

Université Cadi Ayyad
Département de Géologie
Faculté des Sciences et Techniques Marrakech
Licence « Géologie Appliquée aux Ressources Minières » GARM

**Etude géologique et gîtologique du Panneau Aval 1000 du
gisement de Draa Sfar sud (Jebilet centrales, Maroc)**

**Présenté par : Mohammed Abaroul
Clinton Bissintche Ndiba**

Soutenu le : 20/06/2023

Sous la direction de :

Pr. ESSARRAJ Samira : Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech

Mr TOUMI Mohamed : Géologue Mine de Draa Sfar

Devant le jury composé de :

Mr HIBTI Mohamed : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech

Pr ESSARRAJ Samira : Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech

Année universitaire 2022/2023

DEDICACES :

Nous tenons à dédier ce travail à nos chers parents.

Nous remercions également et chaleureusement nos professeurs pour tous les conseils et l'effort qu'ils ont consentis pour notre formation.

À notre chère famille pour leur encouragement.

Sans oublier nos amis.

Remerciements

Nous avons le grand plaisir d'exprimer nos vifs remerciements à MANAGEM group qui nous a donné l'opportunité de mettre en pratique nos connaissances théoriques acquises durant notre formation à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech.

Avant d'entamer ce projet, nous tenons à exprimer notre gratitude envers Allah qui nous a aidés, nous a accordé la patience et le courage nécessaires pour persévérer tout au long de ces longues années d'études.

Nos sincères remerciements vont particulièrement à notre encadrant à MANAGEM, Mr. TOUMI pour nous avoir proposé ce thème très intéressant en adéquation avec notre formation et d'avoir mis en œuvre ses efforts, ses explications, ses conseils et son soutien afin de nous aider à réaliser ce projet. Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrante à la FST, Professeur ESSARRAJ Samira.

Nos plus sincères remerciements à souligner particulièrement la bienveillance et les nombreux conseils de Mr. Salah BOUKERROU, chef du département de géologie de la mine de Draa Sfar, ainsi que toute son équipe de cadres géologues et de techniciens travaillant à la cartotheque.

Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à tous les enseignants du département de géologie pour avoir partagé leurs connaissances, leur soutien et leur assistance tout au long de notre cursus à la FST. Nous remercions Mr KNIDIRI pour la confection des lames minces.

Table de matière

Remerciements	3
Objectifs de l'étude et méthodologie.....	8
Partie 1 : Généralités.....	9
I. Cadre géologique général.....	10
II. Domaines structuraux du Maroc	10
II.1 Domaine Saharien et Anti-Atlasique.....	10
II.2 Domaine Atlasique et Mésétien.....	10
II.3 Domaine Rifain	11
III. Le massif des Jebilet	13
III.1 Cadre géographique.....	13
III.2 La subdivision des Jebilet	13
III.2.1 Jebilet occidentales	14
III.2.2 Jebilet orientales	14
III.2.3 Jebilet centrales.....	14
III.2.4 a. Aperçu géologique.....	14
b. Lithostratigraphie	14
c. Tectonique	15
d. Magmatisme.....	15
e. Métamorphisme	16
IV. Les amas sulfurés des Jebilet Centrales	16
V. Les amas sulfurés de Draa Sfar	18
V.1 Historique	18
V.2 Cadre géographique	18
V.3 Cadre géologique	19
V.4 Lithostratigraphie	20
V.5 Subdivision géologique de Draa Sfar.....	21
V.6 Minéralisation	22
V.7 Place des amas sulfurés des Jebilet dans l'évolution géodynamique de la Méséta Occidentale	23

V.8	Modèle génétique de formation du gisement de Draa Sfar	24
	Partie 2 : Etude du gisement de Draa Sfar Sud (Panneau 1000).....	26
I.	Etude lithostratigraphique et pétrographique	27
I.1	Etude lithostratigraphique	27
I.2	Etude pétrographique	35
II.	Etude de la minéralisation.....	40
III.	Etude structurale.....	50
IV.	Etude des altérations hydrothermales.....	60
	Conclusion générale.....	62
	Références bibliographiques.....	64

Liste des figures

- Figure 1** : Carte géologique montrant les principaux domaines structuraux du Maroc.
- Figure 2** : Carte géologique du massif des Jebilet.
- Figure 3** : Répartition régionale des gisements de sulfures massifs dans les Jebilet Centrales avec la localisation du gisement de Draa Sfar.
- Figure 4** : Situation géographique du gisement de Draa Sfar.
- Figure 5** : Log lithostratigraphique représentatif du gisement de Draa Sfar.
- Figure 6** : Vue en trois dimensions du gisement de Draa Sfar.
- Figure 7** : Carte géologique de la zone de la mine Draa Sfar montrant la projection de surface des lentilles de sulfures massifs de Koudiat Tazakourt et Koudiat Sidi M'Barek.
- Figure 8** : Mode de mise en place de gisement de Draa Sfar.
- Figure 9** : Localisation des sondages étudiés (DF544, DF545 et DF546) sur le plan de la mine niveau -1018, échelle 1/1000.
- Figure 10** : Localisation des sondages étudiés (DF545 et DF546) sur le plan de la mine niveau -1045, échelle 1/1000.
- Figure 11** : Plan de la mine niveau -1075, échelle 1/1000.
- Figure 12** : Log stratigraphique du sondage DF544.
- Figure 13** : Log stratigraphique du sondage DF545.
- Figure 14** : Log stratigraphique du sondage DF546.
- Figure 15** : Coupe géologique transversale des sondages DF544, DF545, DF 546.
- Figure 16** : Etude macroscopique des métapélites.
- Figure 17** : Etude microscopique des métapélites.
- Figure 18** : Etude macroscopique des tufs.
- Figure 19** : Etude microscopique des tufs.
- Figure 20** : Aspect macroscopique entre minéralisation et l'encaissant.
- Figure 21** : Les différentes textures de la pyrrhotite.
- Figure 22** : Les différents aspects de la chalcopyrite.
- Figure 23** : Texture des sulfures de fer (pyrite, pyrrhotite).
- Figure 24** : Texture bréchique.
- Figure 25** : Minéralisation massive.
- Figure 26** : Minéralisation sub-massive
- Figure 27** : Minéralisation rubanée.
- Figure 28** : Minéralisation Bréchique.
- Figure 29** : Relations texturales des minéraux métalliques et de gangue.
- Figure 30** : Plan géologique du niveau -1018 montrant les failles et la schistosité.
- Figure 31** : Plan géologique du niveau -1045 montrant les failles et la schistosité.

Figure 32 : Plan géologique du niveau -1075 montrant les failles et la schistosité.

Figure 33 : Aspect de la schistosité.

Figure 34 : Pôles de la schistosité S1 dans les niveaux -1018, -1045 et -1075.

Figure 35 : Boudinage de quartz au sein des métapélites.

Figure 36 : Les failles dans la zone aval de Draa Sfar Sud.

Figure 37 : Schéma représentatif des recoupements entre les failles.

Figure 38 : Décalages des boudins de quartz-chlorite par des veinules millimétriques à carbonates.

Figure 39 : Les structures montrant Les différentes phases de déformation.

Figure 40 : : Différents types d'altérations hydrothermale.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des différents sondages carottés étudiés.

Tableau 2 : Abondance relative des phases minérales.

Tableau 3 : Succession paragénétique des phases minérales Draa Sfar Sud.

Objectifs de l'étude et méthodologie

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'études de licence, filière Géologie Appliquée aux Ressources Minières (GARM) à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech. Une partie de ce travail a été effectuée au sein de la mine de Draa Sfar qui est un gisement appartenant à la Compagnie Minière des Guemassa (CMG) du groupe MANAGEM.

L'objectif de ce sujet est de mener une étude du panneau aval 1000 du gisement Draa Sfar Sud, en examinant les aspects pétrographiques, structuraux et gîtologique, afin d'acquérir une meilleure compréhension de la géologie de la zone étudiée, de sa déformation tectonique et de son potentiel en termes de ressources minérales.

Pour accomplir ces objectifs, nous avons été amenés à réaliser :

- Une étude de trois sondages carottés DF544, DF545, DF546 partie aval -1018.
- Des logs de ces trois sondages avec leur description lithologique, texturale et minéralogique.
- Une coupe géologique et des plans de ces sondages dans le logiciel ZWCAD.
- Un échantillonnage géologique des logs et au fond au niveau -1018 présentant les lithologies des différents faciès.
- Une étude pétrographique macroscopique des différents faciès incluant les encaissants et la minéralisation.
- Un aperçu structural afin de conclure sur les effets de la tectonique dans la zone d'étude.
- Une étude gîtologique microscopique des différentes minéralisations et encaissants avec leurs descriptions.
- Une étude des altérations hydrothermales dans les roches volcaniques et volcano-sédimentaires encaissant le gisement.

Ce travail a été l'occasion de se familiariser et connaître les techniques des suivis géologiques en mine et d'interprétation de divers types de données collectées.

Partie 1 :

Généralités

I. Cadre géologique général

Le Maroc se situe à l'extrémité Nord-Ouest de la partie continentale de la plaque Africaine. Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par l'Algérie, au Sud par la Mauritanie et à l'Ouest par l'océan Atlantique. Le Maroc a connu plusieurs cycles orogéniques majeurs durant son histoire géologique depuis les orogénèses Précambriennes notamment l'orogénèse Panafricaine, puis l'orogénèse Hercynienne durant le Paléozoïque et l'orogénèse Alpine ou Atlasique. Ces orogénèses ont façonné le Maroc en cinq grands domaines Structuraux (Michard et al. 2011).

II. Domaines structuraux du Maroc

II.1 Domaine Saharien et Anti-Atlasique

Ce domaine se caractérise par la présence d'un bouclier ancien stable d'âge Précambrien, entouré par des terrains plus récents (Fig. 1) : Le Craton Ouest-Africain qui se compose de zones granitiques et métamorphiques qui remontent à environ 2 à 3 milliards d'années, tandis que des bassins Néoprotozoïques et Paléozoïques les entourent. Au cours de l'orogénèse Hercynienne, une bande étroite de terrains Précambriens et Paléozoïques appelée les Mauritanides marocaines a été charriée sur le craton. Le socle de l'Anti-Atlas est principalement constitué de roches datant du Protérozoïque Moyen, bien que des plutons du Paléoprotozoïque Supérieur aient été identifiés dans la partie occidentale de l'Anti-Atlas (Michard et al., 2011). Des formations Protérozoïques marquent la rupture du Craton Ouest-Africain il y a environ 800 millions d'années.

II.2 Domaine Atlasique et Mésétien

Ces domaines sont situés entre l'Accident Sud-Atlasique au sud et la limite sud du Prérif au nord (Fig. 1). Le socle est principalement composé de roches Paléozoïques d'âge allant du Cambrien jusqu'au Carbonifère et constitué essentiellement par des terrains sédimentaires avec une intense activité volcanique bimodale au Viséen, avec des zones de roches Précambriennes locales. Les formations Mésozoïques-Cénozoïques couvrent largement le socle et sont plissées dans les domaines Atlasiques tels que le Haut Atlas et le Moyen Atlas.

La Meseta est divisée en 2 parties séparées par le Moyen Atlas (Michard, 1976) :

Dans la Méséta Occidentale, la couverture Méso-Cénozoïque est caractérisée par le Trias supérieur qui repose en discordance majeure sur le socle. Il est présenté par des grès et argilites rouges parfois salifères, contenant une intercalation de basaltes doléritiques dont l'âge isotopique

est compris entre 200 et 180 Ma (Beauchamp 1984). Le Jurassique et le Crétacé inférieur sont absents. Le domaine de la Méséta était émergé. On connaît seulement pendant cette période des dépôts continentaux de grès et de marnes rouges. Le socle Paléozoïque affleure largement dans de grandes boutonnières : La zone de la Méséta centrale qui comprend l'essentiel du Maroc Central, les Rehamna et les Jebilet centrale, le Haut-Atlas de Marrakech. Le gisement de Draa Sfar se situe dans le massif Hercynien des Jebilet.

La Méséta orientale est caractérisée par une couverture post-Paléozoïque qui débute par le Trias argileux rouge avec les basaltes doléritique comme en Méséta occidentale. Par contre, à partir du Jurassique, la Méséta orientale reste un domaine marin peu profond relié à la Téthys au nord (Piqué et Michard, 1989).

Cette partie de la Méséta correspond à la marge des bassins subsident du Moyen Atlas et du Haut-Atlas oriental. On y trouve essentiellement des dépôts carbonatés, calcaires parfois récifaux, dolomies. Les dolomies du Jurassique moyen, sub-tabulaires forment la « Dalle des Hauts Plateaux » (Piqué et Michard, 1989). Dans Méséta orientale les boutonnières dispersées, sont de faible superficie, on distingue principalement : les boutonnières de Midelt, de Debdou-Mekam, et l'ensemble de la chaîne des Horsts.

II.3 Domaine Rifain

Le Rif est constitué d'une zone interne, liée à la plaque d'Alboran et composée des principales unités sédimentaires et magmatiques du Mésozoïque, d'une zone de flysch, et d'une zone externe à puissantes unités Mésozoïques et Cénozoïques (Michard et al., 2011) et on note la présence d'un magmatisme Néogène.

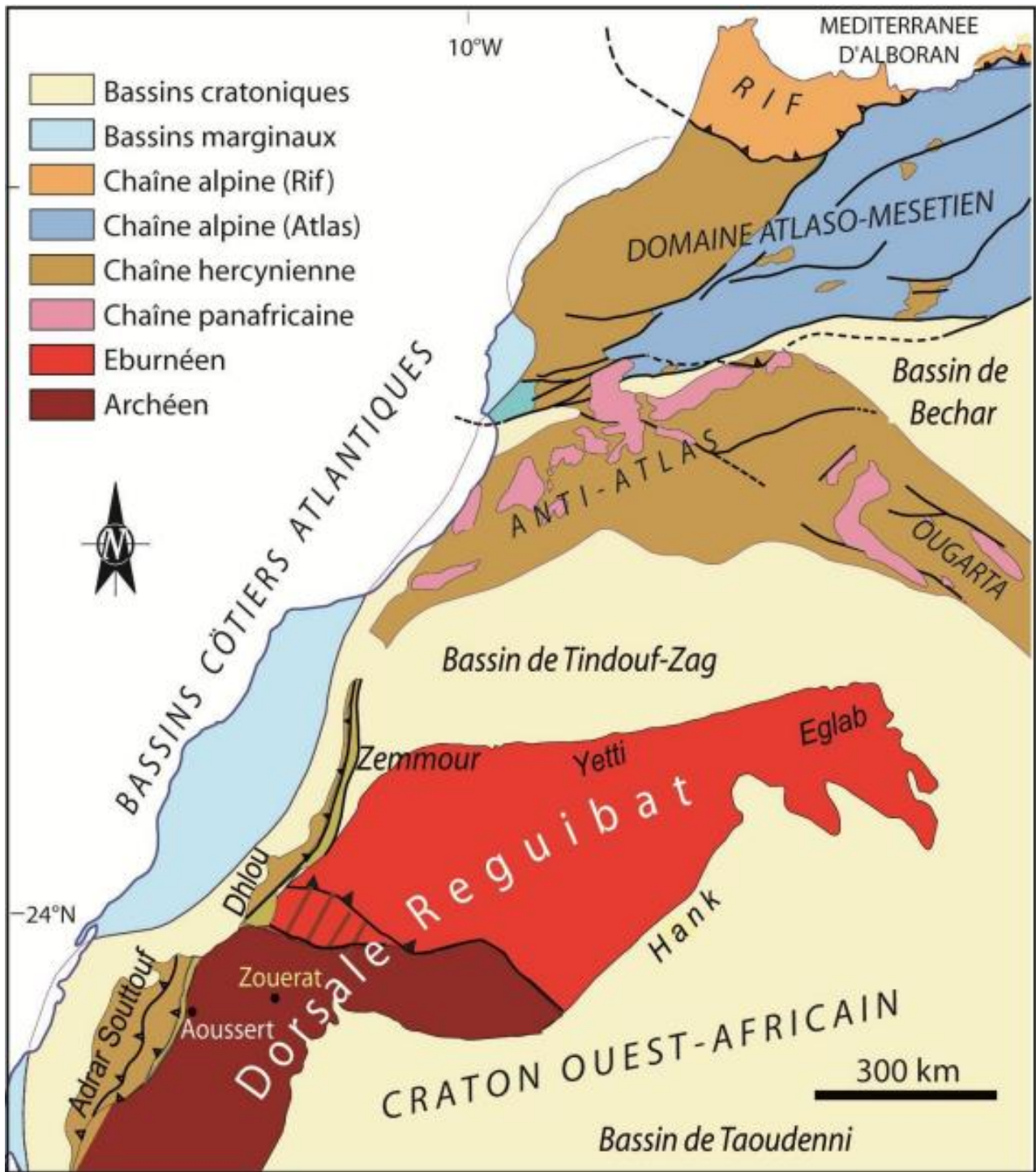


Figure 1 : Carte géologique montrant les principaux domaines structuraux du Maroc (Michard et al., 2011).

III. Le massif des Jebilet

III.1 Cadre géographique

Le massif des Jebilet, orienté Est-Ouest, se situe au Nord de Marrakech et s'étend sur environ 170 Km de longueur de l'est à l'ouest et la largeur est de 7 à 40 km N-S (Fig. 2). Le massif est limité par la plaine de la Bahira au Nord, la plaine du Haouz au sud, les collines Jurassico-Crétaées des Mouissat à l'ouest et par les montagnes du Haut Atlas de Béni-Mellal à l'Est.

III.2 La subdivision des Jebilet

Le massif des Jebilet se compose de trois domaines lithotectoniques, les Jebilet occidentales, centrales et orientales, séparés par des zones de cisaillement (Fig2). La zone de cisaillement de Marrakech (MSZ) sépare les Jebilet orientales et centrales (Lagarde et Choukroune, 1982) et la zone de cisaillement du Maroc occidental (WMSZ) sépare les Jebilet occidentales et centrales (Huvelin, 1977 ; Piqué et al, 1980 ; Lagarde et Choukroune, 1982 ; Le Corre et Bouloton, 1985).

Les trois unités lithotectoniques des Jebilet sont formées d'un socle Paléozoïque et une couverture Méso-Cénozoïque (Huvelin, 1997).

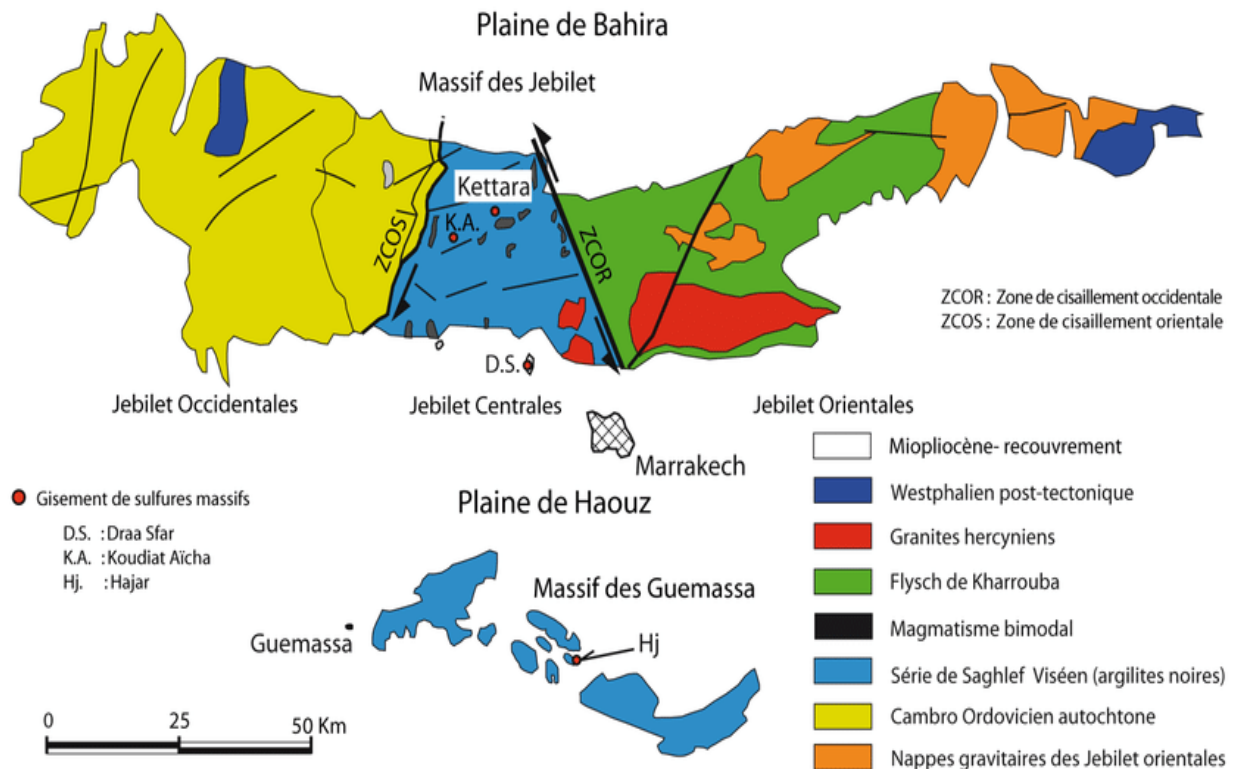


Figure 2 : Carte géologique du massif des Jebilet (Marcoux et al. 2008, modifiée d'après Huvelin, 1977).

III.2.1 Jebilet occidentales

Les Jebilet occidentales sont essentiellement formées de terrains détritiques Cambriens et Ordoviciens avec une faible activité volcanique (Huvelin, 1977). Ces roches ont été soulevées au Dévonien supérieur et ont connu une déformation relativement modérée durant l'Orogenèse Hercynienne (Huvelin 1977, Piqué et Michard 1989).

III.2.2 Jebilet orientales

Dans l'unité des Jebilet orientales, on trouve une séquence sédimentaire (flyshs de Kharrouba) carbonifère qui va des turbidites aux dépôts marins peu profonds. Cette unité est recouverte par des nappes tectoniques de roches sédimentaires de l'Ordovicien au Carbonifère précoce, avec une brèche basale chaotique (Huvelin, 1977 ; Hoepffner et al. 2005 ; Michard et al 2010). Ces nappes marquent le début de la fermeture du bassin Mésétien.

III.2.3 Jebilet centrales

a. Aperçu géologique

L'unité des Jebilet centrales est composée de roches sédimentaires datant du Viséen supérieur (Huvelin 1977). Le Viséen supérieur correspond à une transgression majeure avec dépôt de terrains grésopélitiques dans un contexte de bassin anoxique. Cette unité est constituée d'une épaisse séquence métasédimentaire de plus de 1000 mètres d'épaisseur, connue sous le nom de schistes de Sarhlef (Huvelin, 1977). On y trouve une grande variété de roches, dont des schistes, des lits de calcaire et de grès, avec des roches magmatiques bimodales, formant une séquence volcano-sédimentaire. La plupart des roches ignées sont de nature intrusive, bien que l'on puisse également trouver des laves rhyolitiques et rhyodacitiques (Huvelin, 1977). La série volcano-sédimentaire des Jebilet centrales a subi un métamorphisme à faible degré et une forte déformation durant l'orogénèse Hercynienne (Huvelin 1977 ; Essaifi et al. 2001 ; Delchini et al. 2016). Cette unité comporte plusieurs types de gisements notamment à métaux de base et est connue pour ses amas sulfurés dont ceux du gisement de Draa Sfar.

