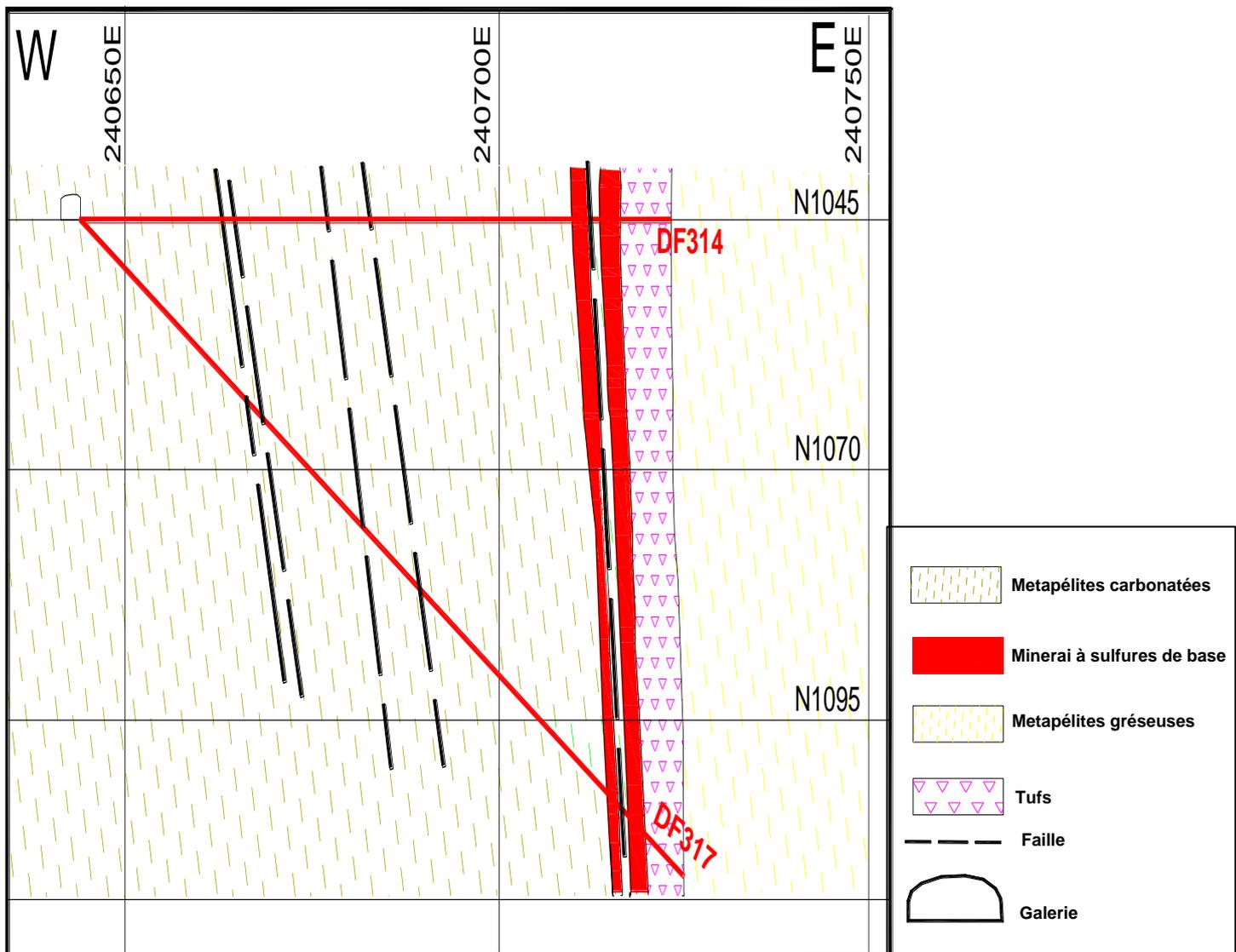


Figure 11: Coupe géologique des Sondages DF314/DF317.

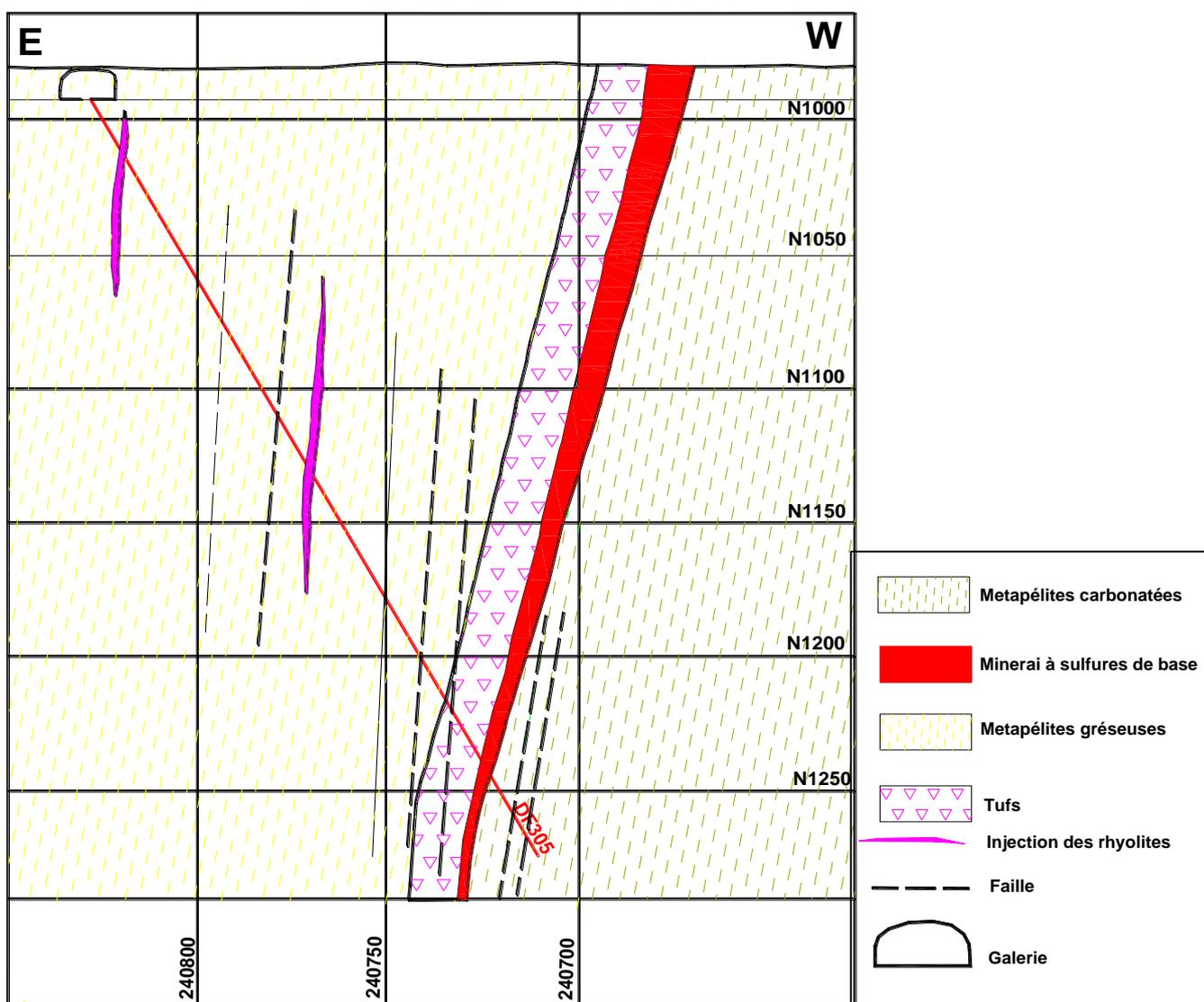
I.3.2/Coupe DF305 :

Figure 12 : Coupe géologique de Sondages DF305.

I.3.3/Commentaire des coupes :

Les deux coupes montrent d'abord la succession lithologique des métapelites gréseuses et des tufs qui forment le mur de la série, et puis la lentille minéralisée et les métapelites carbonatées qui forment le toit.

Au niveau de la coupe DF317/DF314 orientée W-E (figure 11), on remarque une morphologie un peu particulière de la minéralisation, comme si on a deux lentilles, mais qui sont intercalées par les tufs, ceci peut être expliqué par un décrochement associé à un mouvement verticale. On observe également l'effet tectonique sur l'ensemble des faciès : des failles à remplissage différent qui ont la même direction que la S1, sachant que la schistosité a une direction moyenne N15.

Au niveau de la deuxième coupe DF305 orientée E-W (figure 12), un fort prolongement du corps minéralisé vers l'Est, avec un amincissement progressif avec la profondeur. L'ensemble est affecté par des failles et des injections des rhyolites au sein des métapelites gréseuses.

Généralement le contact du corps minéralisé avec l'encaissant n'est pas net. Ce contact se fait par l'intermédiaire des failles soit à remplissage broyé (photo 24) soit à remplissage de quartz (photo25).



Photo 24: Faille à remplissage broyé au contact mineraï-encaissant.

Contact faillé
Mineraï-encaissant



Photo 25: Faille à remplissage de quartz au contact mineraï-encaissant.

