



Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Licence ès-Sciences et Techniques

Géologie appliquée aux ressources minières

(LST-GARM)

Contribution à l'étude géologique de la zone de cémentation de chapeau de fer de Koudiat Aicha (Jbilets centrale, Maroc)

Réalisé par: **MAÇON Asmae & RHALIMA Imane**

Encadré par **Pr. AIT ADDI Abdellah**

FST-Marrakech

Soutenu le **19 Juin 2023** à **10h45'** devant le jury composé de:

Pr. AIT ADDI A.

Faculté des Sciences et Techniques (Marrakech)

Pr. SAIDI A.

Faculté des Sciences et Techniques (Marrakech)

Année universitaire: 2022/2023

Remerciements

Bien que le présent rapport soit le fruit d'un modeste effort, il nous serait injuste de l'entamer sans rendre hommage aux personnes grâce auxquelles il a été réalisé.

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé santé, force et patience pour accomplir ce travail ;

Nous adressons nos vifs remerciements à la compagnie minière de Guemassa (CMG) en la personne de monsieur Said OUAMAR d'effectuer notre stage au sein de la compagnie ;

Nos hommages particuliers à monsieur **Abdelouahed AIT DAOUD** et **Abdelaali KHALIFA** ; nos encadrants et à monsieur Abdelkarim BEN AICHOU, El houssine MAALAGH, Kamal BOTROS qui nous ont encouragé, soutenu et guidé par leurs précieux conseils. Nous les remercions infiniment pour leurs aides, et leurs contributions à l'amélioration de ce travail ;

Nous tenons également à exprimer mes reconnaissances à tout le personnel du service géologie de Koudiat Aicha pour la bienveillance et l'accueil chaleureux qui nous ont accordé durant toute la période de stage ;

Nous tenons à exprimer notre gratitude et sincères remerciements au Professeur **AIT ADDI Abdellah**, notre encadrant pour son temps et ses efforts tout au long de ce projet.

Nos plus vifs remerciements s'adressent également à tout le corps professoral du Département Géologie.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Table des Matières

Remerciements	2
Résumé	9
Introduction.....	10
Chapitre I : Généralités.....	12
I. Objectifs et méthodologie de l'étude.....	12
1) Objectifs.....	12
2) Méthodologie	12
II. Organisme d'accueil	12
III. Aperçu général sur le massif des Jebilets	13
1) Présentation	13
2) Cadre lithostratigraphique	15
IV. Les Jbilest centrales	16
1) Données géologiques	16
2) Données gîtologiques des Jebilets centrales.....	17
Chapitre II : Présentation du gisement de Koudiat Aïcha	20
I. Situation géographique	20
II. Aperçu historique	21
III. La lithostratigraphie	22
IV. Le magmatisme	25
V. Données structurales	26
VI. Données géomorphologiques	27
VII. La minéralisation	28
VIII. Paragenèse	29
IX. Pétrographie et minéralogie des chapeaux de fer	33
1) Allure générale des chapeaux de fer.....	33
2) Minéralogie des chapeaux de fer	33
X. Modèle génétique de formation	35

XI. La méthode d'exploitation classiques	37
Chapitre III : prospection par sondages carottés	40
Introduction.....	40
I. Étude des sondages.....	45
1) Choix des sondages	45
2) Présentation des sondages.....	47
II. L'analyse pétrographique.....	53
1) Chapeaux de fer.....	53
2) Pélites	54
3) La minéralisation	55
III. L'analyse microscopique	56
IV. Préparation de la structure minéralisée, sciage et échantillonnage.....	58
1) Sciage.....	58
2) Echantillonnage	59
V. Préparation mécanique des échantillons.....	59
1) Le concassage	59
2) Le broyage	59
3) Le quartage.....	60
VI. Résultats d'analyses	60
Conclusion	62
Chapitre IV : compilation des données géologiques du de Koudiat Aicha.....	64
Introduction.....	64
I. L'étude lithostratigraphique et la minéralisation.....	64
1) Objectif	64
2) Sondage	64
3) Localisation des sondages	65
4) Sondage KAF30.....	66
5) Sondage KAF31.....	71
6) Sondage KAF32.....	74

7) Sondage KAF33.....	77
8) Sondage KAF34.....	81
Conclusion	85
II. Etude structurale	87
1. Levés structuraux réalisés	88
2. Interprétation	90
3. La relation entre les sondages effectués et le niveau 330 T.L2.....	95
Conclusion	96
Conclusion générale	97
References bibliographiques	98

Liste des figures

Figure 1: Carte géologique simplifiée et localisations des principaux gisements sulfurés (d'après Huvelin, 1977).....	15
Figure 2: localisation géographique de la mine Koudiat Aïcha (Image Google Earth).....	20
Figure 3: Carte simplifiée du secteur de Koudiat Aïcha, montrant les zones à anomalies magnétique et gravimétrique (Lotfi et Brunet, 2018).....	22
Figure 4: log synthétique de secteur de Koudiat Aïcha	24
Figure 5: Carte géologique simplifiée des Jebilet centrales montrant la localisations des gisements de sulfures massifs (Huvelin, 1977).	26
Figure 6: Corps minéralisé du gisement de Koudiat Aïcha en 3 dimensions (logiciel: Data mine)	28
Figure 7: les paragenèses minérales de Koudiat Aïcha. A : pélites, B :métapélites, C : pélite avec un filon de calcite, D : pélite avec filon de calcite, E : pélite.....	32
Figure 8: (a) vue panoramique du flanc Est du gisement de Koudiat Aïcha et l'alignement du chapeau de fer (CDF), (b et c) vue macroscopique du chapeau de fer, (d) vue microscopique du chapeau de fer. Mgt : magnétite, Hem : hématite	35
Figure 9: Modèle du système hydrothermal convectif pour la production des dépôts de type VMS (Franklin, 1993).....	36
Figure 10: Schéma représentant la méthode des Tranches Montantes Remblayées (TMR).....	37
Figure 11: coupe longitudinale des sondages des sondages carottés verticaux	46
Figure 12: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KA80	48
Figure 13: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KA81	49
Figure 14:description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KA85	51
Figure 15:description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KA81	53
Figure 16: a) exemples de carottes dans le chapeau de fer montrant des niveaux de carbonates et des oxydes de fer, b) exemples de niveaux carottés riches en malachite.....	54
Figure 17: exemples de pélites chloritisées (a) et de pélites minéralisées (b)	55
Figure 18: a) bande de pyrrhotite avec le quartz; b) la chalcopryrite; c) la pyrite.....	56
Figure 19: a) pélites séricitisées, b) pélites noires chloritisées, c) pélites gréseuses, d) pélites gréseuse très altérées.....	57
Figure 20: la minéralisation en Argent dans le chapeaux de fer	58
Figure 21: Machine de sciage avec un disque diamanté	58
Figure 22: diagramme des analyses des éléments Cu, Pb, Zn pour les sondages	61

Figure 23: diagramme des analyses des éléments Ag et Au pour les sondages.....	61
Figure 24: profil longitudinal montrant la localisation des sondages réalisés dans la mine de Koudiat Aicha	66
Figure 25: a) pélites noires schistosées riches en matière organique, b) veinule de calcite boudinée, c) Tufs avec des grains grossiers de quartz.....	67
Figure 26: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF30	68
Figure 27: Coupe géologique transversale du sondage KAF30.....	69
Figure 28: veinule de carbonate parallèle à la S1	72
Figure 29: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF31	72
Figure 30: Coupe géologique du sondage KAF31	73
Figure 31: a) Plissement de Carbonates; b) Les tufs à pyrrhotite.....	75
Figure 32: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF32	76
Figure 33: Les résultats des analyses chimiques pour le sondage KAF32	77
Figure 34: Carbonates suivant la S1.....	78
Figure 35: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF33	79
Figure 36: Coupe géologique du sondage KAF33	80
Figure 37: Les résultats des analyses chimiques pour le sondage KAF33.....	81
Figure 38: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF34	82
Figure 39: Coupe géologique du sondage KAF34	83
Figure 40: a) La minéralisation massive; b) La minéralisation sub-massive	86
Figure 41: a) une faille à remplissage de chlorite, b) une faille a remplissage de quartz dans les pélites... ..	87
Figure 42: Levé structural	89
Figure 43: a) la schistosité S1, b) plis centimétriques à carbonates dans les pélites.....	91
Figure 44: La schistosité S2.....	92
Figure 45: a) Faille senestre; b) Faille à remplissage de carbonates.....	93
Figure 46: la direction et le pendage des failles/ niveau 330.T.L2	93
Figure 47: Rosaces directionnelles des failles du niveau 330.T.L2	94
Figure 48: Coupe géologique des cinq sondages au niveau 330/T.L2	95

Liste des tableaux

Tableau 1 : quelques exemples de diamètres standards de sondages. AQ, BQ, NQ, HQ, PQ : nomenclature adoptée	41
Tableau 2: exemples de paramètres de forage	43
Tableau 3: résultats des analyses chimiques des sondage	60
Tableau 4: Les résultats des analyses chimiques pour le sondage KAF30	71
Tableau 5: Les résultats des analyses chimiques pour le sondage KAF31	74
Tableau 6: Les résultats des analyses chimiques des éléments (Fe, Cu, Zn, Pb, As, Ag) pour le sondage KAF34.....	85

Résumé

Les amas sulfurés de Koudiat Aïcha, dont l'exploitation vise les métaux de base (Pb, Cu, Zn), sont l'un des importants gisements miniers dans la région de Marrakech, ce sont des indicateurs d'un potentiel métallifère important.

Ces gisements sont encaissés au sein d'un socle hercynien qui fait partie de la Méséta occidentale. Ce Socle affleure dans les massifs paléozoïques des Jebilets et des Guemassa. Les gisements sont encaissés dans une formation volcanosédimentaire d'âge Viséen, d'où l'appellation «<province métallogénique viséenne des Guemassa-Jebilets>>.

Le gisement de Koudiat Aïcha, situé à environ 40 km au nord-ouest de Marrakech, est un gisement de sulfures massifs volcanogènes, formé de pyrrhotite et de métaux de base (Zn- Cu- Pb).

La minéralisation est encaissée principalement entre les unités argillitiques supérieures de l'unité basale de Koudiat Aïcha et l'unité sommitale sédimentaire (carbonatée). Elle est située, Structuralement, sur le flanc est d'une mégastructure anticlinale (pli régional P1) à fort pendage vers l'Est et matérialisée par un chapeau de fer orienté NS selon la direction du corps minéralisé à hématite, goethite, limonite et malachite.

L'étude structurale et microstructurale des unités lithologiques de Koudiat Aïcha a permis d'identifier un nombre de structures et microstructures tectoniques dont l'interprétation révèle l'existence de trois phases de déformation (D1KA, D2KA, D3KA) superposées et corrélables avec la déformation régionale des Jebilets centrales.

Introduction

Le présent mémoire de fin d'études a été effectué dans la mine de Koudiat Aicha. L'un des sites de la Compagnie Minière des Guemassa (CMG) filiale de MANAGEM. Cette dernière est créée en 1996 et regroupe des filiales organisées autour de deux grands métiers : L'exploitation minière et l'hydrométallurgie.

Ses filiales d'exploitation opèrent sur plusieurs sites à travers le Maroc. Elles extraient, concentrent et commercialisent des métaux de base comme le cuivre, le zinc et le plomb (CMG à Guemassa), mais aussi des métaux précieux tels que l'or (AGM à Akka) et l'argent (SMI à Imiter), des métaux spéciaux comme le cobalt (CTT à Bou Azzer) et des substances utiles comme la fluorine (SAMINE à El Hammam).

La région de Marrakech est connue par la présence de nombreux gisements miniers, indiquant un important potentiel métallifère. Ces gisements font partie de la Méséta occidentale et sont encaissés au sein d'un socle hercynien dans une formation volcano-sédimentaire d'âge Viséen et dont le socle affleure dans les massifs paléozoïques des Jebilets et des Guemassa. Celle-ci fait partie des provinces les plus prospectées au Maroc.

Le massif paléozoïque des Jebilets est caractérisé par sa richesse en Métaux de base (Cu, Pb, Zn) et précieux (Au et Ag) exprimés sous forme de gisements métallifères. Certains de ces gisements sont actuellement abandonnés (Rock blanc, Sarhlef, Kettara, ...) alors que d'autres sont en cours d'exploitation et/ou d'exploration (Draa Sfar, Koudiat Aicha, ...).

Notre stage qui s'est déroulé dans la mine de Koudiat Aicha est intitulé : " Contribution à l'étude géologique de la zone de cémentation de chapeau de fer de Koudiat Aicha (Jbilets centrale Maroc)".

Chapitre I : Généralités

Chapitre I : Généralités

I. Objectifs et méthodologie de l'étude

1) Objectifs

Les principaux objectifs du présent travail sont:

- l'étude lithostratigraphique de la série de Koudiat Aicha, consiste en une analyse des différentes unités lithostratigraphiques de la zone étudiée,
- l'étude structurale permet l'identification des différentes phases de déformation ayant affectées les formations de la zone étudiée,

l'étude de la zone de cimentation en se basant sur les caractéristiques lithostratigraphiques, et les analyses macroscopiques et microscopiques des faciès en surface interceptés par sondages. Ces études concernent cinq sondages carottés au fond : KAF30, KAF31, KAF32, KAF33 et KAF34 .

2) Méthodologie

Afin d'atteindre les objectifs fixés, plusieurs approches ont été utilisées :

- Observation macroscopique des phases métalliques des roches encaissantes et de la minéralisation à partir des échantillons prélevés des sondages .
- Réalisation des logs à partir du logiciel "Adobe Illustrator" .
- Étude des lames minces et la section polie réalisée à partir des échantillons déjà cités
- La réalisation des logs de fonds et leurs coupes géologiques (transversales) pour cinq sondages
- Réalisation d'un levé des différentes structures et microstructures tectoniques (stratification, schistosité, failles, etc)

II. Organisme d'accueil

La Société Nationale d'Investissement (SNI) nommée AL MADA actuellement, est un groupe industriel et financier marocain, avec plus de 25 000 collaborateurs et un chiffre d'affaires annuel près de 26 milliards de dirhams, Opérant au Maroc, en France et en Afrique

subsaharienne. Le Groupe SNI est constitué d'un holding et de sociétés organisées en quatre métiers stratégiques :

- Mines et Matériaux de Construction,
- Agroalimentaire et Boissons,
- Distribution et activités financières.

Sa position de leader, ses valeurs et ses principes de management en font l'un des principaux moteurs de modernisation de l'économie marocaine et de développement du progrès social. MANAGEM acteur de poids du secteur minier marocain depuis 1928, opère dans quatre domaines d'activité spécifiques :

- Exploitation:

- CTT (Compagnie de tifnout tighanimine): mine de Bou-Azzer spécialisée dans la production de cobalt,

- SMI (société minière d'imiter) : mine d'Imiter spécialisée dans la production de l'argent,

- SAMINE (société anonyme d'entreprise minière): mine El Hamam : spécialisée dans la production de la Fluorine,

- CMG (compagnie minière de guemassa) : mine de Guemassa : spécialisée dans la production de zinc, de plomb, et de cuivre,

- AGM (akka gold mining) : mine d'Akka spécialisée dans l'extraction du cuivre

- SOMIFER : spécialisée dans exploitation du cuivre à Bleida.

- La recherche et la valorisation (CMBA).

- Le service : REMINEX spécialisée dans la recherche et l'ingénierie et TECHSUB : spécialisée dans les sondages et les travaux souterrains. À travers une démarche de qualité totale, une maîtrise renforcée des coûts de revient et une volonté d'innovation, MANAGEM est parvenu à s'imposer sur la scène internationale, exportant notamment son savoir-faire en Afrique de l'Ouest

III. Aperçu général sur le massif des Jebilets

1) Présentation

Le massif paléozoïque des Jebilet où se situe le gisement de Koudiat Aïcha appartient au domaine de la Méséta occidentale. Il s'étend dans la moitié occidentale du Maroc depuis la plaine de la Bahira au Nord jusqu'à la plaine de Haouz au Sud (Fig. 1). Il est limité à l'Est par les montagnes du Haut Atlas et à l'Ouest par les collines jurassiques des Mouissat. Il s'étend sur une

longueur d'environ 170 km selon une direction Est-Ouest et une largeur de 20 à 30 km (dans le sens Nord-Sud). Au sein de ce domaine s'individualisent des petits affleurements du socle paléozoïques orientés NS à NNE-SSW dans une couverture Mio-Pliocène et Quaternaire. Le massif des Jebilet est subdivisé en trois ensembles distincts par leurs propriétés lithologiques et géodynamiques (Huvelin1977) :

-Jebilets orientales : cette zone est composée de terrains allochtones d'âge Ordovicien à Dévonien (Huvelin, 1977). Elle est constituée des nappes, à vergence ouest, mises en place dans un bassin viséen pendant les phases précoces de l'orogénèse hercynienne (Huvelin, 1977; Rosé, 1987). .

-Jebilets centrales : elles sont formées essentiellement par une série volcano-sédimentaire d'âge Viséen Supérieur-Namurien nommée série de Sarhlef (Huvelin, 1977),. Cette série est caractérisée par une déformation majeure synschisteuse et un métamorphisme régional anchi- à épizonal (Huvelin, 1961, 1977 ; Bordonaro, 1983) auquel s'associe localement un métamorphisme de contact autour des intrusions granitiques (Rosé, 1987). Dans ces terrains viséens se mettent en place des roches magmatiques intrusives, préorogéniques, qui sont spatialement associées à des lentilles ou amas de sulfures massifs à dominance de pyrrhotite (Draa Sfar, Kettara, Koudiat Aïcha, Lakhoudra, etc...).

-Jebilets occidentales, formation dite série de Bou Gader, elle correspond à des terrains allant du Cambrien à l'Ordovicien (Huvelin, 1977) ; ils sont peu affectés par la tectonique hercynienne et appartiennent au bloc stable (mole côtier). Les relations de l'unité centrale avec les unités adjacentes de Bou Gader à l'Ouest et l'unité orientale à l'Est sont de nature tectonique (chevauchement, faille de décrochement,Ait Tahar, 1987).

D'après Huvelin (1961 et 1977), la chronologie des principaux événements structuraux ayant affecté les Jebilet pendant la phase hercynienne et la suivante: (1) mise en place par gravité des nappes des Jebilet orientales au Viséen supérieur ; (2) plissement synschisteux dans des conditions métamorphiques du faciès schiste vert, suivi par la mise en place des granites syntectoniques dans les Jebilets centrales ; (3) des chevauchements, des cisaillements ductiles et des failles cassantes dont l'intensité et la géométrie sont variables ; (4) dépôt des molasses

westphalo-permiennes ; (5) mise en place de filons de microdiorite lors d'un épisode compressif. Ces filons de microdiorite ont un âge autour de 240+/-5 Ma dans le Permien inférieur (Youbi et al., 2001).

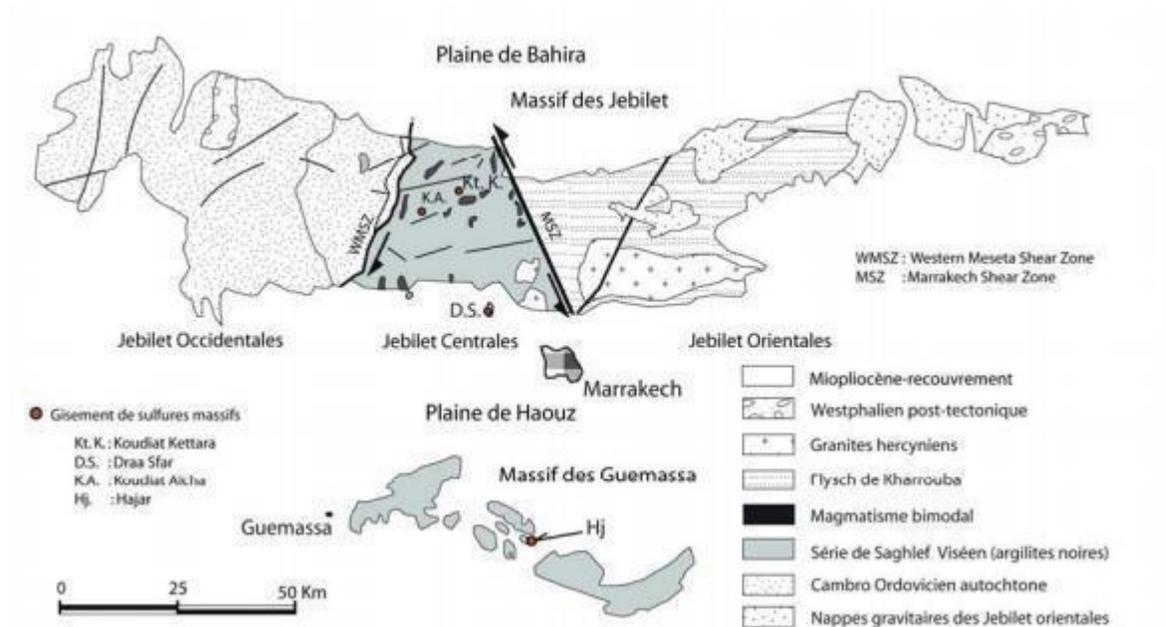


Figure 1: Carte géologique simplifiée et localisations des principaux gisements sulfurés (d'après Huvelin, 1977)

2) Cadre lithostratigraphique

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

- Le Cambrien : il affleure largement dans la partie occidentale des Jebilet où il est surtout représenté par des formations détritiques contemporaines d'une faible activité volcanique.
- L'Ordovicien : Il apparaît dans les Jebilet occidentales en concordance sur le Cambrien. Il est représenté par des schistes psammiteux ou schistes argileux et des sédiments détritiques.
- Le Silurien : Il s'agit de dépôts argileux à Graptolithes, présent dans l'extrémité orientale des Jebilet en concordance avec l'Ordovicien.