Selon Huvelin, (1977) et Aarab et Beauchamp (1987), le massif des Jebilet correspond de la fin du Dévonien au début du Carbonifère à un bassin de rift intra-continentale rempli de sédiments marins déposés dans un environnement anoxique (Beauchamp, 1984 ; Beauchamp et al., 1987). Au cours de ce régime tectonique d'extension, des intrusions felsiques, mafiques-ultramafiques et calco-alcalines tholéitiques cogénétiques sont les témoins du magmatisme bimodal préorogénique (Bordonaro, 1983 ; Aarab, 1984) (Fig. 2).

b. Lithostratigraphie

Deux séries principales sont distinguées sur le plan stratigraphique dans les Jebilet centrales :

- La série de Sarhlef constitue la série basale et est principalement composée de pélites. Elle se caractérise par une activité volcanique qui commence par des éruptions de laves telles que des brèches et des tufs, puis se poursuit par un volcanisme extrusif à caractère basique datant du Viséen Supérieur-Namurien.
- La série sommitale, appelée série de Teksim, est principalement formée de calcaires micro-conglomératiques et bioclastiques à la base, ainsi que de pélites et de grès au sommet, datant également du Viséen supérieur-Namurien.

c. Tectonique

Les formations géologiques des Jebilet centrales ont été affectées par plusieurs phases tectoniques durant l'Orogenèse Hercynienne, incluant notamment au moins deux phases : Une compression qui a engendré les plis orientés N-S et ENE respectivement (Huvelin, 1977) qui constituent la phase majeure de la déformation hercynienne. La première phase a redressé des terrains anté-Viséens en direction méridienne. La deuxième phase les a plissés en direction ENE (Huvelin, 1977). Dans les Jebilet centrales, la série de Sarhlef a été affectée par une déformation ductile polyphasée (Huvelin, 1977) :

- La déformation D1 ayant engendré des plis plurikilométriques NE-SW associés à une schistosité de flux à plan axial (Huvelin, 1977).
- La déformation D2 coïncide avec le paroxysme de la déformation et du métamorphisme ; elle est caractérisée par des plissements et des cisaillements reprenant les structures de la D1.
- La déformation D3 se caractérise par une compression NW-SE à N-S qui a engendré une schistosité de crénulation et des kink-bands (Huvelin, 1977 ; Bordonaro, 1983 ; Bernard et al., 1988). La tectonique cassante se matérialise essentiellement par des failles N70°E à N90°E, des décrochements senestres N160°E et de grandes failles subméridiennes associées aux fossés Stéphano-Permiens (Bouloton et Le Corre, 1985) ainsi que des failles E-W d'âge principalement Atlasique (Huvelin, 1977).

d. Magmatisme

Les schistes de Sarhlef présentent également un magmatisme bimodal, avec des schistes contenant des unités volcaniques et volcanoclastiques. Dans la région des Jebilet centrales, la plupart des roches ignées sont des roches intrusives, mais il existe quelques occurrences de laves rhyolitiques et rhyodacitiques, ainsi que des unités volcanoclastiques.

Le magmatisme Varisque dans les Jebilet centrales peut être divisé en deux groupes :

Le premier groupe est une association bimodale de plusieurs intrusions mafique-ultramafiques stratifiées, de filons-couche et dykes avec des intrusions micrograniques alcalines en feuillets,

des dykes et dômes (Essaifi et al., 2014). Une intrusion microgranitiques (Koudiat Bouzlaf) été datée autour de 330,5 Ma (U-Pb sur zircon ; Essaifi et al., 2003) tandis que le dôme rhyolitique de Draa Sfar a donné un âge de $331,7 \pm 7.9$ Ma (Ar-Ar sur mica blanc : Marcoux et al. 2008), et plus récemment un échantillon de Koudiat Hamra a été datée à 345 ± 2 Ma (datation SHRIMP U/Pb ; Delchini et al. 2018).

Le deuxième groupe d'intrusions comprend deux plutons granodioritiques recoupés par des feuillets de stocks leucogranitiques. Les plutons granodioritiques ont été datés à 327 ± 4 Ma et les leucogranites à 295 ± 15 Ma (âge Rb- Sr sur roche totale ; Mrini et al. 1992), bien que des datations U-Pb SHRIMP plus récents aient suggéré un âge en peu plus ancien de 358-336 Ma pour les granodiorites (Delchini et al. 2018). En résumé, une activité magmatique soutenue et durable s'est produite dans le massif des Jebilet entre 358 ± 7 Ma (Mrini et al. 1992 ; Essaifi et al. 2003 ; Delchini et al. 2018). Le magmatisme felsique est caractérisé pour une évolution temporelle des magmas d'origine hybride vers des magmas d'origine crustale (Essaifi et al., 2014)

e. Métamorphisme

La partie centrale du massif des Jebilet présente les traces de deux types de métamorphisme :

- Le métamorphisme de contact qui se produit dans les formations grésopélitiques et les intrusions granitiques. Ce type de métamorphisme se caractérise par l'apparition de minéraux du métamorphisme tels que l'andalousite et la cordiérite. Au contact de lentilles calcaires, il peut également y avoir la formation de grenat, wollastonite, idocrase et des concentrations de graphite (Huvelin, 1977).
- Le métamorphisme régional quant à lui est associé à l'orogénèse Hercynienne qui a conduit à la formation de séries de schistes et de micaschistes. Ce type de métamorphisme est classé comme épizonal (Huvelin, 1977).

IV. Les amas sulfurés des Jebilet Centrales

Le massif des Jebilet est connu pour les nombreux indices minéralisés qu'il contient, qui constituent avec le massif des Guemassa des cibles prioritaires pour la recherche de nouveaux gisements. Depuis les années 1950, plusieurs campagnes d'exploration ont été menées sur ces indices, ce qui a conduit à la découverte et au développement de plusieurs gisements. Les amas sulfurés des Jebilet centrales, tels que Draa Sfar, Koudiat Aïcha et Kettara, sont encaissés dans la série volcano-sédimentaire de Sarhlef (Fig. 3).

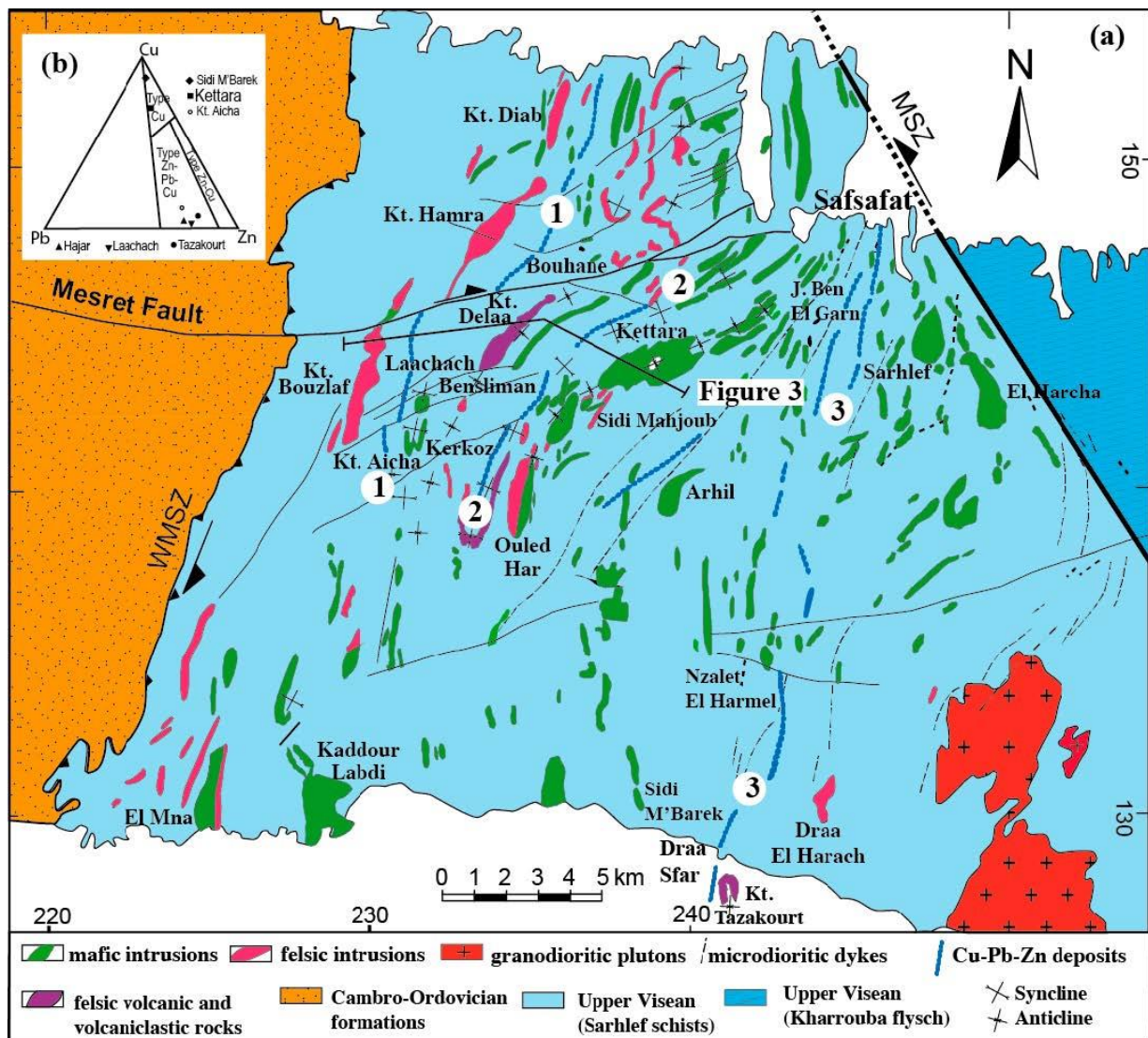


Figure 3 : Répartition régionale des gisements de sulfures massifs dans les Jebilet Centrales avec la localisation du gisement de Draa Sfar (Huvelin, 1977, modifié dans Essaifi et Hibti, 2008), les numéros correspondent à 3 linéaments d'amas sulfurés.

V. Les amas sulfurés de Draa Sfar

La mine de Draa Sfar est l'un des gisements importants de la Méséta occidentale du Maroc (5% de Zn, 2% de Pb et 0,33% de Cu) (International Journal of Innovation and Scientific Research). Les minéralisations sont considérées de type amas sulfurés volcanogènes (VMS) (Belkabir et al. 2008, Marcoux et al., 2008, Moreno et al. 2008).

V.1 Historique

L'histoire de la mine de Draa Sfar peut être résumée de la manière suivante (Document CMG):

En 1949, le gisement de Draa Sfar est découvert.

En 1962, la Compagnie Minière et Métallurgique en collaboration avec le BRPM et la Direction des Mines et de la Géologie lance des recherches de pyrrhotite plus au sud.

En 1975, des travaux de préparation du gisement sont entrepris par la Société d'Exploitation de la pyrrhotite de Kettara (SEPYK), suite à la mise en évidence de réserves économiques (Anonyme, 1990).

En 1975, la SEPYK reprend les travaux en se concentrant sur la lentille zincifère de Draa Sfar.

En 1978, une usine de traitement est installée dans la partie sud, avec une capacité de traitement de 200 t/j de minerai de zinc et de plomb.

En 1988, les travaux d'exploration ont repris dans le cadre de la convention entre ONA-Mines et le BRPM.

En 1992, les permis ont été cédés à la CMG, qui a procédé à une étude de faisabilité de la mise en valeur des ressources polymétalliques et du développement minier de Draa Sfar.

En 2004, la production a démarré avec une cadence moyenne de 1800 t/j.

V.2 Cadre géographique

Le gisement de Draa Sfar se situe à une distance de 16 km au N-W de Marrakech, le gisement est accessible par une piste goudronnée d'environ 5 km reliant Marrakech à Souihla. Ce gisement est composé de plusieurs lentilles sulfurées disposées en un alignement méridien subvertical (Fig. 3, 4). Il est traversé par l'oued Tensift, qui divise le gisement en deux parties distinctes : Draa Sfar nord (Sidi M'Barek) caractérisé par un chapeau de fer bien développé et Draa Sfar sud (Koudiat Tazakourt) qui présente un chapeau de fer moins développé. Ces deux sous-domaines sont localisés respectivement sur les rives nord et sud de l'oued Tensift.

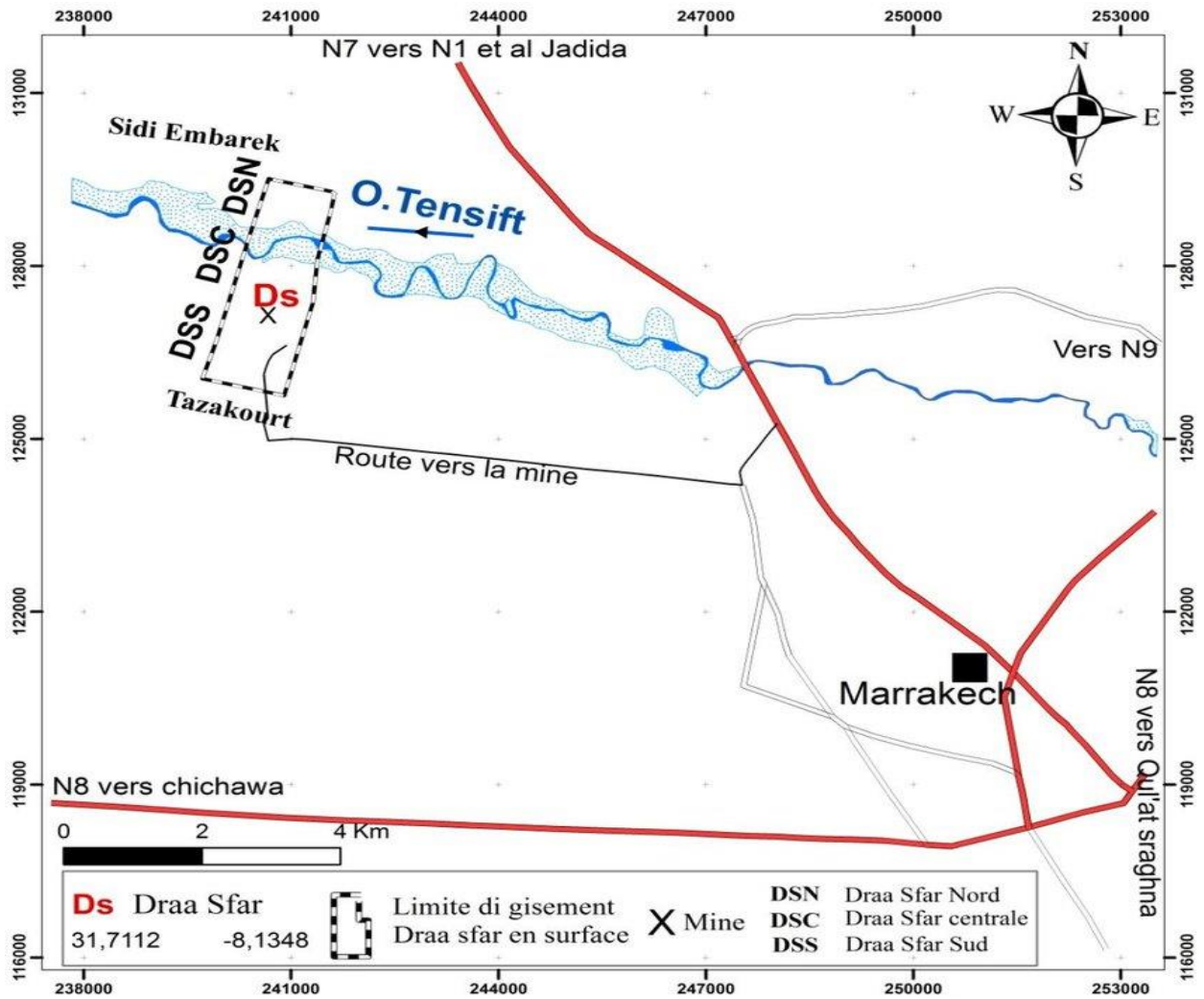


Figure 4 : Situation géographique du gisement de Draa Sfar (Digitalisation d'un extrait carte topographique Marrakech Gueliz 1/5000, in Ifkirne, 2020).

V.3 Cadre géologique

Le gisement de Draa Sfar, situé dans la province métallogénique des amas sulfurés à pyrrhotite dominante des Jebilet-Guemassa (Huvelin, 1977), se trouve dans la série de Sarhlef, qui couvre la majeure partie des Jebilet centrales.

Sur la rive nord du gisement, on observe un chapeau de fer bien développé qui recouvre des faciès sédimentaires souvent cachés par des dépôts alluvionnaires d'âge Plio-Quaternaire. Sur la rive sud, le corps principal minéralisé de Draa Sfar est exposé, ainsi que la plupart des roches volcaniques acides et des pyroclastes associées. Les travaux miniers sont effectués en suivant des niveaux étagés espacés de 20 mètres. Ces niveaux sont reliés entre eux par des rampes, tandis que la connexion avec la surface se fait généralement par des puits et/ou des descenderies.

V.4 Lithostratigraphie

Ce gisement se trouve sur la bordure sud des Jebilet centrales. La minéralisation est encaissée dans la formation volcano-sédimentaires dite schiste de Sarhlef qui comprennent des métapélites carbonées à l'ouest et des métapélites sableuses à l'est (Fig. 5). Ces formations sont inclinées vers l'est et présentent une foliation S1 parallèle aux couches. On note la présence dans le secteur de roches rhyodacitiques d'âge Viséen-Namurien. Ces lithologies sont plissées autour d'un anticlinal F1 orienté vers le nord qui place le gisement de Draa Sfar Sur la branche ouest de ce pli renversé (Belkabir et al., 2008 ; Rziki, 2006).

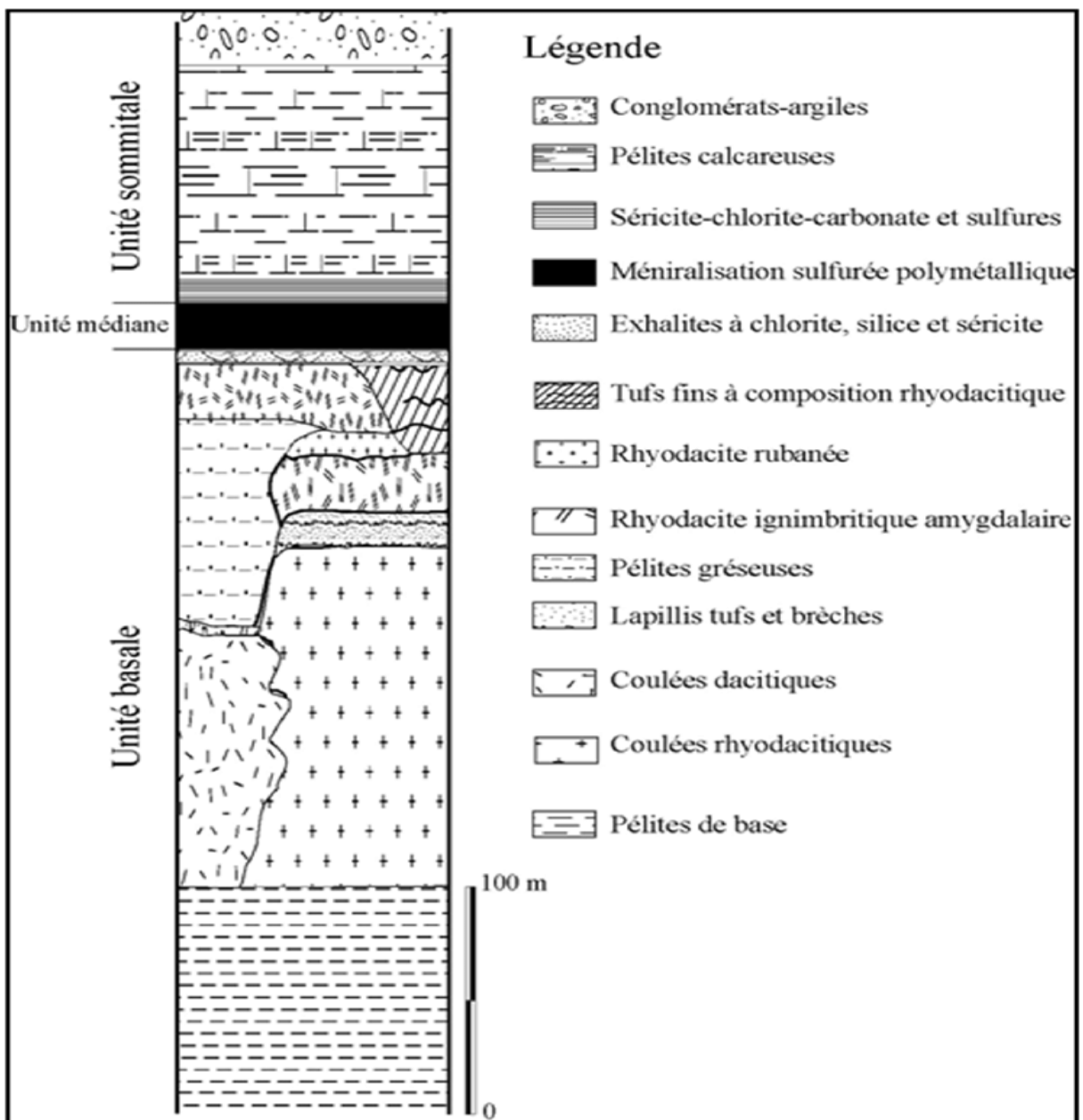


Figure 5 : Log lithostratigraphique représentatif du gisement de Draa Sfar (Ben Aïssi, 2008).

V.5 Subdivision géologique de Draa Sfar

Le gisement, totalement déformé, est segmenté en plusieurs lentilles de différentes tailles, pouvant être suivies jusqu'à une profondeur de plus de 1000 mètres (Outigua et al. 2020). Draa Sfar est ainsi subdivisé en 3 blocs (Fig. 6 et 7) :

- Bloc nord (Sidi M'Barek) : Il est essentiellement constitué de quatre lentilles cuprifères.
- Bloc central : Constitué de sept lentilles dont deux zincifères et les autres cuprifères.
- Bloc sud (Koudiat Tzakourt) : Constitué d'une seule lentille zincifère.

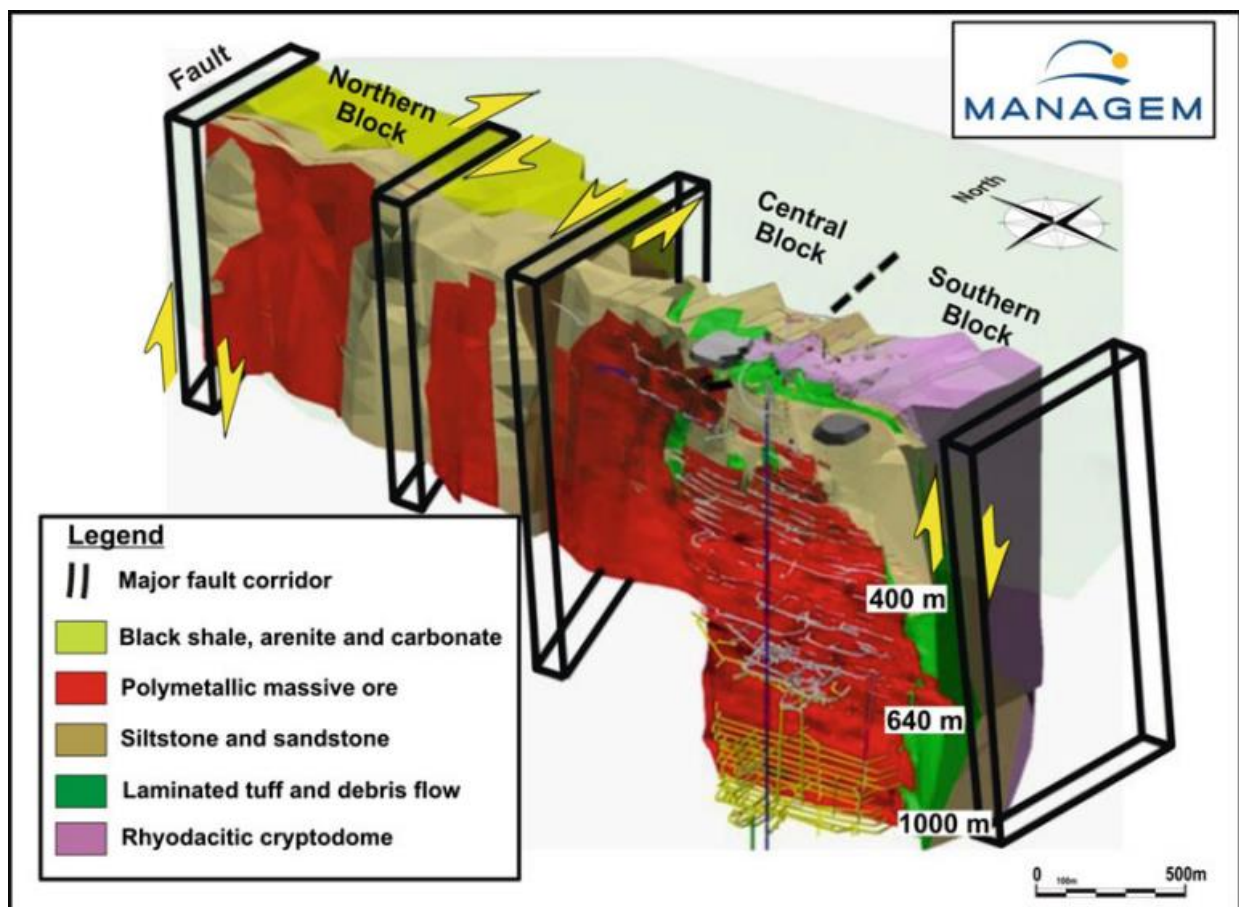


Figure 6 : Vue en trois dimensions du gisement de Draa Sfar, regardant vers l'est en direction de la pente. Des failles ont coupé et déplacé les différentes lentilles minéralisées (Document interne Draa Sfar, rapport inédit).