I.4/Conclusion

Le secteur étudié est occupé par un ensemble volcano-sédimentaire à la base et une série détritico carbonatée au sommet considérés comme encaissant de la minéralisation. La structure minéralisée à Draa Sfar sud fait partie d'une paragenèse minérale à Chalcopyrite, Galène, Blende, Pyrite, et dont la gangue est la pyrrhotite. Les différentes coupes géologiques nous ont permis d'établir une colonne lithostratigraphique synthétique dans laquelle, trois formations sont recoupées :

- **Formation de mur** : est principalement constituée par des rhyolites, des tufs et des métapelites gréseuses schistosés de couleur sombre, avec dissémination des sulfures par endroit.

- **Formation de toit** : est constituée par ; les métapelites carbonatées affectées par une schistosité de flux très pénétrative de direction moyenne N10, avec des failles remplis ou des failles à matériel broyé et imprégnées par des veinules millimétriques de calcite et de quartz.

- **Formation intermédiaire** : formée par la minéralisation polymétallique à pyrrhotite sous forme d'une mégalente boudinée et fracturée.

II. Etude géochimique et géostatistique

II.1/Etude géochimique et altération hydrothermale :

Pour caractériser chimiquement les altérations hydrothermales associées à la minéralisation du Draa Sfar Sud, on a analysé les différents faciès le long des sondages DF271 et DF294 (figure 13), qui ont été réalisés à partir du niveau 1000m, d'une façon à recouper toute la série du côté E et W.

ICP-MS : Plasma à Couplage Inductif couplée à découverte Spectrométrie de Masse est une technique d'analyse qualitative et quantitative utilisée dans laboratoire de recherche « **REMINEX** » dans le site de **Hajjar**, à **Marrakech**.

Les analyses chimiques des éléments majeurs ont été faites selon le changement du faciès dans les deux sondages passant par la série du mur, la minéralisation et la série du toit.

Cette étude consiste à étudier le comportement des éléments chimiques pour comprendre le changement de la composition chimique des roches encaissantes qui induit par les altérations hydrothermales.

Et dans le but de déterminer la zone plus altérée équivalente de zone proche de la source on a tracé des graphes des éléments majeurs en fonction de profondeur à partir des résultats d'analyses obtenu par **ICP-MS** des échantillons prélevés.

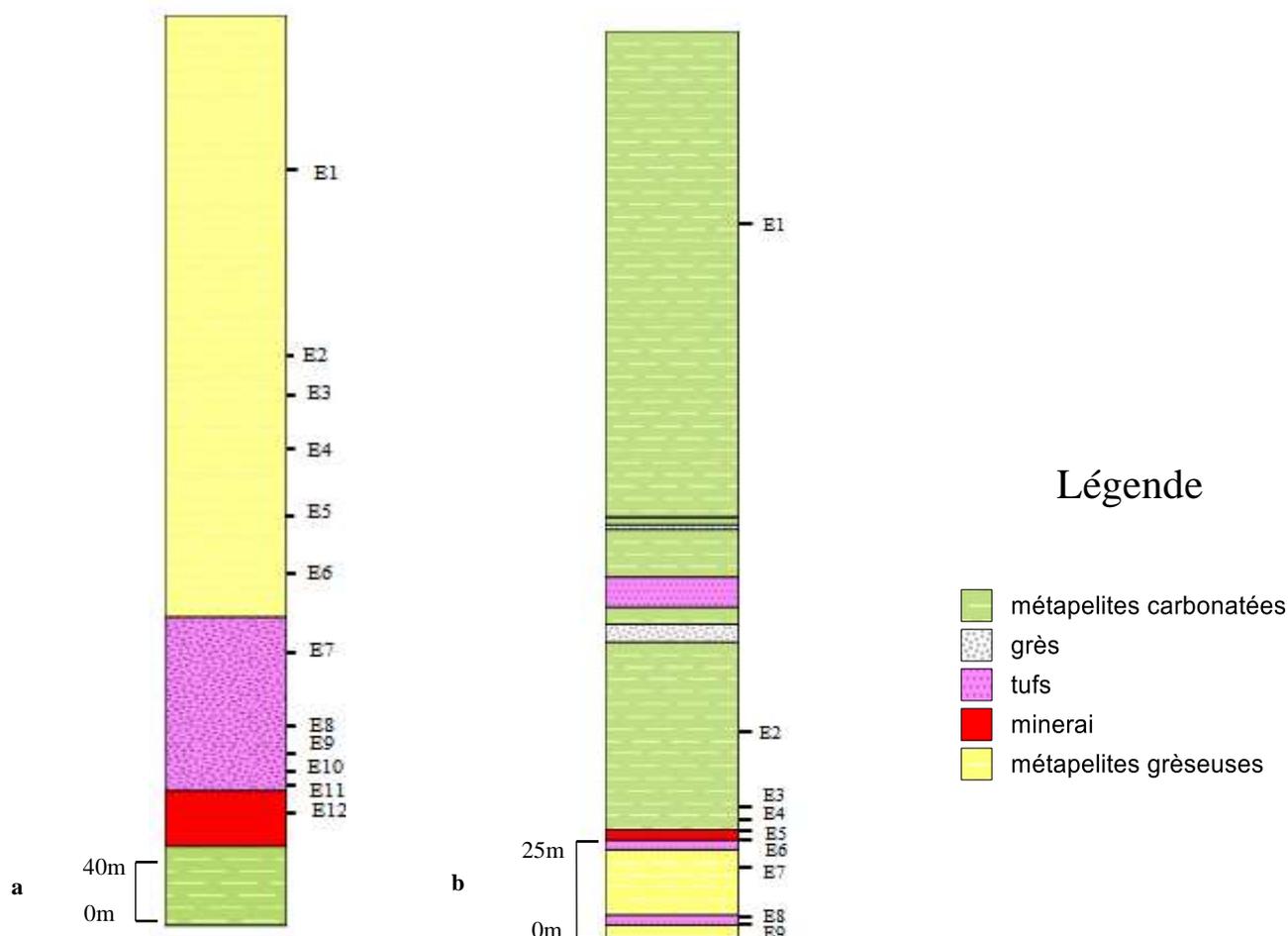


Figure 13: les logs stratigraphiques des sondages analysés avec la position des échantillons dans les sondages (a : DF294.b :DF271).

II.1.1/ Variation de certains éléments majeurs dans les sondages DF271 et DF294 :

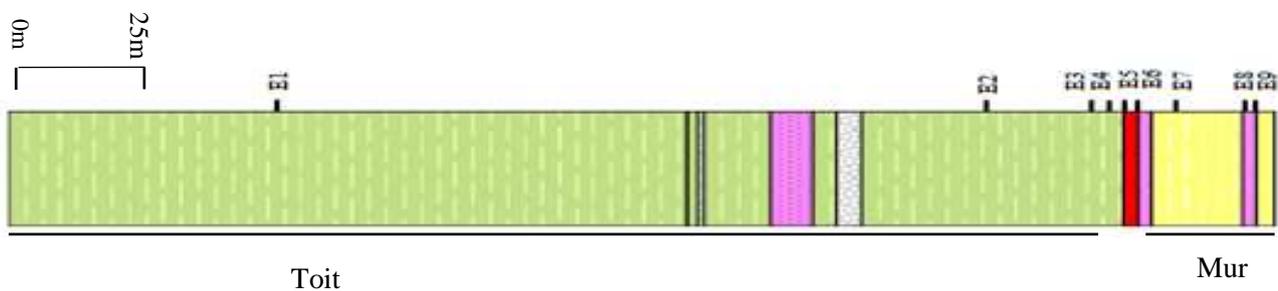
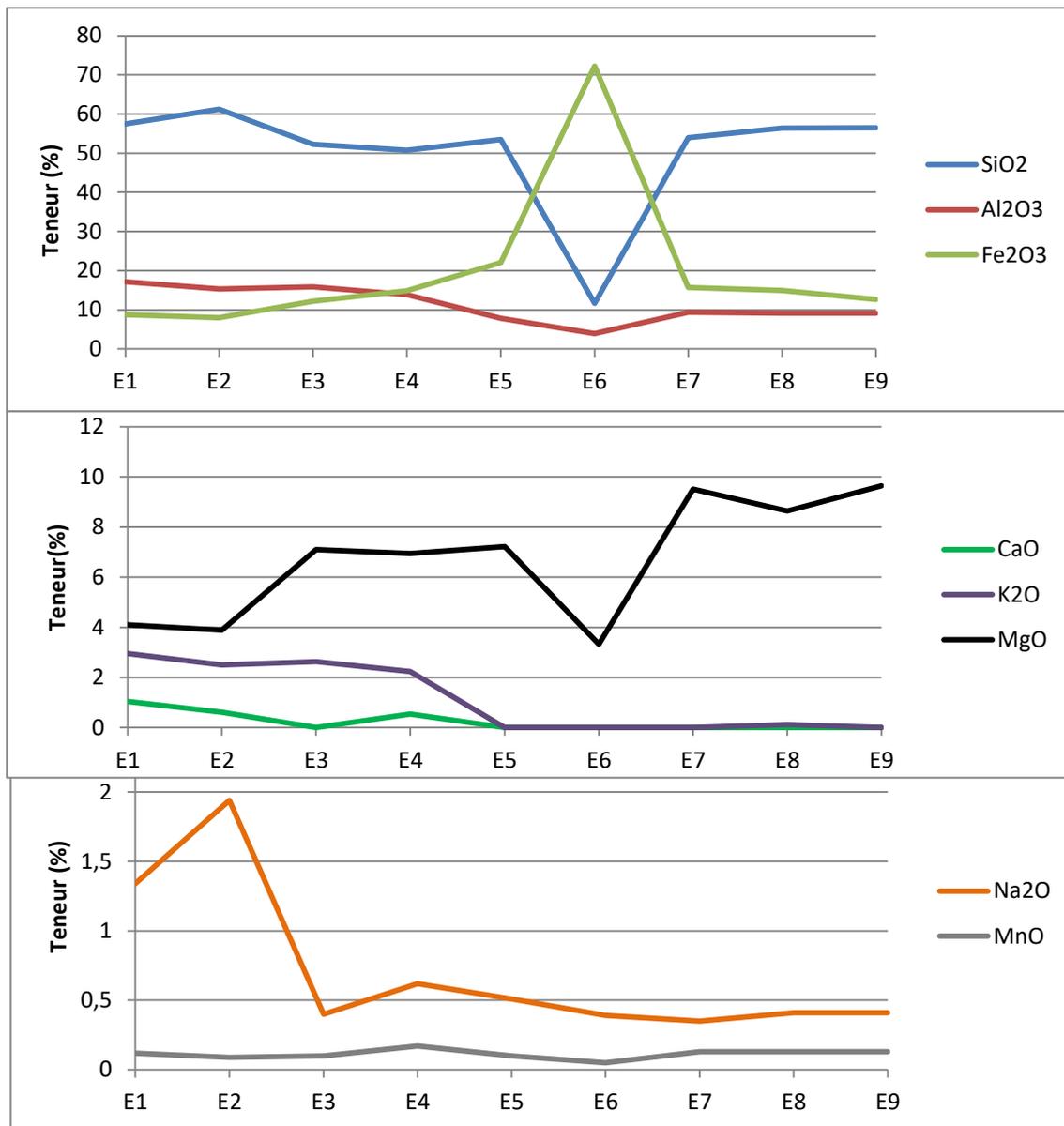