-Le Dévonien : Dans les Jebilets occidentales, le dévonien est composé de conglomérats à ciment grésocalcaireux rouge, de calcaires à polypiers et de grès à brachiopodes. En revanche, dans les Jebilets orientales, le Dévonien est formé essentiellement de schistes à bancs de calcaire et de grès.

-Le Tournaisien et le Viséen inférieur : Ils sont absents.

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

Il faut noter que le massif des Jebilets est affecté par une déformation polyphasée hercynienne et post hercynienne associée à un métamorphisme régional et de contact. Cette histoire tectonique complexe et polyphasée rend difficile, l'identification des faciès magmatiques et sédimentaires formant la région.

IV. Les Jbilest centrales

1) Données géologiques

Le massif des Jebilets est formé de l'Est en Ouest de trois domaines tectono-stratigraphiques distincts : Domaine des schistes de Kharrouba à l'Est, domaine des schistes de Saghlef dans la partie centrale et et le domaine de Bou Gader à l'Ouest.

La série de Saghlef (ou Schistes de Saghlef) constitue l'unité principale des Jebilet centrales. Ses relations avec les domaines adjacents de Bou Gader et de Kharrouba sont de nature tectonique. Bordonaro (année) a subdivisé le domaine des schistes de Saghlef en trois formations, qui sont de bas vers le haut:

- la formation de Jbel Rhira, attribuée au Faménien supérieur, de nature quartzitique et argilitique.

- la formation volcano-sédimentaire de Saghlef, datée entre le Faméno-Tournaisien et le Viséen moyen-supérieur par *Posidonomya bechéri* Bronn. Cette formation a été divisée en deux membres :

- ✓ Un membre supérieur, comporte outre des silts et des shales, des roches volcaniques felsiques de faciès plus ou moins proximal,
- ✓ Un membre inférieur, caractérisé par deux niveaux repères à tuf, felsique à la base et mafique au sommet, associé à des shales et des silts et localement des quartzites, et plus à l'ouest, à des calcaires.

- la formation de Teksim, calcaro-gréseuse et conglomératique à sa base, puis silto-argileuse au sommet. Sa partie médiane est datée du Viséen supérieur par *Posidonomya bechéri* Bronn, et *Paragnathodus homopunctatus* Weyant),

Dans les Jebilets centrales, la déformation est associée à un métamorphisme de faible degré correspondant au faciès des schistes verts et caractérisé par un assemblage minéralogique typique à chlorite-séricite, quartz et actinote. Au contact immédiat des intrusions acides-basiques, l'encaissant sédimentaire peut développer localement un faciès de schistes tachetés à cordiérite.

2) Données gîtologiques des Jebilets centrales

Du point de vue métallogénique, l'unité centrale des Jebilet renferme plusieurs indices de minéralisations sulfurées rencontrés dans le massif des Jebilets. Les formations géologiques de Saghlef et de Teksim présentent un intérêt métallogénique important pour les amas sulfurés stratiformes. Bordonaro (année) décrit au niveau de la série de Saghlef l'existence de deux niveaux porteurs de la minéralisation sulfurée. Le premier niveau porteur coïncide avec le membre inférieur de la formation de Saghlef, tandis que le second niveau est en relation avec le volcanisme acide du membre supérieur de Saghlef. Ces minéralisations sont polymétalliques, interstratifiées au sein de la série viséenne des schistes de Saghlef, et sont à pyrrhotite dominante. Les minéralisations sulfurées des Jebilet centrales sont déformées, pré-tectoniques et semblent spatialement liées aux sills magmatiques mafiques de Kettara et de Koudiat Aïcha ou felsiques de Draa Sfar. Ces corps minéralisés montrent en affleurement une altération

supergène marquée par le développement de chapeaux de fer constitués essentiellement d'hématite et de goethite dont la profondeur peut atteindre 50 m. Cette altération est marquée par une zonation verticale supergène. Ces corps minéralisés montrent une zonation minéralogique classique verticale développée lors de l'altération supergène des gîtes sulfurés (chapeau de fer, zone de cimentation et protore polymétallique). Ces gisements essentiellement pyrrhotitiques (ex. Kettara, Draa Sfar, Koudiat Aïcha, Laachach ...) comportent en plus de la pyrrhotite qui représente le sulfure de fer le plus dominant, des minéraux de métaux de base (Zn, Cu, Pb et As) tels que la sphalérite, la chalcopryrite, la galène, l'arsénopyrite et la stanite. La teneur en ces minéraux varie aussi bien d'un gisement à l'autre qu'au sein d'une même lentille minéralisée.

Chapitre II : Présentation du gisement de Koudiat Aicha

Chapitre II : Présentation du gisement de Koudiat Aïcha

I. Situation géographique

Le gisement à Cu-Pb-Zn de Koudiat Aïcha est situé à 36 Km au NW de la ville de Marrakech (Fig. 2) (coordonnées GPS : 31°49'59''N° / 8°13'48''W). Le secteur de Koudiat Aïcha relève de la commune rurale Harbil de la subdivision de Marrakech (Caïdat Bour), dans la région de Marrakech-Safi. C'est un gisement en exploitation depuis 2016. L'accès au gisement est assuré par la route nationale reliant les villes de Marrakech et El Jadida par une piste d'environ 7 Km raccordant les villages avoisinants (Kerkose, Laachach) à l'ancienne mine de Kettara. Il s'agit d'une région à topographie douce montrant de petites collines d'une hauteur maximum de 250m (Fig. 2).



Figure 2: localisation géographique de la mine Koudiat Aïcha (Image Google Earth)

II. Aperçu historique

Le secteur du gisement Koudiat Aïcha est situé dans la partie sud de la méséta marocaine et précisément dans la partie centrale du massif hercynien des Jebilets (Fig. 1). Il est situé à environ 7 km au SW de l'ancienne mine à pyrrhotite de Kettara et à 32 km au NW de Marrakech. Les formations de gisement Koudiat Aïcha appartiennent à la série viséenne de Saghlef.

Le secteur de Koudiat Aïcha correspond à une anomalie magnétique aéroportée mise en évidence en 1963 par la S.A.P.A (Société Anonyme de Prospection Aéroportée). Depuis, les travaux de recherche se sont multipliés sur le site de Koudiat Aïcha où affleurent de nombreux chapeaux de fer. Le gisement de Koudiat Aïcha a été découvert suite à un levé magnétométrique au sol sur les indices ferrugineux des secteurs avoisinants l'ancienne mine à pyrrhotite de Kettara. Depuis, de nombreux travaux de recherches géologiques, géochimiques et géophysiques ainsi que des sondages carottés ont été entrepris dans le but d'intercepter la minéralisation primaire en profondeur et de déterminer l'allure générale du corps minéralisé. Ces travaux ont permis de mettre en évidence des ressources potentielles en métaux de base d'environ 3.6 Mt à environ à 3% Zn, 1% Pb et 0.6% Cu.

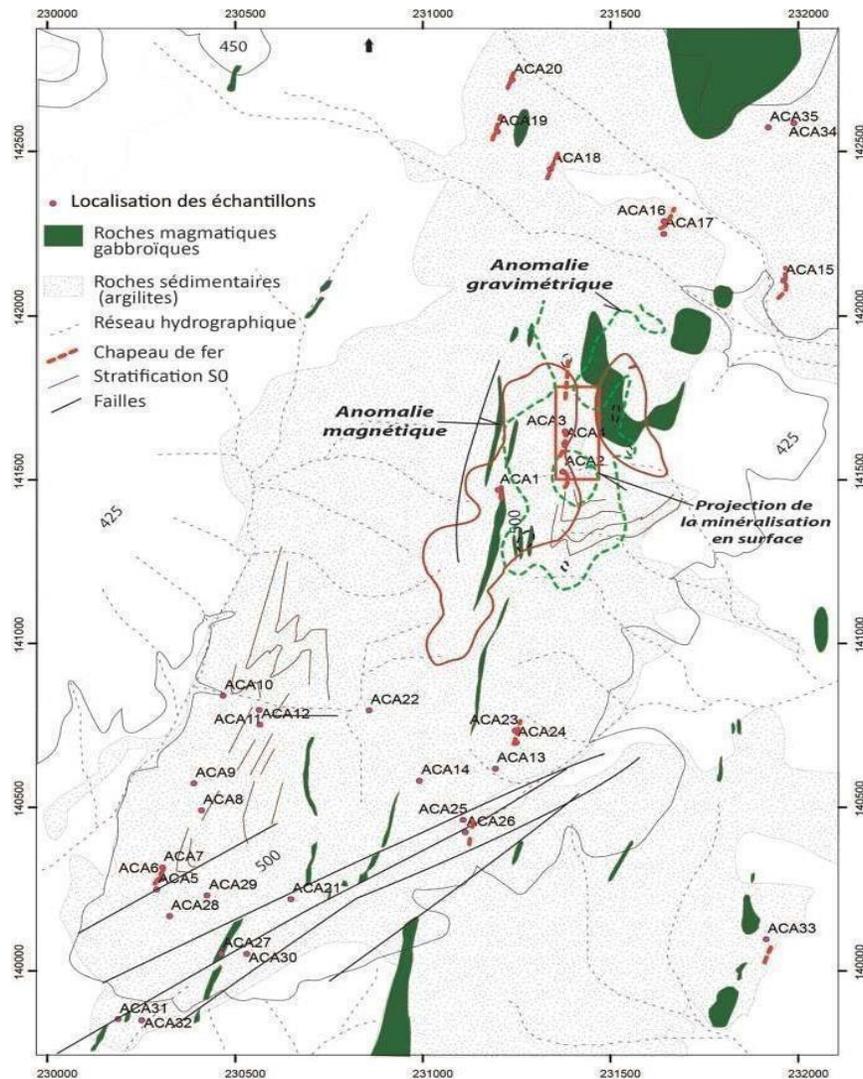


Figure 3: Carte simplifiée du secteur de Koudiat Aïcha, montrant les zones à anomalies magnétique et gravimétrique (Lotfi et Brunet, 2018)

III. La lithostratigraphie

Le secteur d'étude est formé par un ensemble de roches sédimentaires (80%) et magmatiques (20%). La stratigraphie locale est partiellement oblitérée sous l'effet conjoint de la déformation et du métamorphisme. La cartographie de surface et l'analyse systématique des sondages carottés ont été réalisées. Ils ont permis de comprendre la succession stratigraphique locale à tendance stratigraphique générale des roches en une succession homoclinale de direction généralement NS à fort pendage vers l'Est. Plusieurs sondages ont intercepté un horizon minéralisé en sulfures, en plus des unités lithologiques reconnues à l'affleurement.

Les unités sédimentaires répertoriées à Koudiat Aïcha représentent les termes sommitaux de la formation de Saghlef (cf. Chap. I, III-2) qui sont affectés par un métamorphisme de type schiste vert à mica blanc, chlorite, quartz et épidote . La succession lithostratigraphique du secteur peut être subdivisée en deux unités distinctes :

- L'unité basale, formée principalement par des d'argilites massives très déformées (transformées en schistes à grains fins à séricite, chlorite- quartz-actinote), entrecoupés par des niveaux grés-quartzitiques, d'épaisseur centimétrique à métrique et moulés par la schistosité S_1 . Cet ensemble est caractérisé à son sommet par la présence de niveaux stratiformes de sulfures massifs à pyrrhotite et métaux de base. Les argilites, qui caractérisent l'ensemble de la formation de Saghlef, sont interprétées comme des métapélites rythmées caractérisant un milieu de sédimentation anoxique . Ce sont des sédiments fins dont le diamètre des éléments est entre 0.1 à 0.5 mm de diamètre et de couleur typiquement gris-noir à verdâtre. Les argilites montrent un débit schisteux, avec des plans de schistosité S_1 et S_2 bien marqués et sont intercalées de quelques rares niveaux de grès. Leur minéralogie est dominée par une matrice à muscovite-chlorite sous forme de petites paillettes étirées qui dessinent la schistosité S_1 , avec du quartz (2 à 10 %) sous forme de niveaux microcristallins et de veinules millimétriques. Les grès et les siltstones forment une deuxième composante des roches sédimentaires détritiques. Ils sont moins abondants que les argillites et communément discontinus et boudinés le long de la schistosité S_1 . Ils présentent des lits d'épaisseur millimétrique à métrique qui montrent une direction méridienne à subméridienne et un fort pendage. La roche est compacte et donne des cassures conchoïdales et peut présenter, malgré la déformation, quelques figures sédimentaires (rides de courants, figures de charge, slumps et granoclassement normal). Elle est formée de grains de quartz (80%) de petite taille (0.1 à 0.25 mm), avec de minces lits de chlorite et de muscovite et des grains d'épidote, de feldspath, de calcite, de sphène et de leucoxène.

- L'unité sommitale, formée d'un calcaire gréseux qui affleure en forme de lentilles discontinues. Elle est constituée de plusieurs bancs centimétriques à métriques de couleur beige séparés par des niveaux gréseux et silteux, localement imprégnés de pyrrhotite disséminée. Ce niveau carbonaté, localisé au-dessus de la minéralisation à pyrrhotite massive et des argilites (à muscovite-chlorite) du toit, est considéré comme un horizon repère marquant le sommet de la

série stratigraphique du secteur et peut être attribué à la base de la série de Teksim (Fig.4). L'examen microscopique de ces calcaires gréseux montre une association de sphéroïdes hétérogranulaires de carbonate dont la taille ne dépasse pas 0,5 mm. La paragenèse minérale est formée de quartz, de calcite, d'actinote et de sulfures, avec quelques traces d'épidote. Le quartz constitue 30 à 50% de la roche. L'actinote représente 15 à 20% de la roche et montre des cristaux automorphes à subautomorphes. La calcite est hypidiomorphe et constitue la matrice intragranulaire des cristaux composant ce calcaire gréseux (Fig. 4).

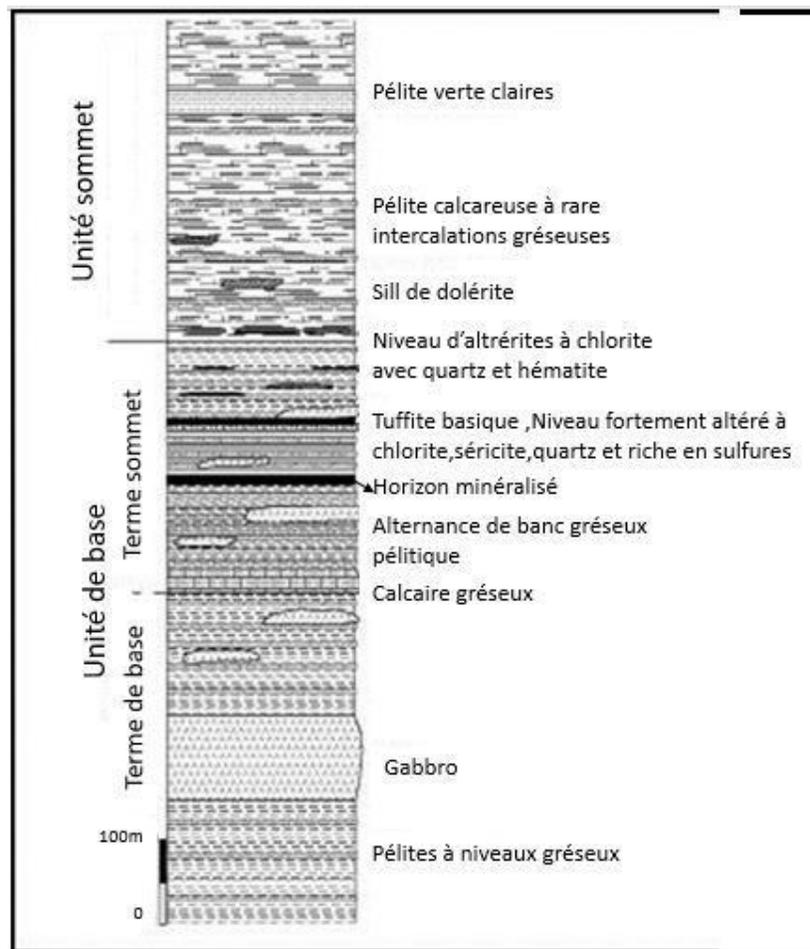


Figure 4: log synthétique de secteur de Koudiat Aicha

IV. Le magmatisme

Les roches intrusives du secteur de Koudiat Aïcha sont présentes sous forme de sills de gabbro (rarement de dolérites) déformés et paraconcordants à la stratification. Les sills sont de direction NS et s'étendent sur plus de 100 m, avec des épaisseurs variant de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Les gabbros sont de couleur vert-sombre et sillonnent tout le secteur de Koudiat Aïcha. Ce faciès présente des bordures figées d'ordre centimétrique, à texture microlitique porphyrique dont les phénocristaux sont constitués essentiellement de plagioclases pouvant dépasser plus de 2 mm. Le mur de la minéralisation est caractérisé par une multitude de sills gabbroïques peu épais (<15 m) à grains fins, tandis que le toit montre des sills moins nombreux mais plus épais (30-40m).

Les roches magmatiques felsitiques sont moins abondantes (moins de 2%) et correspondent à des coulées de laves rhyodacitiques. Ces laves sont finement grenues de couleur vert-grisâtre, sont subconcordantes avec la stratification, d'épaisseur métrique et s'étendent sur quelques dizaines de mètres. Elles sont composées de phénocristaux de plagioclases et de quartz dans une mésostase de quartz-plagioclase-muscovite. Les faciès tuffacés ont été interceptés en profondeur par sondage carottés réalisés sur le flanc est de Koudiat Aïcha à une profondeur de 300 à 400 m visant la zone minéralisée à sulfures massifs. Ce sont des roches massives de couleur gris à gris-verdâtre formées de lapillitufs à lapilistone contenant des phénocristaux de mêmes compositions que les laves intermédiaires rhyodacitiques (Fig. 5).

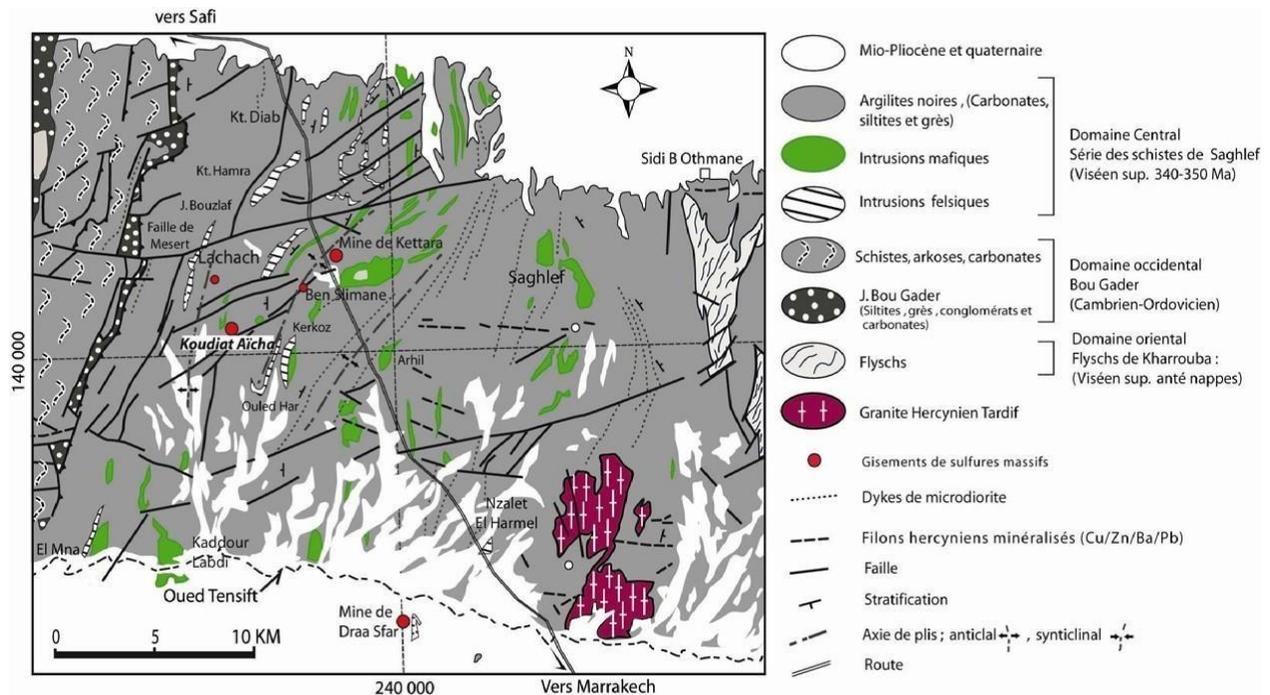


Figure 5: Carte géologique simplifiée des Jebilettes centrales montrant la localisations des gisements de sulfures massifs (Huvelin, 1977).

V. Données structurales

La cartographie de surface et l'interprétation des carottes issues des sondages traversant la zone minéralisée montrent une tendance stratigraphique générale des roches, en une succession homoclinale de direction généralement NS à fort pendage vers l'Est. Les roches de Koudiat Aicha, font partie du synlinorium de Koudiat Aicha-Jbel Hadid.