Le bloc sud de la mine, sujet de notre travail, se compose d'une seule lentille de minerai de zinc (Fig. 6), présentant une structure schistosée, faillée et boudinée, inclinée à 75° vers l'Est. La minéralisation est principalement constituée de pyrrhotite, sphalérite, chalcopryrite, arsénopyrite, galène et pyrite, et est située entre une formation de métapélites gréseuses et de tufs à la base et une formation de métapélites à carbonates au sommet (Outigua et al. 2020).

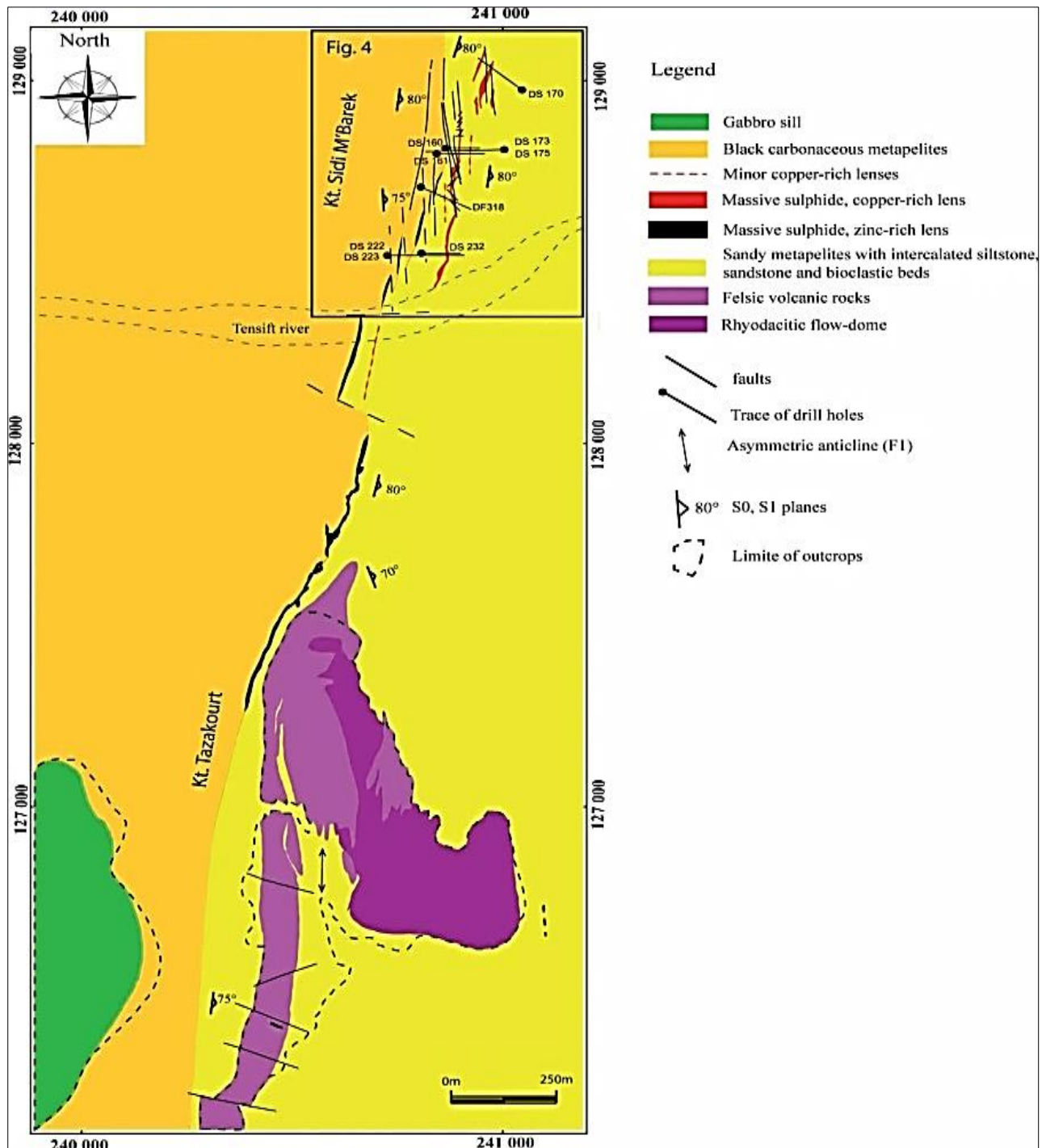


Figure 7 : Carte géologique de la zone de la mine Draa Sfar montrant la projection de surface des lentilles de sulfures massifs de Koudiat Tazakourt et Koudiat Sidi M'Barek (Outigua et al., 2020).

V.6 Minéralisation

Il y a une différence de richesse en métaux selon les blocs : le bloc sud est riche en Zn et en Pb, le bloc nord est riche en Cu (et en Co et Au), tandis que le bloc central est une zone intermédiaire.

- **La minéralisation de sulfures riches en Zn (Bloc Sud ou Koudiat Tazakourt) :**

La minéralisation de sulfures massifs de la lentille riche en Zn est composée de pyrrhotite globalement sous forme de grains ovoïdes (inférieur à 1mm), ainsi que la sphalérite avec une texture ovale (inférieur à 0,5mm) et la galène poreuse (0,2mm), l'arsénopyrite sous forme de cristaux automorphe de (0,1 à 0,2mm), ainsi que la chalcopryrite présente sous forme de grains xénomorphes allongés (inférieur 0,4mm de long) (Outigua et al., 2020).

- **La minéralisation de sulfures riches en Cu (Bloc Nord : Sidi M'Barek) :**

La minéralisation de sulfures riche en Cu est formée principalement de la chalcopryrite, pyrrhotite, pyrite, sphalérite et arsénopyrite avec des teneurs différentes, et aussi de cobalt, nickel, or, sélénium et argent comme éléments traces.

La pyrrhotite est sous forme prismatique de diamètre de 1 à 5mm, la pyrite se présente en forme de veines, la chalcopryrite sous forme massive, l'arsénopyrite sous forme de grains sub-automorphes irréguliers (<0,1mm de diamètre), la sphalérite se présente sous forme granulaire avec un diamètre < 1mm (Outigua et al., 2020).

V.7 Place des amas sulfurés des Jebilet dans l'évolution géodynamique de la Méséta Occidentale

Les amas sulfurés de Jebilet, dont celui de Draa Sfar, se sont développés suite à la collision de la plaque Africaine avec la plaque Eurasienne qui a conduit à l'ouverture du bassin subsident mésétien occidental, et par conséquent la remonté du magma implique une activité volcanique guidée par les fractures et les cavités au niveau du bassin d'arrière arc.

Les amas sulfurés de Jebilet se sont formés simultanément au dépôt de ces magmas qui ont été enrichis en métaux de base tels que le cuivre, le plomb et le zinc. Ces métaux se sont déposés sous forme de couches stratiformes de sulfures.

Au fil du temps, ces dépôts ont été soumis à l'orogénèse Hercynienne avec des processus de métamorphisme et de déformation qui ont modifié leurs structures et leurs natures.

Les amas sulfurés de Jebilet centrales, dont Draa Sfar, ont ainsi évolué au cours de l'histoire géologique de la région, donnant naissance à des gisements de sulfures métalliques souvent de forme lenticulaire, généralement sub-verticaux, de différentes tailles et de différentes qualités. (Huvelin, 1977, Essaifi et al., 2019).

V.8 Modèle génétique de formation du gisement de Draa Sfar

Le gisement de type VMS "Volcanogenic Massive Sulfides" de Draa Sfar (Belkabir et al. 2008, Marcoux et al., 2008, Moreno et al. 2008) a été formé suivant un modèle de mise en place en trois étapes, tel que proposé par (Moreno et al. 2008) (Fig. 8).

La première étape de formation du gisement de Draa Sfar remonte au début de la construction du dôme rhyodacitique, accompagné d'une mince séquence de volcanoclastites. Le bassin s'est ensuite rempli principalement par des dépôts sédimentaires terrigènes, comprenant des pélites gréseuses interstratifiées avec des lentilles de calcaires bioclastiques situées principalement dans la partie nord du bassin.

La deuxième étape est marquée par l'activation d'un système hydrothermal qui a conduit d'une part au dépôt de la minéralisation sulfurée polymétallique, par le remplacement des roches encaissantes, et d'autre part à l'altération hydrothermale des faciès encaissants. Cette altération se caractérise par le développement de minéraux tels que la chlorite, le talc, la séricite, la calcite et le quartz le long de la paroi de la minéralisation.

La troisième étape concerne l'effet de la phase tectonique Hercynienne majeure sur le gisement de Draa Sfar et les formations encaissantes. Cette phase tectonique a provoqué la verticalisation et le cisaillement des corps minéralisés, qui sont maintenant orientés selon la direction N10°E. Elle est également responsable du plissement et de la schistosité développée à la fois dans la minéralisation et dans son encaissant, dans un contexte métamorphique épizonal. En résumé, le gisement de Draa Sfar s'est formé à travers ces trois étapes, impliquant la construction du dôme rhyodacitique, le dépôt de minéralisation sulfurée polymétallique et l'effet de la phase tectonique Hercynienne sur la verticalisation et le cisaillement des corps minéralisés.

D'après le modèle génétique la minéralisation est déposée sur les bordures et au centre du bassin sous forme de lentille orientée E-W qui a été affectée par plusieurs phases tectoniques D1 et D2 orientée respectivement E-W et NNE-SSW durant l'Orogenèse Hercynienne qui a sub-verticalisé la lentille vers le nord.

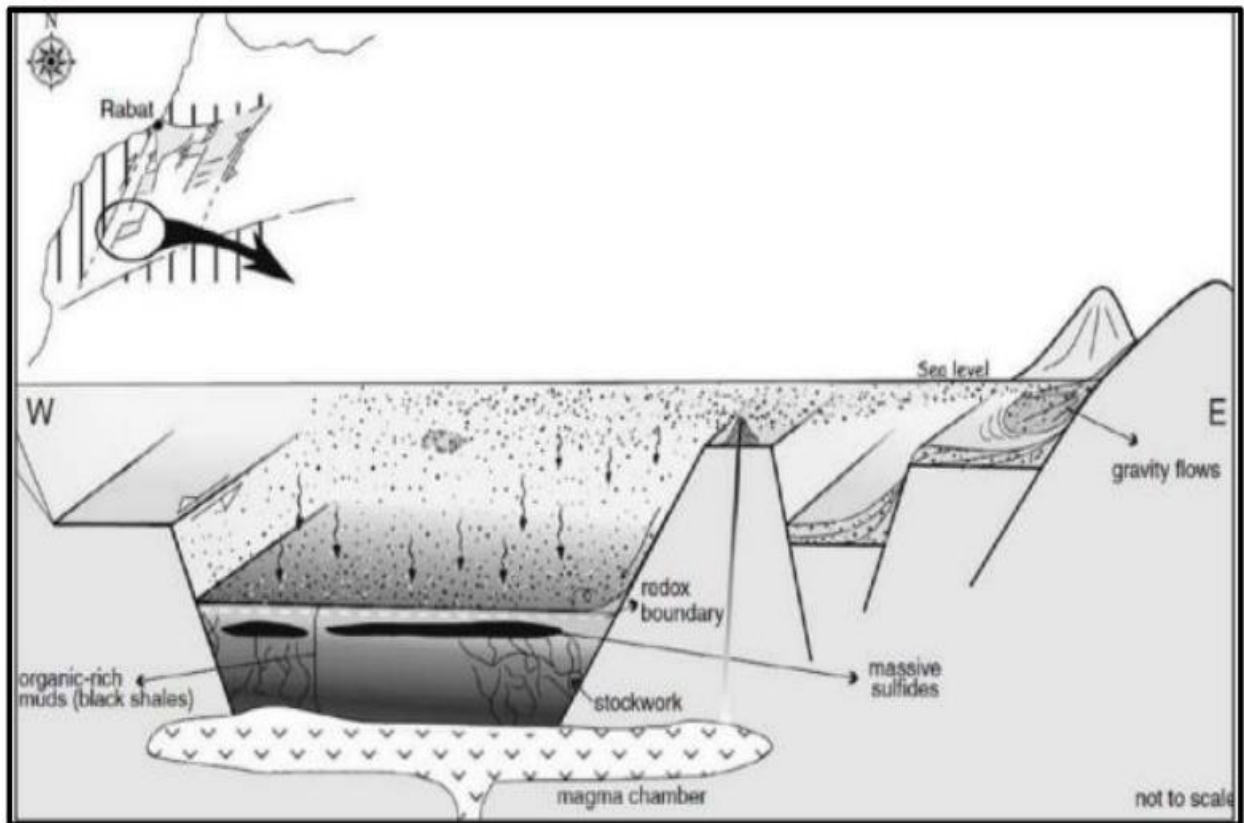


Figure 8 : Modèle génétique de formation du gisement de Draa Sfar (Moreno et al 2008).

Partie 2 :

**Etude du gisement
de Draa Sfar Sud
(Panneau 1000)**

I. Etude lithostratigraphique et pétrographique

Dans le cadre de ce travail, des études lithostratigraphique et pétrographique ont été effectuées sur trois sondages carottés : DF544, DF545 et DF546. Ces sondages fond ont été réalisés à partir du niveau -1018 mètres et ont des longueurs comprises entre 45,5 mètres et 68 mètres (Tableau 1).

Sondage	X	Y	Z	Pendage	Direction	Longueur
DF544	241264.9074	127421.6336	-1018	0°	N90	45.5m
DF545	241264.6526	127420.4870	-1018	-34°	N124	62m
DF546	241264.6526	127420.4870	-1018	-56°	N146	68m

Tableau 1 : Caractéristiques des différents sondages carottés étudiés.

I.1 Etude lithostratigraphique

Grâce à la description détaillée des sondages carottés, nous avons pu établir des enregistrements stratigraphiques sous forme de logs. De plus, nous avons réalisé une coupe géologique pour identifier et caractériser les différents faciès présents dans la partie sud du gisement de Draa Sfar sud. Cette coupe de sondage a été réalisée en utilisant les plans des niveaux fournis par la mine (documents internes CMG) (Fig. 9, 10, 11). Les logs sont présentés dans les figures 12, 13 et 14 et la coupe dans la figure 15. Sur le plan du niveau -1018 (Fig. 9), on voit la projection des trois DF544, DF545 et DF546. On voit juste deux sondages sur le plan du niveau -1045 (Fig. 10) car le sondage DF544 est horizontal et enfin le plan -1075 (Fig. 11) n'a pas été atteint par les sondages et présente seulement les différents faciès.

En analysant les levés des sondages DF544, DF545 et DF546, les premières roches observées à partir du niveau -1018 sont les métapélites suivies par la minéralisation puis par les tufs vers les zones plus profondes.

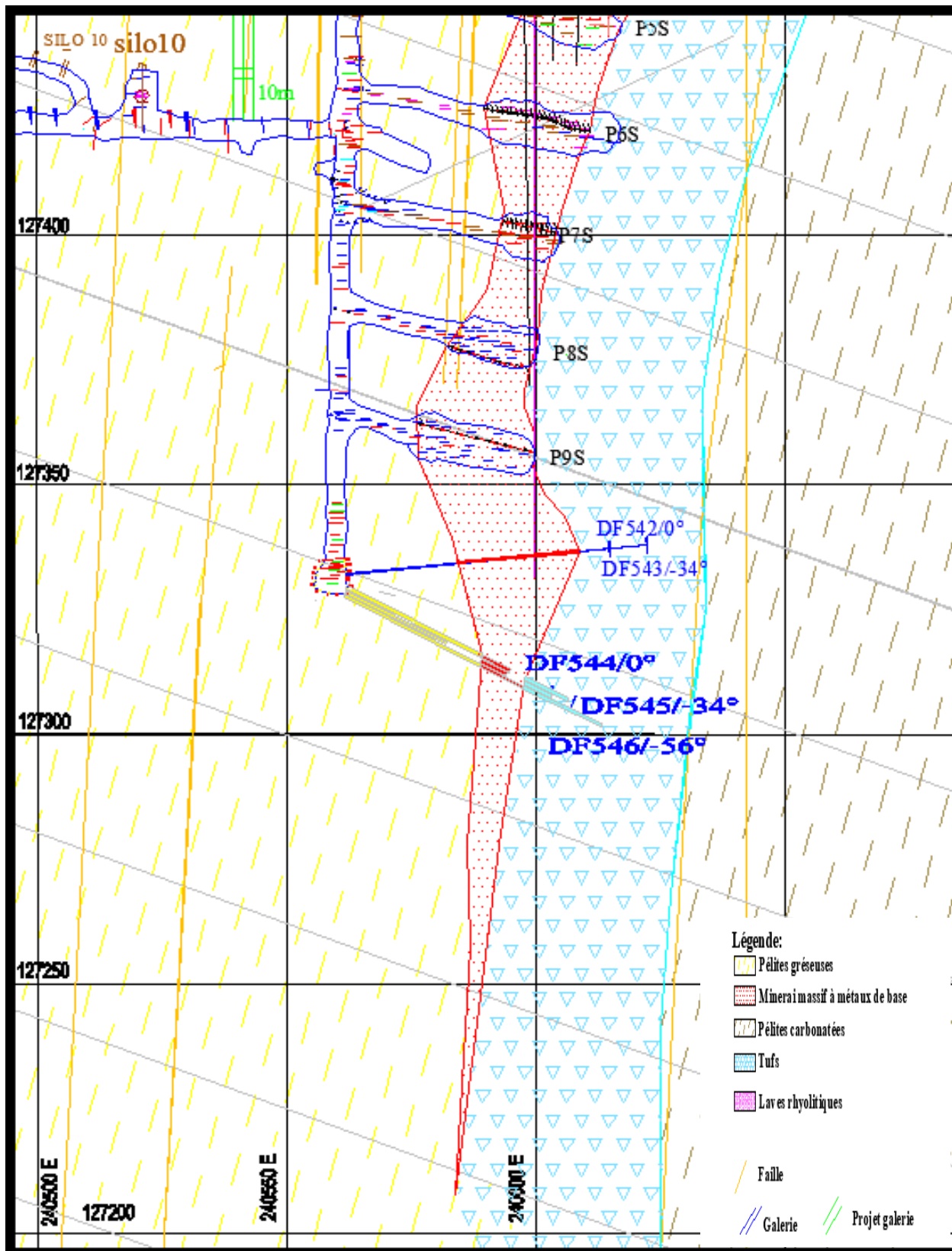


Figure 9 : Localisation des sondages étudiés (DF544, DF545 et DF546) sur le plan de la mine niveau -1018 (Document interne, CMG Draa Sfar) échelle 1/1000.

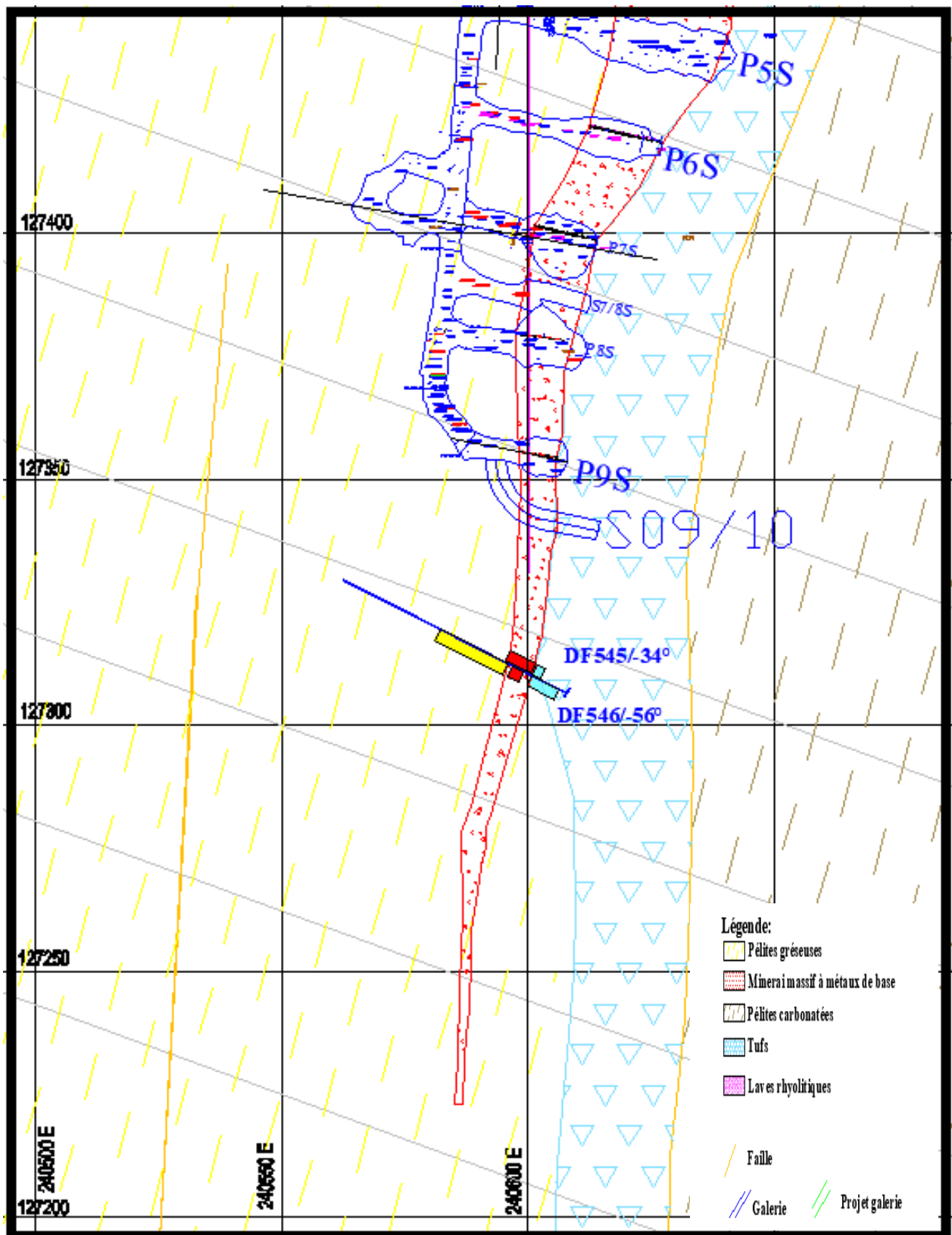


Figure 10 : Localisation des sondages étudiés (DF545 et DF546) sur le plan de la mine niveau -1045 (Document interne, CMG Draa Sfar) échelle 1/1000.