Figure 14: Profils illustrant la variation des éléments majeurs en fonction de la profondeur pour le sondage DF271.

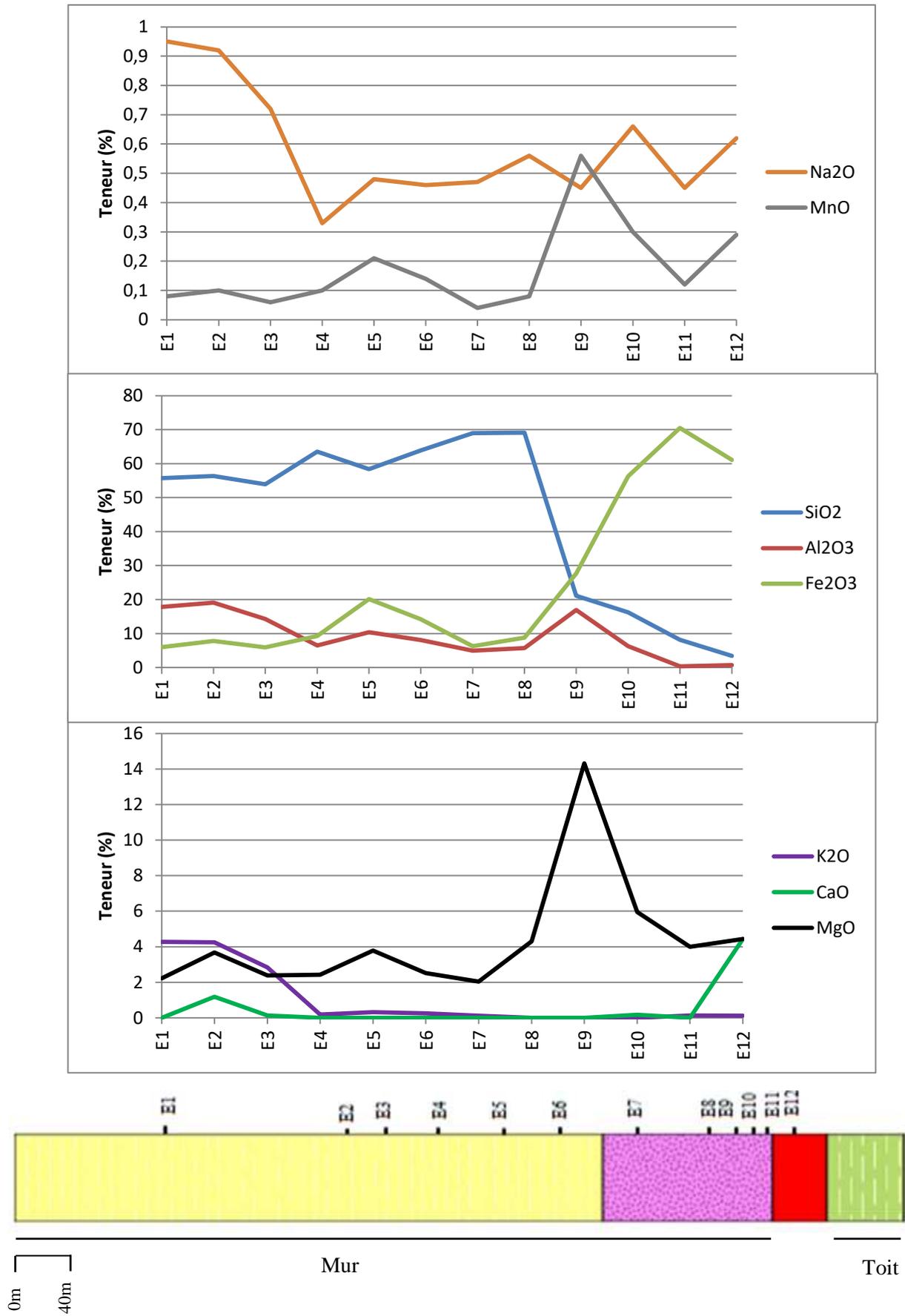


Figure 15: Profils illustrant la variation des éléments majeurs en fonction de la profondeur pour le sondage DF294.

Interprétation :

- **SiO₂** : La concentration plus élevée de SiO₂ est dans les métapelites gréseuses que dans les métapelites carbonatées, avec une diminution progressive en allant vers les tufs, en s'approchant de la minéralisation et devient plus faible.
- **Al₂O₃** : cette concentration apparait un peu plus stable dans toute la série. Cet élément enregistre des teneurs importantes dans les métapelites noire que les métapelites gréseuses, et des teneurs moins élevées dans les tufs avec une perte brutale au niveau de la minéralisation.
- **Fe₂O₃** : représente des teneurs assez faibles dans les pélites (aux alentours 10%), avec des teneurs élevées dans les tufs, elles peuvent atteindre la valeur 70% dans la minéralisation et une élévation au niveau d'échantillon E9 pour le sondage DF294.
- **CaO** : représente des teneurs très faibles presque pour toute la série avec une légère augmentation pour la minéralisation .Pour les métapelites carbonatées, les pics correspondent généralement à des failles avec un remplissage carbonaté.
- **MgO** : une concentration importante dans les tufs avec une concentration moins importante au contact minéralisation-tufs, et des teneurs faibles dans les pélites.
- **K₂O** : des teneurs peu importantes dans les pélites gréseuses et dans les pélites carbonatées, pour le reste de la série elles deviennent de plus en plus faibles.
- **Na₂O** : des teneurs élevées dans les métapelites avec une diminution pour le reste de la série ce qui peut nous informer sur un degré de lessivage très poussé.
- **MnO** : des faibles teneurs dans toute la série avec un gain de MnO en s'approchant de la minéralisation.

II.1.2/ les variations des indices d'altération dans les sondages DF271 et DF294 :

Cette identification est basée sur le calcul des indices d'altération : AI, ICHLO, ISER

- **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.