L'étude structurale et microstructurale des unités lithologiques de Koudiat Aicha a permis d'identifier un nombre de structures et microstructures tectoniques dont l'interprétation révèle l'existence de trois phases de déformation superposées et corrélables avec la déformation régionale des Jebilettes centrales :

- Une première phase de déformation DOKA, à caractère synsédimentaire, antéscisteuse, associée à l'ouverture du bassin dévono-carbonifère. Elle se traduit par le développement de structures et de figures sédimentaires dont les slumps, les convolutes-turbidites, les figures de charge et les failles normales de dimensions centimétriques et d'orientation méridienne à

subméridienne. Ceci marque bien l'instabilité tectonique pendant l'ouverture du bassin de sédimentation.

- Une deuxième phase D1KA, il s'agit d'une phase de déformation majeure, souple et caractérisée par une schistosité S1 et des plissements P1. La S1, de direction NS à N30 et fortement pénétrative, est observée dans l'ensemble de la zone minéralisée et se confond au litage sédimentaire S0. Elle est marquée par la néoformation du chlorite, du mica blanc (séricite), du quartz et d'oxydes, parallèlement aux plans d'aplatissement. Le développement de la schistosité S1 est suivi localement par une schistosité de crénulation S2, locale et bien marquée. D1KA est liée aux phases de déformations D1 et D2 de la déformation régionale des Jebilets.
- Une phase D2KA, tardive, postschisteuse et à caractère cassant. Il s'agit d'une tectonique tardi- à post-hercynienne succédant à la phase synschisteuse. Cette déformation est marquée par l'apparition d'une schistosité de fracture S3 au niveau des bancs silto-gréseux, à laquelle s'associe des microstructures telles que les kink-bands et des décrochements dextres d'orientation N55 à N70. Cette phase D2KA peut être attribuée aux phases de déformation tardive D3 et D4 (Bordonaro 1983).

VI. Données géomorphologiques

Le gisement de Koudiat Aicha est composé de trois structures minéralisées (Fig. 6) plus ou moins parallèles encaissées dans les métapélites carbonifères. De l'Est vers l'Ouest, on distingue :

- la lentille 3 (Est) qui se présente sous forme de minerai massif, reconnue sur une extension Nord-Sud d'environ 100 m pour une extension verticale d'environ 300m,
- la lentille 2 ou lentille centrale ; se développe sur une extension Nord-Sud de 300 m pour une profondeur de 600 m,
- la lentille 1, située à l'extrême EW considérée comme une continuité de la lentille 2, mais la corrélation entre les deux lentilles n'est pas très évidente. De ce fait, elle est considérée actuellement comme une structure autonome qui se développe sur une extension Nord- Sud de

500 m pour une extension verticale de 600 m. Elle présente beaucoup de similitudes avec la lentille 2 en termes des propriétés du minéral.

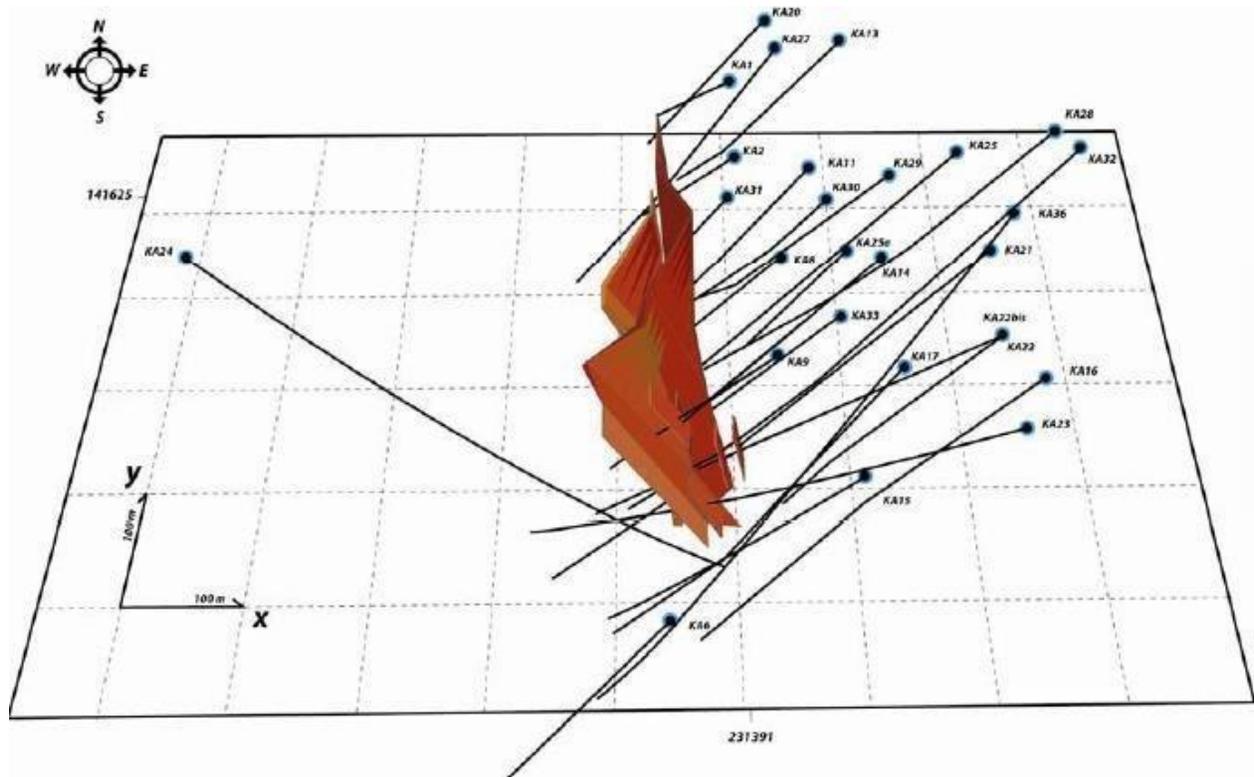


Figure 6: Corps minéralisé du gisement de Koudiat Aïcha en 3 dimensions (logiciel: Data mine)

VII. La minéralisation

Plusieurs sondages implantés au niveau du flanc est de Koudiat Aïcha ont intercepté en plus des unités lithologiques reconnues à l’affleurement, un horizon minéralisé en sulfures primaires à partir de la côte -50 m. Ces sondages implantés ont permis de préciser la morphologie et l’extension latérale et verticale ainsi la nature des structures et textures de la minéralisation en profondeur. La minéralisation est encaissée principalement entre les unités des argilites supérieures de l’unité basale de Koudiat Aïcha (série supérieure de Saghlef) et l’unité sommitale carbonatée (série de Teksim). Elle forme un horizon à pyrrhotite sous forme de lentilles métriques à décimétriques allongées suivant la direction NS qui s’épaissit en profondeur (20 à 25 m). Sur la base des teneurs en métaux de base de la minéralisation massive, le gisement de Koudiat Aïcha a été rangé dans la catégorie des gisements sulfureux zincifères.

Le corps minéralisé de Koudiat Aïcha, montre une zonation minéralogique classique verticale développée lors de l'altération supergène des gîtes sulfurés (chapeau de fer, zone de cimentation et protore polymétallique). La minéralisation sulfurée est constituée de pyrrhotite qui représente le sulfure de fer le plus dominant à laquelle s'associe de la sphalérite, la chalcopryrite, la galène, l'arsénopyrite, la stannite et quelques traces de pyrite secondaire. Tous les minéraux sulfurés présentent des stades anté à syntectoniques à l'exception de la pyrite marquant un stade tardif de mise en place suite à la transformation secondaire de la pyrrhotite. La teneur en ces minéraux varie aussi bien d'une lentille à l'autre et aussi qu'au sein d'une même lentille minéralisée.

VIII. Paragenèse

La paragenèse minérale de gisement de Koudiat Aïcha par ordre d'abondance décroissante est présentée comme suit :

- La pyrrhotite (FeS)

C'est le minéral le plus abondant dans ce gisement, en représentant jusqu'à 80 % dans certaines lames, il constitue la première phase déposée et se comporte comme un fond sur lequel viennent se déposer les autres minéraux (Fig. 7). La pyrrhotite se présente en masses de cristaux plus ou moins déformés formant l'essentiel du minerai massif. Elle est également parfois sous forme des plages amiboïdes de taille millimétrique à centimétrique alternant avec des fragments d'encaissant. Ces plages de pyrrhotite sont aplaties et allongées dans les plans de la schistosité S1. Elle peut également se présenter en inclusion ou remplissage des microfissures dans les cristaux de sphalérite, la pyrrhotite et sphalérite sont recoupées par des filons de carbonates tardifs.

La présence d'une pyrrhotite déformée et une autre intacte ou présentant une déformation modérée ainsi que sa présence dans les microfissures au sein de la sphalérite montre qu'il y a deux générations de pyrrhotite, une pyrrhotite précoce déposée sous forme massive avec différentes textures formant les structures minéralisées de Koudiat Aïcha, et une deuxième qui serait probablement liée à une remobilisation tardive du minerai primaire.

- La chalcopryrite (CuFeS_2)

La chalcopryrite est le deuxième sulfure qui s'est déposé après la pyrrhotite, elle se présente soit en grains fins globulaires et disséminés dans la pyrrhotite, soit en fins lisérés entre les cristaux de cette dernière. Elle se présente en micro-inclusions dans la pyrrhotite, et sous forme de remplissage des microfissures au sein de la sphalérite. Par endroits, la chalcopryrite forme des microplages.

- La sphalérite (ZnS)

La sphalérite se présente en grains fins disséminés dans la pyrrhotite, associée à la chalcopryrite et à la galène ou en plages millimétriques contenant des micro-inclusions de chalcopryrite, de pyrrhotite et de galène. Les cristaux de sphalérite présentent un aspect sombre (et des réflexions internes rouge foncé surtout au niveau des bordures), ce qui traduit leur richesse en fer.

- La galène (PbS)

La galène apparaît sous forme de disséminations dans la pyrrhotite et souvent associée à la chalcopryrite, la stannite et la sphalérite dans le minerai primaire. La galène précoce forme des microplages associées à la sphalérite, à la pyrrhotite et rarement à la chalcopryrite. Elle se présente sous forme de lisérés bordant les cristaux de sphalérite et/ou de pyrrhotite, ou sous forme de remplissage des microfractures au sein de ces derniers. En revanche, dans le minerai massif la galène est rarement représentée.

- La pyrite (FeS_2)

La pyrite est présente sous forme de cristaux de taille millimétrique. Elle semble envahie par la pyrrhotite. Les cristaux inclus dans l'encaissant métapélitique sont pris par la schistosité.

- La stannite ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$)

La stannite est rarement représentée dans nos échantillons. Elle est intimement associée à l'ensemble galène-sphalérite-chalcopryrite, où elle se présente sous forme d'inclusions.

- L'arsénopyrite (FeAsS)

C'est la phase la moins abondante, elle se présente sous forme de petits cristaux automorphes blanchâtres disséminés dans la pyrrhotite.

- La gangue

Dans l'ensemble des échantillons liés à la minéralisation filonienne, la gangue est constituée essentiellement de quartz, calcite et chlorite. Cette dernière est sous forme de deux générations, un chlorite lié à l'encaissant qui apparaît moulée par la schistosité, et un deuxième chlorite associé à la minéralisation secondaire non schistosité recoupant l'encaissant. Cette dernière apparaît en cristaux non déformés associé à la pyrrhotite de la seconde génération.

Le quartz se présente sous forme de cristaux très déformés associés à la pyrrhotite.

Les carbonates se présentent sous forme de cristaux de calcite et dolomite associés au quartz ou de filons recoupant les lits de pyrrhotite et sphalérite

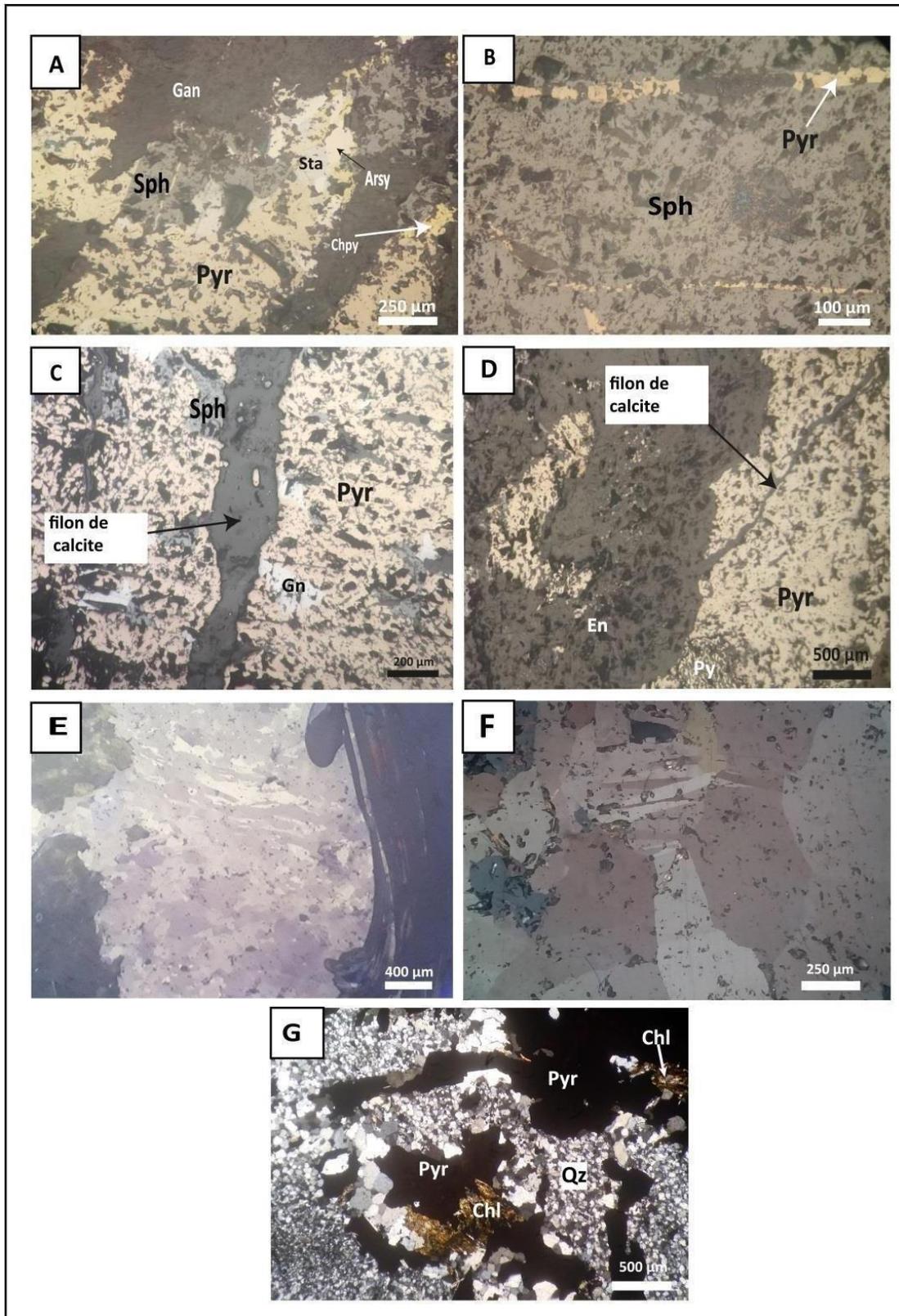


Figure 7: les paragenèses minérales de Koudiat Aicha. A : pélites, B : métapélites, C : pélite avec un filon de calcite, D : pélite avec filon de calcite, E : pélite

Pyr : Pyrrhotite, Sph : Sphalèrite, Py : Pyrite, Ga : Galène, Gan : Gangue, Stan : Stannite, As : Arsénopyrite, Chpy : Chalcopyrite et En : encaissant.

IX. Pétrographie et minéralogie des chapeaux de fer

1) Allure générale des chapeaux de fer

A l’affleurement, les chapeaux de fer du secteur de Koudiat Aïcha sont présents sous forme de sills au mur de la zone minéralisée. Ils sont déformés et paraconcordants à la stratification, et montrent une direction NS. Ces chapeaux de fer s’étendent de quelques mètres à plus de 100 m, avec des épaisseurs variant de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Ils montrent une couleur rouge-brun à sombre et sillonnent tout le secteur de Koudiat Aïcha (Fig. 8). La minéralisation polymétallique recherchée essentiellement à pyrrhotite dominante, conférant au secteur de Koudiat Aïcha une anomalie magnétique ayant attiré et poussé davantage les travaux de prospection dans le secteur. Elle est encaissée en profondeur, et marquée en affleurement par un chapeau de fer bien développé à oxydes et hydroxydes de fer.

Ces chapeaux de fer représentent une minéralisation de fer oxydée suite à l'oxydation, la dissolution et la précipitation de sulfures des minéraux secondaires lessivés et cimentés dans les roches avoisinantes au corps minéralisé. Le résultat de ces actions constitue une association de minéraux secondaires transformés depuis la minéralisation sulfurée primaire. Ils sont constitués essentiellement d’hématite, goethite, magnétite, limonite et de quelques traces de malachite.

2) Minéralogie des chapeaux de fer

La partie supérieure des minéralisations sulfurées a été altérée par l’action des agents atmosphériques (météoriques) totalement au cours des temps géologiques provoquant la formation des chapeaux de fer. A l'oeil nu ces faciès montrent une absence totale de sulfures primaires. Dans cette partie supérieure, le fer de la pyrrhotite qui constitue la principale composante de la minéralisation de Koudiat Aïcha est en totalité désulfuré. Elle s’est transformée en oxydes, hydroxydes (ocre) et de sulfates enrichis par la migration de divers éléments vers la profondeur (zone de cimentation).

Des sections polies et des sections minces polies d'échantillons en vrac sélectionnés ont été préparées en utilisant une résine époxy pour incorporer les échantillons.

L'examen des minéraux de lames polies en lumière réfléchie ont porté principalement sur des échantillons de chapeaux de fer pour la détermination de la composition minéralogique d'une part, et d'autre part de définir la séquence paragenétique et les figures de remplacement (structures et textures). Ces échantillons présentent une composition minéralogique pareille entre eux. Ils sont formés principalement par la magnétite, l'hématite et la goethite. L'observation microscope a permis de constater que la magnétite constitue la phase dominante sous forme de plages xénomorphes qui se transforme depuis les bordures en hématite avec une texture en concrétion. L'établissement d'un ordre chronologique permet d'attribuer les oxydes et hydroxydes de fer à une transformation secondaire des sulfures (désagrégation mécanique et de l'altération chimique). La pyrrhotite qui constitue la phase sulfurée dominante du gisement de Koudiat Aïcha s'est transformée en premier lieu en pyrite, suivi d'une transformation en magnétite et ensuite en hématite. Cette dernière se transforme en goethite et en limonite (hydroxydes de fer et d'alumine et des minéraux argileux) en phase finale.

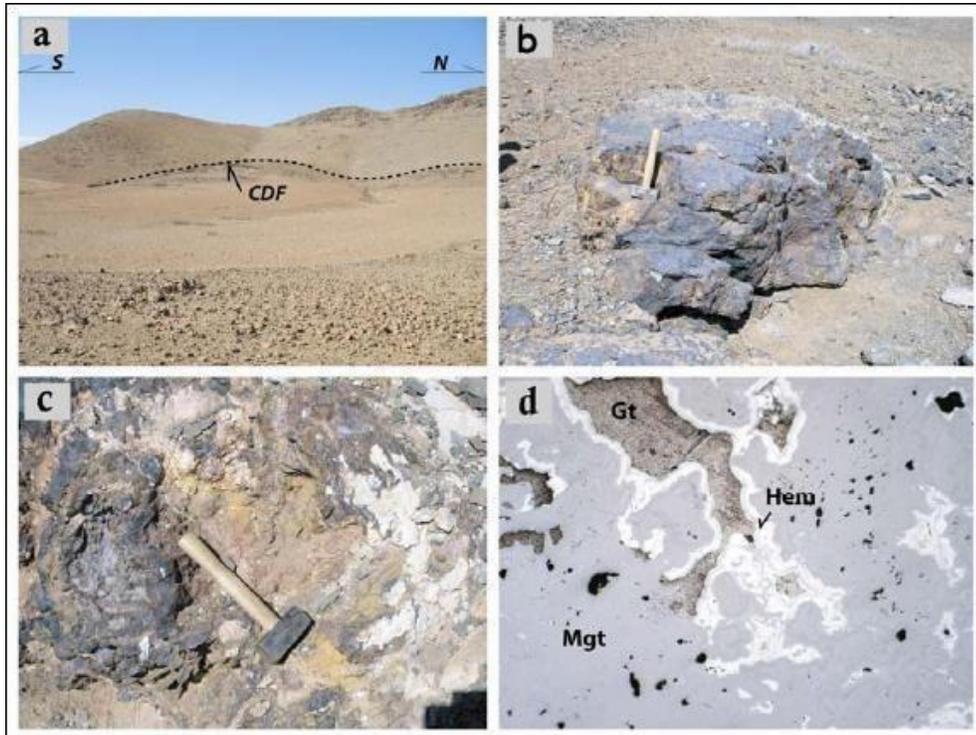


Figure 8: (a) vue panoramique du flanc Est du gisement de Koudiat Aicha et l'alignement du chapeau de fer (CDF), (b et c) vue macroscopique du chapeau de fer, (d) vue microscopique du chapeau de fer. Mgt : magnétite, Hem : hématite

X. Modèle génétique de formation

Les gîtes d'affiliation hydrothermale sont formés par écoulement de fluides hydrothermaux transportant les métaux mis en solution sous forme d'ions. Le modèle généralisé de la formation des VMS (Volcanogenic Massive Sulfides) représente le résultat des travaux et des études de terrains combinés aux données analytiques (Franklin et al., 1981), avec des données complémentaires de Gibson et al. (1983), Skirrow et Franklin, (1994), et de l'analyse directe des compositions des fluides hydrothermaux (Von Damm, 1995) complétés par l'appui des études expérimentales (e.g. Seyfried et Janecky, 1985 ; Seyfried et al., 1997). Toutes ces études conduisent au modèle de la génération des fluides métalliques hydrothermaux par lessivage des formations sous-jacente depuis la pile volcanique ou volcano-sédimentaire au-dessous du plancher sous-marin dans un système hydrothermal convectif (Fig. II-5). Ce modèle convectif montre que les fluides métalliques hydrothermaux ont été produits principalement au-dessous du fond sous-marin par chauffage de l'eau de mer qui s'est infiltré vers le bas à travers des failles

profondes et du lessivage des métaux des formations volcano-sédimentaires. La mise en place et la précipitation des métaux sont contrôlées par plusieurs paramètres physico-chimiques du milieu de dépôt. Ces paramètres représentés par la baisse des conditions thermo-barométriques, le changement des conditions d'oxydoréductions et de pH au contact des fluides hydrothermaux et marins provoquent une saturation du fluide qui induit par conséquent le dépôt de la minéralisation.