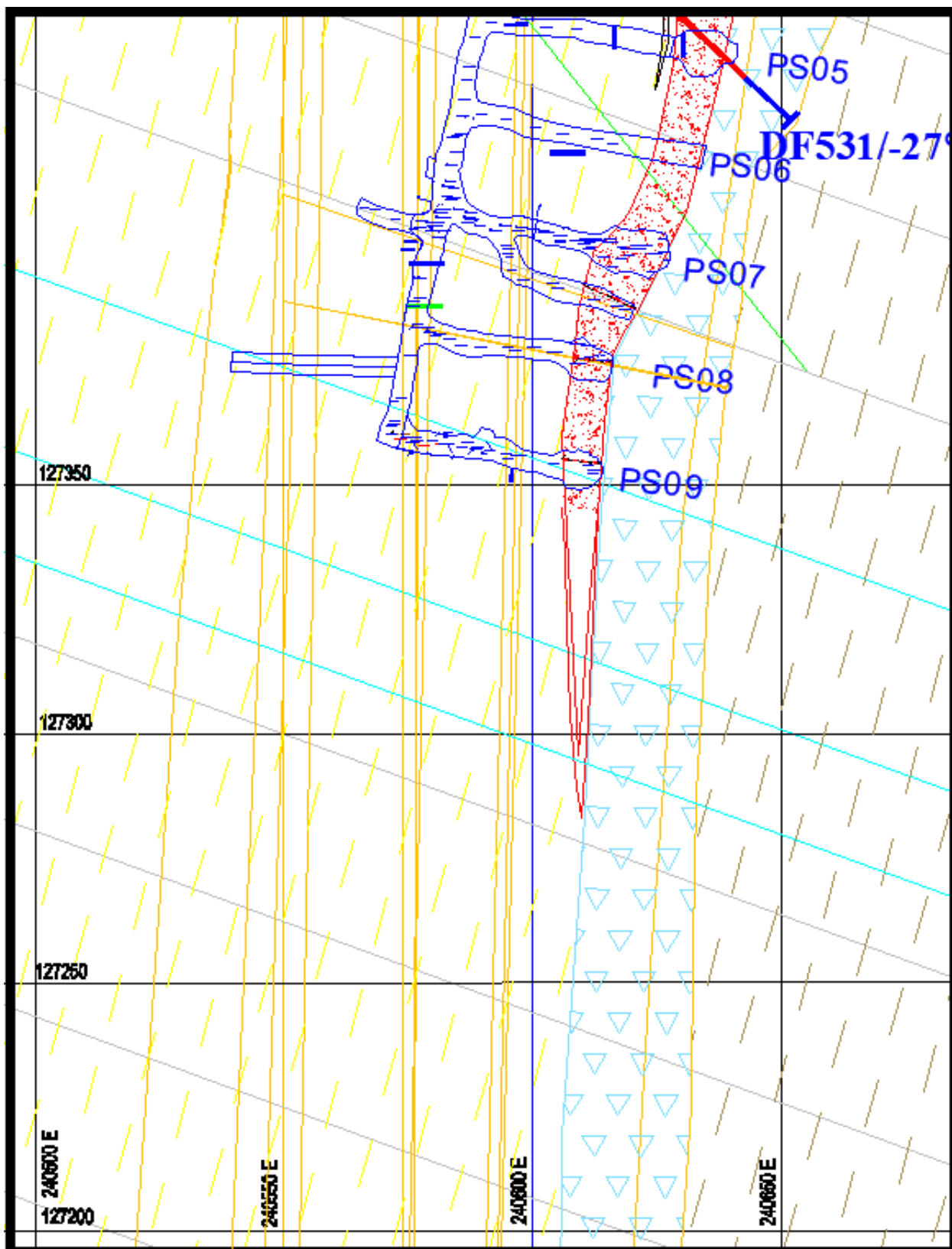


Figure 11 : Plan de la mine niveau -1075 (Document interne, CMG Draa Sfar) échelle 1/1000.

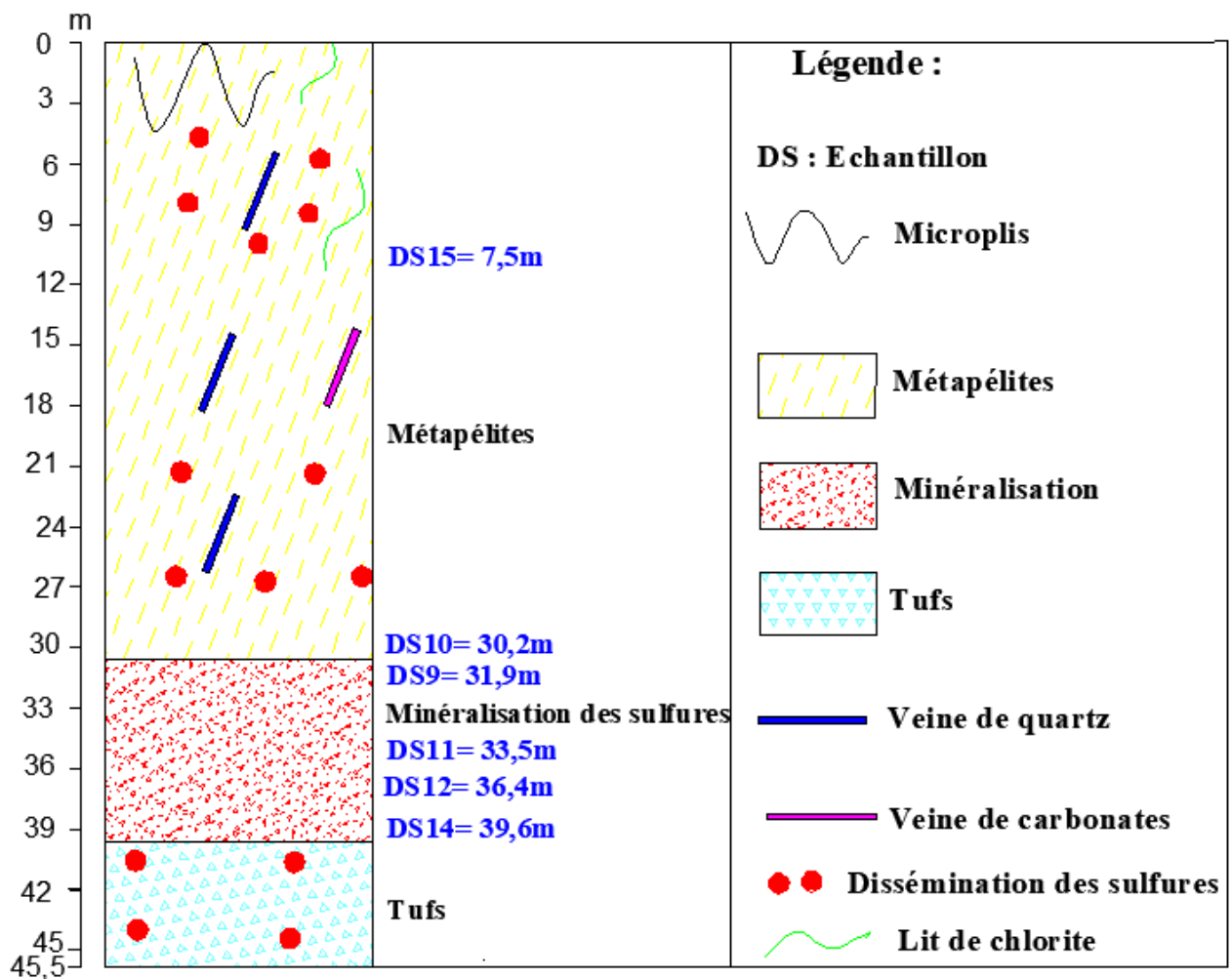


Figure 12 : Log stratigraphique du sondage DF544.

Métrage	Description du sondage <u>DF544</u>
0m-12m	Métapélites et pélites gréseuses montrant des microplis centimétriques et de la chalcopryrite et pyrrhotite disséminées accompagnées d'une faible chloritisation et des lits de chlorite avec des veines de quartz parallèles à S1.
12m-31m	Métapélites avec des disséminations de pyrite et pyrrhotite, on observe aussi des petites veines de carbonates, quartz et débit fin des métapélites suivant la S1, on a aussi du quartz, carbonates et chlorites disséminés avec une forte chloritisation vers la base.
31m-39,5m	Zone minéralisée avec de la chalcopryrite disséminée, pyrrhotite massive et sphalérite en brèche.
39,5m-45,5m	Tufs avec dissémination de sulfures avec une forte chlortisation au début qui devient plus en plus faible vers la base.

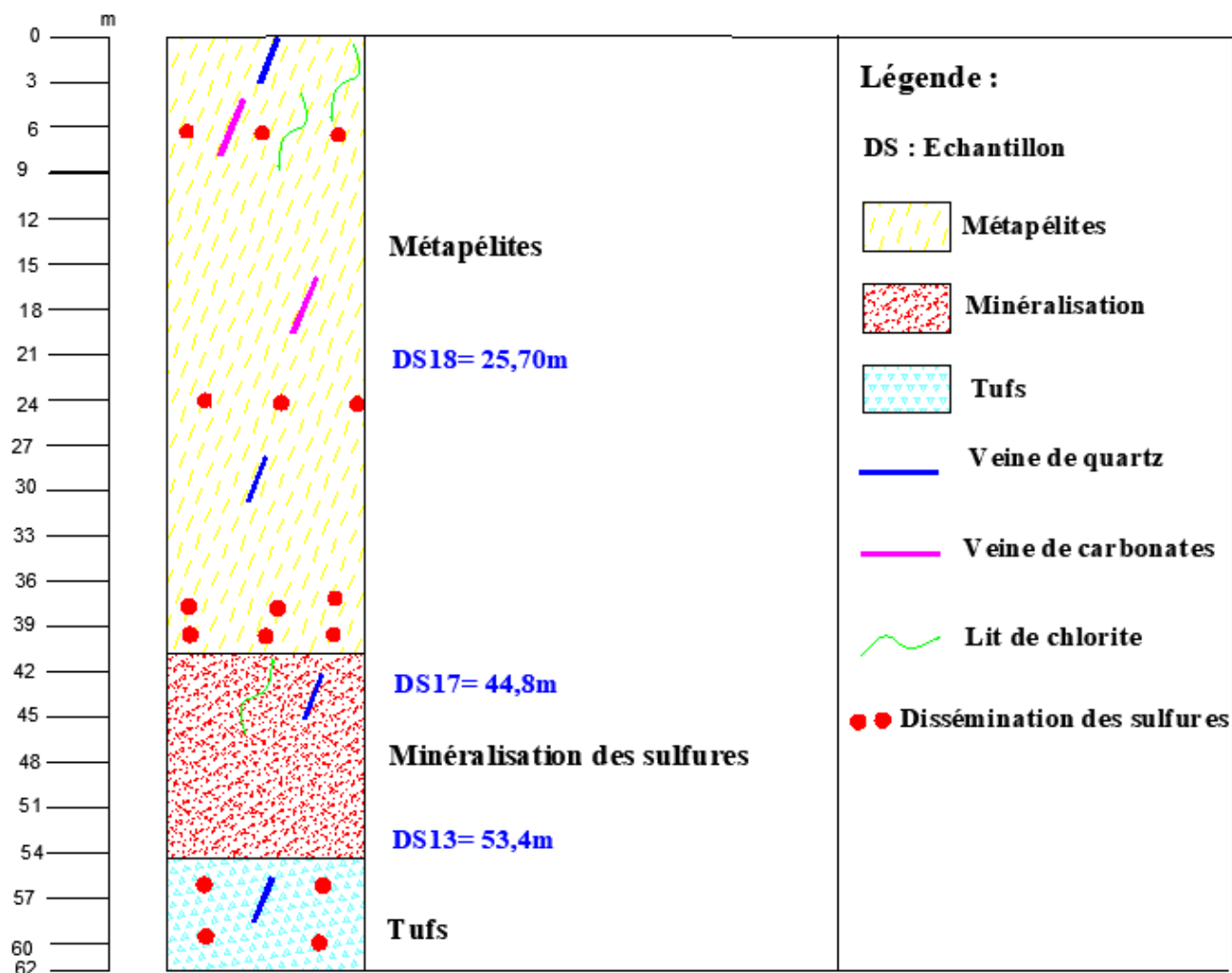


Figure 13 : Log stratigraphique du sondage DF545.

Métrage	Description du sondage DF545
0m-41m	Métapélites et métapélites noires (riches en matière organique) avec disséminations de quartz, lits de chlorite, pyrrhotite, on trouve vers le milieu un débit fin des métapélites suivant la S1 et quelques traces de pyrite avec dissémination de pyrrhotite et une forte chloritisation et en s'approchant de la minéralisation on observe une forte chloritisation et disséminations de sulfures.
41m-54,3m	La zone minéralisée contient de la pyrrhotite massive et chalcoppyrite disséminée, on observe aussi de petites veines de quartz et lits de chlorite.
54,3m-62m	Tufs avec dissémination de chalcoppyrite et de pyrrhotite, on constate aussi des veines de quartz centimétriques suivant la S1.

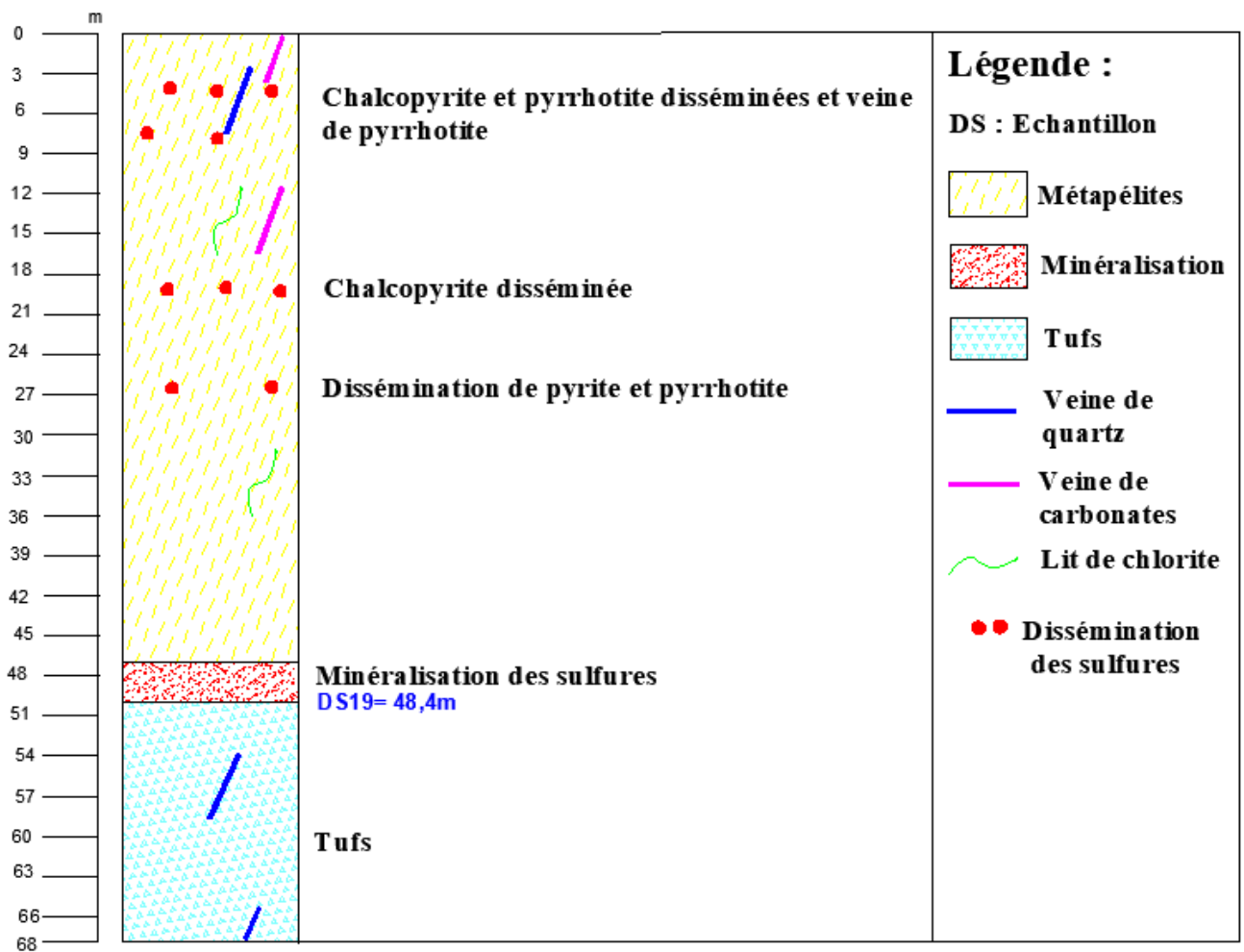


Figure 14 : Log stratigraphique du sondage DF546.

Métrage	Description du sondage <u>DF546</u>
0m-47m	Métapélites et métapélites noires (riches en matière organique) qui présentent un débit fin ainsi que de petites veines de carbonates parallèles à la S1 avec dissémination de quartz, pyrrhotite et peu de chlorite, chalcopyrite. Au centre on trouve du quartz massif et disséminé et la chloritisation qui devient plus importante en s'approchant à la minéralisation.
47m-50,55m	La zone minéralisée est constituée principalement de pyrrhotite massive, chalcopyrite et de pyrite généralement sous forme disséminée.
50,55m-68m	Tufs qui présentent une forte chloritisation au début, parfois la chloritisation suit la S1, et du quartz sous forme de veinules et disséminé.

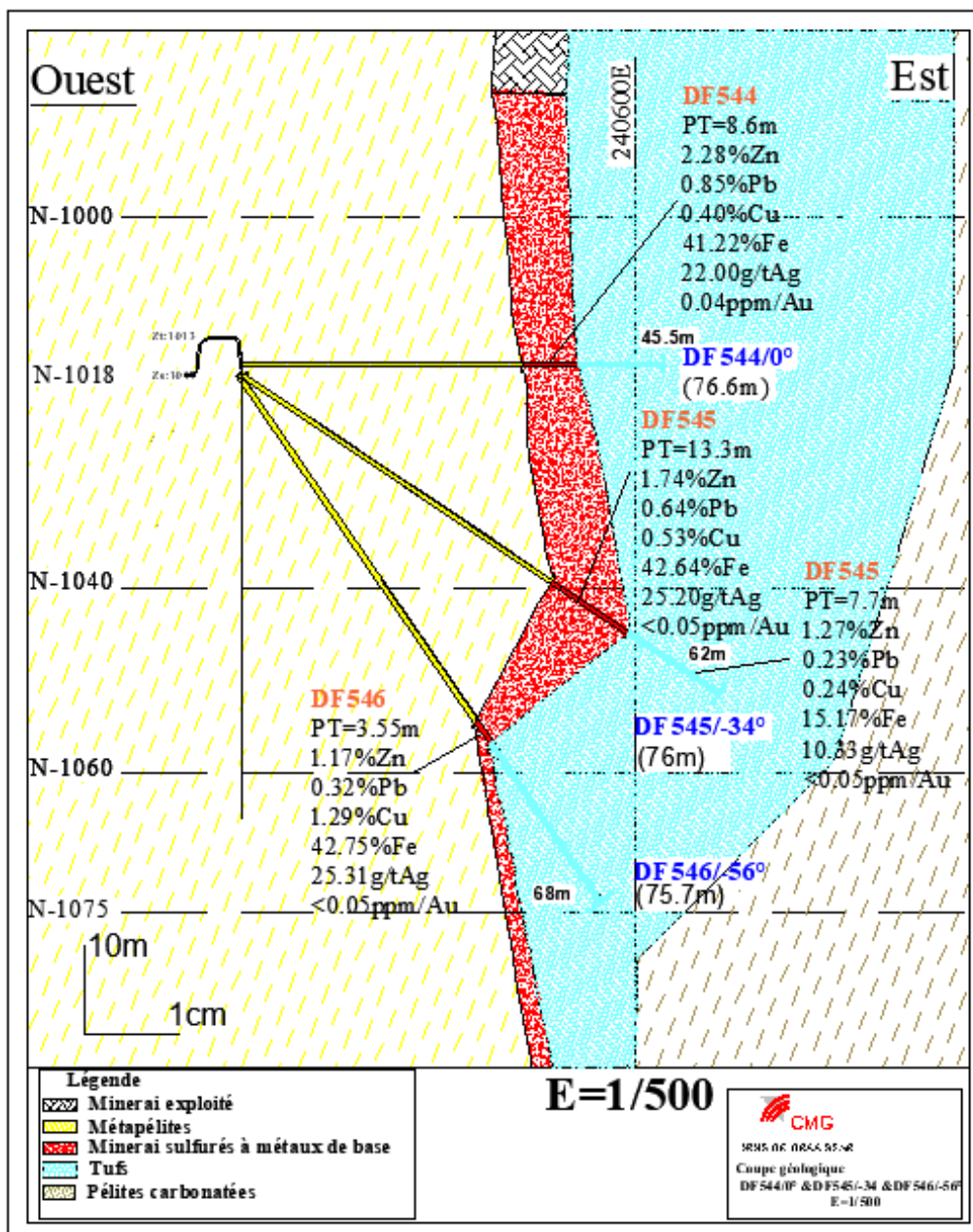


Figure 15 : Coupe géologique transversale des sondages DF544, DF545, DF546 (Document CMG) avec localisation des logs (Fig. 11, 12, 13).

La coupe orientée E-W (Fig. 15) montre les trois sondages qui ont été faits sur le gisement Draa Sfar sud à partir du même niveau -1018 avec des pendages et métrages différents à partir desquels nous avons tracé les logs décrits plus haut. La coupe montre que le mur de la zone minéralisée est constitué de tufs, alors que le toit est principalement constitué de métapélites. D'un point de vue structural, on remarque que la schistosité affecte les métapélites et parfois les tufs.

Le corps minéralisé a une épaisseur entre 3,55 m à 13,30 m, sa direction est N-S et il est vertical à subvertical.

I.2 Etude pétrographique

L'objectif de cette étude est d'identifier et de décrire les différents types de formations géologiques rencontrées dans les sondages analysés, en utilisant des observations à la fois macroscopiques et microscopiques des différents faciès encaissants. On distingue :

- Les Métapélites
- Les Tufs.

a. Les métapélites :

Aspect macroscopique :

C'est une roche détritique argileuse noirâtre à grisâtre dense avec une texture fine très schistosée. La stratification S0 fait un angle de 70° à 80° avec l'axe de la carotte (Fig. 16, photo a) et la schistosité S1 (Fig. 16, photo b) est parallèle à la stratification S0. Ce faciès est caractérisé par la présence de veinules centimétriques de quartz boudiné, parallèles à la schistosité S1 (photo Fig. 16, photo c) parfois elles peuvent recouper S1 (Fig. 16 photo d). On constate la présence de carbonates de type calcite (réaction d'effervescence avec l'HCl à froid) sous forme de lits, de disséminations (Fig. 16, photo e) et des veinules millimétriques à centimétriques parallèles à S1 ou bien en remplissage de fissures recoupant la schistosité, causées par la déformation tardive. En se rapprochant de la minéralisation on observe une forte chloritisation et silicification (Fig. 16 photo f) qui indiquent l'altération hydrothermale.