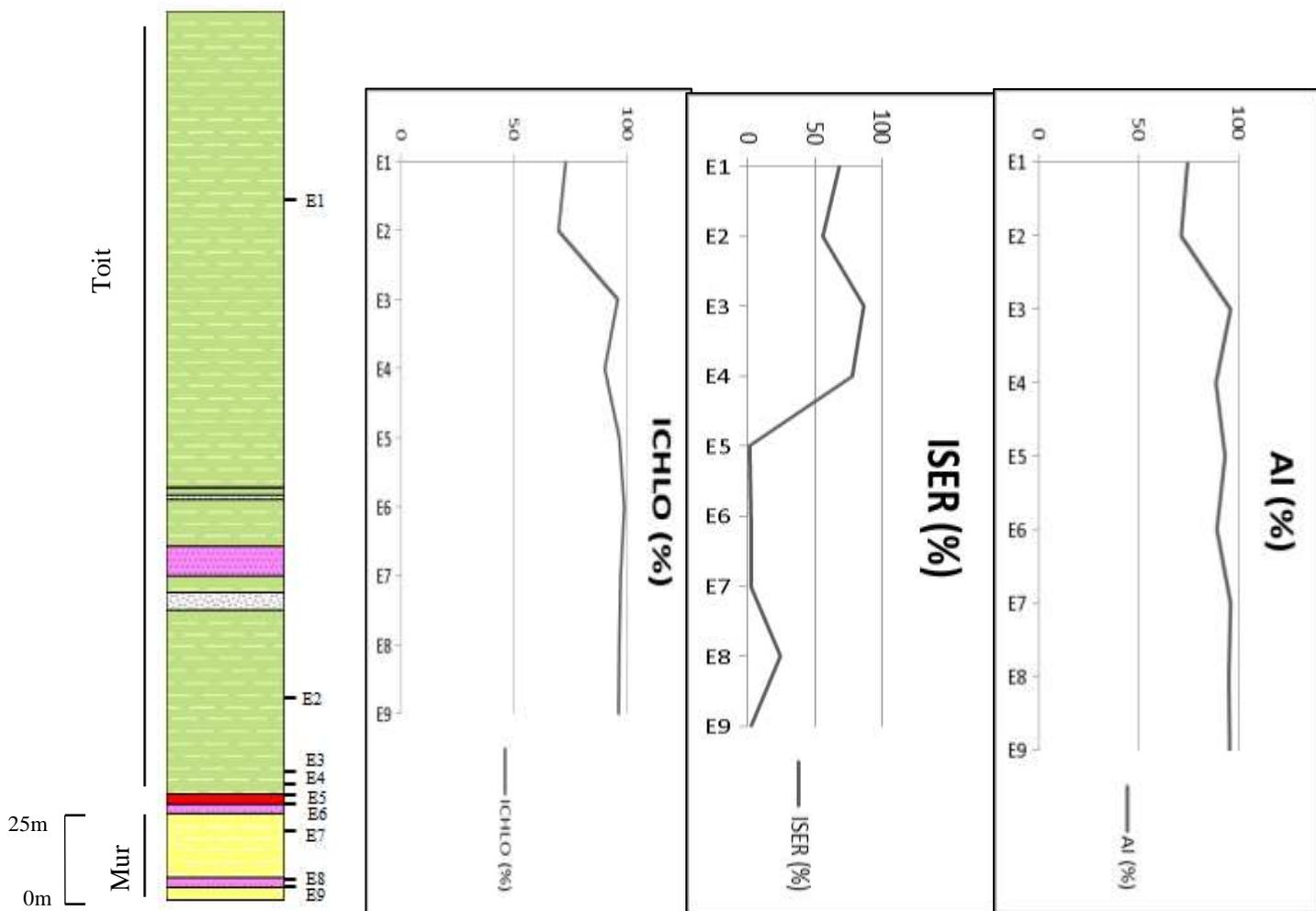


Figure 16: Profils illustrant la variation des indices d'altération allant du toit au mur pour le sondage DF271.

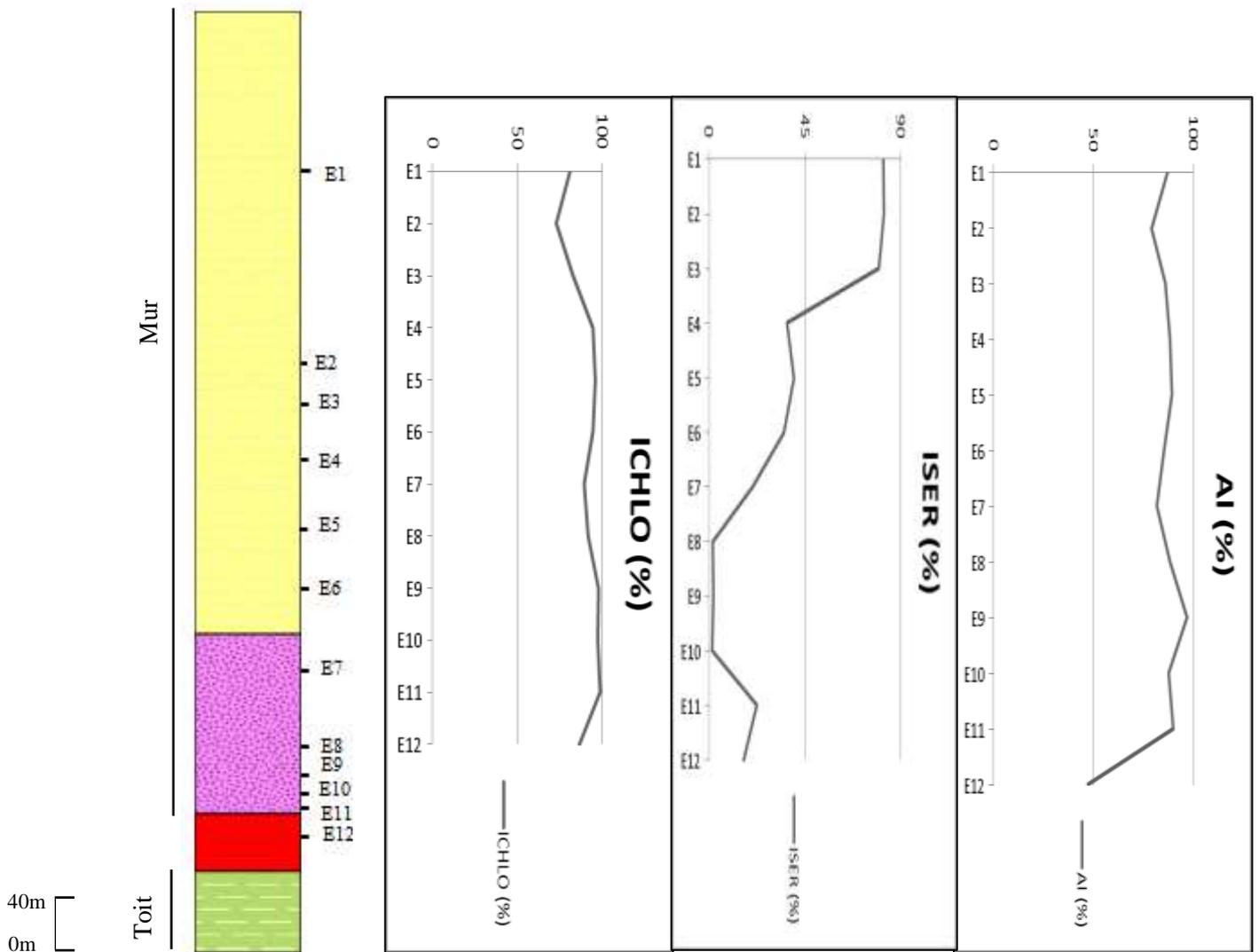


Figure 17: Profils illustrant la variation des indices d'altération allant de mur au toit pour le sondage DF294.

- **ISER** : Cet indice traduit l'abondance de la séricite .Les métapelites noires carbonatées du toit de la minéralisation ont un indice de séricitisation 96% supérieur à celui des métapelites gréseuses. Pour les métapelites gréseuses cet indice diminue en s'approchant des tufs jusqu'à ce qu'il atteigne les valeurs minimales au niveau de la minéralisation.
- **AI** : L'indice d'Ishikawa enregistre des valeurs indiquant l'intensité de l'altération hydrothermale en fonction de la proximité de l'amas sulfuré. Généralement cet indice est très élevé dans la série volcano-sédimentaire comme les tufs pour atteindre la valeur maximale 90%.
- **ICHLO** : c'est l'indice qui traduit l'abondance du chlorite montre que les tufs sont très chloritisés en les comparant avec les métapelites avec des valeurs aux alentours 99%, où on a remarqué une chloritisation très intense au voisinage du minerai.