Le contrôle fondamental de la taille et de la grandeur des systèmes hydrothermaux métalliques convectifs est influencé par le gradient géothermique dont la source de chaleur focalisée est intimement liée aux intrusions magmatiques plus profondes (> km) (Galley, 1993). Les métaux transportés au cours du lessivage hydrothermal sont piégés dans le champ du fumeur noir quand ils sont expulsés dans le milieu marin de plus basse température, ce qui induit la précipitation des minéraux sulfurés en tant que minéralisation sulfurée stratiforme. Cependant quelques gisements SMV présentent leur formation par l'intermédiaire de remplacement de la roche volcano-sédimentaire altérée et/ou dans des sédiments non consolidés du plancher sous-marins (Gibson et al., 1999).

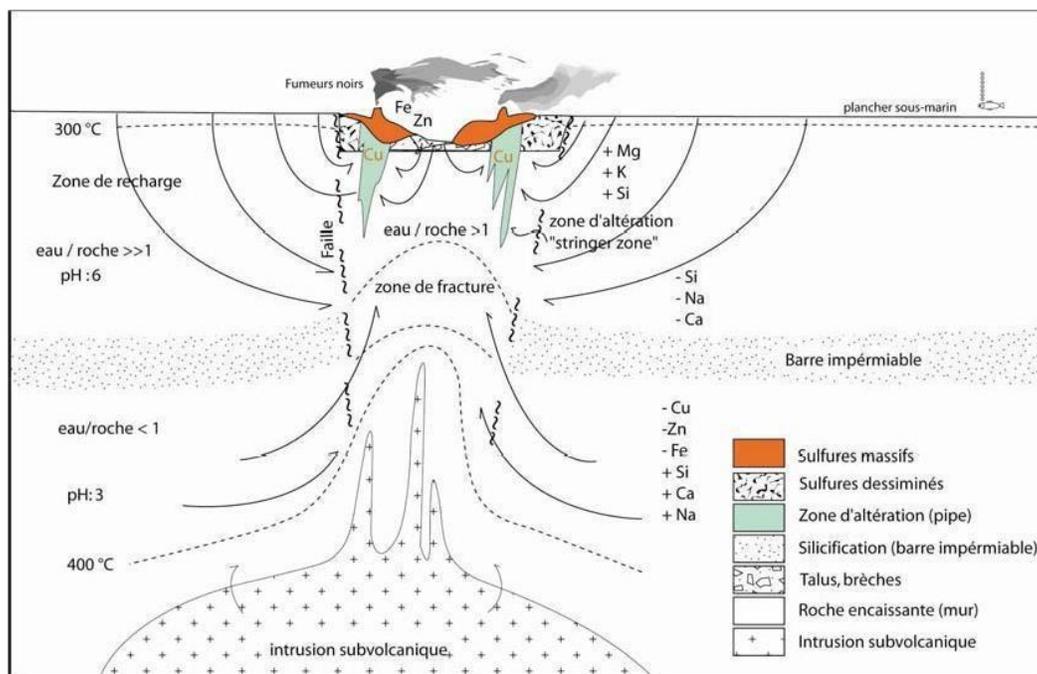


Figure 9: Modèle du système hydrothermal convectif pour la production des dépôts de type VMS (Franklin, 1993)

XI. La méthode d'exploitation classiques

La méthode des tranches montantes remblayées (TMR) est la méthode adoptée dans le chantier de Koudiat Aicha. Elle nécessite un traçage de la structure minéralisée à la base, la réalisation de cheminée à remblais, deux passages personnels qui permettent l'accès à la taille et une goulotte qui sert à la collecte du minerai (Fig. 10). Cette méthode consiste à exploiter une tranche de 2.5 à 3 m de hauteur et remplacer le vide crée par des produits stériles.

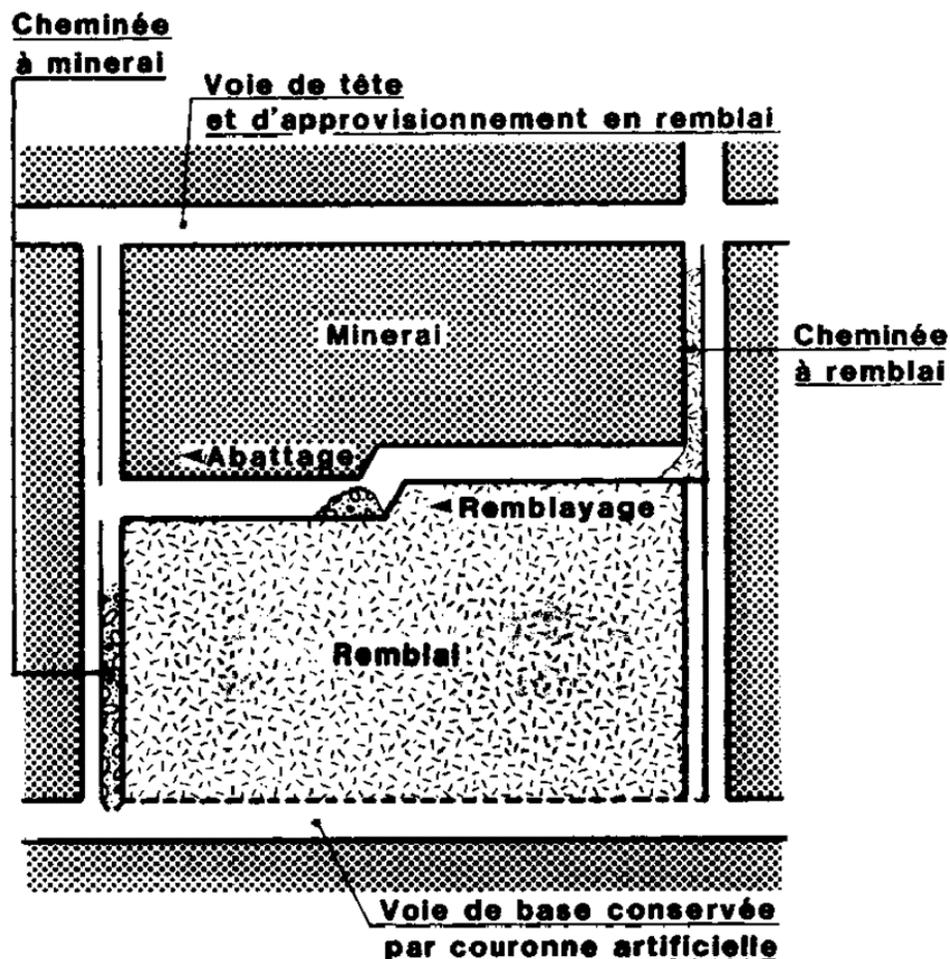


Figure 10: Schéma représentant la méthode des Tranches Montantes Remblayées (TMR)

Chapitre III : Prospection par sondages carottés

Chapitre III : prospection par sondages carottés

Introduction

Afin de reconnaître les caractéristiques géologiques et géotechniques des formations, explorer les gisements et évaluer les ressources et les réserves minières, on fait appel à une des techniques les plus efficaces celle des sondages carottés. Elle consiste en le découpage d'un cylindre de terrain le plus intact possible afin de réaliser des observations, descriptions des logs lithostratigraphiques et des analyses et essais au Laboratoire. Le découpage des terrains peut être fait par fonçage ou battage (carottier poinçonneur) ou par rotation (carottier rotatif conventionnel ou à câble). Le sondage carotté permet de prélever à l'aide d'une sondeuse des échantillons de roches. Ces carottes peuvent par la suite, servir à pas mal d'analyse et d'essais au laboratoire. Dans le présent mémoire de fin d'études nous avons travaillé sur des échantillons provenant des carottes de sondages carottiers exécutés dans le gisement de chapeaux de fer de la région de Koudiat Aicha.

- Les types de sondages carottés

Les types de sondages carottés varient selon les contraintes liées au terrain et selon la finalité du sondage, on distingue :

-Sondages verticaux : les plus classiques et les plus faciles à réaliser. On les utilise généralement pour la reconnaissance et lorsqu'il est nécessaire de connaître la nature du recouvrement.

-Sondages horizontaux : ces sondages sont exécutés sur des longueurs atteignant une centaine de mètres à l'aide de carottiers à câble limitant notablement les déviations de trajectoire. Ce type de sondage est très intéressant pour la reconnaissance des tunnels relativement courts et lorsque la connaissance des terrains sus-jacents n'est pas impérative.

-Sondages inclinés : ce type de sondage est utilisé dans le cas de structures à couches obliques et homogènes. Le sondage est incliné perpendiculairement à la stratification, et permet de recouper toute la série intéressant l'ouvrage avec une faible longueur de forage.

- Les diamètres standards des sondages carottés

Les diamètres des sondages varient selon la profondeur totale du sondage et son objectif. Ainsi, si la profondeur du sondage est importante, le diamètre de la carotte doit être réduit. Le tableau 1 ci-dessous montre quelques exemples de diamètres standards de sondages.

Dimensions	Diamètre interne (mm)	Diamètre externe (mm)
AQ	48	27
BQ	60	36.5
NQ	75.7	47.6
HQ	96	63.5
PQ	122.6	85

Tableau 1 : quelques exemples de diamètres standards de sondages. AQ, BQ, NQ, HQ, PQ : nomenclature adoptée

- L'implantation des sondages

Nous présentons ci-dessous les étapes nécessaires pour l'implantation d'un sondage.

- + Etablir une coupe prévisionnelle du sondage Carottés ;
- + Reporter le sondage en projet (point de départ, direction, pendage) sur le levé géométrique et/ou géologique de la zone à sonder ;
- + Suivre la réalisation (si nécessaire), d'une recoupe (avec cloche dans le cas des sondages carottés), au fond ou d'une plate-forme et éventuellement d'une piste en surface ;
- + Positionner sur le terrain le point du sondage, avec indication de son nom, son pendage et sa direction (celle-ci est donnée par le géomètre), sur un sachet en plastique (en surface) ou à la peinture sur le parement de la galerie (au fond).
- + Installer la sondeuse selon la direction prévue du sondage ;
- + Vérifier le pendage et la direction du sondage à l'aide de la boussole et du clinomètre.

- La réalisation des sondages carottés

Généralement, les sondages sont entamés par le plus grand diamètre et poursuivis avec des diamètres inférieurs en fonction des performances des équipements et de la nature des terrains traversés, en suivant les étapes suivantes :

- Préparation des moyens et outillages nécessaires pour commencer le forage
- Assemblage des trois manchons (manchons de verrouillage, adaptateur, et aléteur) et une couronne usée
- Branchement d'une tige normale au mandrin par l'intermédiaire d'un câble entraîné par un treuil
- Faire passer la tige dans le frein
- Mettre les bagues de guidage en place
- Assemblage de la tige avec les trois manchons et la couronne

Si le mandrin et le frein laissent passer la couronne et les manchons, on fait l'assemblage des deux parties par terre :

- Branchement de la tête d'injection
- Démarrage de la pompe à boue
- Injection de l'eau dans le train de tige avec un débit de 70 à 80 l/min
- Commencer l'amorçage du trou. Cependant, si le train de tiges est bouché, on remonte l'ensemble pour le déboucher et le vidanger.
- Une fois le terrain dur est atteint, on laisse le train de tige dans le trou et on commence le tubage de la partie réalisée.
- On poursuit le forage en ajoutant les tiges et en récupérant l'échantillon emprisonné dans le tube intérieur par l'intermédiaire d'une pince overshot et un treuil

Les paramètres de forage sont représentés dans le tableau 2 ci-dessous :

	Diamètre HQ	Diamètre NQ	Diamètre BQ
Vitesse de rotation (trs/min)	400 à 1000	550 à 1350	700 à 1700
Poids (Kg)	1500 à 2500	1000 à 2000	800 à 1500
Débit d'eau (l/min)	38 à 45	30 à 38	20 à 30

Tableau 2: exemples de paramètres de forage

- Cimentation d'un trou de sondage

Les volumes des trous de sondages sont variables. Ainsi, avant d'aborder leur cimentation, il est nécessaire de calculer le volume de la partie du sondage à cimenter. Les volumes prises en considération sont : 7,25 l/m pour un diamètre HQ, 4.50 l/m pour un diamètre NQ et 2.82 l/m pour un diamètre BQ Afin de réaliser la cimentation d'un trou de sondage il faut suivre les étapes suivantes :

- Descendre les tiges au fond du trou
- Récupérer le tube intérieur au jour
- Nettoyer le sondage à l'eau claire
- Remonter de 3m du fond du trou
- Préparer le lait de ciment dans le bassin suivant le volume à cimenter et en respectant le dosage
- Enlever le manomètre et la vanne de décharge
- Mettre la crépine dans le bassin
- Démarrer la pompe à boue et injecter le mélange dans le sondage
- Remonter le train de tiges au fur et mesure de l'injection
- Ajouter le lait de ciment selon besoin

- Injecter l'eau claire jusqu'à retour à la surface
- Dégager tout le train de tiges à la surface à la fin de l'opération
- Nettoyer la pompe à boue et accessoires par de l'eau claire.

Pendant ces étapes il faut prêter l'attention à ces cas :

1. Pendant la préparation du deuxième lait de ciment, l'eau claire doit être injectée dans le trou de sondage.
2. S'il y a risque de coincement du train de tiges, la cimentation doit être faite par le diamètre inférieur à celui de forage.
3. Dans le cas d'éboulements importants, une majoration de 10 à 20% du volume de ciment est nécessaire.
4. Accorder le temps nécessaire à la prise du ciment

Lors de l'alésage de ciment, il faut aller à petite vitesse de pénétration et s'assurer d'un retour d'eau

- Mesure de la déviation d'un sondage

Lors de la réalisation des sondages, ils n'ont pas dans le même pendage, il faut donc mesurer la déviation :

Il faut Dégager le train de tiges jusqu'à la côte à mesurer, Démonter la tige supérieure, Récupérer le tube intérieur, Régler l'appareil selon les paramètres initiaux en concertation avec le géologue, Mettre l'appareil de mesure dans l'anneau porteur, Assembler l'anneau porteur avec les allonges, ensuite Raccorder l'ensemble au câble Wireline, Faire descendre lentement l'instrument dans les tiges jusqu'à la côte de sondage, Faire monter l'ensemble de la même façon, Démonter le système. Et enfin Transférer les données sur l'ordinateur.

I. Étude des sondages

1) Choix des sondages

Afin d'arriver à la caractérisation morphologique et génétique de la zone de cémentation de chapeaux de fer de la mine de Koudiat Aicha, le choix de sondage n'est pas aléatoire. Il est implanté sur la zone de chapeaux de fer (Fig. 11). Les carottes obtenues serviront d'outil pour la réalisation d'une colonne lithostratigraphique et des coupes géologiques.

S

Coupe longitudinale des sondages carottés verticaux

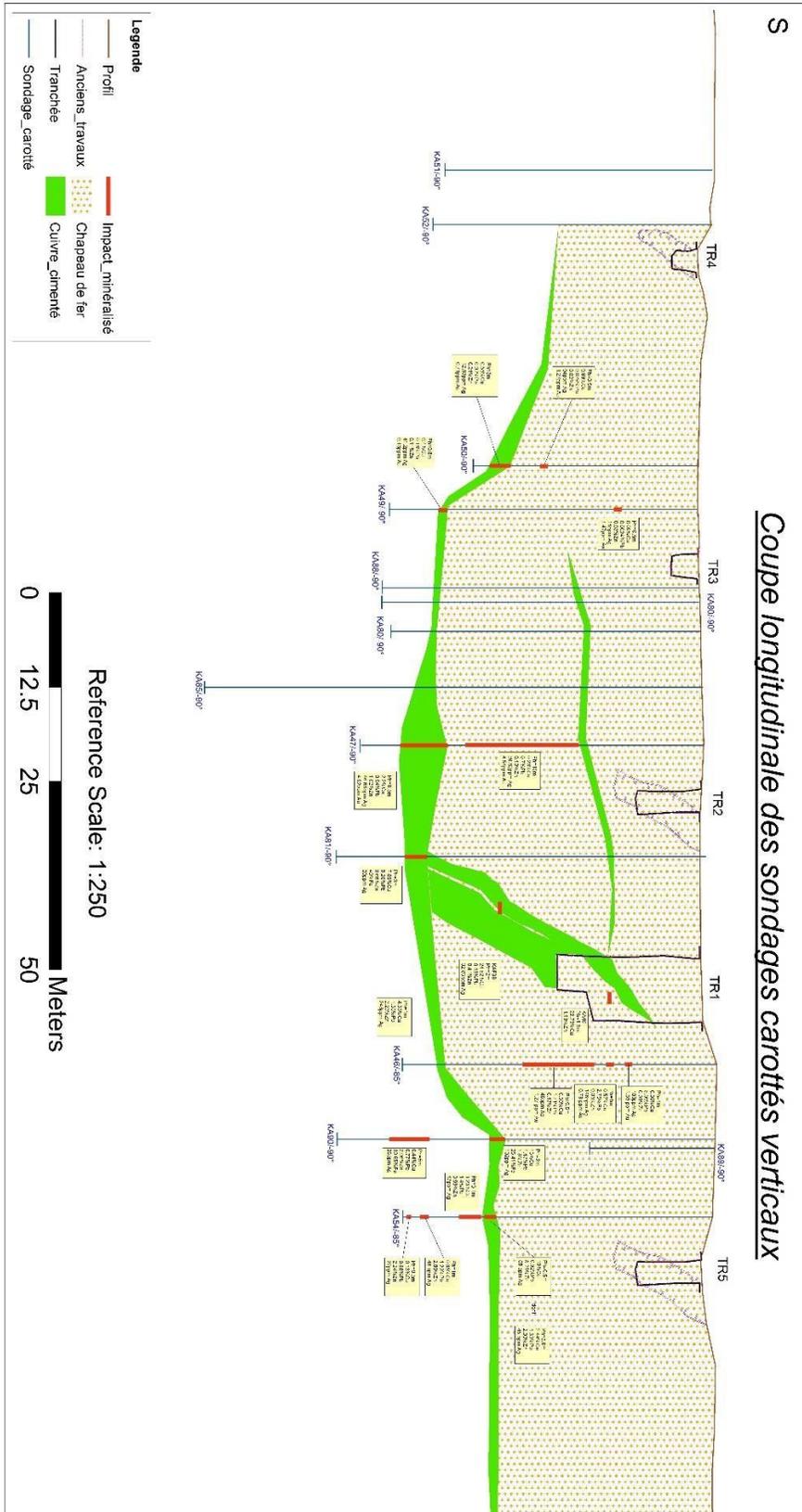


Figure 11: coupe longitudinale des sondages des sondages carottés verticaux

2) Présentation des sondages

Quatre sondages carottés ont fait l'objet d'une étude descriptive en termes de lithologie, de structures et de minéralisations. Ce sont des sondages-surface verticaux réalisés à partir de la surface.

Les quatre sondages présentent plusieurs similitudes du point de vue lithologique.

La figure 11 montre la position des différents sondages étudiés

a) Sondage KA 80

Ce sondage réalisé en surface et ayant les coordonnées (X= 231342,36, Y= 141574,72, Z= 11,7).