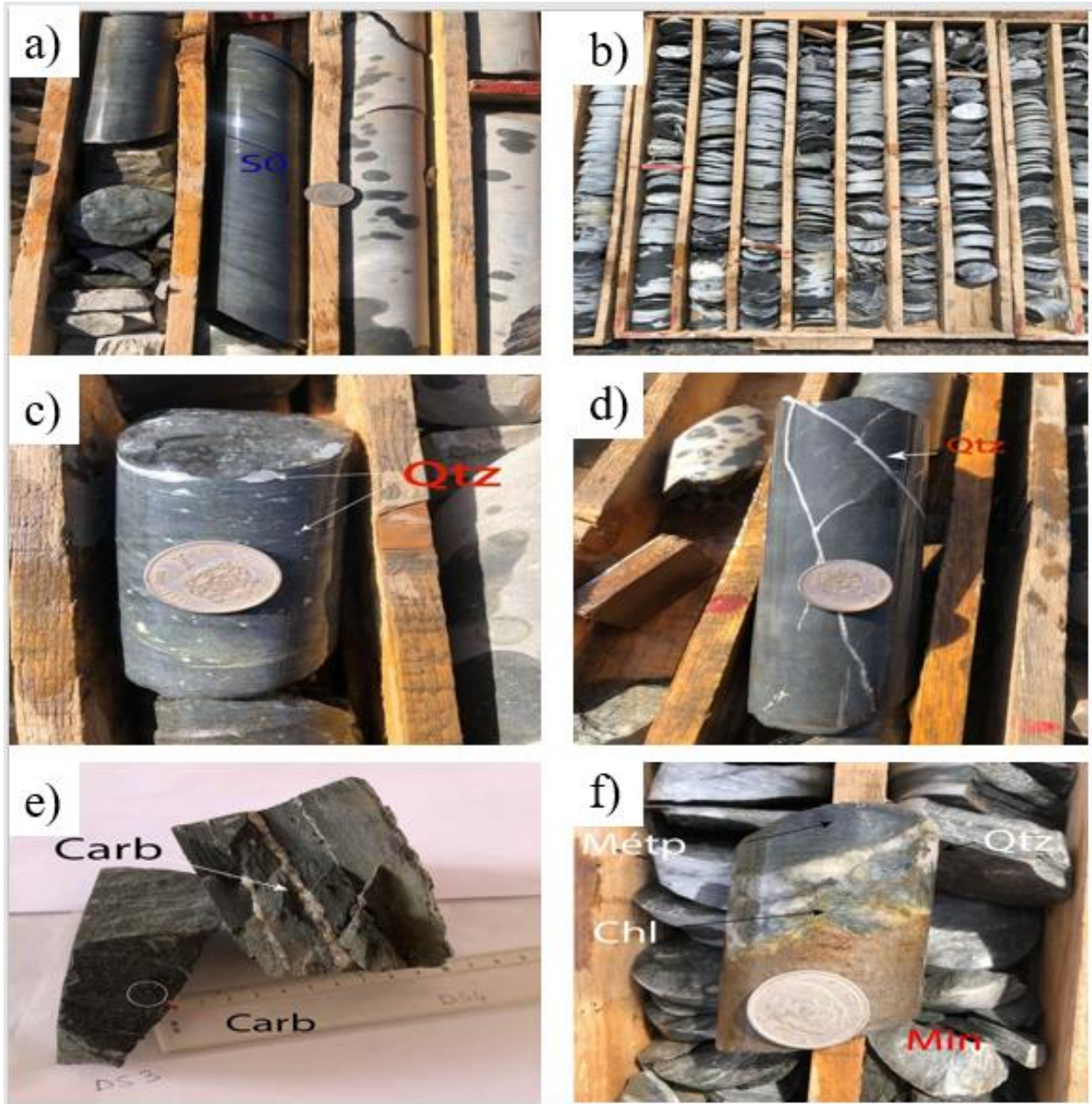


Figure 16 : Les métapélites aspect macroscopique. a) La stratification S0 dans la métapélite ; b) Schistosité S1 dans la métapélite ; c) Quartz (Qtz) boudiné parallèle à la schistosité S1 dans la métapélite ; d) Veine de quartz qui recoupe la schistosité S1 ; e) Métapélites noires avec des carbonates (carb) en veinules // à S1 (Ech DS4) et disséminés (Ech DS3), échantillons fond de la mine, niveau -1018 ; f) Contact métapélites (Métp) et minéralisation à pyrrhotite montrant une forte chloritisation (chl) et silicification (Qtz).

Aspect microscopique :

Les métapélites noires correspondent à un faciès riche en matière organique qui lui donne une couleur noire, avec de petits grains de quartz éparpillés suivant la S1, et quelques micas blancs ainsi que des carbonates d'importance limitée. La métapélite est souvent carbonatée avec une grande richesse en carbonates qui s'alignent suivant la S1 (Fig. 17, photos a et b). Cette roche est traversée par des veines de carbonates. Les métapélites gréseuses présentent par contre un aspect relativement plus clair avec une matrice de séricites alignées suivant la S1 et une grande richesse en grains de quartz qui forment parfois des niveaux à dominance de quartz et quelques micas blancs. Les grains de quartz sont de taille variable qui reste pourtant micrométrique et sont parfois allongés suivant S1. La roche est recoupée par des veinules de chlorite (Fig. 17, photo c), ainsi que des plages de carbonates au même titre que dans les métapélites noires (Fig. 17, photo d).

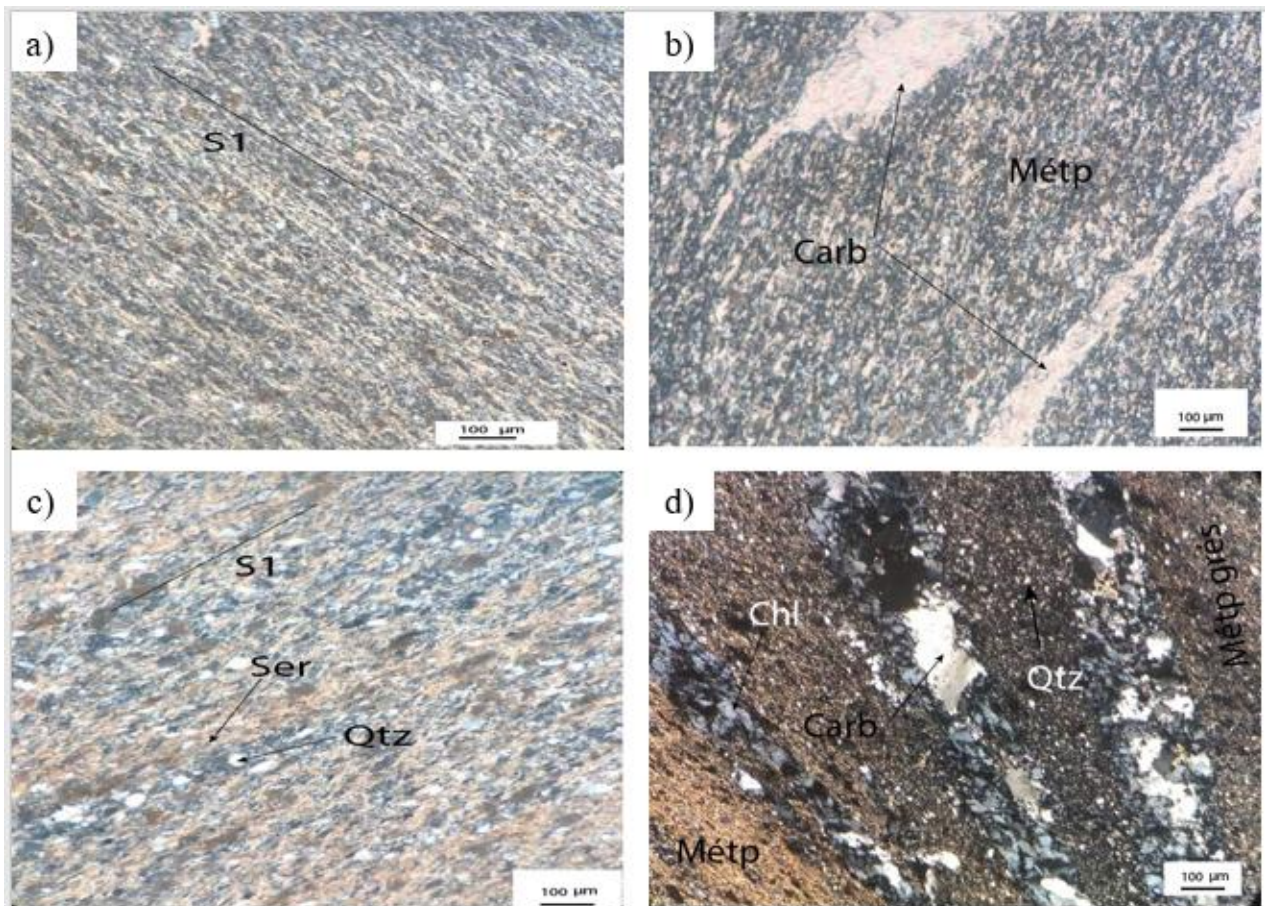


Figure 17 : Métapélites. a) Métapélite noire (LTN) ; b) Métapélite noire carbonatée (LTP) ; c) Métapélite gréseuses avec de la séricite (Ser) et des grains de quartz (LTP) ; d) Métapélite gréseuses (Métp grés) recoupée par des veinules de quartz (Qtz) chlorite et des carbonates (LTP). LTN : lumière transmise naturelle ; LTP : lumière transmise polarisée.

b. Les Tufs :

Aspect macroscopique :

Ce sont des roches volcaniques résultant de la consolidation de débris volcaniques de couleur grisâtre à verdâtre clair peu dense contenant d'abondants phénocristaux quartz arrondis, présentant une schistosité S1 et des veines de quartz qui recoupes S1 (Fig. 18, photo a). On trouve aussi des veines de carbonates suivant la schistosité S1 accompagnées de dissémination de sulfures (Fig. 18, photo b). Les tufs sont affectés par une intense chloritisation et silicification (Fig. 18, photo c, d) qui indiquent les circulations hydrothermales.



Figure 18 : Les Tufs. a) Tufs montrant une veine de quartz (Qtz) recoupant la schistosité S1 ; b) Tufs avec une veinule de carbonates (Carb) type calcite et des traces de pyrrhotite (Sulf) ; c) Contact entre la minéralisation (Min) et les tufs accompagnés par la chloritisation (Chl) ; d) Contact entre la minéralisation (Min) et les tufs accompagnés par la silicification (Qtz).

Aspect microscopique :

Ce sont des roches qui se présentent sous forme d'une matrice sombre où on ne distingue pas de minéraux et qui correspond probablement à un verre volcanique et dans laquelle baignent des grains de quartz volcaniques arrondis à sub-arrondis dispersés de taille micrométrique ou inframillimétrique souvent boudinés allongés suivant la S1 (Fig. 19, photo a). Cette roche est souvent intensément silicifiée. Des grains de quartz probablement magmatiques (ou métamorphiques ?) sont souvent moulés par la minéralisation et chloritisation (Fig. 19, photo b). On constate aussi la présence des tufs carbonatés avec souvent des plages de calcite (Fig. 19, photo c), ainsi qu'une forte chloritisation avec disséminations des minéraux opaques (Fig. 19, photo d).

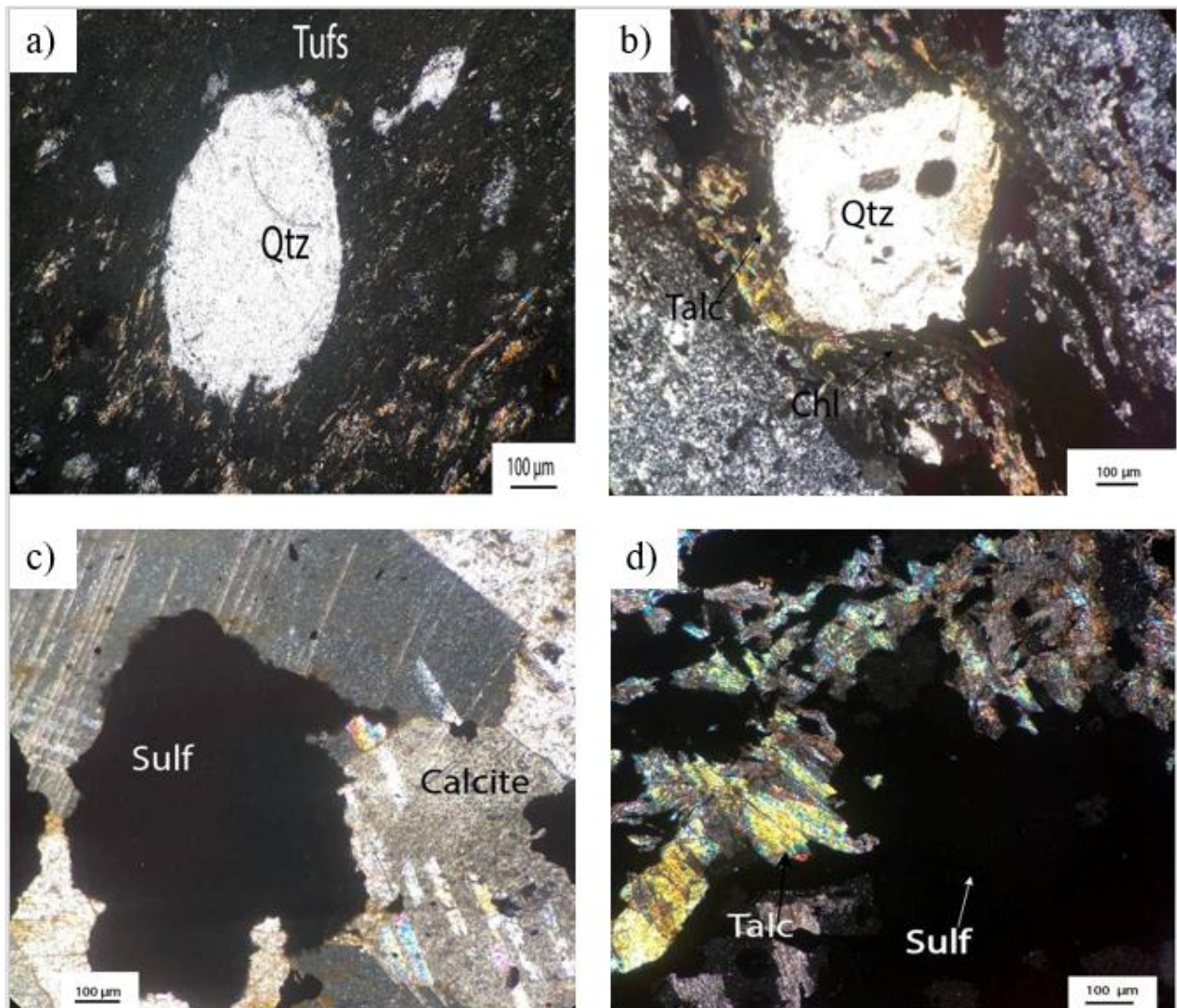


Figure 19 : Tufs. a) Quartz volcanique localement allongé suivant la S1 (LTP) b) Lumière transmise polarisée ; échantillon DS13 fond de la mine, niveau -1018 - DF545, cote=53.4m. LTN : lumière transmise naturelle ; LTP : lumière transmise polarisée.

Conclusion

D'après l'étude lithostratigraphique des sondages DF544, DF545 et DF546 effectués à partir d'un même niveau -1018, on a pu observer que le corps minéralisé a une épaisseur moyenne de 10,2 m et il est encaissé dans des métapélites schistosées qui constituent de toit de la minéralisation et des tufs qui constituent le mur. Les métapélites sont noires, gréseuses ou carbonatées. Elles présentent des veinules de quartz, de carbonates et de chlorite. Les tufs sont en fait des tufs qui présentent également une déformation ductile avec boudinage des grains de quartz magmatique. La matrice présente plusieurs minéraux dont la chlorite, la silice sous forme de quartz fin en plages et du talc ainsi que des carbonates en plages et en veinules.

II. Etude de la minéralisation

Une étude a été réalisée à l'échelle macroscopique et microscopique pour identifier les phases sulfurées qui composent la minéralisation. Les échantillons collectés dans les carottes de sondages DF544, DF545 et DF546 et du fond ont révélé la présence de différents types de minéralisations. Les observations indiquent la présence de plusieurs textures de la minéralisation : massive, sub-massive, rubanée et bréchique.

Minéralisation massive : Elle fait référence à une concentration importante de minéraux dans une zone donnée, sans structure clairement définie.

Minéralisation sub-massive : Ce type de minéralisation est similaire à la minéralisation massive, mais avec une concentration légèrement moins élevée. Les minéraux se trouvent généralement sous forme de petites zones de minéralisation concentrées au sein d'une roche hôte ou bien associées à des minéraux de gangue tels que le quartz ou les carbonates.

Minéralisation rubanée : Les minéraux se trouvent sous forme de couches ondulées ou de rubans où alternent différents types de minéraux dont le plus important est la pyrrhotite.

Minéralisation bréchique : La minéralisation est identifiable grâce à la présence de grains de sulfures disséminés, avec des dimensions variant de quelques millimètres à plusieurs centimètres qui remplissent des cavités dans la roche ou bien associés au quartz et/ou calcite-dolomite.

II.1 Aspect macroscopique

Le contact entre la minéralisation et les métapélites est anormal et souvent marqué par une chloritisation et une silicification (Fig. 20, photo a). Le contact de la minéralisation avec le tuf est également anormal et est également marqué par des altérations hydrothermales de types chloritisation et silicification (Fig. 20, photo b). Les minéraux d'intérêt économique dans la zone

étudiée de la mine de Draa Sfar sont principalement des sulfures. Les observations effectuées à l'échelle macroscopique des sondages et du fond ont permis de mettre en évidence plusieurs phases minérales dans la zone sud du gisement Draa Sfar Sud.

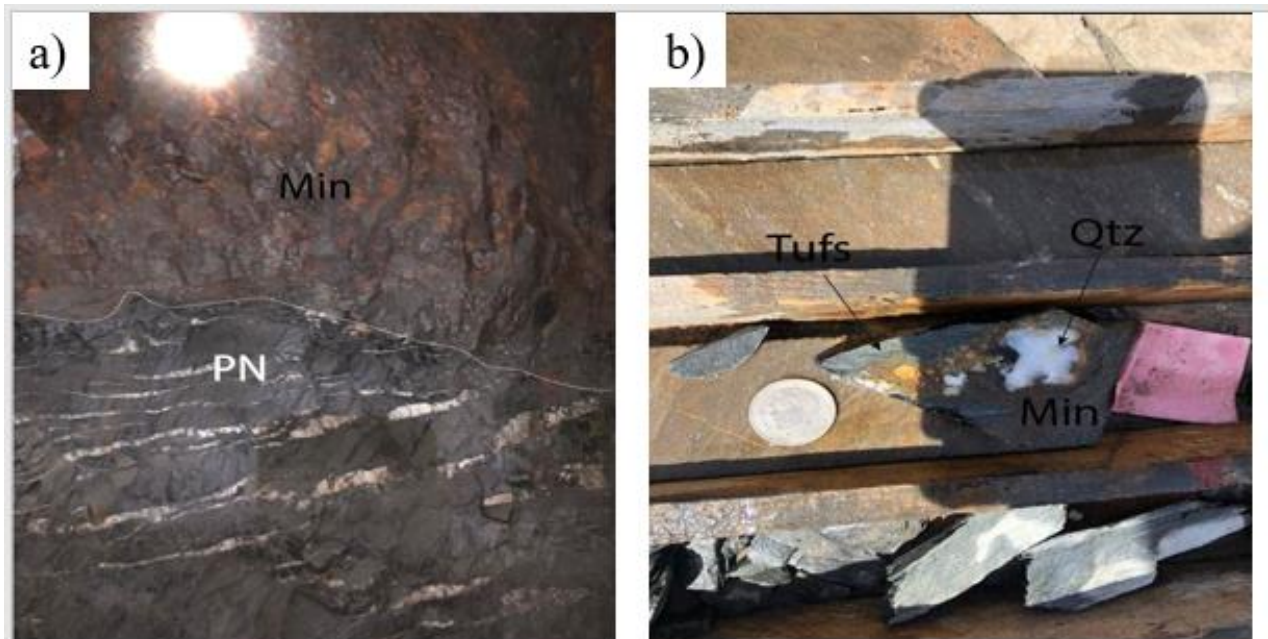


Figure 20 : a) Contact entre la minéralisation (Min) et la métapélite noire (PN) recoupée par des veinules de quartz boudinées au sein du gisement Draa Sfar Sud fond de la mine, niveau -1018 ; b) Contact minéralisation et tuf, échantillon de sondage DF546-cote=48,4m.

- **La pyrrhotite ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$) :**

La pyrrhotite ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$) est un minéral dont la couleur varie du bronze au brunâtre clair. Elle constitue la phase prédominante de la minéralisation, représentant jusqu'à 80% des sulfures présents avec des textures disséminée (Fig. 21, photo a), massive à sub-massive (Fig. 21, photo b) et rubanée (Fig. 21, photo c). La plupart des échantillons de pyrrhotite sont magnétiques aussi bien en sondage ou bien au fond. La pyrrhotite rubanée peut présenter des microplis et dans ce cas elle est non magnétique. La pyrrhotite est souvent altérée en oxydes et hydroxydes de fer.

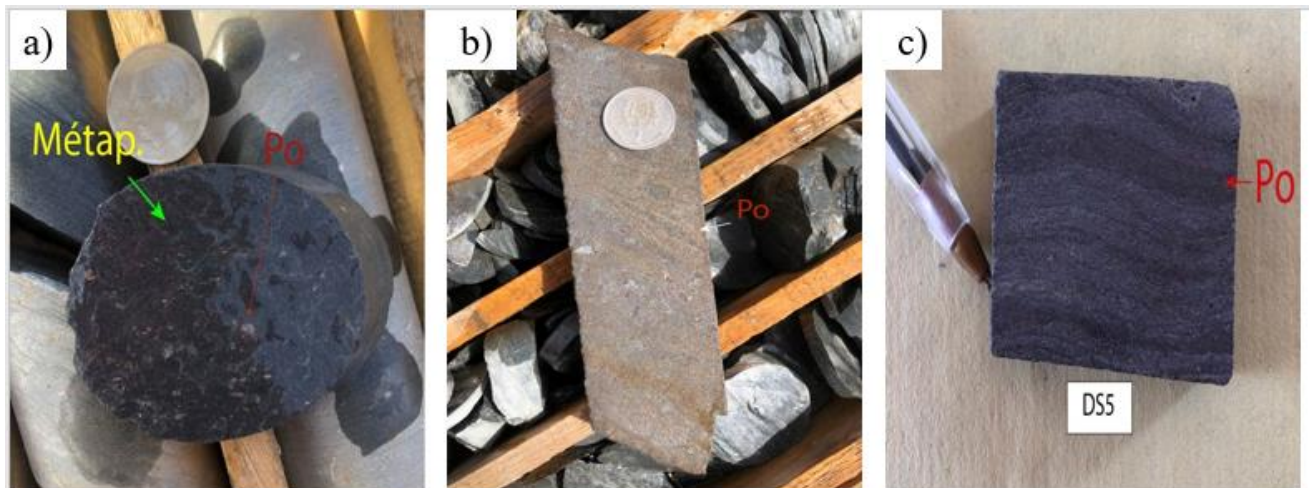


Figure 21 : Les différentes textures de la pyrrhotite. a) Pyrrhotite (Po) disséminée ; b) Pyrrhotite (Po) sub-massive ; c) Pyrrhotite (Po) rubanée.

- **La chalcopryrite (CuFeS₂) :**

La chalcopryrite est de couleur jaune d'or avec un éclat métallique puissant. Elle est présente dans la zone étudiée sous forme de petites masses de quelques millimètres à quelques centimètres ou de disséminations à l'intérieur des masses de pyrrhotite (Fig. 22, photos a et b).

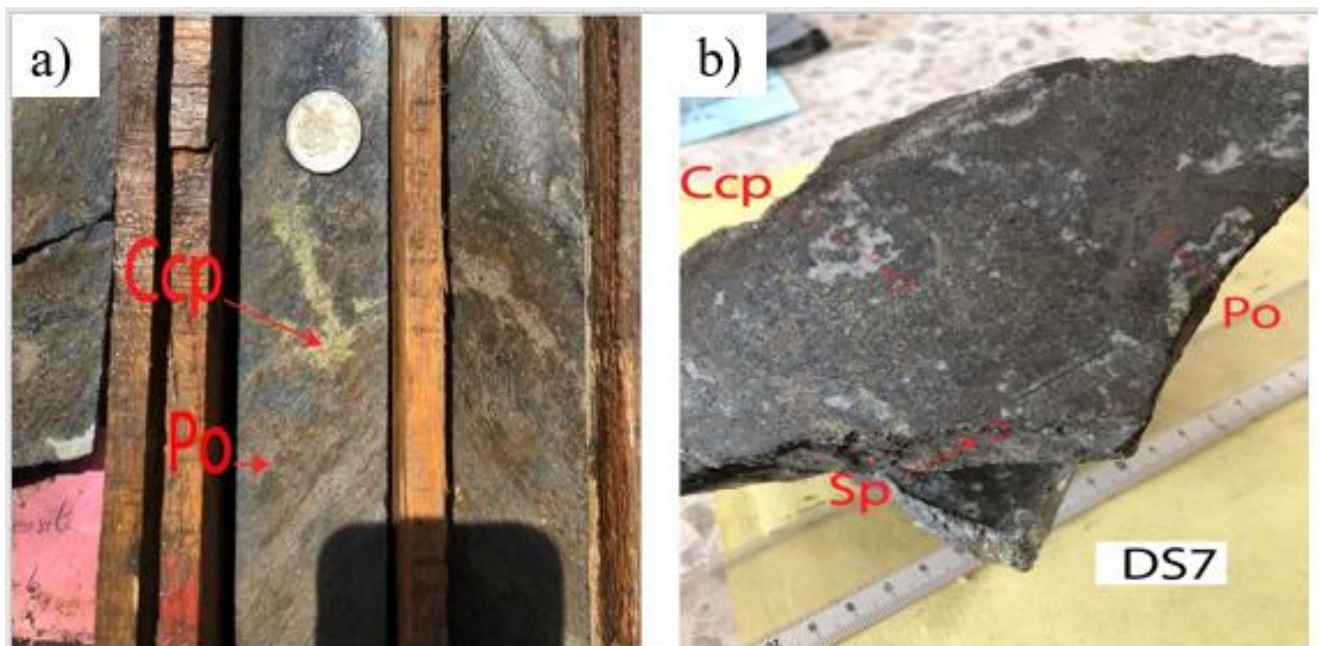


Figure 22 : Les différents aspects de la chalcopryrite. a) Chalcopryrite (Ccp) et la pyrrhotite massive ; b) Chalcopryrite (Ccp) disséminée.