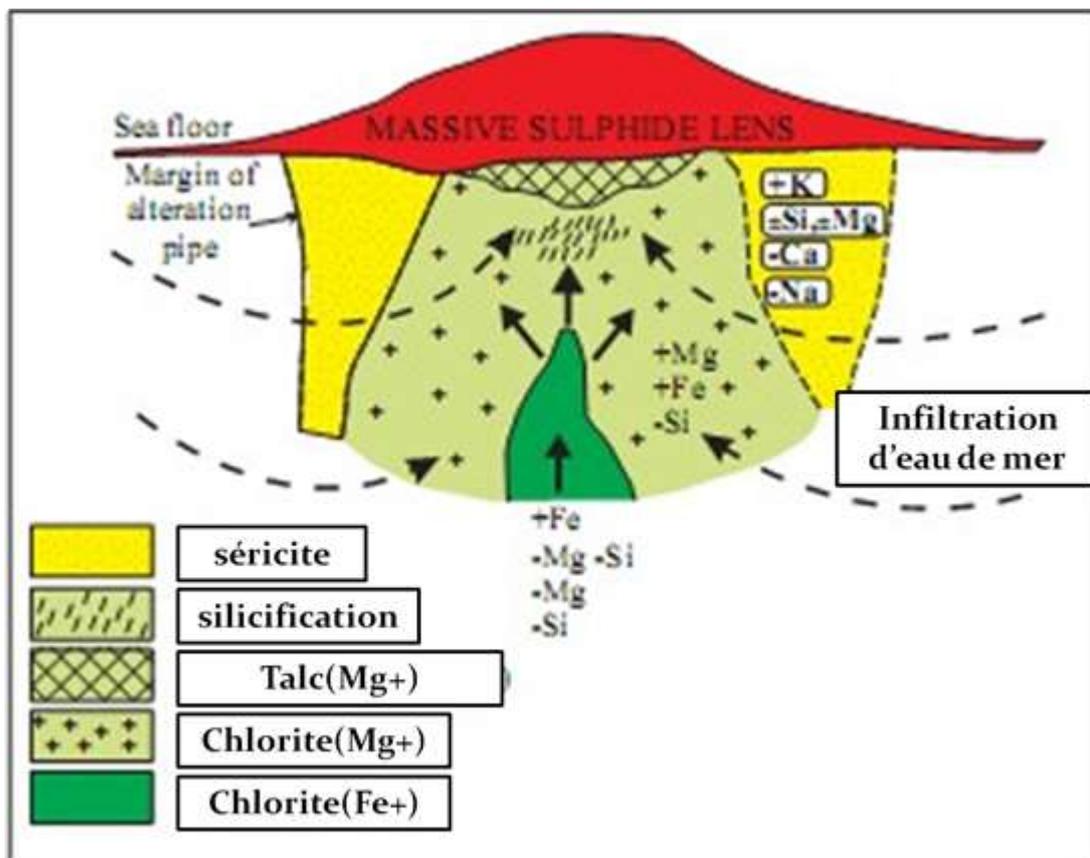


Figure 18: Coupe schématique de la cheminée d'altération associée à un VMS (Gibson et Galley, 2007) montre la disposition des principales zones d'altération, et les mouvements d'ions.

II.2/Etude géostatistique :

Pour mettre en évidence les principales corrélations existantes entre les métaux de base, on a travaillé éventuellement sur le sondage DF305 à partir d'échantillonnage réalisé sur l'impact minéralisé, en se basant sur une étude statistique appelée ACP : analyse en composante principale.

II.2.1/Tableau statistique :

Variable	Nombre d'observation	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Zn%	8	0,009	6,590	3,019	2,388
Pb%	8	0,005	1,850	0,871	0,750
Cu%	8	0,026	0,500	0,301	0,172
Fe%	8	6,040	48,020	34,535	15,186
Ag%	8	0,000	0,006	0,003	0,002
Co%	8	0,001	0,002	0,001	0,000
As%	8	0,014	0,960	0,379	0,346

Tableau 1: Les caractéristiques statistiques des données d'analyse.

Ce tableau nous a permis de visualiser généralement les éléments les plus abondants dans les sondages. D'une manière générale, Le fer présente les teneurs les plus élevés par rapport aux autres éléments, sa teneur moyenne est de 34,535 (%).Après le Fe on trouve que le Zn est bien représenté avec une teneur moyenne de 3,019 (%). Pour le Pb, on observe une teneur moyenne de 0,871 (%).Quant aux teneurs en Cu et As, nous constatons que les résultats sont relativement faibles. Ainsi que la teneur d'Ag est légèrement faible.

II.2.2/ Matrice de corrélation :

Variables	Zn%	Pb%	Cu%	Fe%	Ag%	Co%	As%
Zn%	1	0,976	0,779	0,703	0,929	-0,241	0,867
Pb%	0,976	1	0,798	0,684	0,966	-0,354	0,898
Cu%	0,779	0,798	1	0,962	0,823	0,123	0,792
Fe%	0,703	0,684	0,962	1	0,732	0,271	0,683
Ag%	0,929	0,966	0,823	0,732	1	-0,302	0,923
Co%	-0,241	-0,354	0,123	0,271	-0,302	1	-0,254
As%	0,867	0,898	0,792	0,683	0,923	-0,254	1

Tableau 2:Matrice de corrélation.

Les résultats des corrélations totales (tableau 2) nous ont permis de conclure :

- Une corrélation très forte entre le Zn, le Pb et l'Ag. Cette bonne corrélation indique qu'ils sont associés.
- Une corrélation moyenne entre :
 - ✓ Le Cu et le Fe.
 - ✓ Le Pb et le Zn avec l'As.
- Une corrélation très faible à inexistante entre le Co et les autre éléments.

II.2.3/Cercle de corrélation :

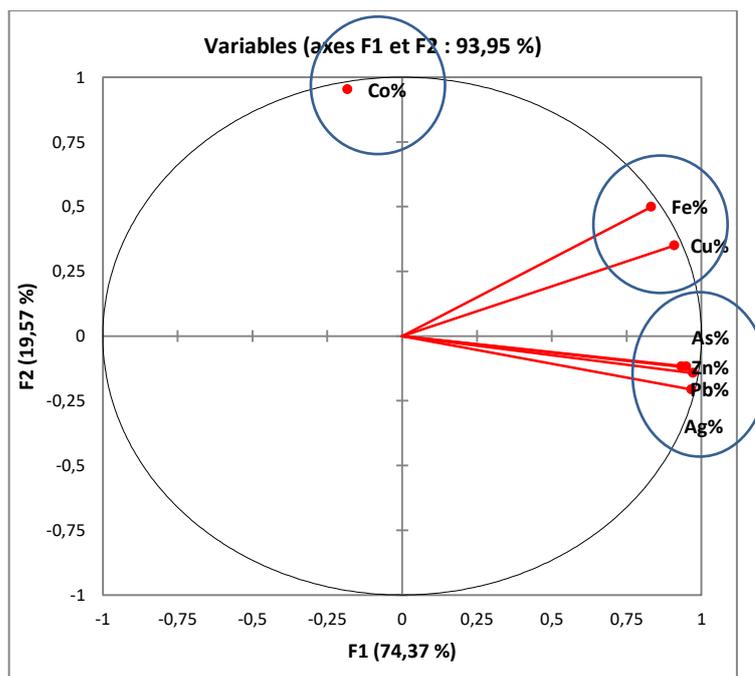


Figure 19:Structure de corrélation.

Cette projection (figure 19) montre deux affinités : la première entre le Fe et le Cu, la deuxième entre : le Pb, le Cu, l'As et l'Ag

Cette association des éléments prouve une mise en place commune sous des mêmes conditions physico-chimiques.

Par contre le Co on le trouve isolé cela veut dire qu'il est faiblement associé avec les autres éléments.

II.3/Conclusion

L'altération issue de la circulation des fluides hydrothermaux au voisinage de l'amas sulfuré de Draa Sfar Sud, 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 un enrichissement d'un autre. Qui s'explique l'augmentation des teneurs de MnO, MgO et Fe₂O₃ en s'approchant de la minéralisation par effets d'hydrothermalismes, on s'approchant de la minéralisation on remarque une forte activité hydrothermale qui indique une augmentation en chlorite (minéral d'altération). Pour la diminution des autres éléments s'explique par la dégradation de feldspath (K₂O) et la formation de de la séricite (élément d'altération).

Généralement, on peut dire que la chloritisation se développe surtout au niveau de la formation de mur, par contre la séricitisation est très intense dans la formation de toit.

Le traitement géostatistique nous a permis aussi de déduire la relation entre les éléments de la paragenèse minérale à Draa Sfar Sud. Il s'agit de deux grandes associations minérales (Pb, Zn, Ag, As), et (Cu, Fe).

III. Etude structurale

III.1/Introduction :

Les formations volcanosédimentaires de Draa Sfar sud sont affectées par trois phases de déformations, précédées par une phase synsédimentaire antéschisteuse (D0) liée à la formation du bassin. La première phase majeure est syn-schisteuse (D1). La deuxième phase est post-schisteuse plicative(D2) et La troisième phase est cassante tardive(D3).

En plus des données disponibles, nous avons réalisé un levé structural au niveau 780(figure 20). Les observations faites sur les sondages carottés nous ont permis de caractériser chaque phase structurale.