La succession lithostratigraphique dans le sondage KA 80 est présentée dans la figure 12. On distingue du haut vers le bas :

Le Chapeaux de fer bréchifié contenant de l'ocre rouge et jaune avec des passages de carbonates. Cet intervalle peut faire facilement une trentaine de mètres (0-31 m)

Au-dessous de chapeau de fer (entre 31 et 40 m) viennent des pélites noires carbonatées

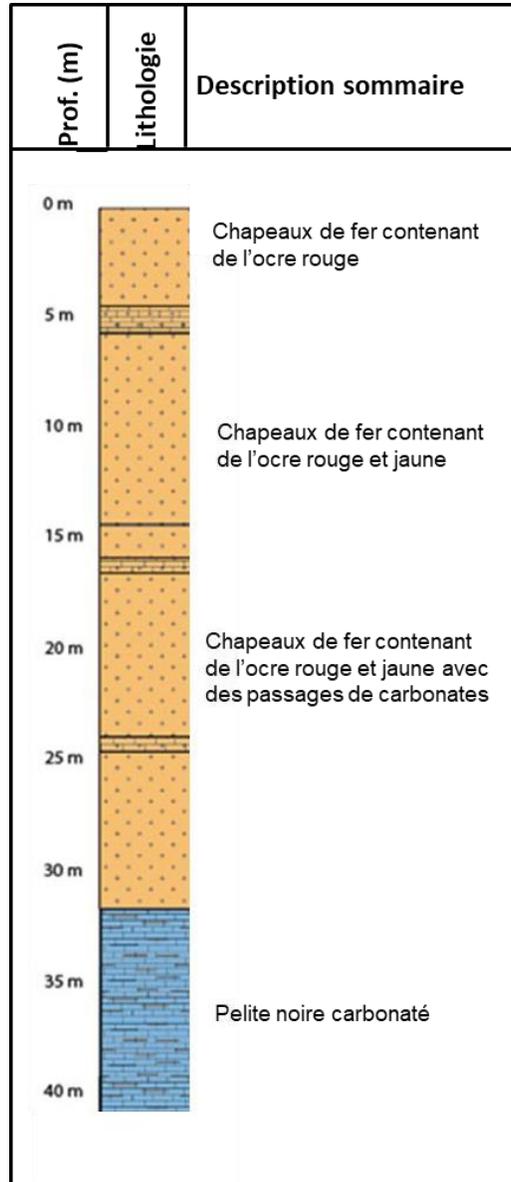


Figure 12: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KA80

b) Sondage KA 81 :

Ce sondage réalisé depuis la surface a pour coordonnées (X = 231343,46, Y= 141604,07, Z= 12,7)

Il traverse également deux associations lithologiques :

-Un ensemble (entre 0 et 36 m de profondeur) homogène bréchifié contenant de l'ocre rouge et jaune (Fig. 13)

- Les pélites minéralisées qui contiennent la chalcopyrrite et la pyrite disséminée tout au long de l'intervalle entre 36 et 52 m de profondeur (Fig. 13).

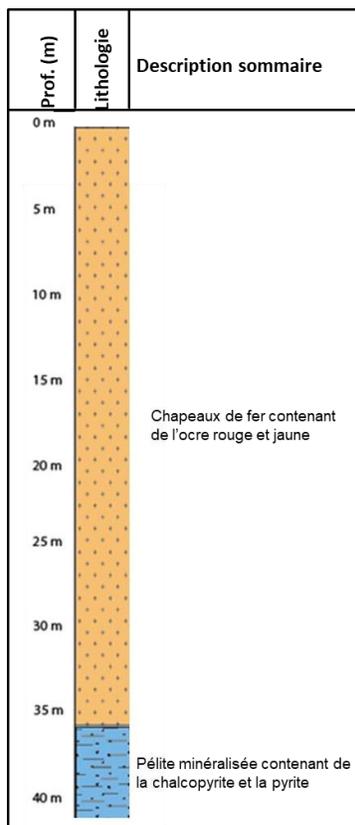


Figure 13: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KA81

c) Sondage KA 85 :

Le KA 85 est un sondage de surface de coordonnées (X = 231340,73, Y= 141570,19 ,Z= 12,7).

La succession lithostratigraphique dans le sondage KA 80 est présentée dans la figure 14. On distingue du haut vers le bas :

-Un faciès de couleur foncé qui représente les chapeaux de fer avec une dominance de pélites carbonatée entre (0-24 m)

La même zone de chapeaux de fer sauf qu'elle est bréchifiée, ce qui représente une faille qui mesure entre (24-32 m)

-Ensuite vient ainsi le faciès fracturé de chapeaux de fer avec des passages de pélites carbonatée entre (32-37 m) :

-Au-dessous on trouve une formation des pélites noires (37-53 m)

-La même formation des pélites noires contenant des traces de minéralisation entre (53-57 m)

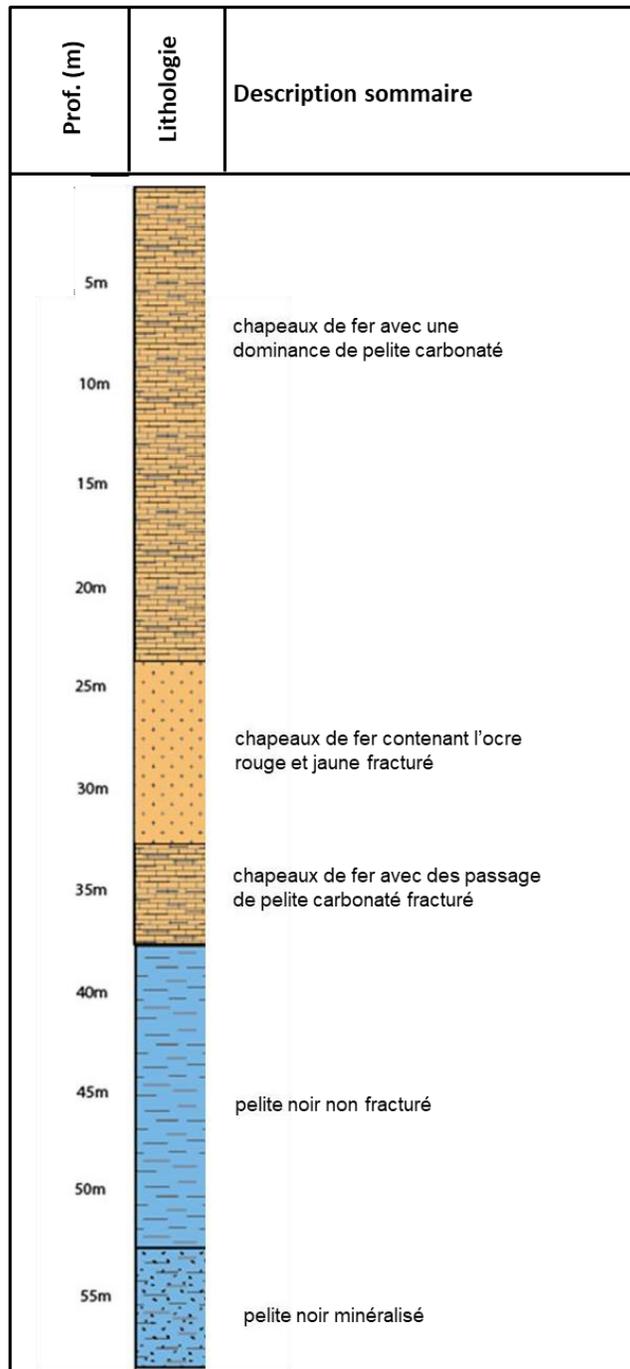


Figure 14: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KA85

d) Sondages KA 90 :

Ce sondage réalisé depuis la surface a pour coordonnées (X = 231358, Y= 141641, Z= 10,7),
pendage :

La succession lithostratigraphique dans le sondage KA 90 est présentée dans la figure 15. On distingue du haut vers le bas :

- Un faciès bréchifié qui s'agit de chapeaux de fer à ocre rouge et jaune avec un passage dominé de carbonate entre (8-11m) ce faciès s'allonge de 0-12 m) :
- Au-Dessous vient les pélites carbonatées avec des fragments de chapeaux de fer entre 12-19 m) :
- De même entre (19-24 m) il y a des pélites fracturées avec remplissage de fine veine de quartz et présence des indices de minéralisation de plomb dans les pélites
- Ensuite vient des passages des pélites mélangées avec du chapeau de fer entre 24-26 m
- Les chapeaux de fer une autre fois contenant de l'ocre rouge et jaune (26-33 m) :
- Après vient le faciès de pélite entre (33-37 m) :
- Enfin on trouve les pélites contenant des indices de minéralisations entre (37-50 m).

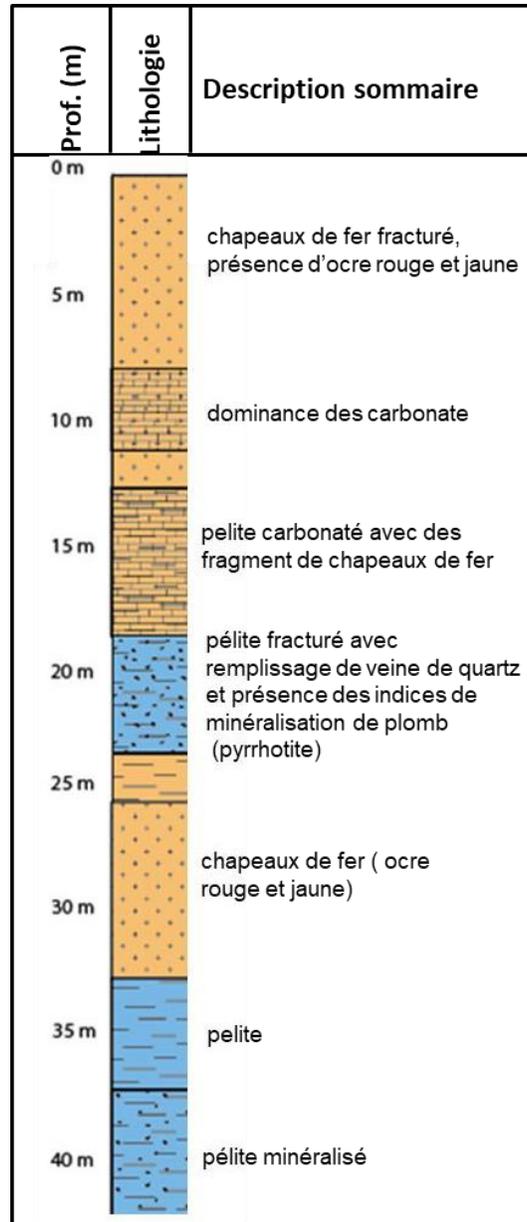


Figure 15: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KA81

II. L'analyse pétrographique

1) Chapeaux de fer

Cette zone représente la partie apicale des sondages carottés. Elle est formée par les oxydes et les hydroxydes de fer (ocres jaunes et rouges). Ces derniers sont la conséquence des

phénomènes d'oxydation ayant affectés la minéralisation primaire. Cet intervalle carotté de chapeaux de fer est compris entre 30m et 36m de profondeur (Fig. 16 a)

Le long de certains passages on note la présence de carbonates de cuivre (la malachite, Fig. 16 b)

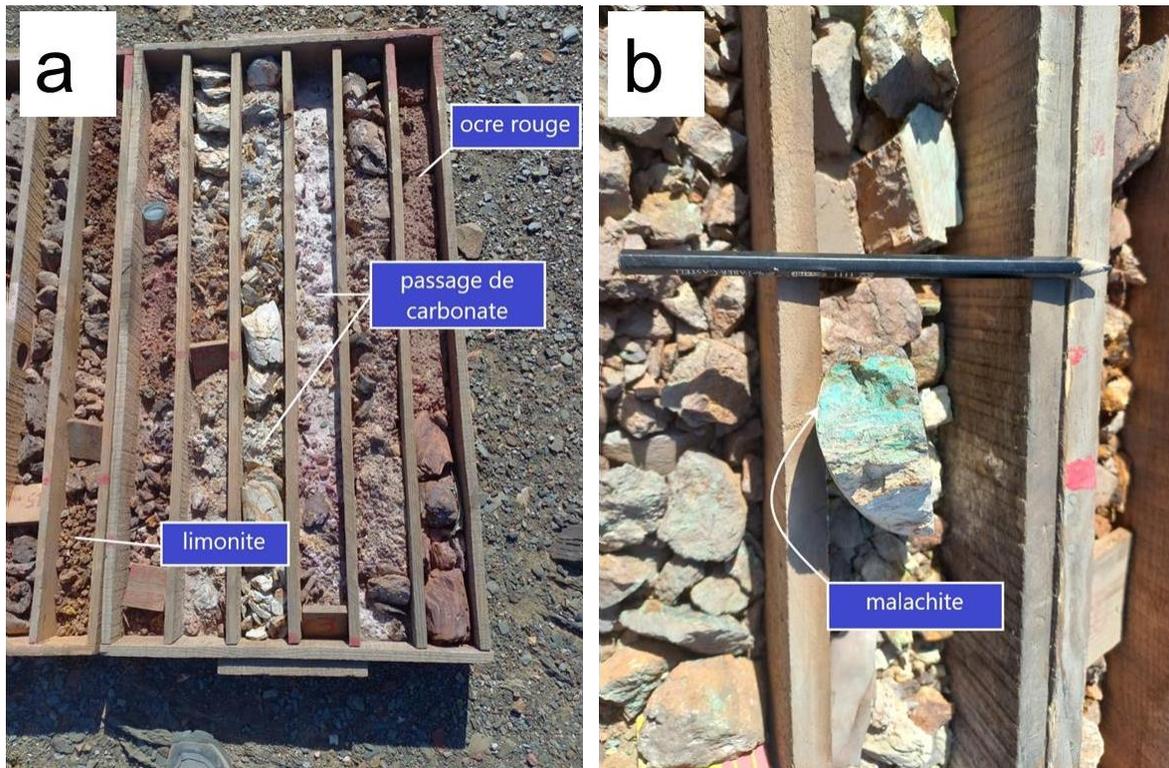


Figure 16: a) exemples de carottes dans le chapeau de fer montrant des niveaux de carbonates et des oxydes de fer, b) exemples de niveaux carottés riches en malachite

2) Pélites

Il s'agit de la lithologie la plus répandue dans les sondages. Macroscopiquement, sont des pélites à niveaux gréseux (Fig. 17 b), parfois altérées chloritisées et très schistosées. Les niveaux pélitiques présentent une puissance variable.

Leur granulométrie fine conjuguée à leur schistosité, les rapprochent des schistes pélitiques ou argileux.

Généralement la couleur des pélites est grise mais change à la proximité de la zone d'oxydation (pélites carbonatées) et deviennent friables.

En outre, on a des zones à dissémination de sulfures (chalcopryrite et pyrite) dans les pélites (Fig. 17 a), ceci nous renseigne sur la proximité de la zone minéralisée.

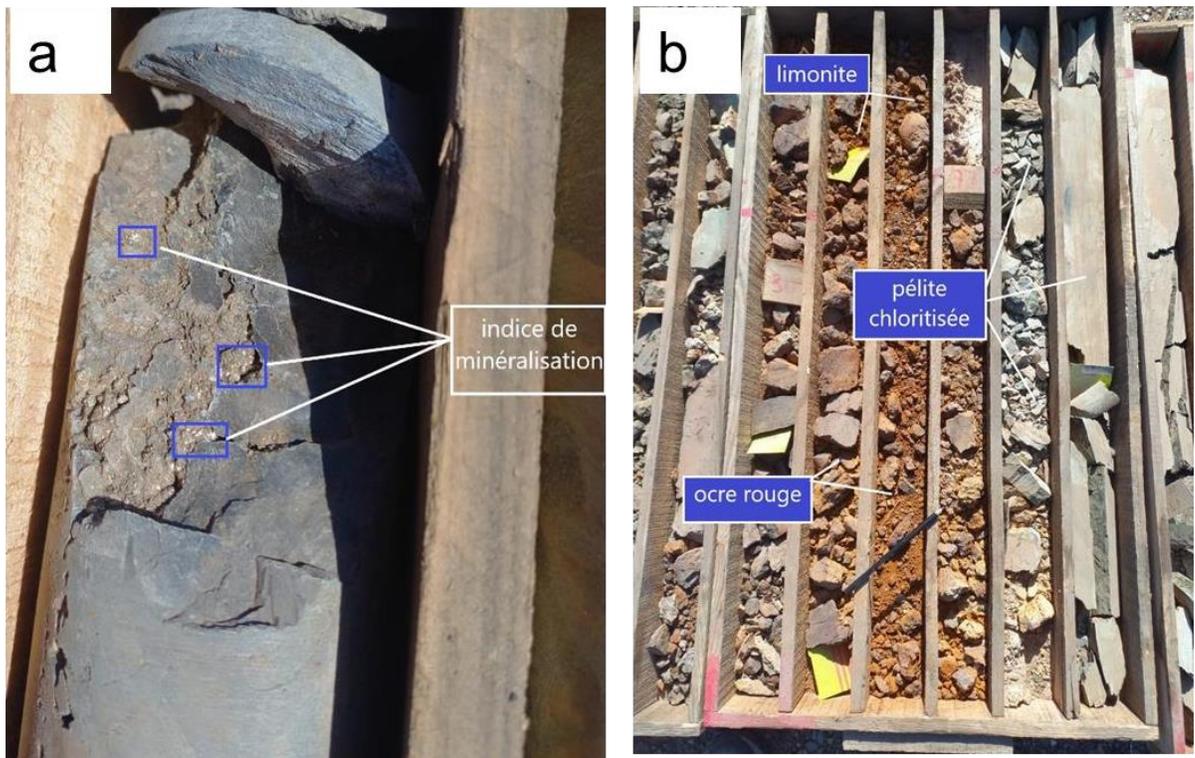


Figure 17: exemples de pélites chloritisées (a) et de pélites minéralisées (b)

3) La minéralisation

Les minéraux d'intérêt économique de la mine de Koudiat Aicha sont en majorité des sulfures. Les observations macroscopiques des carottes ont permis de détecter plusieurs phases minérales :

- La pyrrhotite (Fe (1-X) S)

C'est un minéral de couleur passant du crème brunâtre clair au brun nettement rosé-clair. Il représente la phase la plus dominante dans la minéralisation (80% des sulfures). Les cristaux de la pyrrhotite sont généralement orientés parallèlement à la schistosité S_1 (Fig. 18 a).

- La chalcopryrite (CuFeS_2)

Elle est de couleur jaunâtre bien visible. Généralement, elle se présente sous forme des petites masses ou sous forme de disséminations au sein de la pyrrhotite (Fig. 18 b).

- La Pyrite FeS₂

C'est un sulfure caractérisé par un système cubique bien remarquable, une couleur jaunâtre dorée très brillante, et un éclat métallique. Au sein du minerai massif, la pyrite se présente sous forme disséminée ou rubanée (Fig. 18 c)

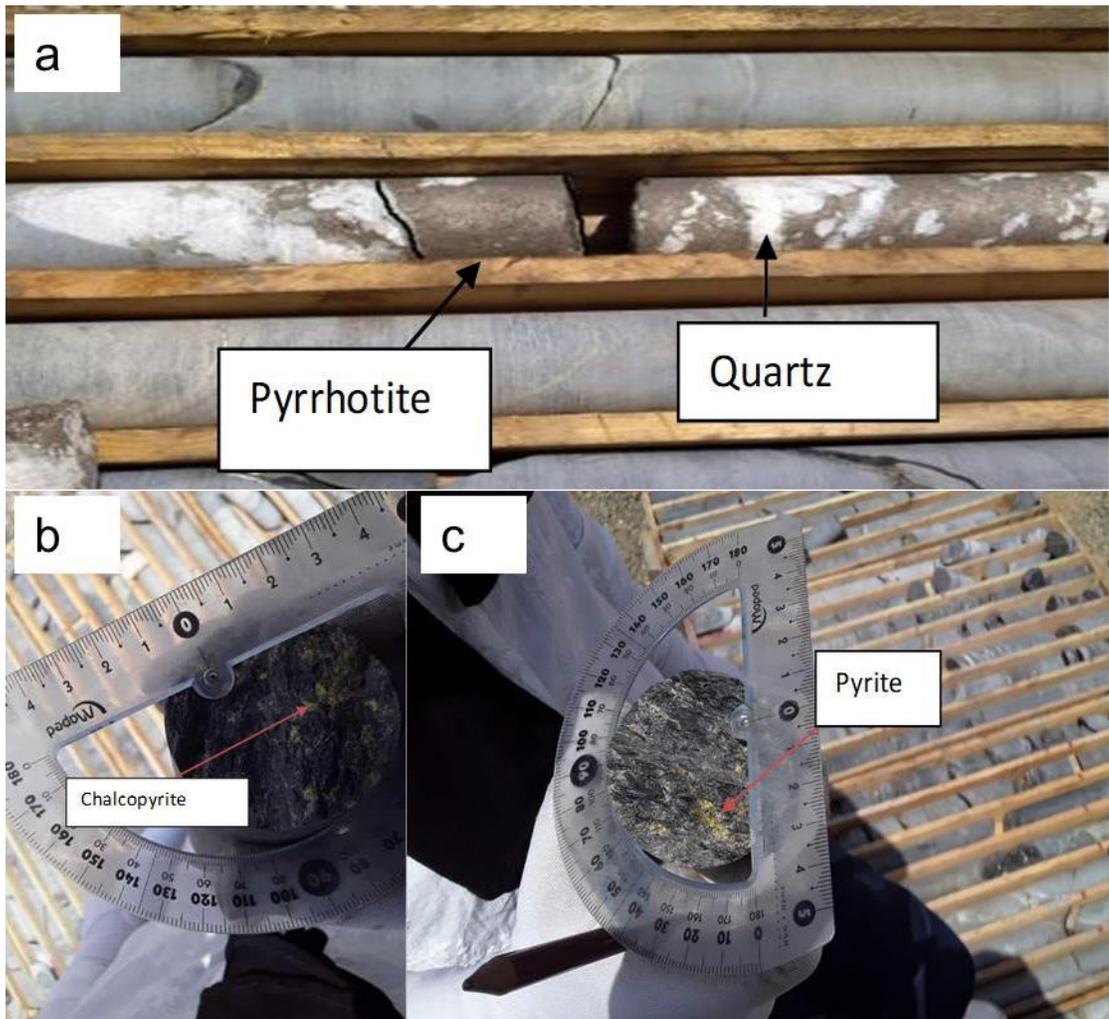


Figure 18: a) bande de pyrrhotite avec le quartz; b) la chalcopyrite; c) la pyrite

III. L'analyse microscopique

Pour les observations microscopiques nous avons confectionné cinq lames minces et une section polie. Les observations ont été faites par le microscope pétrographique pour les section minces et par le microscope métallographique pour la section polie.