- **La Pyrite (FeS₂) :**

La pyrite est un sulfure facilement reconnaissable grâce à sa forme cubique souvent observée. Elle affiche une couleur jaune laiton et un éclat métallique. La pyrite est présente sous forme disséminée au sein de la pyrrhotite (Fig. 23, photo a).

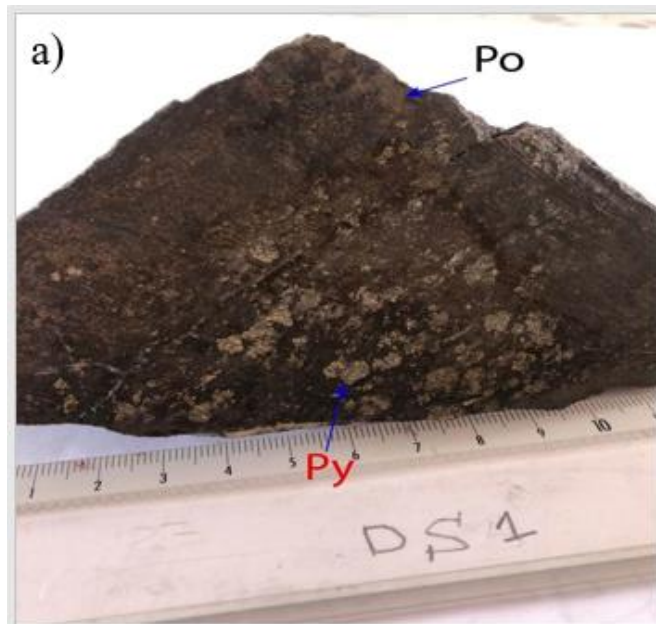


Figure 23 : a) Texture disséminée de la pyrite au sein de la pyrrhotite a) Pyrite (Py) disséminée et pyrrhotite (Po) DS1, échantillon fond de la mine, niveau -1018.

- **La sphalérite (ZnS) :**

Le minéral présente généralement une couleur brunâtre à noirâtre avec un éclat sub-métallique. Dans la plupart des cas, elle se présente sous forme de petits cristaux de quelques millimètres qui remplissent les cavités dans le minerai bréchique (Fig. 24, photo a). On peut également la trouver disséminée dans la pyrrhotite mais moins visible à l'œil nu.

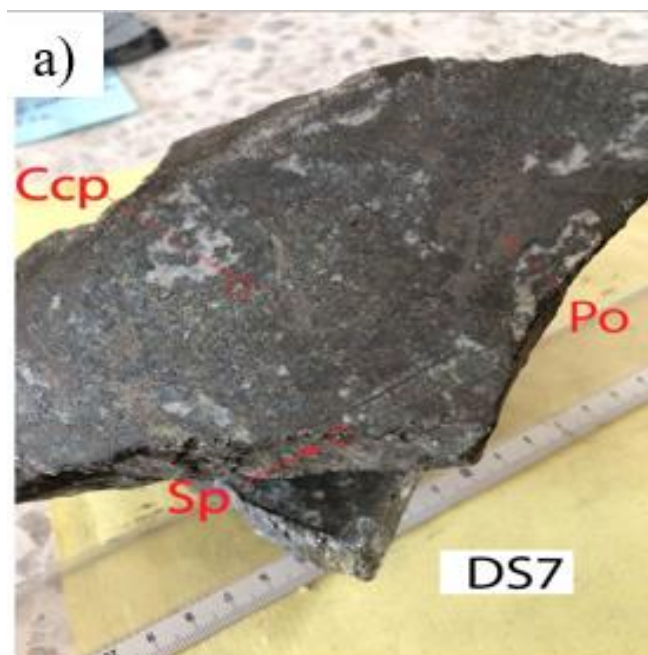


Figure 24 : a) Texture bréchique avec de la sphalérite (Sp) disséminée dans la brèche : fond de la mine, niveau -1018.

- **La galène (PbS) :**

Comparativement aux autres minéraux, ce minéral est relativement peu abondant dans les échantillons macroscopiques. Il se distingue par sa couleur grisâtre bleutée et son éclat métallique. Il est généralement observé sous forme d'inclusions à l'intérieur de la pyrrhotite dans la minéralisation rubanée.

II.2. Etude microscopique de la minéralisation

Les différents types de minéralisations ont été décrits en fonction des textures observées : massive, sub-massive, rubanée et bréchique.

a. Minéralisation massive :

On observe dans cette texture massive la pyrrhotite qui est dominante souvent accompagnée de la chalcopyrrite reconnue par sa couleur jaune d'or et traversée par des veinules de carbonates (Fig. 25, photo a) et quelques disséminations de sphalérite grise. Il y a de petites plages d'encaissant de quelques microns dans ce minerai massif. On observe aussi de la pyrite connue par sa couleur blanc crème et son mauvais polissage (Fig. 25, photo b).

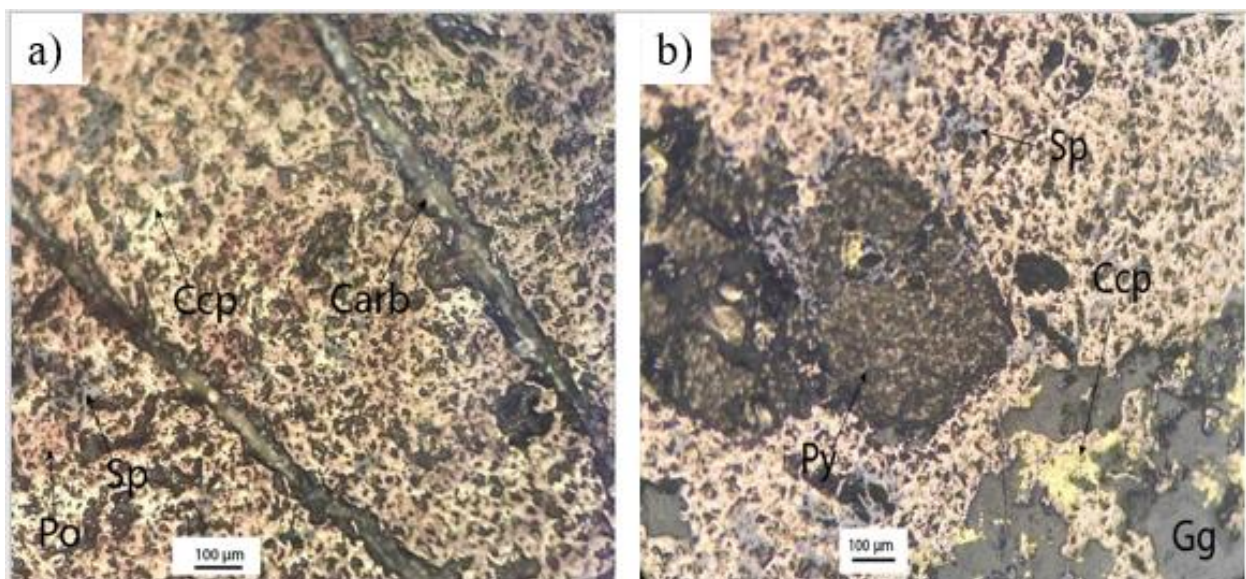


Figure 25 : Minéralisation massive, (Pyrrhotite (Po), Pyrite (Py), Gangue (Gg), Chalcopyrrite (Ccp), Sphalérite (Sp) ; DS1 échantillon fond de la mine, niveau -1018.

b. Minéralisation sub-massive :

C'est une minéralisation moins dense par rapport à la minéralisation massive, qui se présente sous forme de masses de sulfures au sein d'une gangue quartzo-carbonatée (Fig. 26, photo a). On a aussi des filons de carbonates qui traversent la minéralisation. Cette dernière

essentiellement formée par la pyrrhotite suivie par la sphalérite avec des plages de chalcopryrite de taille variable dispersées au sein de la pyrrhotite. On constate aussi la présence de la stannite de couleur verdâtre qui se présente sous forme de petites veinules qui traverse la sphalérite (Fig. 26, photo b).

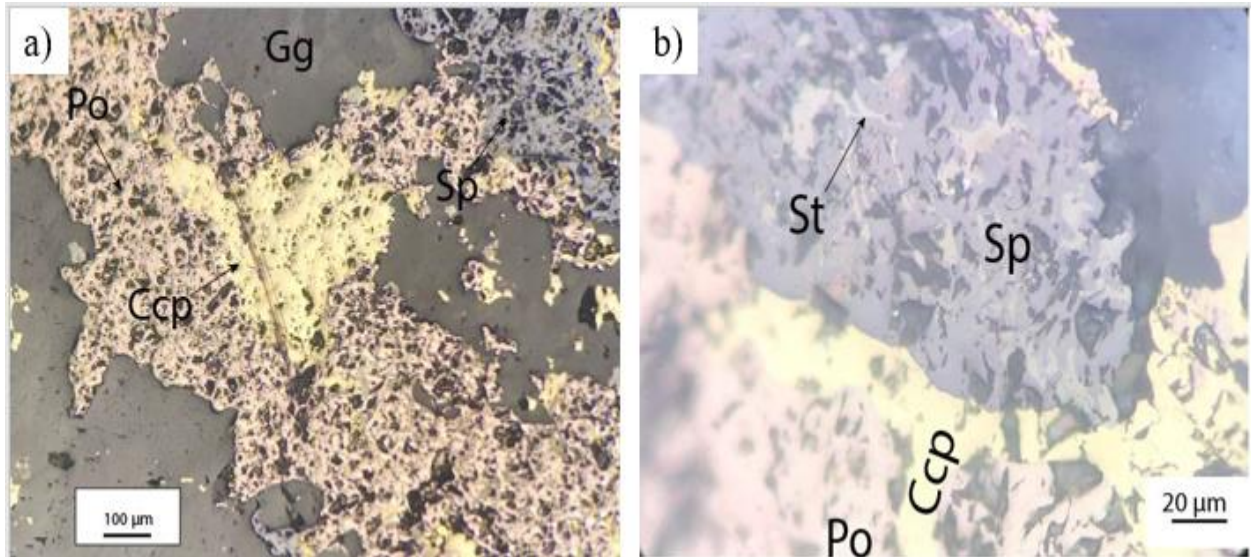


Figure 26 : Minéralisation sub-massive : Pyrrhotite (Po), Sphalérite (Sp), Chalcopryrite (Ccp), stannite (St), Gangue (Gg), échantillon sondage DS7 fond de la mine, niveau -1018.

c. Minéralisation rubanée :

On distingue une minéralisation avec de la pyrrhotite non magnétique qui présente des rubans alternant avec quartz, dolomite et autres minéraux de gangue, ou bien des lits irréguliers où la pyrrhotite est étirée accompagnée par des macles de déformation suivant S1 (Fig. 27, photo a). Cette minéralisation présente des microplissements de pyrrhotite déformée sous forme de rubans qui alternent avec du quartz et des carbonates (Fig. 27, photo b). Dans le faciès rubané non plissé, la pyrrhotite magnétique présente une alternance avec des lits de quartz, carbonates et ne présente souvent pas de macles d'étirement. On trouve aussi de la chalcopryrite et de la galène de couleur blanchâtre reconnue par des triangles d'arrachements.

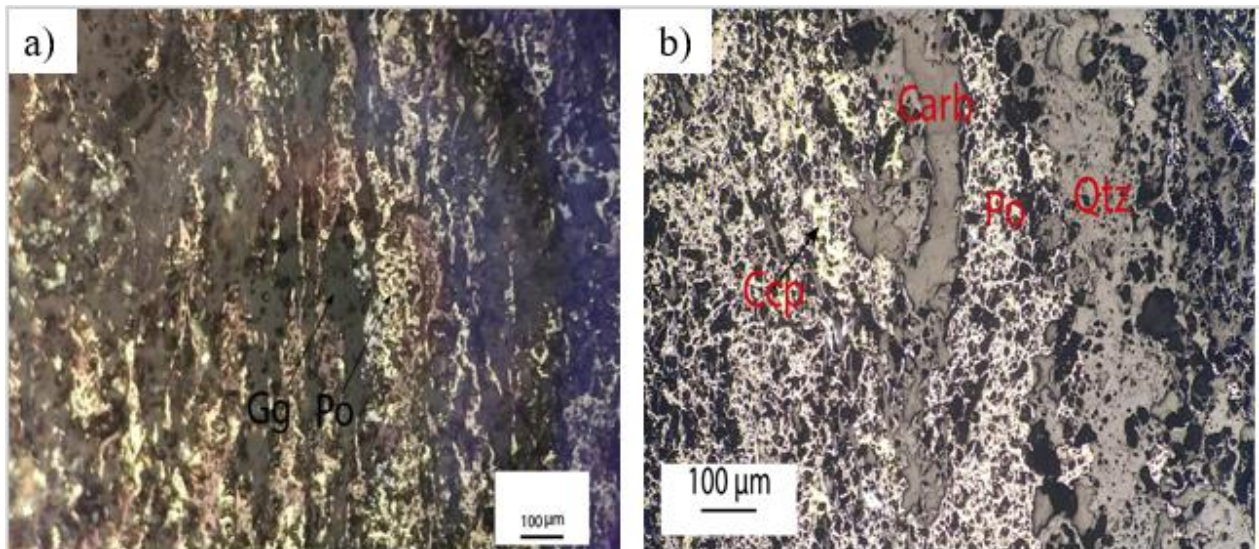


Figure 27 : Minéralisation rubanée, Pyrrhotite (Po) allongée suivant la S1, Chalcopyrite (Ccp), carbonates (Carb) et quartz (Qtz). DS12/DS5, échantillons fond de la mine, niveau - 1018.

d. Minéralisation bréchique :

Dans cette texture, la minéralisation se présente sous forme de brèche (Fig. 28, photos a et b). Le minerai présente une dominance de minéraux de gangue essentiellement des carbonates et les sulfures dominés par la pyrrhotite, localement l'arsénopyrite de quelques microns reconnue par sa couleur blanche, son bon poli ainsi que sa forme automorphe et de la chalcopyrite qui recoupe le tout et remplit des cavités, enfin la stannite moins importante dans ce type de texture.

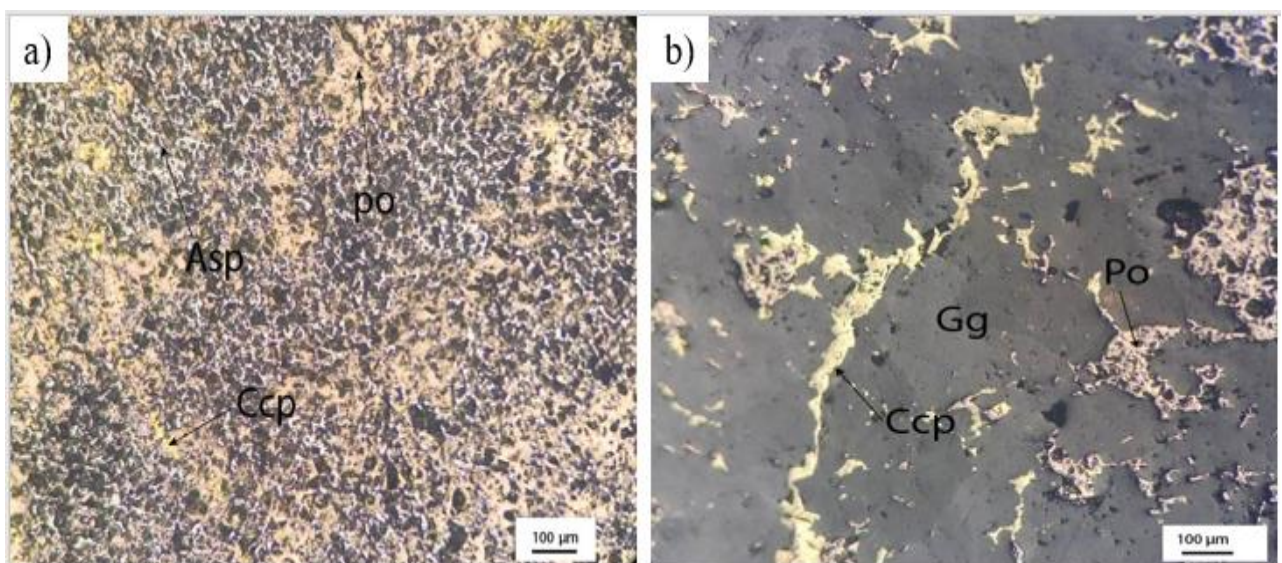


Figure 28 : Minéralisation bréchique, Gangue (Gg), Pyrrhotite (Po), Chalcopyrite (Ccp), Arsénopyrite (Asp), échantillon DS11/DS7 fond de la mine, niveau -1018.

L'abondance relative des différentes phases minéralisées a été estimée en effectuant un examen métallographique des échantillons collectés (Tableau 2).

Phases Minérales	Abondance relative
Pyrrhotite	+++++++
Chalcopyrite	++++++
Sphalérite	+++++
Pyrite	++++
Stannite	+++
Galène	+++
Arsénopyrite	+

Tableau 2 : Abondance relative des phases minérales métalliques.

e. Séquence paragénétique

À partir des relations texturales observées entre les différentes phases minérales (par exemple : Fig. 29 photos a, b, c, d, e et f), une séquence paragénétique a été proposée pour la zone du Panneau Aval 1000 du gisement de Draa Sfar sud (Tableau 3). Ainsi, le dépôt minéral commence par la formation de la pyrrhotite 1 non magnétique intensément déformée d'abondance plutôt limitée dans nos échantillons, ensuite on trouve la pyrite, arsénopyrite et probablement le quartz, suivis de la pyrrhotite 2 magnétique moins déformée que la pyrrhotite 1 et de la sphalérite. Ensuite, on a le dépôt des carbonates (calcite-dolomite), suivis de la chalcopyrite, stannite, et la galène au dernier stade hydrothermal. Enfin, lors d'un stade d'altération supergène, les oxydes et hydroxydes de fer proviennent de la transformation des sulfures principalement le sulfure de fer dominant qui est la pyrrhotite.

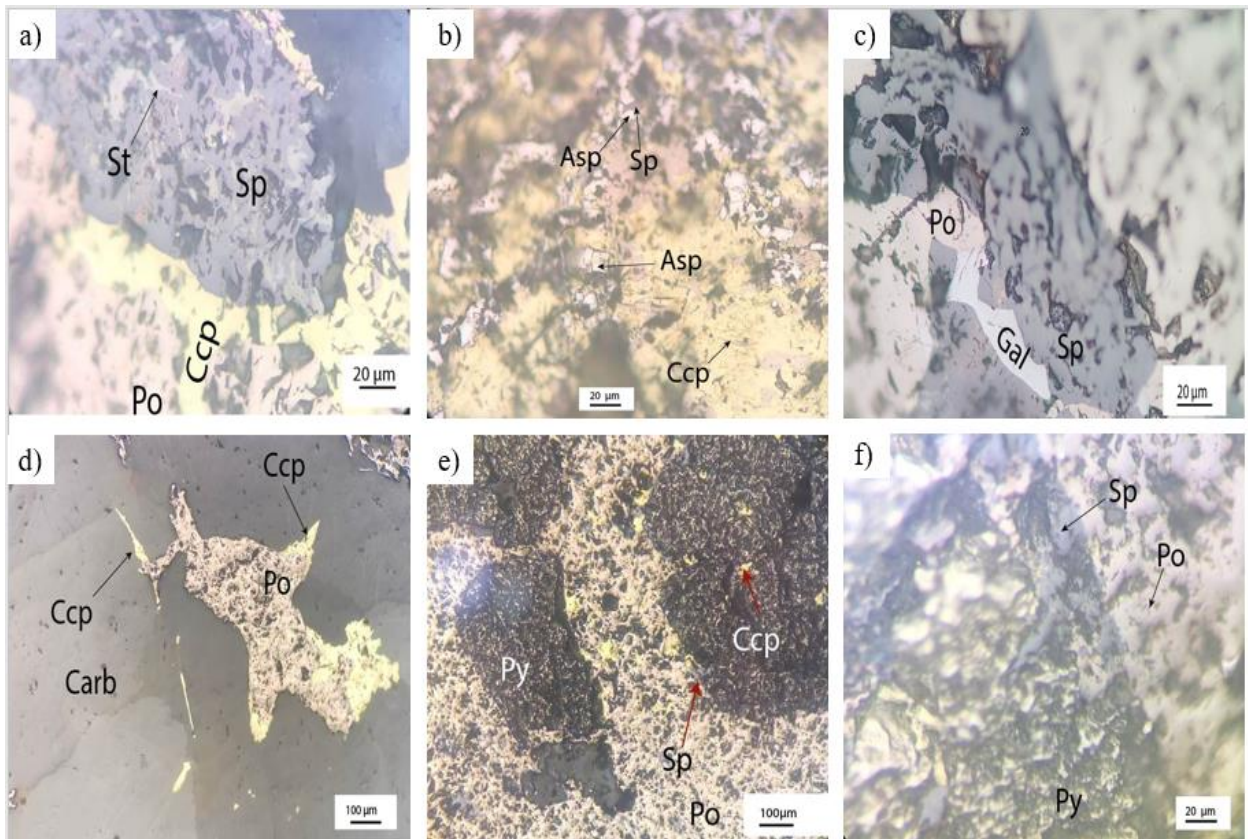


Figure 29 : Relation texturales des minéraux métalliques et de gangue : Pyrrhotite (Po), Pyrite (Py), Chalcopyrite (Ccp), Carbonates (Carb), Sphalérite (Sp), Galène (Gal), Stannite (St), Arsenopyrite (As) - échantillons fond de la mine, niveau -1018.

Minéraux	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	Supergène
Pyrrhotite 1	██████████					
Pyrite		██████████				
Arsénopyrite		██████████				
Quartz		██ ??				
Pyrrhotite 2			██████████			
Sphalérite			██████████			
Carbonates (calcite – dolomite)				██████████		
Chalcopyrite					██████████	
Stannite					██████████	
Galène					██████████	
Oxydes et hydroxyde de fer						██████████

Tableau 3 : Succession paragenétique des phases minérales à Draa Sfar Sud (l'épaisseur des barres donne une idée de l'abondance relative du minéral).

III. Etude structurale

Le gisement de Draa Sfar présente une empreinte remarquable des processus de déformation qui ont affecté la région au fil des temps géologiques. Cette déformation est clairement enregistrée dans les divers types de roches et également dans le minerai lui-même. Elle se manifeste par des plissements, des schistosités (S1, S2), des cisaillements et des failles de différentes directions et pendages.

Dans cette partie, nous allons décrire les structures tectoniques observées dans les galeries des niveaux -1018 m, -1045 m et -1075m de Draa Sfar Sud. Ce dernier est caractérisé par une déformation très poussée, responsable de la disparition quasi-totale des structures primaires (S0).

La cartographie souterraine (données disponibles en mine et mesures réalisées dans ce travail) des éléments structuraux dans ces niveaux d'études a permis de caractériser la schistosité ainsi que les failles représentées dans les plans (Fig. 30, 31, 32). L'ensemble des valeurs ont été reportées sur des projections stéréographiques et des rosaces directionnelles (Fig. 36).