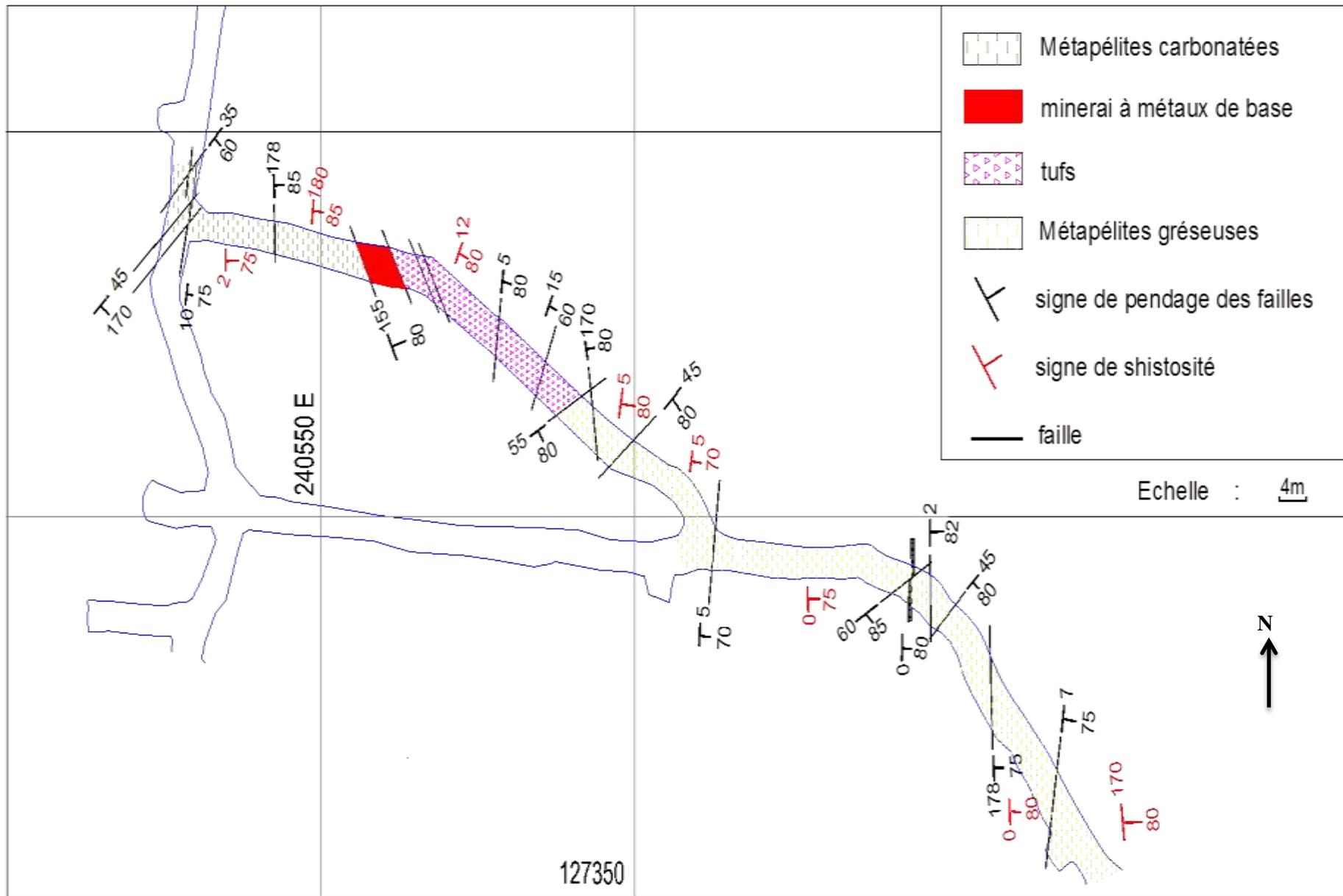


Figure 20: Levé réalisé N780.

III.2/La déformation synsédimentaire (D0) :

Cette phase est caractérisée par le développement d'un certain nombre de structures synsédimentaires qui sont mal exprimées à cause de la phase de compression. Elles comprennent les slumps (photo 27), et les nappes gravitaires. La stratification S0 est subparallèle à la schistosité S1, elle est peu visible du fait de la transposition de la S0 par la S1 (photo 26).



Photo 27: Les slumps dans les métapelites carbonatées.



Photo 26: La S0 dans les métapelites gréseuses.

III.3/La déformation synschisteuse hercynienne majeure D1 :

Elle s'agit de la phase compressive majeure du cycle hercynien. Elle est représentée par des plis P1, une schistosité plane axiale de flux S1, des zones de cisaillements ductiles associées à des fentes de tensions, des structures de boudinage. C'est au cours de cette phase D1 que la schistosité transpose et oblitère la stratification (S0).

Parmi les structures observées on note :

III.3.1/La schistosité S1 :

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 85°) vers l'Est. Elle s'agit d'une schistosité de flux pénétrative, qui résulte d'une compression orientée E-W (photo 29). Selon la compétence de la roche, la S1 s'exprime différemment. Elle est de fracture au niveau des métatufs, et ardoisière au niveau des métapelites carbonatées.

Microscopiquement, la schistosité est traduite par l'étirement et l'orientation des minéraux antétectoniques. Des zones abritées se développent autour des cristaux de quartz. Les niveaux chloriteux et sériciteux sont aussi étirés suivant la direction de la déformation régionale, ce qui indique que l'altération est précoce (photo 28).



Photo 29: La S1 dans les métapelites gréseuses.

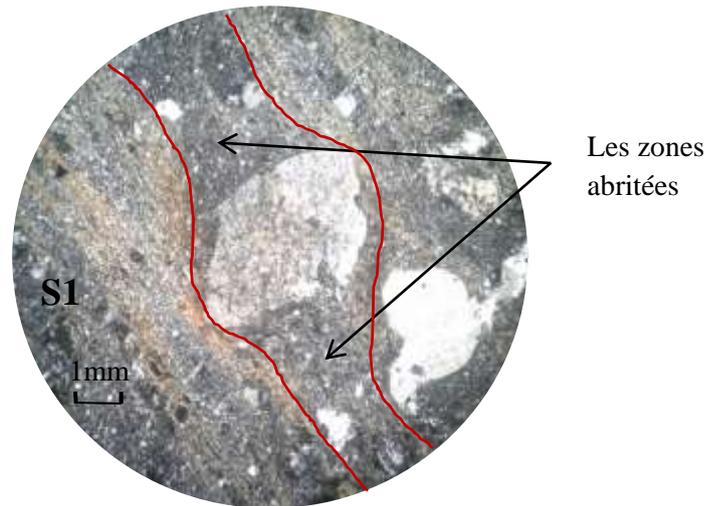


Photo 28: Un quartz moulé par la S1 (GrX4).

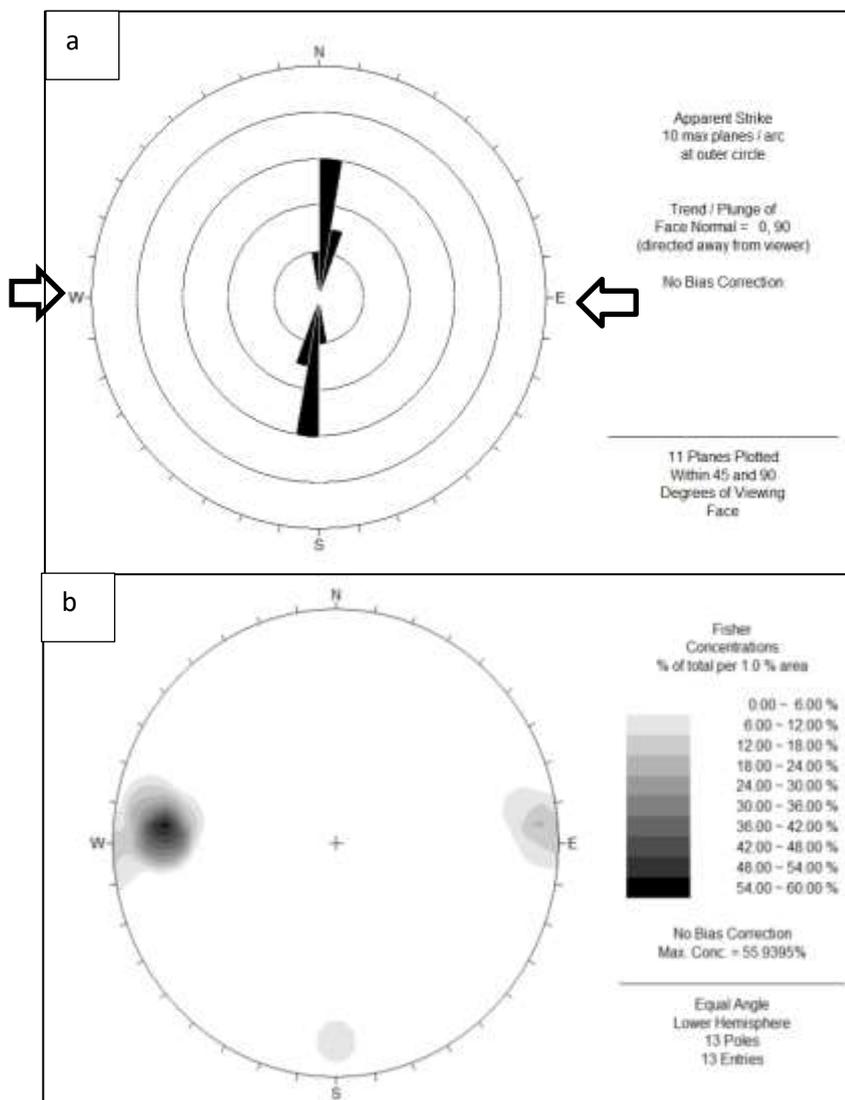


Figure 21: Rosace de projection des directions de la schistosité S1(a) et pendage des pôles de la schistosité S1 (b).

Le diagramme rosace montre le développement d'une seule famille de schistosité S1 de direction moyenne : N10 (figure 21). La projection stéréographique des pôles montre une concentration majeure des points dans le côté Ouest ce qui signifie que le pendage dominant de la S1 est vers l'Est avec cependant des pendages vers l'Ouest qui s'expliquent par une disposition locale en éventail de cette schistosité

III.3.2/Le plissement P1 :

La déformation hercynienne dans les Jebilet a engendré plusieurs structures tectoniques d'échelle régionale et locale. Parmi ces structures, on note des mégas et des microplissements. Toute la série de Draa Sfar est engagée dans une mégastructure plicative de direction subméridienne. Ce plissement est synschisteux, avec un plan axial N10, 80°E.