Microscopiquement, les pélites sont noires chloritisées. La matrice est très riche en quartz, en oxydes de fer et en carbonates. (Fig. 19 b). Les pélites séricitisées sont riches en quartz et micas et montrent des fractures remplies par les oxydes de fer (Fig. 19 a). Les pélites sont parfois fortement chloritisées avec une matrice riche en chlorite et quartz. Ce faciès correspond aux pélites gréseuses proches du chapeau de fer et riches en oxydes de fer remplissant les fissures et les espaces intergranulaires de la matrice (Fig. 19 c).

La figure 19 d présente des pélites gréseuses très altérées contenant du chlorite, du quartz, des micas blanc (talç). Ce faciès altéré, déformé et schistosé.

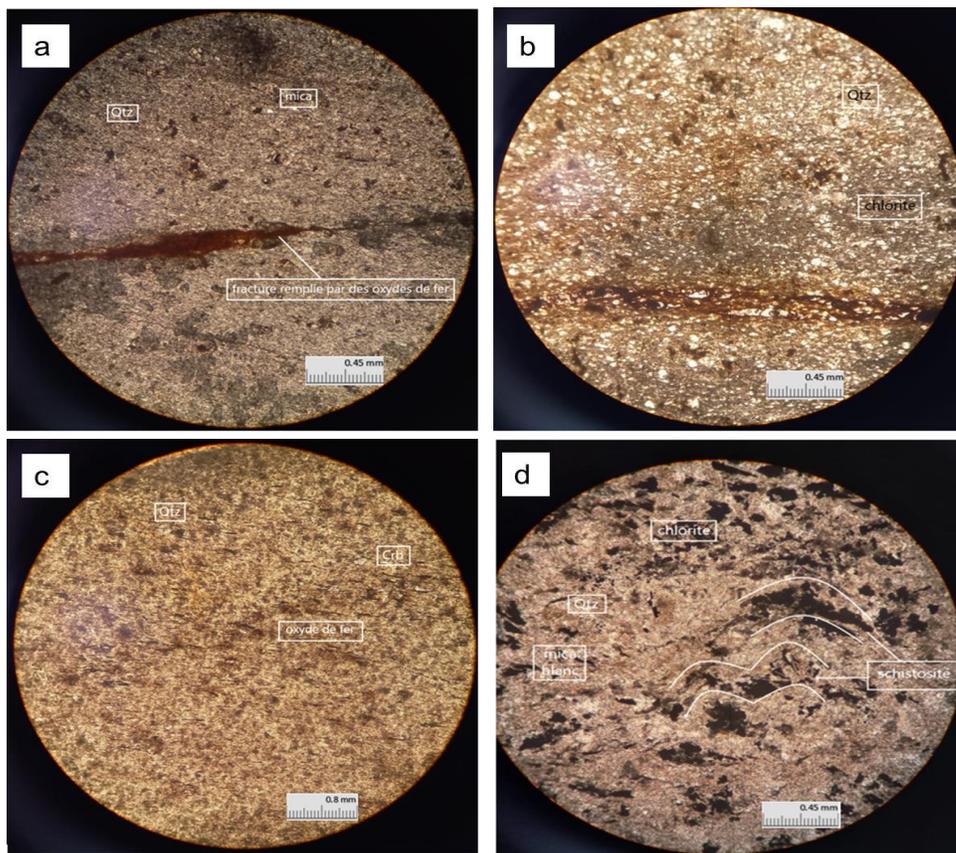


Figure 19: a) pélites séricitisées, b) pélites noires chloritisées, c) pélites gréseuses, d) pélites gréseuse très altérées

- La minéralisation

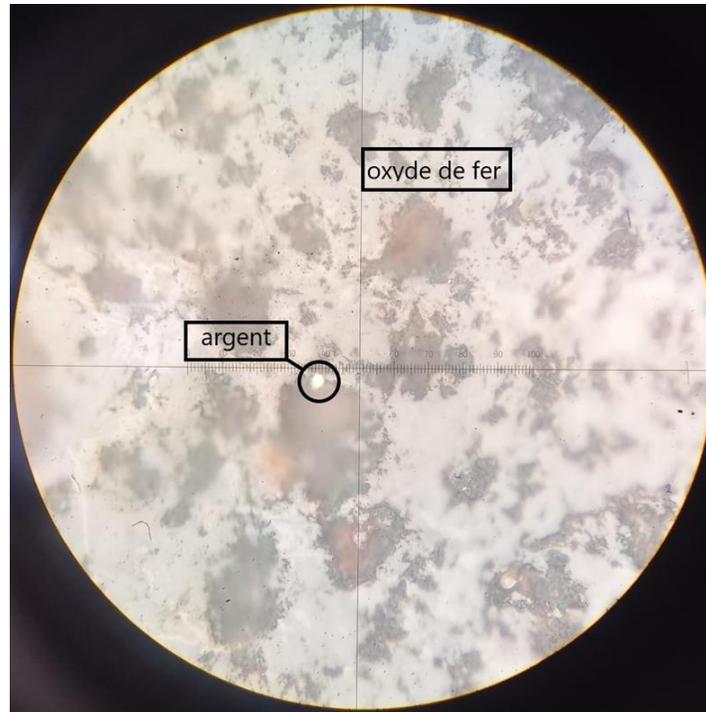


Figure 20: la minéralisation en Argent dans le chapeaux de fer

IV. Préparation de la structure minéralisée, sciage et échantillonnage

1) Sciage :

Dans cette étape la carotte est coupée en deux parties à l'aide d'un disque diamanté (Fig. 21) : un échantillon doit être soumis aux analyses, alors que l'autre échantillon est gardé comme témoin en cas de besoin.



Figure 21: Machine de sciage avec un disque diamanté

2) Echantillonnage :

Les échantillons sur lesquels on va effectuer les analyses sont mis dans un sachet en plastique étiqueté pour éviter toute sorte de contamination, et ils sont ensuite envoyés à l'atelier de la préparation mécanique, où ils subissent un broyage et un concassage à fin d'obtenir une granulométrie fine. Ils sont enfin transmis au laboratoire d'analyses.

V. Préparation mécanique des échantillons

Les échantillons qui arrivent au laboratoire sont de grandes tailles, d'où la nécessité d'une préparation mécanique pour réduire leur maille.

Les étapes de la préparation mécanique des échantillons sont :

1) Le concassage :

L'échantillon est concassé plusieurs fois jusqu'à une maille de 12mm, dans un concasseur à mâchoire. Le concasseur est nettoyé pour le prochain échantillon afin d'éviter les contaminations. A l'aide d'un diviseur de Jöns la quantité de l'échantillon est réduite. L'échantillon est concassé ensuite dans un concasseur à cylindre possédant deux gros cylindres en acier qui tournent simultanément dans une rotation centripète autour d'un axe horizontal. Pour réduire davantage la maille, il suffit de serrer la fente entre les deux cylindres par un ressort accroché à l'axe horizontal et repasser l'échantillon. Il faut répéter l'opération jusqu'au maximum de la fente (maille < 2mm). Enfin, on passe au séchage de l'échantillon dans un four électrique.

2) Le broyage :

L'échantillon est mis dans un disque contenant un cercle et un cylindre tous en acier. Le disque est fermé par un couvercle en acier et posé dans un broyeur. Le disque est bien fixé par un axe mobile conçu pour cela et recouvert par un couvercle pour éviter tout accident si jamais il y a relâchement du disque. Une minuterie dans le broyeur permet de préciser le temps de broyage qui détermine la taille du grain de l'échantillon. Généralement, le grain broyé a une maille < 100 micro mètre.

3) Le quartage :

L'intérêt de quartage est de diminuer le poids de l'échantillon sans affecter sa qualité. Ceci peut s'effectuer de plusieurs manières soit manuellement ou à l'aide d'un dispositif appelé diviseur de Jöns.

Au cours de la préparation de notre échantillon, la première opération de quartage est réalisée après le premier concassage, la deuxième après le deuxième concassage à l'aide de diviseurs. La dernière est manuelle, et s'effectue à la fin du broyage pour diviser l'échantillon en quatre parts identiques (100 g à chacune). L'une des parts est donnée au laboratoire pour analyse, les trois autres sont gardés en témoin.

VI. Résultats d'analyses

	Cu%	Pb%	Zn%	Ag ppm	Au ppm
KA50	0,99	0,079	0,02	4	1,27
	0,58	0,02	0,21	12,93	0,71
KA49	0,09	0,0024	0,03	18	1,47
	0,4	0,18	0,11	41,2	0,16
KA47	0,26	0,7	0,1	59,82	4,54
	2,2	0,94	1,02	46,66	4,92
KA81	7,89	0,26	0,66	40	20
KA46	0,08	5,06	0,01	109	1,69
	0,57	2,75	0,05	148	0,78
	0,5	171	0,17	46	1,27
KA90	13	1,43	1,8	25,41	102
	0,44	0,77	2,06	30,65	26
KA54	10	0,92	8,25	58	
	1,23	1,4	0,99	46	
	0,65	1,23	2,89	48	
	0,13	0,88	2,24	27	

Tableau 3: résultats des analyses chimiques des sondage

La figure 22 montre que la teneur en Plomb est fortement élevée par rapport aux autres éléments. Sur le diagramme (Fig. 23) on remarque que les teneurs en Ag sont fortement élevées par rapport aux teneurs en Au.

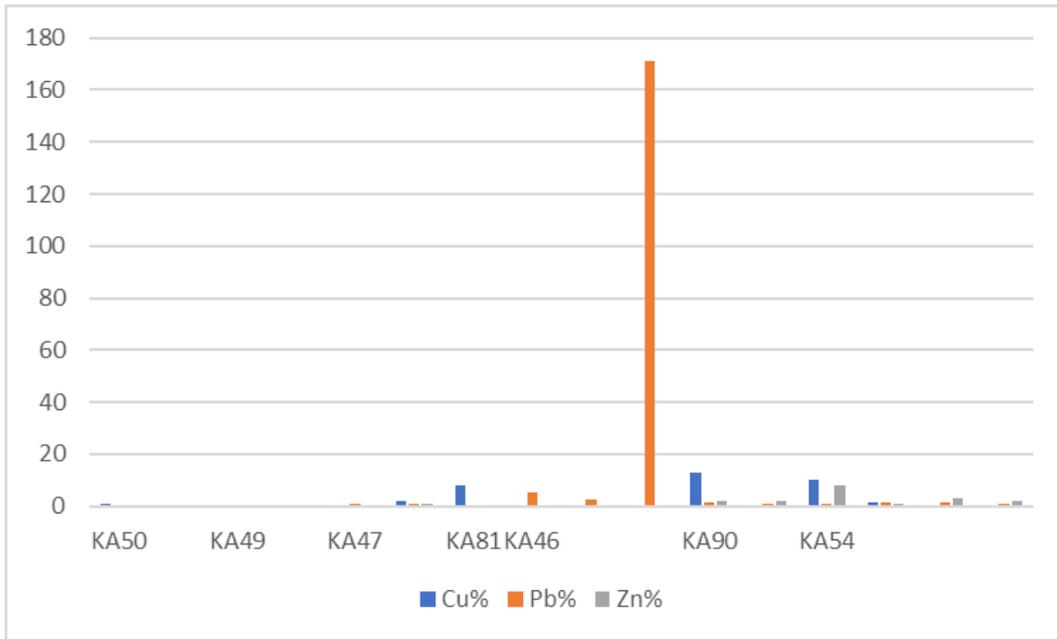


Figure 22: diagramme des analyses des éléments Cu, Pb, Zn pour les sondages

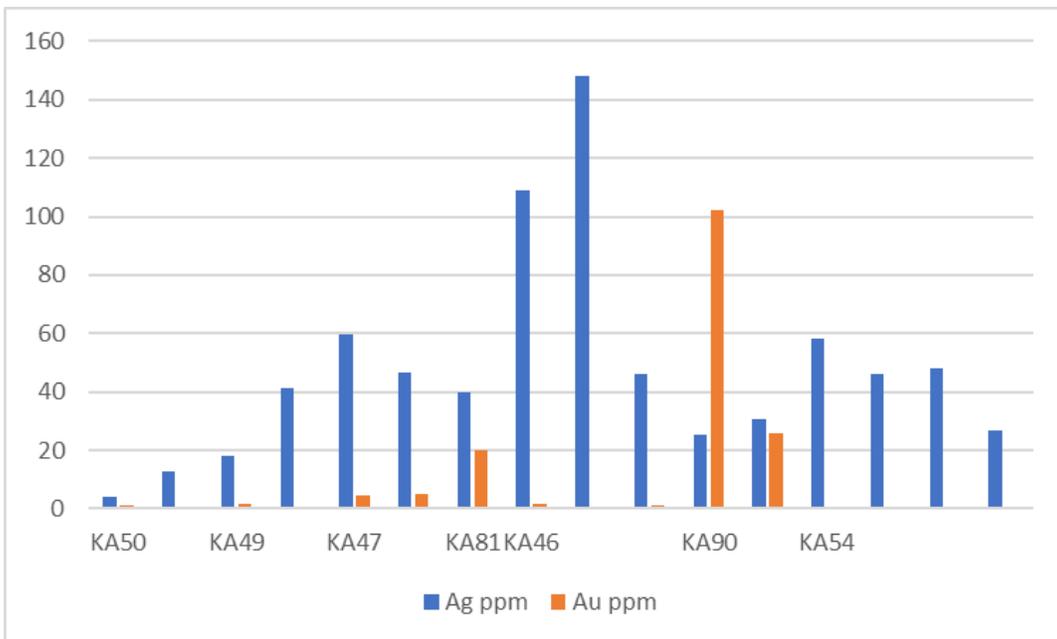


Figure 23: diagramme des analyses des éléments Ag et Au pour les sondages

Conclusion

La zone de cémentation de chapeau de fer de Koudiat Aicha est caractérisée par la présence de plusieurs faciès :

- Chapeaux de fer : représente la partie apicale des sondages carottés et il est formé par les oxydes et les hydroxydes de fer et peut atteindre jusqu'à 36m de profondeur, avec présence de traces de malachite.
- Pélites : s'agit des pélites à niveaux parfois altérées chloritisées et très schistosées et présentent une puissance variable ainsi qu'on a des zones à dissémination de sulfures (chalcopyrite et pyrite) ceci nous renseigne sur la proximité de la zone minéralisée.
- La minéralisation : Les minéraux d'intérêt économique de la mine de Koudiat Aicha sont en majorité des sulfures. Les observations macroscopiques des carottes ont permis de détecter plusieurs phases minérales, la pyrrhotite ($\text{Fe}_{(1-X)}\text{S}$), la chalcopyrite (CuFeS_2) et la Pyrite FeS_2

**Chapitre IV : compilation des données
géologiques du de Koudiat Aicha**

Chapitre IV : compilation des données géologiques du de Koudiat Aicha

Introduction

Afin de comprendre la nature, l'origine, la genèse et la distribution de la minéralisation sulfurée dans le gisement polymétallique de Koudiat Aicha, nous avons abordé les étapes suivantes :

- Ressortir les différentes lentilles du niveau 330/T. L2
- Synthèse et compilation des données géologiques
- Dépouillement des sondages carottés : KAF30, KAF31, KAF32, KAF33 et KAF34
- Levé des travaux miniers (sondage)

I. L'étude lithostratigraphique et la minéralisation

1) Objectif

Comme il a été mentionné dans les l'objectifs du présent travail, une étude lithostratigraphique de la série de Koudiat Aicha a été réalisée sur la base de cinq sondages carottés (KAF30, KAF31, KAF32, KAF33 et KAF34) ; complétée par des observations faites sur le terrain.

Cette étude nous a permis d'élaborer des logs stratigraphiques de la série et la réalisation des coupes géologiques. Les carottes des cinq sondages ont été examinées à partir de niveau 330 m.

2) Sondage

Les sondages d'une façon générale sont implantés dans les zones où les affleurements font défaut. Ils permettent une reconnaissance géologique précieuse et facilitent la recherche des ressources naturelles (minerais, nappes phréatiques ...).

- Mode d'implantation d'un sondage

L'implantation d'un sondage nécessite la détermination de ces coordonnées Lambert (x,y,z) , sa direction et son inclinaison. .

- Types des sondages

Suivant l'engin utilisé on distingue deux types :

-Sondage percutant.

-Sondage carotté.

Au niveau de Koudiat Aicha, nous avons les deux types de sondages, mais notre porte uniquement sur les sondages carottés.

Méthode d'étude d'un sondage carotté

Les carottes récupérées dans les différentes zones de la mine ont fait l'objet d'une première identification lithologique pour établir le log stratigraphique.

Chaque sondage carotté passe par les étapes suivantes :

- Description lithologique pour l'élaboration du log lithostratigraphique et des coupes géologiques,
- Marquage et sélection des différents faciès,
- Sciage
- Echantillonnage
- Analyse

3) Localisation des sondages

Au niveau de la mine de KA 14 sondages carottés ont été implantés dans différents zones de la mine à différents niveaux verticalement (Fig. 22). Parmi ces sondages, nous avons douze (marqués en rouge sur la Fig. 22) qui traversent la minéralisation à différents niveaux depuis le niveau supérieur N 293 m jusqu'au niveau inférieur N 390 m (Fig. 22).

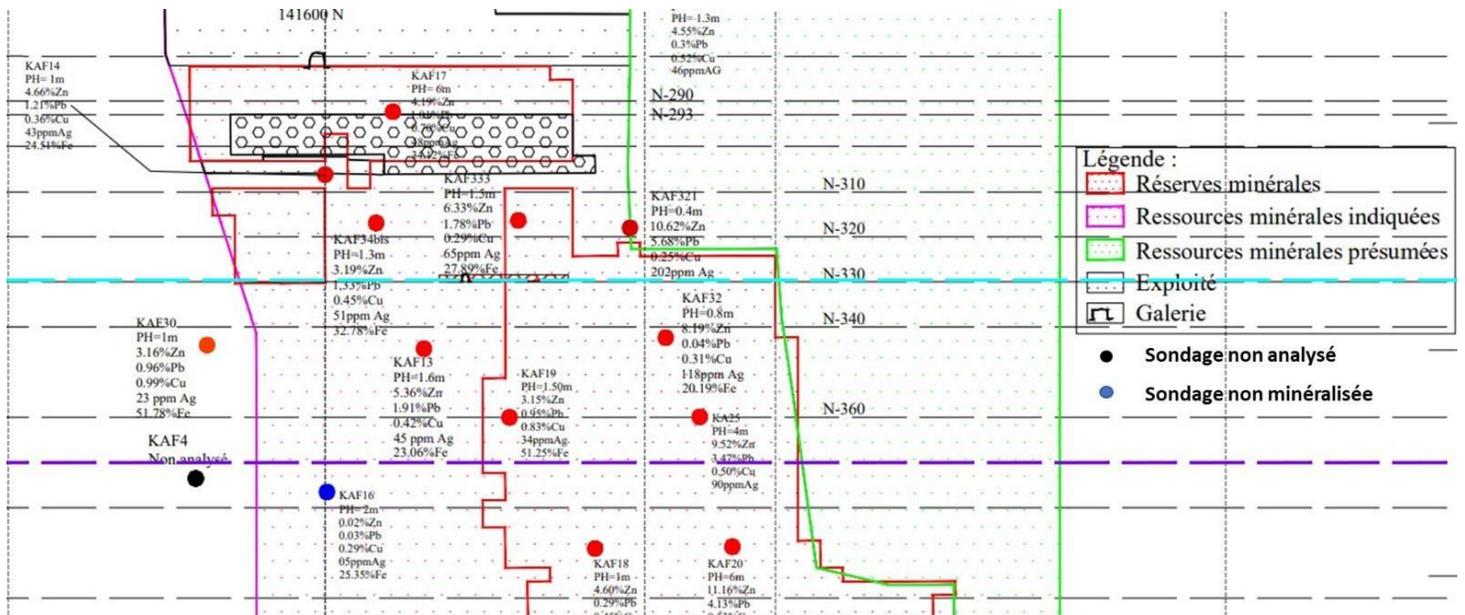


Figure 24: profil longitudinal montrant la localisation des sondages réalisés dans la mine de Koudiat Aicha

4) Sondage KAF30 :

a) Données techniques du sondage :

- Sonde : Techsond
- Profondeur : 123,50m
- Azimut : 281°
- Pendage : - 46°
- Coordonnées : X=231377,03 ; Y=141577,19 ; Z=142

Il s'agit d'un sondage fond et recoupe une lentille minéralisée apparente sur la vue en coupe (Fig. 25). Les faciès traversés sont à dominance pélitique, Le sondage traverse plusieurs types de faciès comme les grès, les tufs et les pélites carbonatées etc. Cependant, le faciès dominant dans le sondage est le faciès pélitique. Des zones de failles et des veinules de quartz sont également recoupées par ce sondage.

b) Lithologie

Comme nous avons mentionné, les faciès dominants dans ce sondage sont les pélites, les grès et les tuffs. -Pélites noires (Fig. 23 a) : macroscopiquement, il s'agit d'une roche à grains fins et de couleur noire et riche en matière organique. Elles sont stratifiées et fracturées et présentent des épaisseurs métriques à décimétrique. Certains niveaux de pélites contiennent une minéralisation sulfurée (pyrrhotite, chalcopyrite et pyrite) issue probablement d'une remobilisation à partir de la lentille minéralisée. Aux fractures et les failles sont remplies par le quartz, les carbonates et les sulfures.

-Tufs (Fig. 23c) : de couleur verdâtre, avec des grains grossiers de quartz. Affecté par une importante fracturation à présence de sulfures disséminés.

-Grès (Fig. 23b) : des passées locales de couleur gris, à texture détritique, consolidé et ils se caractérisent par des veinules à calcite boudinées.