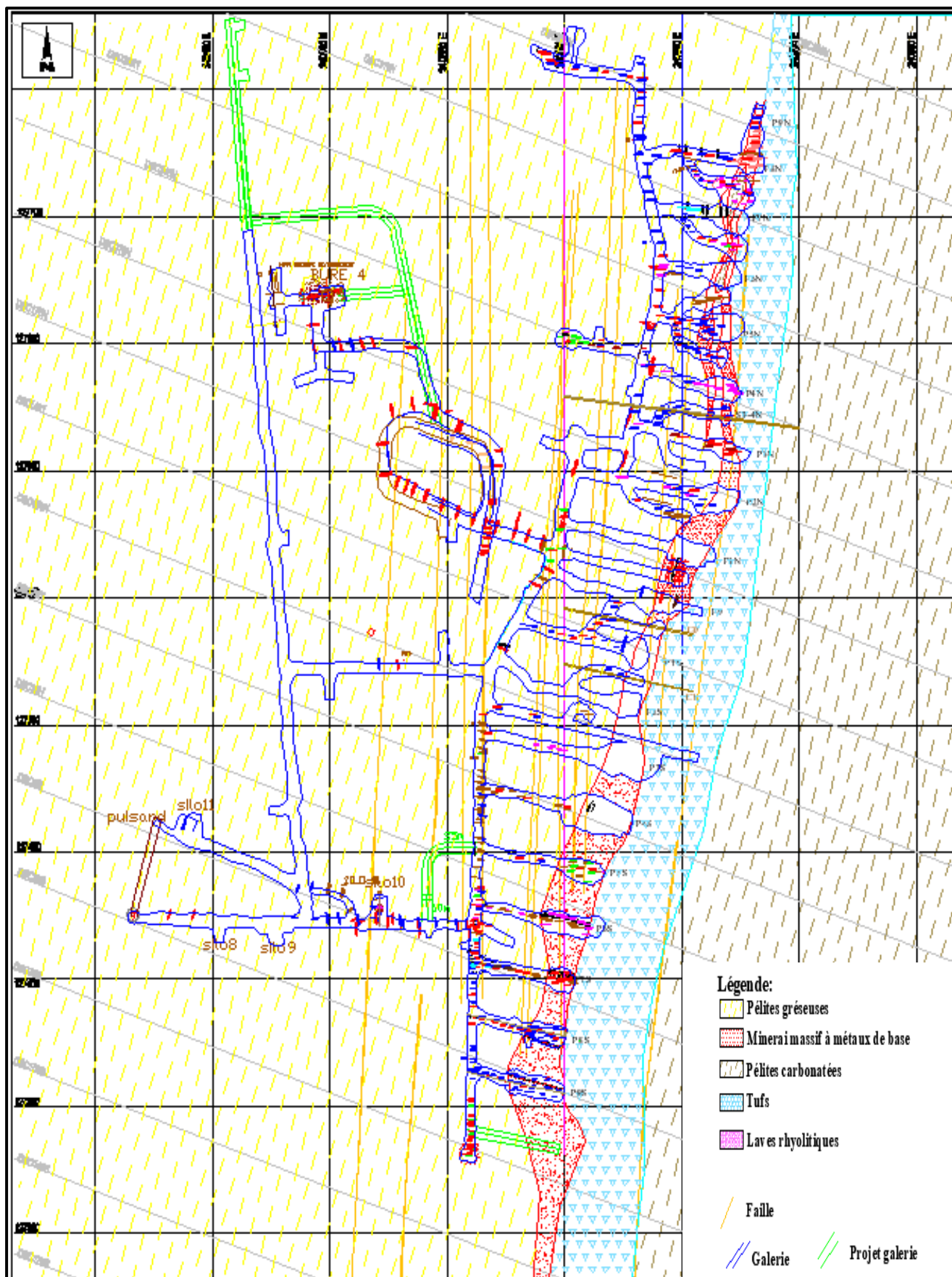


Figure 30 : Plan géologique du niveau -1018 montrant les failles et la schistosité (document CMG).

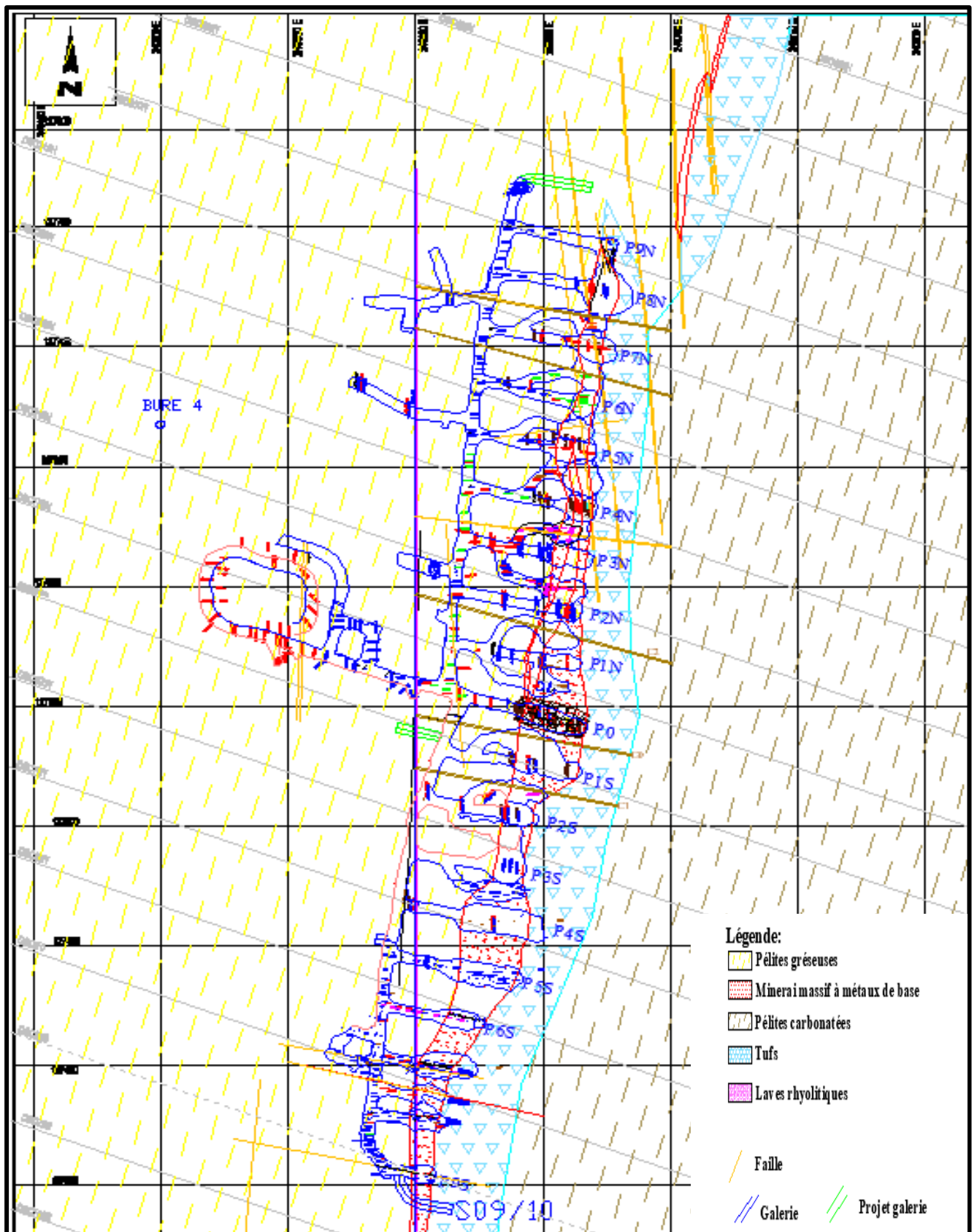


Figure 31 : Plan géologique du niveau -1045 montrant les failles et la schistosité (document CMG).

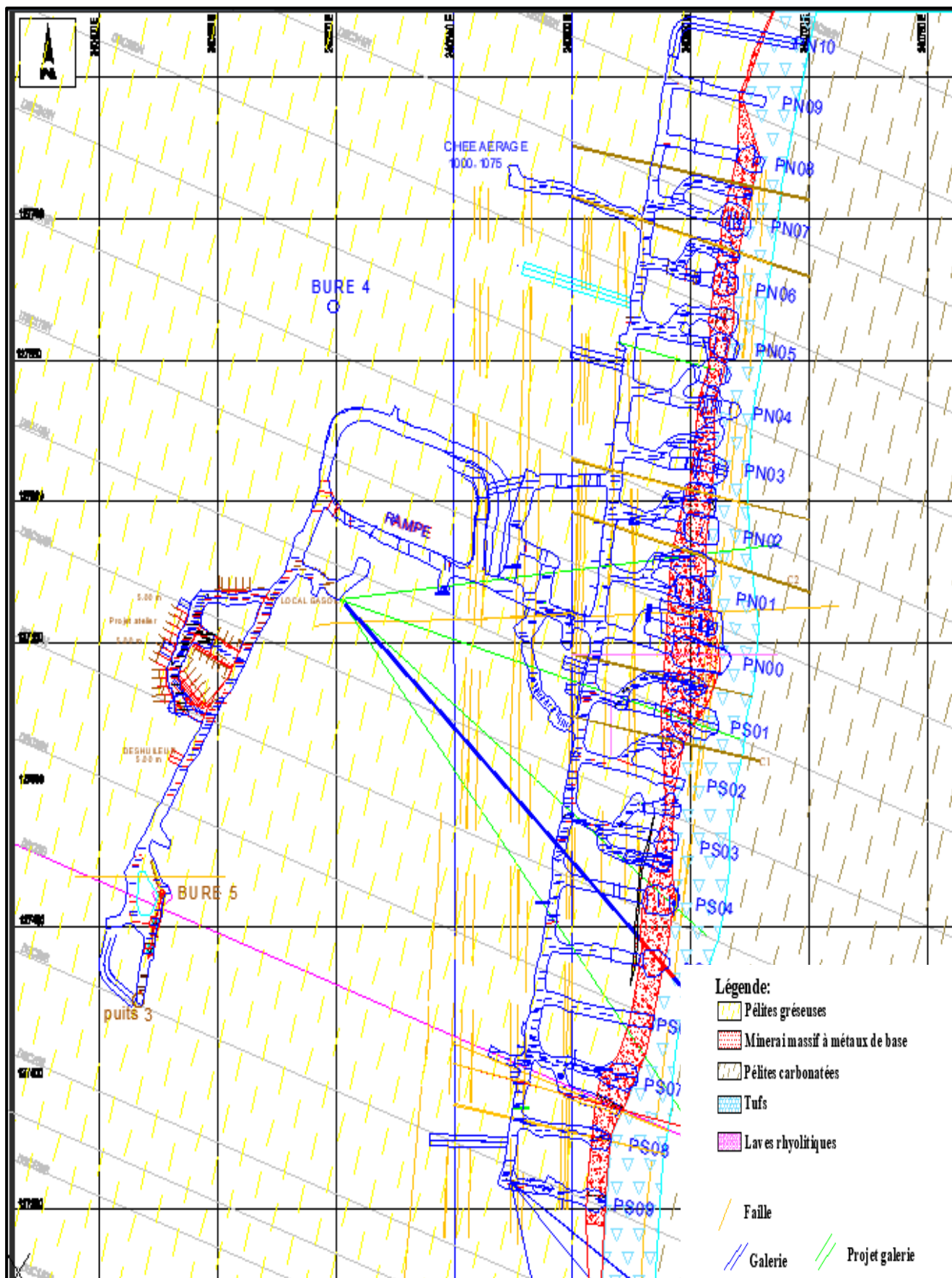


Figure 32 : Plan géologique du niveau -1075 montrant les failles et la schistosité (document CMG).

1. Schistosité

Une des caractéristiques structurales les plus remarquables dans la partie aval de Draa Sfar Sud est la présence de schistosité très pénétrative, visible dans les galeries souterraines (Fig. 33, a) et les carottes de sondages. Cette schistosité affecte à la fois le mur et le toit de la minéralisation. Elle se présente sous la forme de plans pénétratifs successifs, clairement visibles dans les métapélites (schistosité de flux), et moins pénétrative dans les tufs. La schistosité de type flux (S1) est orientée approximativement au N15 à N20°E avec un pendage de 83° vers l'est (données que nous avons relevées au fond). Les mesures de schistosité disponibles en mine (Fig. 34) donnent une direction N15°E et un pendage de 86° vers l'est.

Dans les formations du mur, on peut distinguer deux plans de schistosité (S1, S2). La phase schisteuse (S2) est perpendiculaire à la S1 (Fig. 33, b).

À l'échelle microscopique, on peut également observer la schistosité S1 qui moule les cristaux de quartz (Fig. 33, c), créant des zones abritées.

Des microplis affectant aussi bien l'encaissant métapélitique que la minéralisation a également été observés (Fig. 33, d).

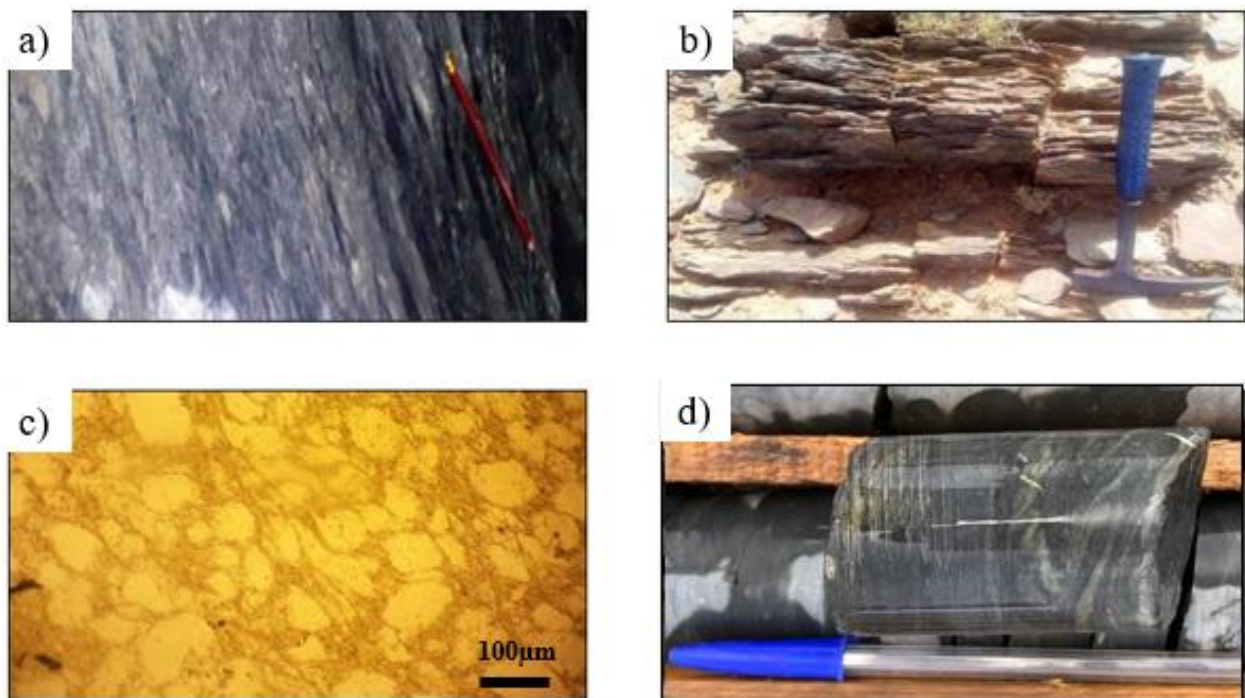


Figure 33 : Aspect de la schistosité. a) Aspect de la schistosité dans les galeries souterraines ; b) Photo de surface présentant la S1 et la S2 qui sont perpendiculaires ; c) Aspect microscopique du quartz orienté par la S1 (Rapport inédit CMG). d) Micropli dans les métapélites gréseuses.

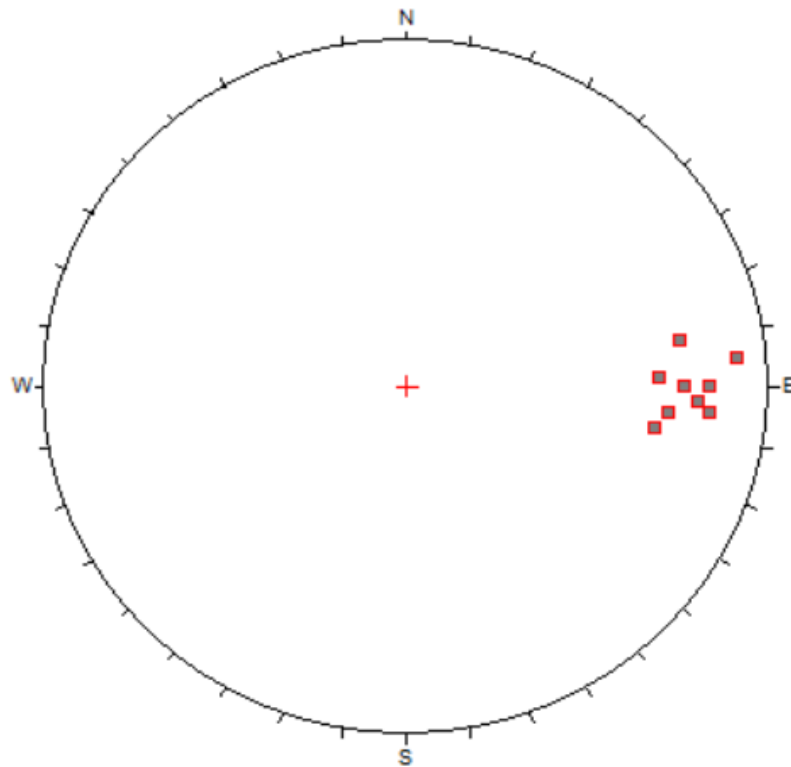


Figure 34 : Pôles de la schistosité S1 dans les niveaux -1018, -1045 et -1075 (données disponibles en mine, représentées dans ce travail, N=9) ; (Document CMG).

2- Boudinage

Pendant la déformation ductile, les niveaux plus résistants que leur roche encaissante ont été soumis à un processus de boudinage le long des plans de la schistosité S1 (Fig. 35, photos a, b). Une observation des carottes du sondage révèle une asymétrie des masses boudinées par rapport à l'axe d'allongement, et la direction de ces boudins correspond souvent aux plans S1.

À une échelle plus grande, les recherches menées par Ben Aïssi (2008) et Rziki (2012) ont démontré que la masse minéralisée de Draa Sfar se présente elle-même sous la forme d'une méga lentille aplatie et boudinée le long des plans de S1, avec un fort pendage vers l'est. L'axe des boudins est généralement subhorizontal, avec une légère inclinaison vers le sud.

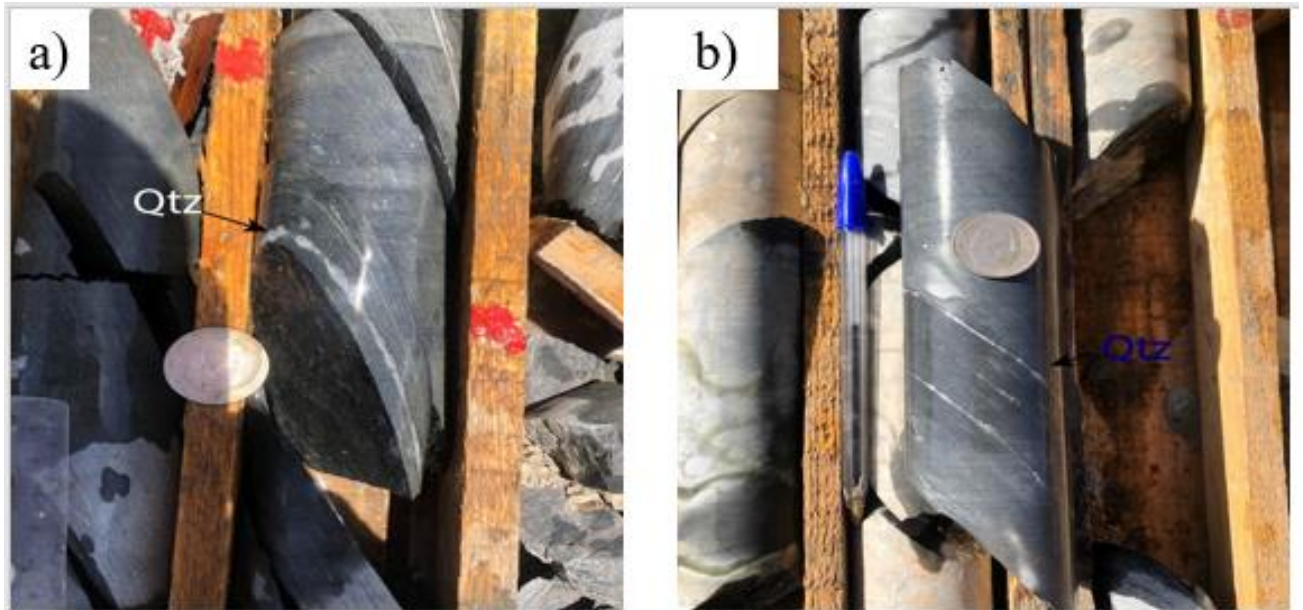


Figure 35 : Boudinage de quartz au sein des métapélites. a) et b) Quartz (Qtz) boudiné suivant la S1.

3. Failles

Les mesures effectuées au niveau des galeries (données disponibles en mine) nous ont permis de distinguer trois principales familles directionnelles de failles orientées en moyenne N-S, NE-SW et NW-SE avec une dominance remarquable de la direction N-S (Fig. 31, a, b et c), généralement pentées vers l'est avec des pendages forts à sub-verticaux (Fig. 36, c).

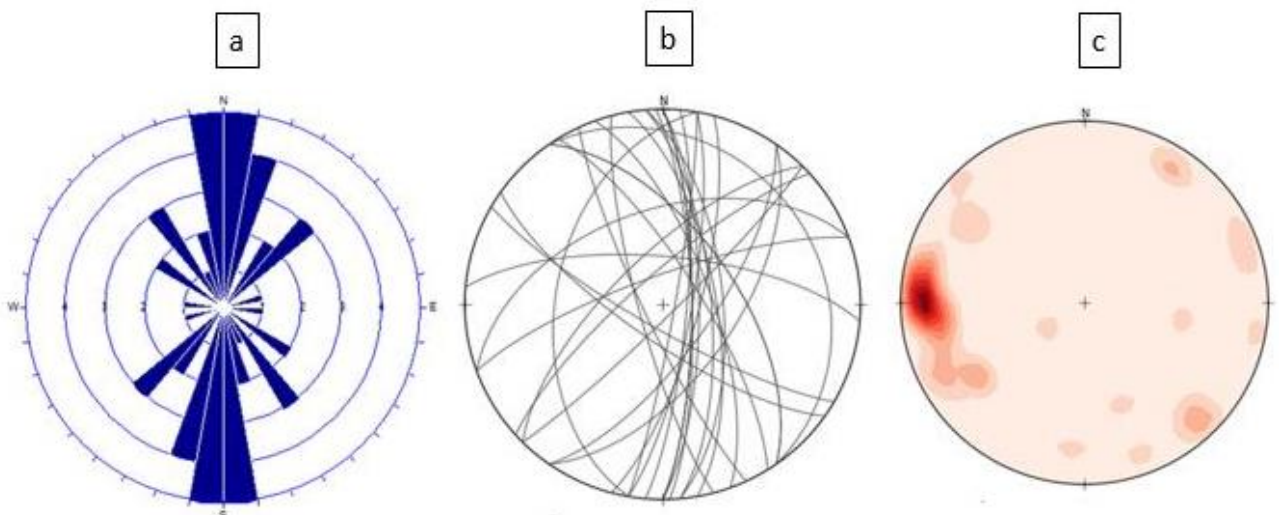


Figure 36 : Les failles dans la zone aval de Draa Sfar Sud. a) rosace directionnelle des failles ; b) Projection stéréographique des plans de failles (logiciel CANEVAS) ; c) Densité des pôles des failles ; (Document CMG).

Au niveau des galeries, nous avons observé des décrochements senestres métriques en couronne dont nous n'avons pas pu mesurer les directions.