A Draa Sfar la présence des microplissements P1 montre une compatibilité avec une compression hercynienne de direction globale E-W. Ces plis sont le plus souvent rencontrés au niveau des pélites. La schistosité S1 est contemporaine au plissement P1.

III.3.3/Les zones de cisaillement ductiles C1 (Shear zones) :

Grâce aux déviations 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). Entre ces cisaillements se développent des fentes de tension centimétriques à métriques, parfois en échelons. Elles sont souvent décalées, et fracturées par les déformations postérieures (photo 30), (figure 22).

Microscopiquement on constate aussi la présence des sulfures cisailés (photo 31).



Figure 22:Fente suivie par une fracture cisailante dextre.

Photo 30:Les fentes de tension disposées en échelon de direction E-W.



Photo 31: microplissement d'entraînement de la sphalérite dans la zone de cisaillement (GrX10).

III.3.4/Le boudinage :

Les boudins sont des structures en extension, dues à la rupture d'un niveau localement plus compétent (cassant) au sein d'un paquet « mou » (moins compétent, et se déformant de façon plastique). La direction des boudins suit souvent les plans S1 (photo 32).



Photo 32: Filon boudiné à quartz carbonaté observé au passage minéralisation-tufs.

III.4/ La déformation hercynienne tardive D2 :

Cette phase est marquée par le développement d'une schistosité S2 perpendiculaire à la S1. On note également la présence des kink-bands qui témoignent de la reprise de la phase majeure syn-schisteuse.

III.4.1/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 fort pendage vers le Sud. Elle est de fracture au niveau des roches compétentes (Rhyolites, tufs) et de crénelation au niveau des pélites.

III.4.2/Les kink-bands :

Littéralement "bandes en genou" ces "bandes de froissure" correspondent à l'association de deux flexures très anguleuses, le long d'une bande relativement étroite (par rapport à sa longueur), qui traverse perpendiculairement un empilement de feuillets (strates d'épaisseur régulière, ou la schistosité S1). ces kink band sont plus au moins continus, et le plus souvent assez espacés (photo 33).



Photo 33: Système de kink-bands affectant la schistosité S1.

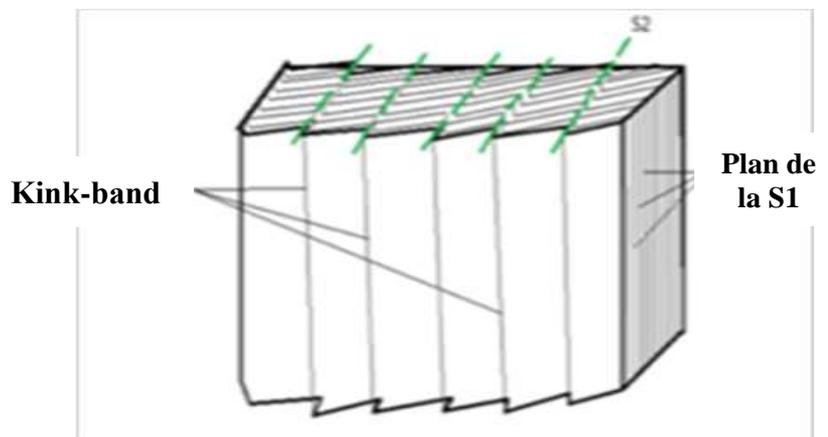


Figure 23: Représentation schématique des kink-bands dans la S1.

III.4.3/Le plissement P2 :

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

III.4.4/Le cisaillement C2

Ce cisaillement a une direction variable entre N70 à N90, à jeu décrochant dextre, ils décalent les cisaillements C1. Ces cisaillements donnent naissance à des fentes d'ordre secondaire à remplissage de quartzo-carbonaté.

III.5/La déformation cassante tardi-hercynienne :

Cette phase est représenté généralement par des failles à remplissages différents (quartz, calcite, chlorites, sulfures, matériel broyé) et d'ouvertures variables.

Les mesures effectuées aux niveaux des galeries, et la disposition des failles sur le levé structurale permettent d'identifier un ensemble de familles de failles de pendage et de direction différents.

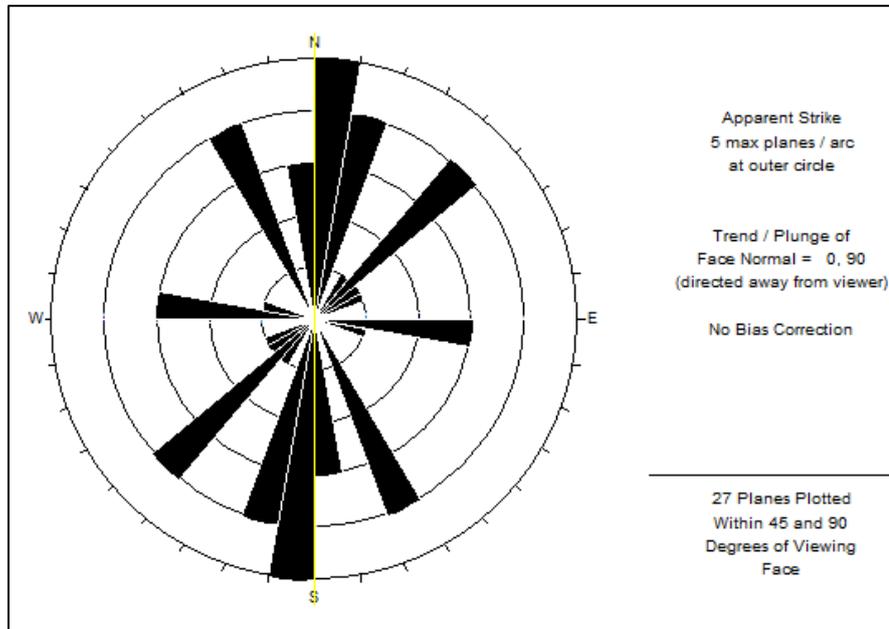


Figure 24:Présentation stéréographique de différentes familles de failles observées.

A partir du digramme rosace établi sur le levé réalisé dans les différentes formations au niveau -780 (figure 24), on peut dire qu'il s'agit de quatre familles de failles :

- Direction N-S : cette famille est la plus réponsus au niveau de Draa Sfar, elle est tardi-hercynienne, d'une direction générale de N0 à N15.
- Direction NE-SW : Deux familles de failles conjuguées N35 à N45 et N55 à N60. Ces familles sont responsables de la formation des kink-bands (BEN AISSI.2008). selon le principe de recouplement elles sont postérieures par rapport à la famille N-S.
- Direction NNW-SSE. Elle regroupe les failles dont les directions variant entre N160 et N155. Ces failles délimitent la minéralisation de part et d'autre avec un remplissage généralement à quartz.
- Direction E-W : sont souvent sous formes de diaclases consécutives, liées à la compression atlasique.

III.6/Conclusion :

La série de Draa Sfar est structurée en quatre phases de déformation de différentes intensités, dont chacune a des empreintes remarquables. La déformation synsédimentaire (D0), Le stade DI compressive (la schistosité S1, les fentes de tension et le boudinage), le stade DII (la schistosité S2) responsables de la formation des kink-bands, et le stade DIII cassant (les failles). 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.

Conclusion générale :

L'étude de gisement de Draa Sfar nous a permis de relever les conclusions suivantes :

Sur le plan lithostratigraphique :

L'étude réalisée a montré que la série complète comprend des termes volcaniques à la base 'Rhyolites' surmontés par des termes volcanosédimentaires 'tufs et pélites gréseuses', et des pélites carbonatées qui surmontent la lentille minéralisée.

Sur le plan géologique :

La minéralisation de Draa Sfar se présente sous forme d'une méga-lentille boudinée et fracturée, avec un pendage vers l'Est, et une orientation générale N-S. L'épaisseur de l'amas sulfuré diminue en allant vers l'aval.

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 présente plusieurs textures. Ces textures sont massives, submassives, rubanées à l'échelle microscopique, ou encore disséminées dans l'encaissant.

Cette minéralisation, comme son encaissant 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 est affectée par un ensemble de déformations, résumées en quatre phases de différentes intensités, dont chacune a des empreintes remarquables.

Le stade D0 est distensif qui se traduit par l'ouverture de bassin et la mise en place de la masse minéralisée.

Le stade D1 compressive (la schistosité S1, le plissement et le boudinage) responsable de la structuration de secteur de Draa Sfar.

Le stade D2 (la schistosité S2) une déformation tardive responsable de l'apparition d'une schistosité S2.

Le stade D3 de nature cassante, bien exprimée dans l'ensemble de formation.

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.