-Microdiorites : à texture microgrenue, de couleur verdâtre, avec la présence des cristaux plongés dans une pate amorphe.



Figure 25: a) pélites noires schistosées riches en matière organique, b) veinule de calcite boudinée, c) Tufs avec des grains grossiers de quartz

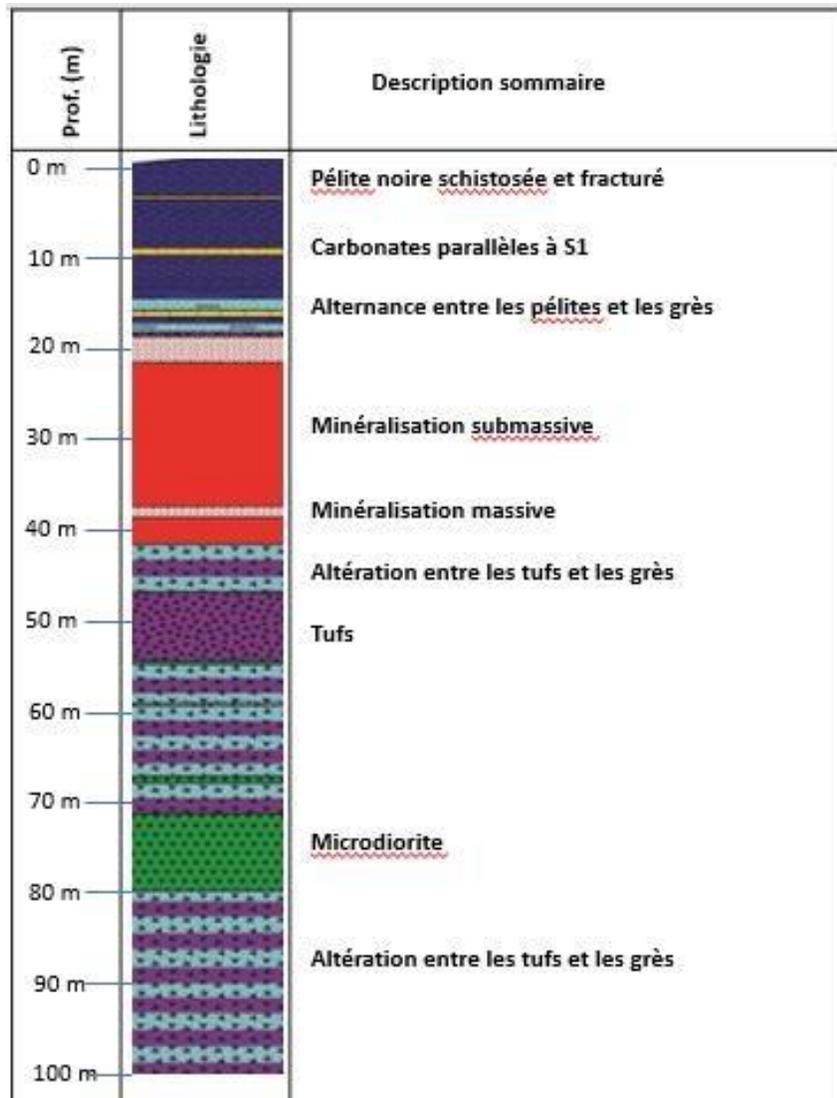


Figure 26: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF30

c) La coupe transversale :

Cette coupe est orientée E-W, montre la présence de la même succession lithostratigraphique décrite sur le sondage carotté KAF30.

En effet, le mur montre la présence des pélites. Le toit est formé principalement par les tufs. La morphologie du corps minéralisé indique une direction N-S avec une puissance moyenne de 29,5m.

De point de vue structurale on note que l'ensemble lithologique est affecté par une tectonique cassante de même direction que la schistosité S1. L'intercalaire de microdiorite pourra être expliqué par un remplissage probable d'une faille.

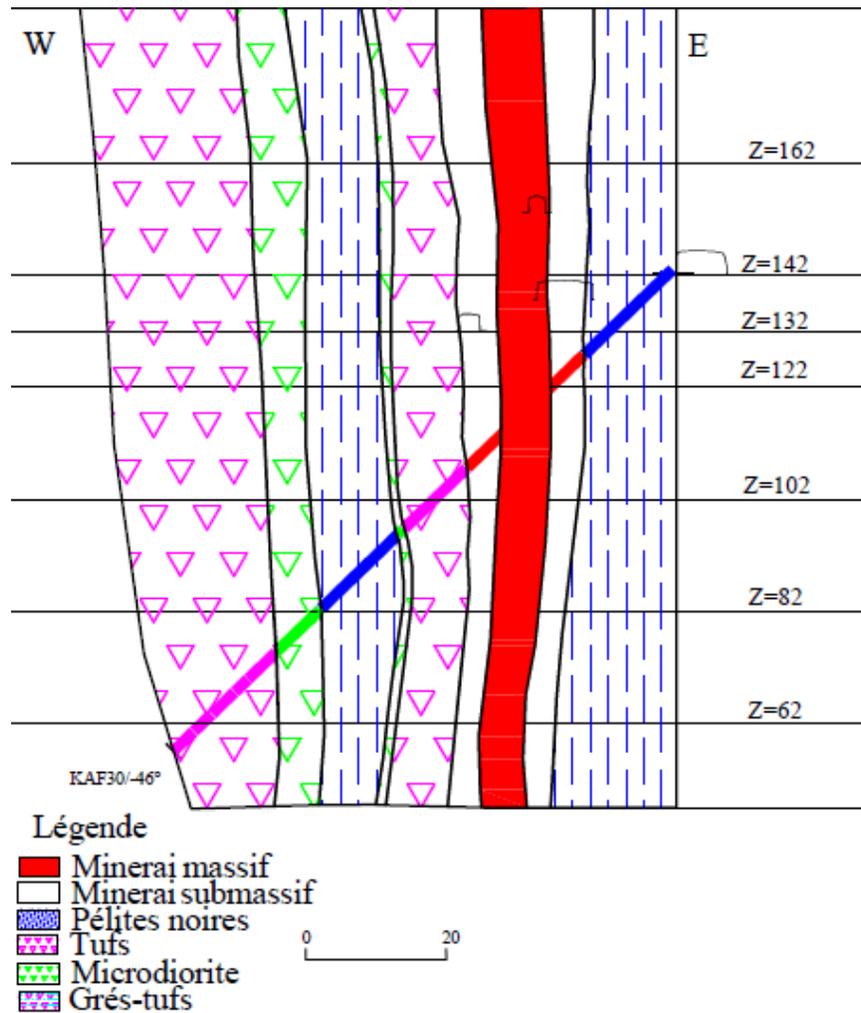


Figure 27: Coupe géologique transversale du sondage KAF30

d) Résultats d'analyses chimiques

D'après ces résultats de sondages, nous remarquons que la teneur du Fer (Fe) est la plus abondante (43% , 55% ..) alors que l'Arsenic (As) est la moins abondante (<0.02) , est nous constatons ainsi la présence importante de l'Argent (Ag) avec des teneurs remarquables (27, 30 g/t) .

Référence Labo	Désignation	R_AFP_AG	R_AFP_AS	R_AFP_CO	R_AFP_CU	R_AFP_FE	R_AFP_PB	R_AFP_ZN
	Mode opératoire	Ag (g/t)	As (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)
R-003085-2021-01	KC 21 049	20	<0.0200	0,0108	0,31	24,51	0,15	0,33
R-003085-2021-02	KC 21 050	8	<0.0200	<0.0100	0,15	11,43	0,0462	0,0243
R-003085-2021-03	KC 21 051	4	<0.0200	0,0843	<0.0100	4,45	<0.0100	0,0129
R-003085-2021-04	KC 21 052	5	<0.0200	0,0107	0,26	22,59	<0.0100	0,0119
R-003085-2021-05	KC 21 053	34	0,0311	0,0111	0,12	14,54	<0.0100	0,0123
R-003085-2021-06	KC 21 054	27	0,11	0,0174	0,63	43,96	0,36	1,22
R-003085-2021-07	KC 21 055	6	<0.0200	<0.0100	0,0775	9,24	<0.0100	0,0246
R-003085-2021-08	KC 21 056	17	0,0276	0,0246	0,43	53,1	0,0943	0,54
R-003085-2021-09	KC 21 057	4	<0.0200	<0.0100	0,0764	9,16	<0.0100	0,0222
R-003085-2021-10	KC 21 058	15	<0.0200	0,0305	0,39	50,97	0,0692	0,31
R-003085-2021-11	KC 21 059	10	0,03	0,0256	0,56	48,7	<0.0100	0,19
R-003085-2021-12	KC 21 060	10	0,0233	0,0159	0,6	43,5	<0.0100	0,0535
R-003085-2021-13	KC 21 061	<3	<0.0200	<0.0100	0,17	12,59	0,0126	0,0179
R-003085-2021-14	KC 21 062	20	0,0243	0,0235	0,7	48,91	0,0329	0,29
R-003085-2021-15	KC 21 063	21	0,0216	0,0179	0,62	55,47	0,0275	0,0962
R-003085-2021-16	KC 21 064	13	0,0408	0,0145	0,69	50,99	0,0395	0,37
R-003085-2021-17	KC 21 065	18	0,0248	0,0131	0,61	47,53	0,14	0,35
R-003085-2021-18	KC 21 066	10	<0.0200	0,0112	0,36	41	0,0186	0,24
R-003085-2021-19	KC 21 067	16	<0.0200	0,0131	0,65	53,01	0,0318	0,17
R-003084-2021-01	KC 21 068	13	0,0508	0,0144	0,55	52,99	0,0628	0,15
R-003084-2021-02	KC 21 069	18	0,0842	0,0138	0,85	54,5	0,15	0,65
R-003084-	KC 21 070	3	<0.0200	<0.0100	<0.0100	5,59	<0.0100	0,0139

Tableau 4: Les résultats des analyses chimiques pour le sondage KAF30

5) Sondage KAF31 :

a) Données techniques du sondage :

- Sonde : Techsond
- Profondeur : 68m
- Azimut : 311°
- Pendage : 0°
- Coordonnées : X=231,408 ; Y=141,06 ; Z=126

b) Lithologie :

L'observation macroscopique des carottes de ce sondage montre une succession de plusieurs facies recoupés par des niveaux minéralisés (Fig.27) :

-Grés-Pélite : stratifiées, peu à fortement chloritisées, coupées par des filons de tailles centimétriques à carbonates et traces de sulfures de pyrrhotite. On a aussi des veinules carbonatées parallèles à la schistosité localement microplissées. On note aussi la présence des veines de quartz parfois boudinés et de sulfures et une chloritisation localement forte.

- On observe aussi Microdiorite très fracturée à mouches de pyrrhotite.
- Les grés avec des grains grossiers de quartz, faillés à remplissage locale en carbonates (Fig.26).



Figure 28: veinule de carbonate parallèle à la S1

Prof. (m)	Lithologie	Description sommaire
0 m		<u>Grésopélite</u> , S1 fait un angle de 125° avec une zone fracturée
10 m		Grès avec des veines de carbonates
20 m		Grès avec des carbonates, des traces de pyrrhotite
30 m		Grès riche en carbonates
40 m		
50 m		<u>Microdiorite</u> avec des traces de <u>pyrrhotite</u> et des zones fracturées
60 m		Grès avec des carbonates (fait un angle de 120°), des traces de pyrrhotite et chalcopyrite
		Minéralisation

Figure 29: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF31

c) La coupe transversale :

La coupe suivante (Fig. 28) est réalisée en se basant sur la projection des mesures de la schistosité obtenues par l'étude des sondages carottés ainsi la projection des failles et des faciès obtenus par l'étude lithologique, elle est orientée NW-SE, on note que la minéralisation est encaissée entre une formation de base constituée par la microdiorite et une formation de toit constituée par les grès à carbonates. De point de vue structurale on note que l'ensemble lithologique est affecté par un ensemble de failles à remplissage de quartz et carbonates.

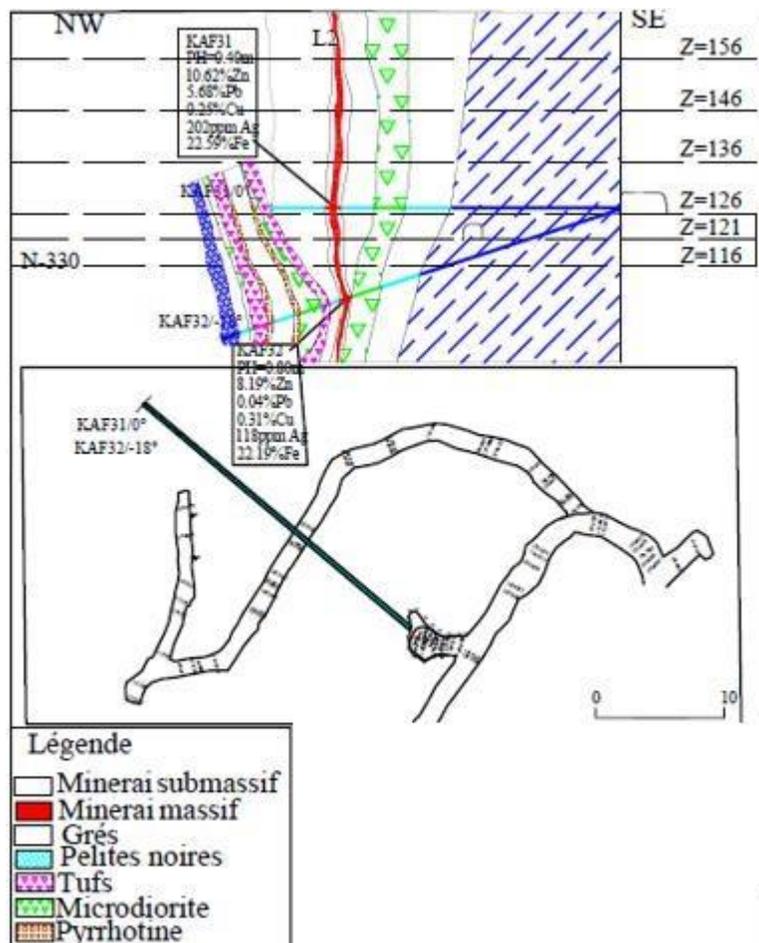


Figure 30: Coupe géologique du sondage KAF31

d) Résultats d'analyse :

Dans les analyses de ce sondage nous constatons la teneur très élevée de l'Argent qui a atteint 202g/t, cette teneur se concentre dans les grès. Alors que les autres éléments sont faiblement remarquables (Cobalt ; Co <0.01%)

Référence Labo	Désignation	R_AFP_AG	R_AFP_AS	R_AFP_CO	R_AFP_CU	R_AFP_FE	R_AFP_PB	R_AFP_ZN
	Mode opératoire	Ag (g/t)	As (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)
R-004175-2021-01	KC 21 081	16	0,0463	<0.0100	0,0602	10,54	0,31	0,67
R-004175-2021-02	KC 21 082	202	0,22	<0.0100	0,25	22,59	5,68	10,62
R-004175-2021-03	KC 21 083	4	<0.0200	<0.0100	<0.0100	4,61	0,0101	0,0264
R-004175-2021-04	KC 21 084	5	<0.0200	<0.0100	0,0223	4,72	0,0117	0,0268

Tableau 5: Les résultats des analyses chimiques pour le sondage KAF31

6) Sondage KAF32 :

a) Données techniques du sondage :

- Sonde : Techsond
- Profondeur : 81,5 m
- Azimut : 311°
- Pendage : -18°
- Coordonnées : X=231,408 ; Y=141,06 ; Z=126

b) Lithologie :

Le long de ce sondage, on distingue trois faciès :

-Grès-pélimitique : faciès dominant, plus au moins chloritisé localement stratifié et fracturé à dissémination des sulfures localement orientés suivant les plans de la schistosité. Ces Grésopélites sont intercalées par des niveaux carbonatés localement plissés (Fig. 29a) et veines de quartz parfois boudinés, à faible dissémination de sulfure.

-Les tufs : faciès chloritisé très fracturé à pyrrhotite (Fig.29b).

-Microdiorite : avec des sulfures disséminés et une structure faillée à remplissage de carbonates.

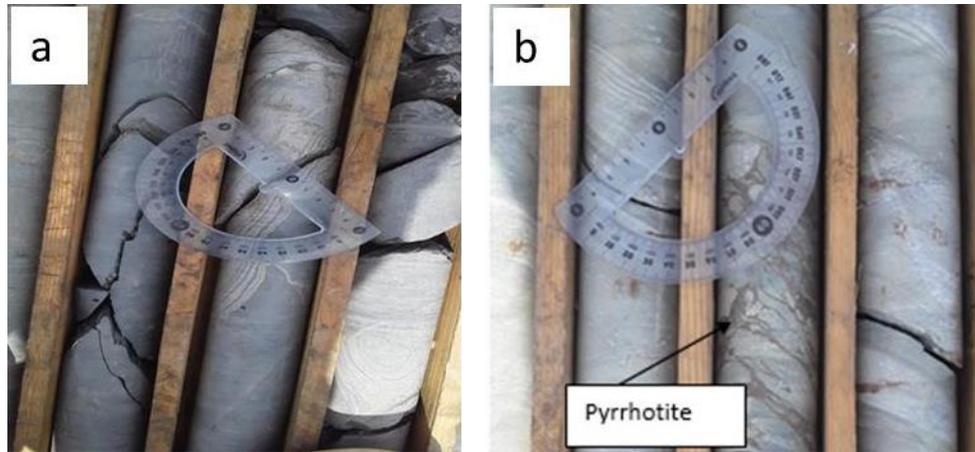


Figure 31: a) Plissement de Carbonates; b) Les tufs à pyrrhotite

c) La minéralisation :

-Macroscopiquement :

La minéralisation avec une puissance de 3m, elle est massive à rubanée de temps à autre plissée, généralement pyritisée à trace de pyrrhotite, chalcopyrite, cristaux de pyrite cubique, à nodule de quartz et d'encaissant, chloritisé, coupé par des veinules à quartz et de carbonates parfois plissé.

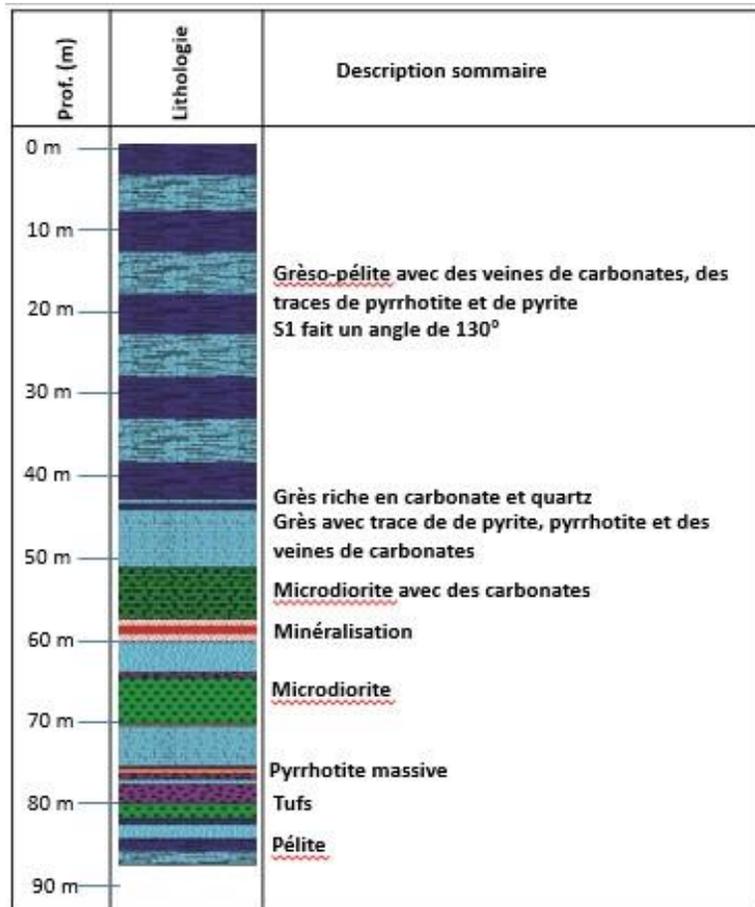


Figure 32: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF32

d) La coupe transversale :

Même coupe que le sondage KAF 31(voir figure28).

C'est une coupe transversale d'orientation NW-SE, elle présente un ensemble lithologique constitué de : Pélite, grés, microdiorite, tufs.... La minéralisation est encaissée dans une formation volcano-sédimentaire, elle se caractérise par une morphologie lenticulaire avec une orientation générale N-S. On note aussi la présence des zones minces de quelque faciès, résultants des accidents tectoniques ou bien le jeu de failles.

e) Tableau des résultats d'analyse :

D'après les analyses de ce sondage, nous remarquons que l'Argent est l'élément de plus grande teneur (118 g/t) et il se concentre entre la microdiorite et les grès, les autres éléments n'ont pas de teneurs élevés (Co ; <0.01%, As ; 0.02%)

Référence Labo	Désignation	R_AFP_AG	R_AFP_AS	R_AFP_CO	R_AFP_CU	R_AFP_FE	R_AFP_PB	R_AFP_ZN
	Mode opératoire	Ag (g/t)	As (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)
R-005322-2021-01	KC21 111	9	0,0281	<0.0100	0,0427	4,76	0,0887	0,0692
R-005322-2021-02	KC21 112	118	0,2	<0.0100	0,31	20,19	0,0408	8,19
R-005322-2021-03	KC21 113	5	<0.0200	<0.0100	<0.0100	4,62	<0.0100	0,0226
R-005322-2021-04	KC21 114	26	0,0847	<0.0100	0,33	6,31	0,25	0,59

Figure 33: Les résultats des analyses chimiques pour le sondage KAF32

7) Sondage KAF33 :

a) Données techniques du sondage :

- Sonde : Techsond
- Profondeur : 74m
- Azimut : 282°
- Pendage : 2°
- Coordonnées : X=231408,14 ; Y=141691,31 ; Z=126

b) Lithologie :

Le long de ce sondage, on distingue les faciès suivants :

-Les Pélites gréseuses : Macroscopiquement, ce sont des pélites à niveaux gréseux de couleur verdâtre altérées chloritisées, très schistosées, elles sont largement représentées dans ce sondage. On note aussi la présence de carbonates au niveau du plan de la schistosité (S1)(Fig.32), des veines du quartz par endroit, et des failles à remplissage de sulfures disséminés.