La figure 37 nous permet de représenter le recoupement entre les failles et décrochements qui ont été relevés au fond de la mine et de définir une succession chronologique :

- La faille E-W décalée par le décrochement dextre NE-SW (Fig. 37, a)
- La faille NNE-SSW décalée par un décrochement à jeu dextre NW-SE (Fig. 37, b)
- La faille NW-SE décalée par la famille N-S (Fig. 37, c).

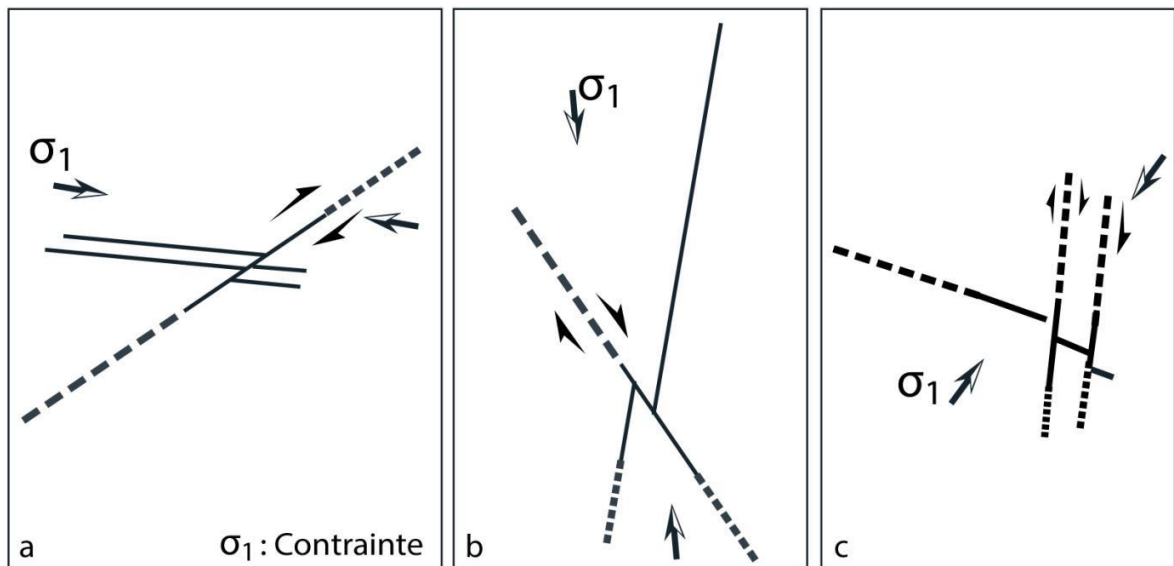


Figure 37 : Schéma représentatif des recoupements entre les failles et décrochements (Document CMG).

A une échelle plus faible, nous avons noté localement des familles de veinules millimétriques de carbonates qui recoupent et décalent les boudins de quartz-chlorite (Fig. 38, photo a).



Figure 38 : a) Décalages des boudins de quartz-chlorite (Qtz) par des veinules millimétriques à carbonates (Carb) : DF544.

4. Relation avec les phases de déformation régionale

La déformation ductile observée se manifeste régionalement par trois phases distinctes de déformation : D1, D2 et D3 (Huvelin, 1977, cf. synthèse bibliographique).

La phase D1 : Correspond à la phase compressive majeure de l'orogénèse Hercynienne, caractérisée par la formation de plis P1 synschisteux (Fig. 39, photos a, b) qui montrent un déversement apparent vers l'ouest qui présentent une schistosité S1 de type flux, synchrones avec le métamorphisme régional des schistes de faible grade. La schistosité S1 observée dans les métapélites lors de notre travail pourrait être associée à cette phase.

La phase D2 : Cette phase est marquée par une déformation cisailante, caractérisée par des zones de cisaillement ductile, qui s'est traduite dans le Bloc Central d'après les travaux réalisés en mine. Ces zones de cisaillement sont associées au boudinage des lentilles minéralisées ainsi qu'à la présence de filons de quartz à l'intérieur des formations métamorphiques encaissantes. Les boudinages observés au niveau de la minéralisation et des niveaux quartzeux pourraient être associés à cette phase (Fig. 39, photos c, d).

La tectonique cassante se matérialise essentiellement par des failles E-W, NNE-SSW et NW-SE et des décrochements subverticaux. Dans les Jebilet, les travaux ont pu distinguer des

décrochements senestres N160°E et de grandes failles subméridiennes associées aux fossés Stéphano-Permiens (Bouloton et Le Corre, 1985) ainsi que des failles E-W d'âge principalement Atlasique (Huvelin, 1977). Dans l'état actuel de nos connaissances sur le gisement, nous ne pouvons pas associer avec certitude les structures cassantes que nous avons relevées avec les phases de déformation cassantes décrites dans la littérature.

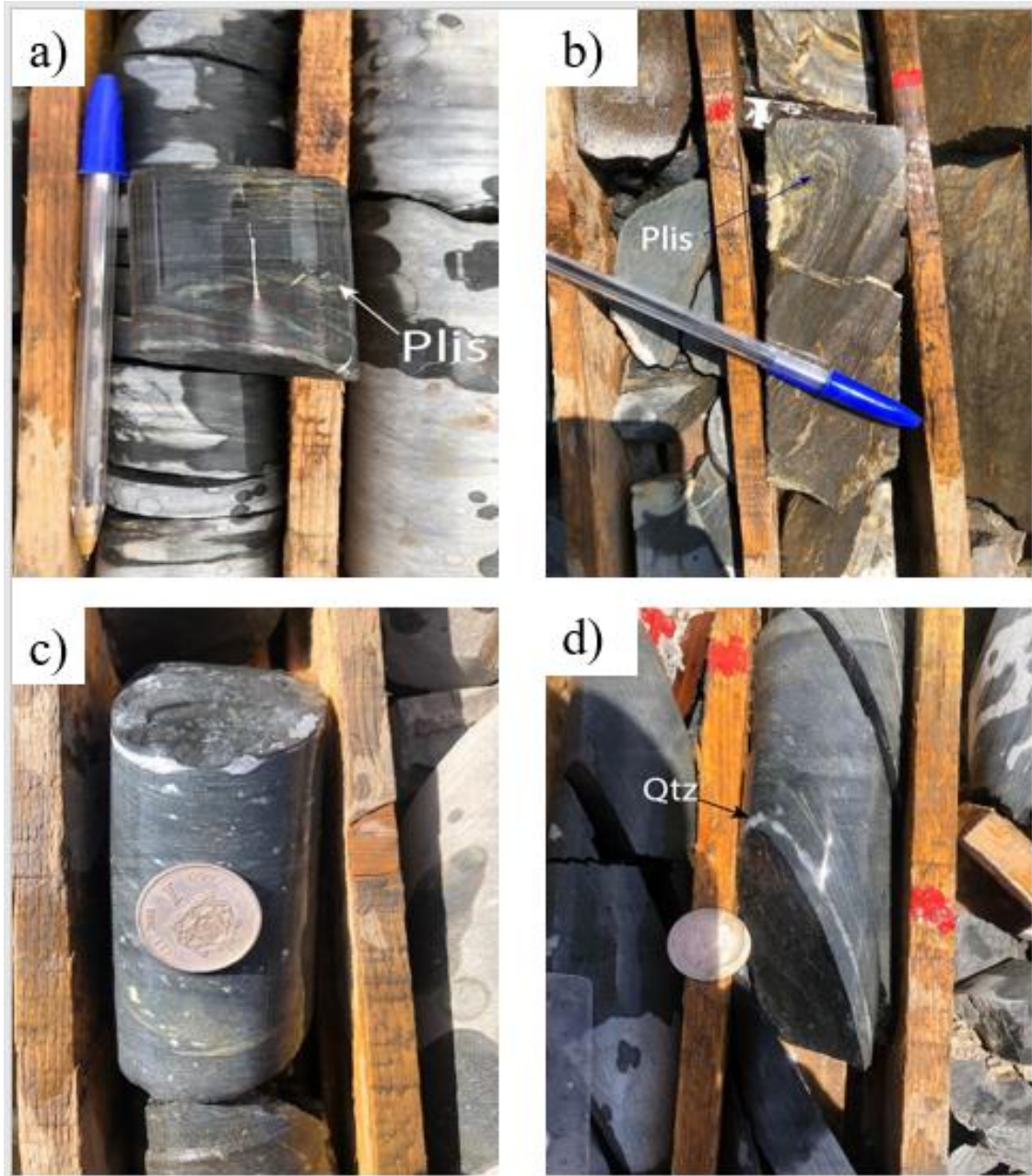


Figure 39 : Les structures montrant les différentes phases de déformation. a) Micropli ; b) déformation ductile puis cassante de la minéralisation ; c et d) Quartz (Qtz) boudiné.

Conclusion :

L'étude structurale a permis de montrer que la zone du Panneau Aval 1000 du gisement de Draa Sfar sud a été affectée par deux phases de déformation ductile. La première phase compressive probablement associée à la phase majeure de l'orogénèse Hercynienne caractérisée par la formation des plis synschisteux et une schistosité S1. La seconde phase est matérialisée par une déformation cisailante, caractérisée par des zones de cisaillement ductile associées au boudinage observés au niveau de la minéralisation et des niveaux quartzeux. La déformation cassante est caractérisée par des failles orientées N-S, NE-SW et NW-SE et des décrochements senestres sub-méridiens.

IV. Etude des altérations hydrothermales

L'étude de l'altération du bloc sud des trois sondages DF544, DF545 et DF546 montre que les roches encaissantes des minéralisations à savoir les métapélites et les tufs ont subi une intense altération hydrothermale qui se manifeste par une silicification, carbonatation, chloritisation.

-La silicification est une altération qui devient de plus en plus intense en s'approchant de la minéralisation. La silice se présente sous forme de cristaux de quartz avec des tailles variables. Dans les veines hydrothermales qui traversent les faciès encaissants, le quartz remplit les fractures à la fois dans la partie supérieure et inférieure de la série minéralisée.

-La carbonatation est plus développée dans la minéralisation et dans la série du toit sous forme de disséminations ou de carbonates (calcite et dolomite) qui envahissent aussi bien les métapélites que les tufs du mur. Elle se manifeste également par des fissures tardives qui recoupent les deux faciès encaissants et les minéralisations massives et rubanées précoces.

-La chloritisation L'ensemble de la série de Draa Sfar est caractérisé par une intense chloritisation en se rapprochant des lentilles minéralisées, particulièrement au niveau du mur.

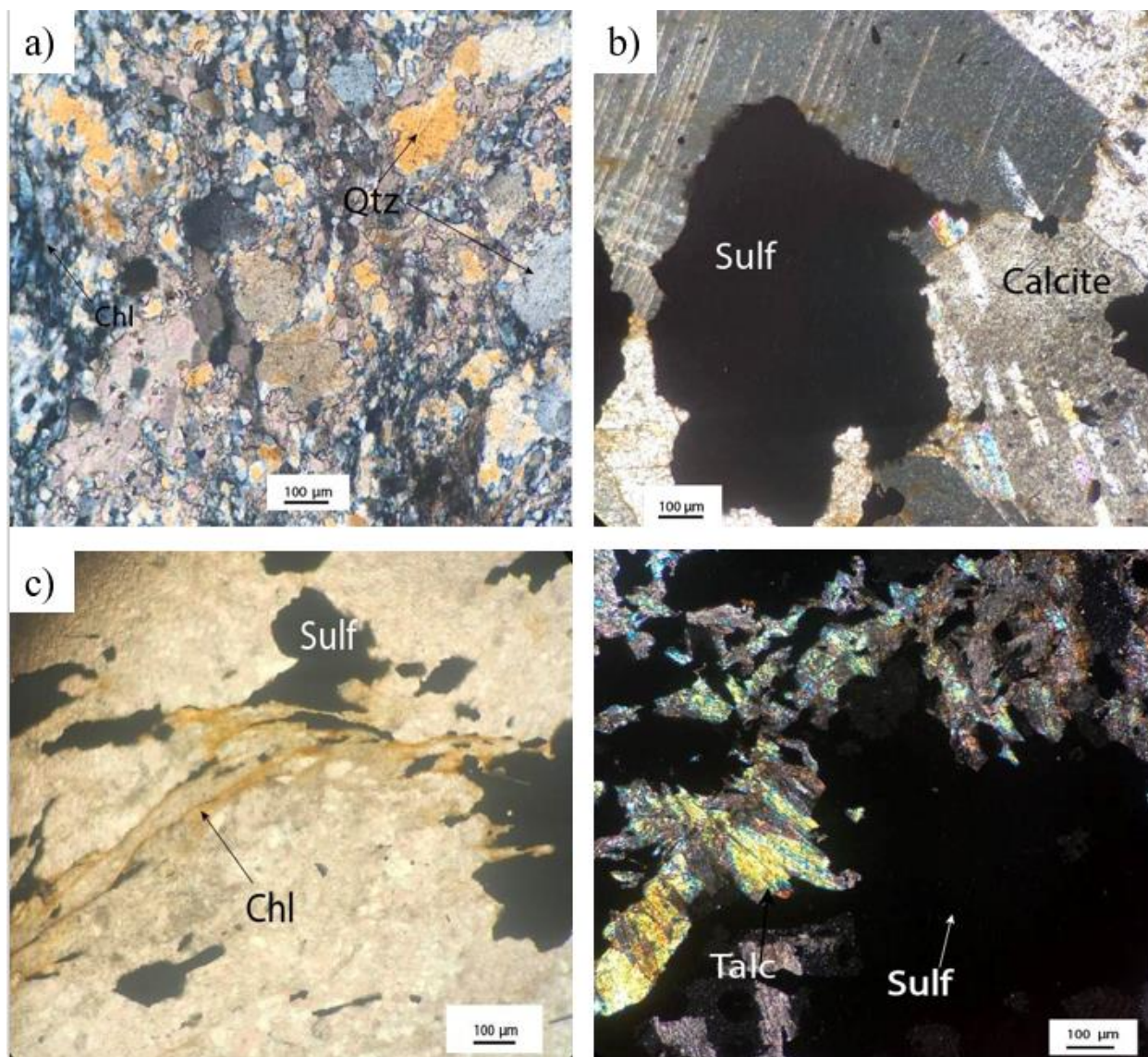


Figure 40 : Différents types d'altérations hydrothermales. a) Silicification dans les métapélites gréseuses (LTP), b) Carbonatation dans les tufs (LTP), c) Chloritisation dans les tufs (LTN), d) Talc accompagnant la minéralisation dans les tufs (LTP).

Nos observations des altérations hydrothermales issues de la circulation des fluides hydrothermaux au voisinage de l'amas sulfuré de Draa Sfar Sud nous ont permis de conclure que l'altération hydrothermale est plus intense en s'approchant de la minéralisation. On remarque une forte activité hydrothermale qui indique généralement une chloritisation qui se développe surtout au niveau de la formation de mur. On peut ainsi supposer que ces minéralisations peuvent résulter de la circulation d'un fluide minéralisateur siliceux qui a silicifié l'encaissant tout en l'imprégnant et en y déposant des minéralisations sulfurées.

Conclusion générale

Les résultats de notre étude lithostratigraphique de trois sondages étudiés pour localiser et cerner la minéralisation à Draa Sfar Sud ont montré que cette minéralisation se trouve dans un encaissant volcano-sédimentaire. En décrivant les différentes formations de cet encaissant de haut vers le bas, nous pouvons les distinguer comme suit :

- Métapélites
- Minéralisation
- Tufs

Le corps minéralisé est en contact anormal avec l'encaissant (métapélite ou tufs) qui s'accompagne généralement par remplissage de quartz et/ou carbonates et chlorite.

Ces différentes formations lithologiques identifiées sont traversées par des veinules et des filons à remplissages de quartz et/ou de carbonates, qui sont associés à l'activité hydrothermale.

L'étude structurale a révélé que la zone étudiée a été affectée par deux phases de déformation distinctes. La première phase correspond à la phase compressive majeure de l'orogénèse Hercynienne, caractérisée par la formation de plis synschisteux et une schistosité S1 qui est synchrone avec le métamorphisme régional des roches de faible grade d'après la littérature. La déformation cassante se manifeste par la présence de failles subverticales orientées selon les directions N-S, NE-SW et NW-SE. Des décrochements senestres orientés N160°E ont également été identifiés.

Dans la zone de la minéralisation, différentes textures ont été identifiées, notamment des structures bréchiques, sub-massives à massives, rubanées, et même une structure plissée observée dans le sondage DF545. La minéralisation est caractérisée par l'abondance de pyrrhotite avec des quantités significatives de chalcopyrite avec des minéraux moins abondants tels que stannite, galène et l'arsénopyrite. Elle s'est déposée en plusieurs stades avec un stade majeur précoce avec pyrrhotite-pyrite-sphalérite-arsénopyrite et un stade tardif avec chalcopyrite-stannite-galène.

Notre étude gîtologique a permis de montrer une certaine homogénéité de la minéralisation entre notre zone d'étude et les autres zones de Draa Sfar décrites dans la littérature notamment les travaux de Outigua et al., 2020 sur Draa Sfar Nord. Toutefois, vu que notre étude reste relativement limitée par rapport aux travaux antérieurs effectués sur tout le gisement de Draa Sfar, il n'a pas été possible de comparer l'abondance relative des minéralisations (Pb-Zn ou Cu ?) avec ce qui est observé dans Draa Sfar Nord (Outigua et al., 2020) même si des teneurs

similaires en cuivre ont été remarquées entre notre zone d'étude et Sidi M'Barek (Draa Sfar Nord : entre 0,4 et 1,41 % pds Cu, Outigua et al., 2020).

Références bibliographiques

Aarab, E. M., and Beauchamp, J. (1987) : Le magmatisme carbonifère pré-orogénique des Jebilet centrales (Maroc). Précisions pétrographiques et sédimentaires. Implications géodynamiques. CR Acad Sci Paris 304, 169–174.

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.

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

Belkabir, A., Gibson, H.L., Marcoux, E., Lentz, D & Rziqi, S. (2008) : Géologie and wall rock altération at the hercynian Draa Sfar ZN–Pb–Cu massive sulphide deposit, Morocco. Ore Geology reviews 280-306.

Ben Aïssi, L. (2008) : Contribution à l'étude gîtologique des amas sulfurés polymétalliques de Draa Sfar et de Koudiat Aïcha : comparaison avec les gisements de Ben Sliman et de Kettara (Jebilet centrales, Maroc hercynien. Thèse doctorat, Univ. Cadi Ayyad, fac, sc, semlalia Marrakech, Maroc ,313p.

Bernard, A., J., Maier, O. W. & Mellal, A. (1988) : Aperçus sur les amas sulfurés massifs des Hercynides Marocaines. Mineral. Deposita, 23, p. 104- 114.

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

Bouloton, J. et Le Corre, C. (1985) : Le problème de la tectonique tangentielle dans les Jebilet (Maroc hercynien) : Données et hypothèses. Hercynica. 2, p 121-129.

Delchini, S. (2018) : Etude tectono-thermique d'un segment orogénique varisque à histoire géologique complexe : analyse structurale, géochronologique et thermique du massif des Jebilet, de l'extension à la compression. Thèse d'université; Université d'Orléans.

Delchini, S., Lahfid, A., Plunder, A., & Michard, A. (2016): Applicability of the RSCM geothermometry approach in a complex tectono-metamorphic context: The Jebilet massif case study (Variscan Belt, Morocco). Lithos, 256, 1–12.

Essaifi, A. & Hibti M. (2008): The hydrothermal system of central Jbilet (Variscan belt, Morocco): a genetic association between bimodal plutonism and massive sulphide deposits, Journal of African earth sciences, 50, 188-203.

Essaifi, A., Goodenough, K., Tornos, F., Outigua, A., Ouadjou, A. & Maacha, L. (2019): The Moroccan Massive Sulphide Deposits: Evidence for a Polyphase Mineralization la reference Minerals 2019, 9, 156; doi:10.3390/min9030156.

Essaifi A., Lagarde J. L. & Capdevila R. (2001): Deformation and displacement from shear zone patterns in the Variscan upper crust, Jebilet, Morocco. *J Afr Earth Sci* 32 :335–350.

Essaifi, A., Potrel, A., Capdevila, R. & Lagarde, J., L. (2003) : Datation U-Pb : âge de mise en place du magmatisme bimodal des Jebilet centrales (chaîne Varisque, Maroc). *CR Geosci* 335: 193– 203.

Essaifi, A., Samson, S., & Goodenough, K. (2014): Geochemical and Sr–Nd isotopic constraints on the petrogenesis and geodynamic significance of the Jebilet magmatism (Variscan Belt, Morocco). *Geol. Mag.* 151, 666–691.

Hoepffner, C., Soulamani, A., & Piqué, A. (2005): The Moroccan Hercynides. *Journal of African Earth Sciences*, 43(1–3), 144–165. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.09.002>.

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

IFKIRNE M. (2020): APPORT DES SIG ET DE LA TELEDETECTION POUR LA CARTOGRAPHIE DES ALTERATIONS HYDROTHERMALES AU NIVEAU DU GISEMENT DE DRAA SFAR SUD (JEBILETS CENTRALES – MAROC). Mémoire de Master, Université Hassan II, Faculté des Sciences Ben M’Sik, Casablanca.

International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 22 No.1 Apr. 2016, pp. 72-89.

Lagarde, J.L., & Choukroune, P., (1982) : Cisaillement ductile et granitoïdes syntectoniques ; l'exemple du Massif Hercynien des Jebilet (Maroc). *Bull. Société Géologique Fr.* 7, 299–307.

Marcoux, al (2008) : Draa Sfar, Morocco : A Viséan (331 Ma) pyrrhotite-rich, polymetallic volcanogenic massive sulphide deposit in a Hercynian sediment-dominant terraine. *Ore Geol. Rev.* 33, 307–328. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.03.004>.

Michard. A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Rjimati, E., & Mouttaqi, A. (2011) : Présentation des circuits. Introduction à la géologie du Maroc / Introducing the tours. Overview of the Geology of Morocco. *Notes & Mém. n° 556.* 73 p.

Michard, A., Soulamani, A., Hoepffner, C., Ouanaimi, H., Baidder, L. Rjimati, E. C., & Saddiqi, O., (2010): The South-Western Branch of the Variscan Belt: Evidence from Morocco. *Tectonophysics*, 492(1–4), 1–24. <https://doi.org/10.1016/J.TECTO.2010.05.021>.

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

Moreno, C. Saez, R. Gonzalez Z, F. Almodovar, G. Toscano, M. Playford, G., Aansari, A. Rziki, S. & Bajddi, A. (2008): Age and depositional environment of the Draa Sfar massive

sulfide deposit, Morocco. *Mineralium deposita*, vol 43, 891–911. DOI 10.1007/s00126-008-0199-x.

Mrini, Z., Rafi A., Duthou J.L. & Vidal P. (1992) : Chronologie Rb–Sr des granitoïdes hercyniens du Maroc : conséquences. *Bull Soc Géol Fr* 163 :281–291.

Outigua, A., Essaifi, A., Corsini M., Outhounjite, M. & Zouhair A. (2020): Sidi M’Barek: a representative example of the Moroccan massive. *Sulphide deposits* Published by The Geological Society of London, 2020, 502, pp. SP502-2019-65.

Piqué, A., Jeannette, D., & Michard, A. (1980): The Western Meseta Shear Zone, a major and permanent feature of the Hercynian belt in Morocco. *Journal of Structural Geology*, 2(1/2), 55–61. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(80\)90034-6](https://doi.org/10.1016/0191-8141(80)90034-6).

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

Rziki, S., Alansari, A., Mouguina, EM., Simard, J., Zouhair, M., & Maacha, L. (2012) : Environnement géologique et modèle 3D du gisement polymétallique de Draa Sfar (Massif hercynien des Jebilet, Maroc) : Implications et perspectives de développement. *Estudios Geológicos*, 68(1) enero-junio 2012, 29-40 ISSN : 0367-0449 doi :10.3989/egeol.40366.138.

Rziki, S. (2006) : Contribution à l’étude géologique du gisement polymétallique (Zn, Pb, Cu) de Draa Sfar. Rapport inédit DESS, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, Université Cadi Ayyad, Maroc, p108.