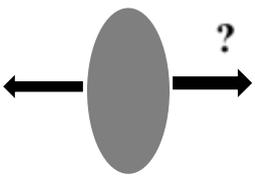
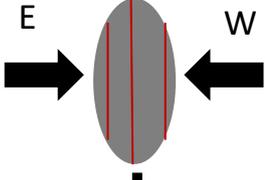
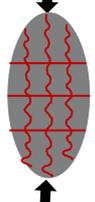
Phases	contrainte	Résultat	Origine
D0		Responsable de l'instabilité tectonique du bassin, au cours de la sédimentation et la mise en place de la masse minéralisée « se traduit par les slumps et des failles synsédimentaires »	L'ouverture de bassin des Jbilettes centrales.
D1		Synscisteuse, responsable de la structuration de Draa Sfar, une schistosité de flux S1, Plis P1 des zones de cisaillement ductiles C1, boudinage fentes.	Serrage hercynien qui s'inscrit dans l'évolution générale de la meseta centro-occidentale pendant le carbonifère.
D2			Déformation hercynienne tardive.
D3		Une phase tardive, de nature cassante, bien exprimée dans tout le secteur. Elle se matérialise par une fracturation post hercynienne.	Atlasiqne à tardi-atlasiqne

Tableau 3: les différentes phases tectoniques affectant le secteur de Draa Sfar.

Sur le plan géochimique :

Les analyses chimiques ont montré que les roches sont moyennement altérées, mais en s'approchant de la minéralisation, l'altération devient très intense. Les minéraux d'altération hydrothermale sont dominés par les chlorites au mur et la séricite au toit. Cette altération est caractérisée par un enrichissement en Fe_2O_3 , MgO et un appauvrissement en K_2O , CaO et Na_2O au mur. Par contre au toit on note un enrichissement en K_2O qui se traduit par une importance séricitisation.

En effet, la perte de K_2O et le gain en $MgO-Fe_2O_3$ traduisent par une diminution de la séricite et un enrichissement en chlorite.

Le traitement des associations géochimiques montre une corrélation généralisée entre le plomb et le zinc. Ceci laisse suggérer que le processus responsable de la mise en place est le même. Ces deux métaux peuvent être associés à l'argent et l'arsénopyrite. La bonne corrélation entre le fer et le cuivre montre que les deux métaux ont les mêmes conditions de stabilité.

Références bibliographiques

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. 145 p.

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

Archives du service géologique de la mine de Draa Sfar en 2008 et 2014.

Bamoumen, H. (1988) - Les déformations superposées contemporaines de la mise en place des nappes gravitaires des Jebilet Orientales (Maroc). Thèse 3° cycle, 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. 10251032.

Ben aissi et al, (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 (Jebilet centrales, Maroc hercynien). Thèse doctora, Univ Marrakech.

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

Boukerrou SALAH (2009) . Contribution à l'étude géologique gîtologique des amas sulfurés polymétalliques hercyniens : Exemple du grand aval Draa Sfar (Jebilet centrales, Maroc hercynien) .Mémoire de fin d'étude de master, la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, Maroc.

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 J. L. (1990). Reconnaissance de corps granitique syntectonique dans les séries magmatiques préorogéniques des Jebilet centrales (Hercynien, Maroc).Implications géodynamiques. C.R. Acad. Sci. Paris. 310, série II. p : 67-73.

Fabre, J. (1971) - Structure de l'Algérie saharienne. Eléments pour une carte tectonique. Bull. Serv. Géol., Algérie, V. 41, p, 161-185Nouvelle série,

Gentil L (1918). Notice sur les titres et travaux scientifiques de L Gentil. Larose, Paris, 132 pp

Gibson H. (2004), Volcanology and volcanogenic massive sulfide relevant to the volcanology and VMS deposits of the moroccan hercynides (Guemassa and Jebilet Terranes). Rp. Interne Manage, 38 p.

Gibson et Galley, (2007). Hydrothermalisme et ressources : dépôts de type « VMS » près de Rouyn-Noranda, Québec. Extrait du Géologie et géotourisme.

Gigout, M. (1951) - Etudes géologiques sur la méseta marocaine Occidentale (arriere-pays de Casablanca, Mazagan et Safi). Trav. Inst. Sci. Cher. Rabat, 3, et Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc, 86: 507p.

- Hibti, M. (2001).** Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilet (Meseta Sud-Occidentale, Maroc) : Témoins de l'hydrothermalisme précoce dans le bassin mesetien. Thèse de Docteur d'Etat Es-Sciences. Université. Cadi Ayyad. Marrakech, 296 pp.
- Huvelin, P. (1977).** Etude géologique et géologique du massif hercynien des Jebilet (Maroc occidental). Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc, 232 bis.
- Jadid, M. (1989).** Etudes des processus de différenciation des roches magmatiques pré-orogéniques des Jebilet centrales sur l'ensemble du massif stratiforme de Koudiat Kettara (Maroc hercynien). Thèse 3ème cycle, Marrakech.
- Moreno et al (2008).** Age and depositional environment of the Draa Sfar massive sulfide deposit, Morocco. Springer-Verlag 2008
- Permingeat, F. (1954)** - Sur la véné des Jebilet Orientales au Sud de l'Ouest Tensift. Notes et Nom. Serv. Géol. Maroc. 121: 17-22.
- 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, (2006).** Contribution à l'étude géologique du gisement polymétallique (Zn, Pb, Cu) de Draa Sfar, dans le cadre du Diplôme des études Supérieures Spécialisées, la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, Maroc, p108.
- Saber, N. (1986).** Etude pétrographique et structurale du massif de Kaddour Labdi (Jebilet centrales). Mem C. E. A. Univ, Marrakech

Annexe

N°	Cotes (m)	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	K2O (%)	MnO (%)	Na2O (%)	Al (%)	ICHLO (%)	ISER (%)
E1	50	57,49	17,19	8,77	1,04	4,1	2,96	0,12	1,34	74,78	73	68,83
E2	180	61,19	15,32	8	0,62	3,89	2,5	0,09	1,94	71,39	69,9	56,3
E3	197	52,29	15,85	12,22	0,1	7,1	2,63	0,1	0,4	95,95	95,92	86,79
E4	202	50,72	13,89	14,89	0,54	6,95	2,24	0,17	0,62	88,79	90,39	78,32
E5	207	53,51	7,79	22,07	0,1	7,22	0,01	0,1	0,51	93,29	96,57	1,9
E6	212	11,67	3,96	72,26	0,1	3,33	0,01	0,05	0,39	89,3	98,95	2,5
E7	217	53,95	9,35	15,68	0,1	9,51	0,01	0,13	0,35	96,35	97,22	2,77
E8	222	56,41	9,14	14,94	0,1	8,64	0,13	0,13	0,41	95,42	96,56	24,07
E9	227	56,48	9,11	12,65	0,1	9,65	0,01	0,13	0,41	95,83	96,36	2,38

Tableau 4: les analyses chimiques du sondage DF271.

N°	cote (m)	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	K2O (%)	MnO (%)	Na2O (%)	AL(%)	ICHLO(%)	ISER(%)
E1	89	55,72	17,84	5,98	0,01	2,22	4,27	0,08	0,95	87,11	81,02	81,8
E2	189.90	56,34	19,08	7,79	1,18	3,68	4,25	0,1	0,92	79,06	73,19	82,2
E3	209.00	53,91	14,27	5,9	0,13	2,39	2,83	0,06	0,72	85,99	82,98	79,71
E4	240	63,56	6,51	9,29	0,01	2,43	0,19	0,1	0,33	88,51	94,51	36,53
E5	275.10	58,37	10,39	20,1	0,01	3,78	0,32	0,21	0,48	89,32	96,05	40
E6	308	63,87	8,07	14,24	0,01	2,52	0,25	0,14	0,46	85,49	94,68	35,21
E7	348.50	68,94	4,94	6,24	0,01	2,04	0,12	0,04	0,47	81,81	89,61	20,33
E8	390.90	69,12	5,74	8,81	0,01	4,3	0,01	0,08	0,56	88,31	92	1,75
E9	405.90	21,13	16,95	27,66	0,01	14,31	0,01	0,56	0,45	96,88	97,85	2,17
E10	410.50	16,22	6,25	56,28	0,17	5,95	0,01	0,3	0,66	87,77	97,401	1,49
E11	415.15	8,17	0,35	70,51	0,01	3,99	0,13	0,12	0,45	89,95	98,78	22,41
E12	429	3,44	0,68	61,12	4,44	4,43	0,12	0,29	0,62	47,34	86,62	16,21

Tableau 5: Les analyses chimiques du sondage DF294.

cote(m)	Zn%	Pb%	Cu%	Fe%	Ag%	Co%	As%
281,50	0,009	0,0049	0,0264	6,04	0,0002	0,001	0,0139
282,35	0,0713	0,0109	0,0747	16,42	0,0003	0,001	0,0283
283,10	1,32	0,0297	0,25	38,38	0,0008	0,002	0,05
284,00	5,12	1,45	0,33	36,4	0,0036	0,001	0,27
285,00	6,59	1,85	0,4	40,94	0,0053	0,001	0,96
286,00	4,41	1,47	0,4	42,55	0,0056	0,001	0,66
287,00	3,28	1,02	0,43	48,02	0,0034	0,001	0,49
287,95	3,35	1,13	0,5	47,53	0,003	0,002	0,56

Tableau 6: les analyses chimique du sondage DF305.