Figure 34: Carbonates suivant la S1

-Microdiorite : avec des traces de la pyrrhotite et des veines des carbonates.

-Tufs : ont une couleur verdâtre, confondues souvent avec les pélites gréseuses, avec une texture grenue, ce facies est très chloritisé et séricitisé et se compose essentiellement des traces de pyrite, pyrrhotite, et chalcoppyrite.

-La minéralisation : Macroscopiquement la minéralisation présente une structure massive parfois rubanée dont la direction générale est N-S. cette minéralisation est caractérisée par la présence d'un minerai bréchique à pyrrhotite, chalcoppyrite et pyrite sous forme des fragments emballés dans une matrice sédimentaire.

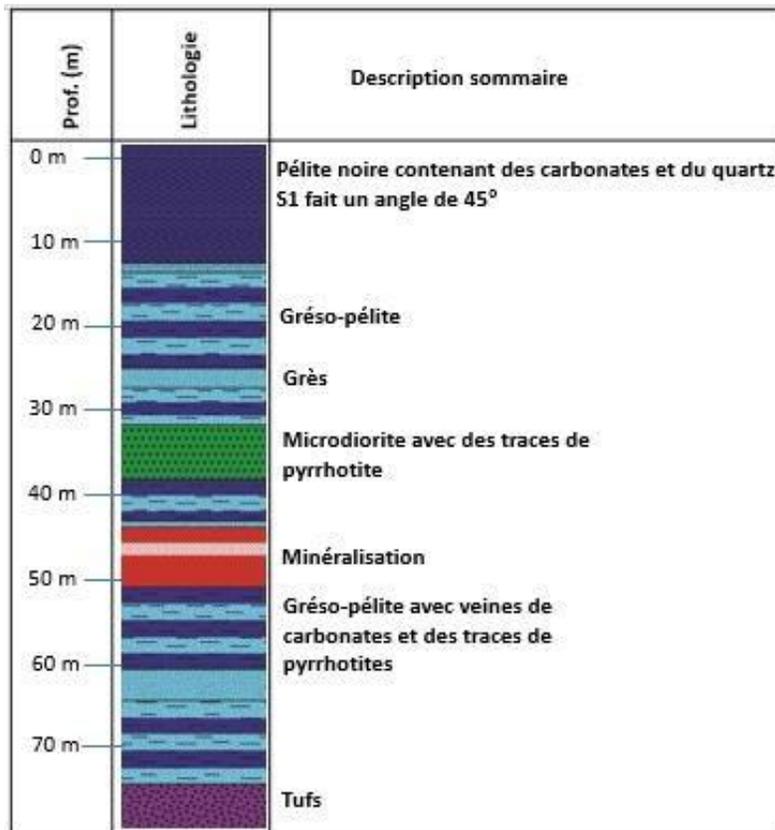


Figure 35: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF33

c) La coupe transversale :

La coupe est orientée WNW-ESE, la minéralisation est encaissée entre une formation de base constituée par les grésopélites et la microdiorite, et une formation de toit constituée par les grésopélites aussi mais avec les tufs. Cet corps minéralisé a la même puissance tout le long de cette coupe avec une orientation NNE-SSW. Structuralement, la succession lithostratigraphique est affectée par une déformation de même direction que la S1(N10).

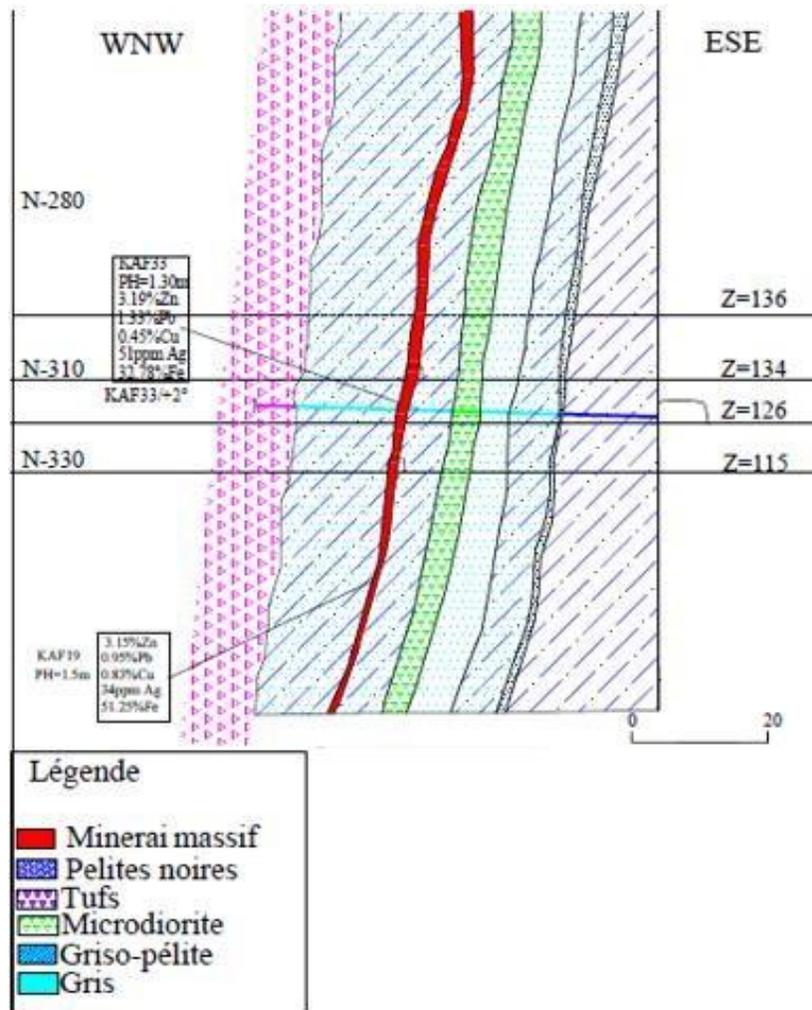


Figure 36: Coupe géologique du sondage KAF33

d) Tableau des résultats d'analyse :

Dans les analyses de ce sondage nous constatons la teneur élevée de l'Argent qui a atténuée 66g/t, cette teneur se concentre dans les grès et les pélites . Alors que les autres éléments sont faiblement remarquable (Cobalt ; Co <0.01% , As<0.02%) .

Référence Labo	Désignation	R_AFP_AG	R_AFP_AS	R_AFP_CO	R_AFP_CU	R_AFP_FE	R_AFP_PB	R_AFP_ZN
	Mode opératoire	Ag (g/t)	As (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)
R-004174-2021-01	KC 21 085	66	0,26	<0.0100	0,29	26,72	2,16	8,52
R-004174-2021-02	KC 21 086	64	0,17	<0.0100	0,3	28,92	1,46	4,43

R-004174-2021-03	KC 21 087	9	<0.0200	<0.0100	<0.0100	4,59	<0.0100	0,0289
R-004174-2021-04	KC 21 088	9	<0.0200	<0.0100	0,0197	4,03	0,0161	0,039

Figure 37: Les résultats des analyses chimiques pour le sondage KAF33

8) Sondage KAF34 :

a) Données techniques du sondage :

- Sonde : Techsond
- Profondeur :86m
- Azimut :247°
- Pendage : 0°
- Coordonnées : X=231408,34 ; Y=141636,07 ; Z=16

b) Lithologie :

Parmi les faciès rencontrés, on a :

-Pélite noir : les pélites noires carbonatées (grâce à leur matrice riche en carbonates), ce faciès présente un aspect lité, avec un peu de chloritisation, avec sa couleur caractéristique qui indique sa richesse en matière organique avec des filonnets de quartz et carbonates, parallèles à la schistosité S1.

-Grés :avec des traces de pyrrhotite

-Tufs : très dominé, avec des veines de carbonates.

-La minéralisation : est rencontrée deux fois le long du sondage. Elle est massive à rubanée de temps à autre plissée, généralement pyritisée à trace de pyrrhotite, chalcopyrite, cristaux de pyrite cubique, à nodule de quartz et d'encastrement, chloritisé, coupé par des veinules à quartz et de carbonates parfois plissés.

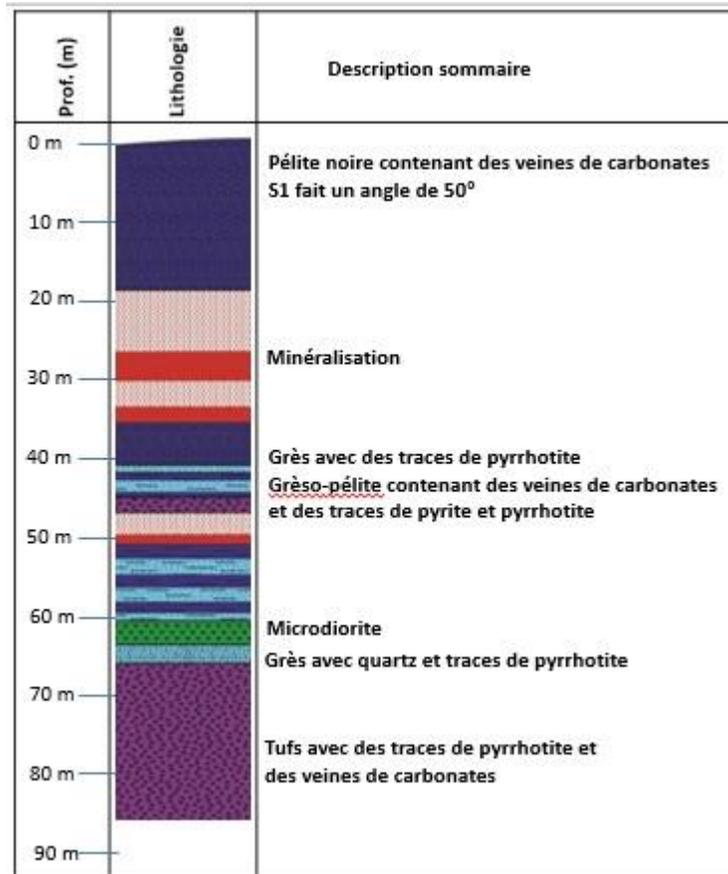


Figure 38: description sommaire du log lithostratigraphique du sondage KAF34

c) La coupe transversale :

Cette coupe (Fig.37) est orientée SW-NE, elle présente les faciès rencontrés au sondage KAF34. En effet la minéralisation est encaissée dans une formation volcano-sédimentaire, elle se caractérise par la présence de deux lentilles espacées allongées N-S, avec des puissances variables.

On note également que cette zone est affectée par un ensemble des failles à remplissage quartz, carbonates et sulfures, cependant la schistosité affecte à la fois les pélites carbonatées et les pélites gréseuses.

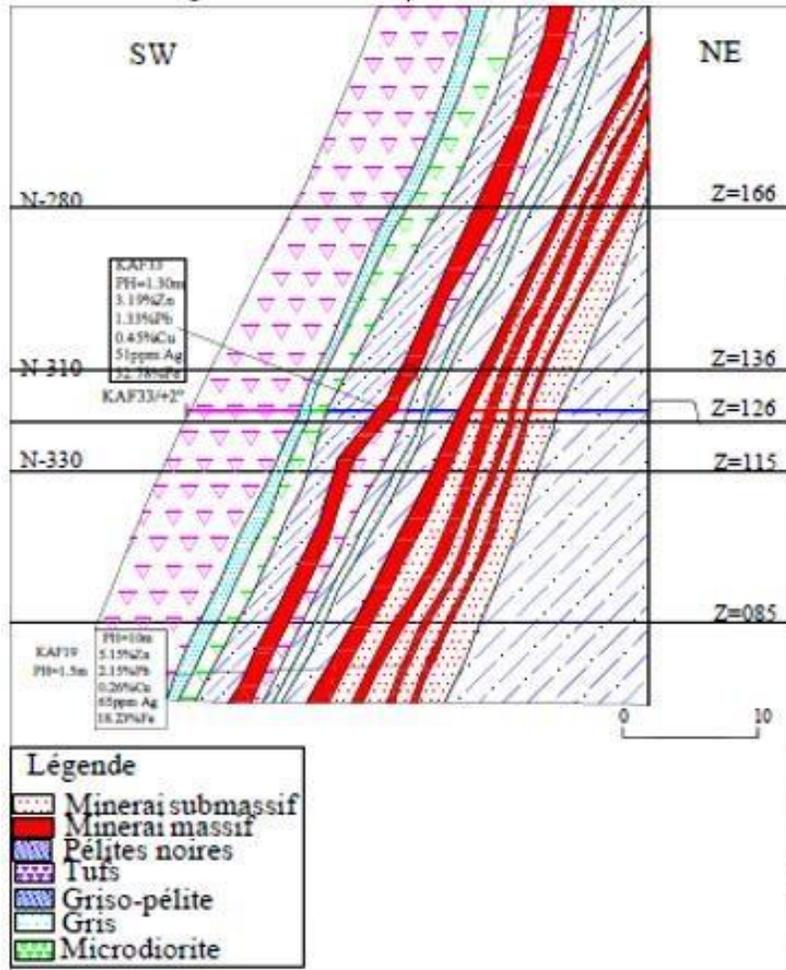


Figure 39: Coupe géologique du sondage KAF34

d) Résultats d'analyse :

D'après ces analyses réalisés nous observons que la teneur de l'Argent est fortement élevée et a atteint 345g/t cette teneur se concentre dans les pélites, alors que l'Arsenic avec <0.02% est la moins abondante.

Référence Labo	Désignation	R_AFP_AG	R_AFP_AS	R_AFP_CO	R_AFP_CU	R_AFP_FE	R_AFP_PB	R_AFP_ZN
	Mode opératoire	Ag (g/t)	As (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Zn (%)
R-005377-2021-01	KC21 089	9	0,0207	<0.0100	0,0423	4,42	0,0275	0,0777
R-005377-2021-02	KC21 090	345	0,29	<0.0100	0,22	23,06	7,48	9,68
R-005377-2021-03	KC21 091	5	<0.0200	<0.0100	0,0108	4,83	0,0135	0,0369
R-005377-2021-04	KC21 092	15	0,0203	<0.0100	0,12	6,51	0,12	0,23
R-005377-2021-05	KC21 093	9	0,0234	<0.0100	0,0684	6,31	0,0586	0,23
R-005377-2021-06	KC21 094	32	0,34	<0.0100	0,3	40,44	1,31	3,41
R-005377-2021-07	KC21 095	112	0,42	<0.0100	0,21	33,33	4,57	12,2
R-005377-2021-08	KC21 096	11	0,0355	<0.0100	0,0902	7,73	0,27	1,35
R-005377-2021-09	KC21 097	110	0,41	<0.0100	0,21	32,14	4,65	11,8
R-005377-2021-10	KC21 098	9	0,077	<0.0100	0,0869	7,71	0,24	0,72
R-005377-2021-11	KC21 099	44	0,31	<0.0100	0,67	39,51	0,74	10,99
R-005377-2021-12	KC21 100	102	0,38	<0.0100	0,34	41,09	4,73	9,51
R-005377-2021-13	KC21 101	40	0,24	<0.0100	0,28	11,79	2,03	7,1
R-005377-2021-14	KC21 102	6	0,0223	<0.0100	0,0601	6,23	0,0797	0,51
R-005377-2021-15	KC21 103	59	0,25	<0.0100	0,33	14,63	2,68	7,49
R-005377-2021-16	KC21 104	78	0,0945	<0.0100	0,44	13,91	3,98	4,41
R-005377-2021-17	KC21 105	77	0,0906	<0.0100	0,24	9,17	3,87	5,59
R-005377-2021-18	KC21 106	66	0,13	<0.0100	0,38	36,84	2,23	6,97
R-005377-2021-19	KC21 107	7	0,13	<0.0100	0,44	8,45	0,0481	0,53
R-005377-2021-20	KC21 108	54	0,1	<0.0100	0,6	46,03	0,98	4,36
R-005377-2021-21	KC21 109	47	0,0336	<0.0100	0,22	11,58	1,9	1,31
R-005377-2021-22	KC21 110	4	0,0414	0,0369	0,0519	4,07	0,0304	0,0824

R-005377-2021-23	KC21 110 BIS	4	0,0379	0,0376	0,0514	3,96	0,0335	0,0797
R-005377-2021-24	QC-DS-18	6	0,0707	0,0419	2,01	35,21	0,0204	0,032
R-005377-2021-25	BLANC	<3	<0.0200	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100

Tableau 6: Les résultats des analyses chimiques des éléments (Fe, Cu, Zn, Pb, As, Ag) pour le sondage KAF34

Conclusion

A la lumière de la description des cinq sondages (KAF30, KAF31, KAF32, KAF33 et KAF34); on remarque que la minéralisation est encaissée essentiellement dans les formations détritiques volcanosédimentaire.

La succession lithostratigraphique peut être résumée est comme suit :

- Formation de toit est principalement constituée par des métapélites.
- Formation de mur est constituée par des tufs chloritisés généralement faillés
- Formation intermédiaire formée par la minéralisation polymétallique

Les corrélations spatiotemporelles entre les différents sites montre que la minéralisation est sous forme de lentilles dans un encaissant volcano-sédimentaire.

A partir de ces observations et les échantillons prélevés, on peut déduire que ces sondages révèlent la présence d'une minéralisation massive, sub-massive, rubanées et disséminée.

- ✓ Minerai massif (Fig. 38 a) : c'est la minéralisation la plus importante du point de vue économique. Elle est présentée essentiellement par la pyrrhotite parfois faillée.
- ✓ La minéralisation sub-massive (Fig. 38 b) est également importante économiquement. Elle apparaît sous forme de bandes localement plissés. Elle est à dominance de pyrrhotite avec quelques taches de la chalcopryrite
- ✓ Minéralisation litée : Il s'agit d'une minéralisation pauvre économiquement, interstratifiée correspondant à l'alternance de fines couches polymétalliques avec des niveaux des métapélites.
- ✓ Minéralisation disséminée : Il s'agit d'une minéralisation d'intérêt économique mineur, elle se présente sous forme de taches millimétriques à centimétrique de sulfures étirés

suivant la schistosité (S1) ou aussi des cristaux de la pyrite secondaire et quelque trace de galène.

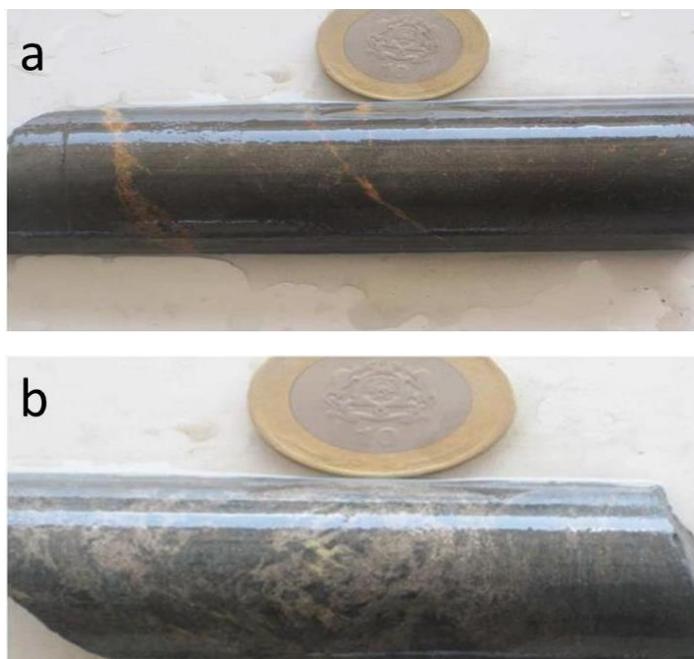


Figure 40: a) La minéralisation massive; b) La minéralisation sub-massive

Les altérations hydrothermales :

Dans le chapeau de fer de Koudiat Aicha l'encaissant et la minéralisation sont affectés par différentes altérations hydrothermales:

- La chloritisation (Fig.39a) : La chlorite est le minéral le plus abondant dans toute la série, au niveau du toit et le mur de la minéralisation, et il devient très intense en s'approchant de la lentille minéralisée. La gangue de la minéralisation est aussi très chloritisée.
- La silicification (Fig.39b) : La silicification marque toutes les phases de l'altération hydrothermale et se développe sur l'ensemble des faciès du mur et du toit de la minéralisation.

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

- La carbonatation : altération d'importance moindre par rapport aux précédentes. Elle se matérialise par des fissures à carbonates. Elle est principalement développée au niveau du toit de la minéralisation.
- La pyritisation : c'est la transformation du minerai en pyrite. Ce phénomène secondaire est lié à la circulation des solutions hydrothermales. Il débute par des nodules puis une croissance vers les périphériques pour obtenir une minéralisation totalement pyritisée. Cette altération est développée sur la pyrrhotite.

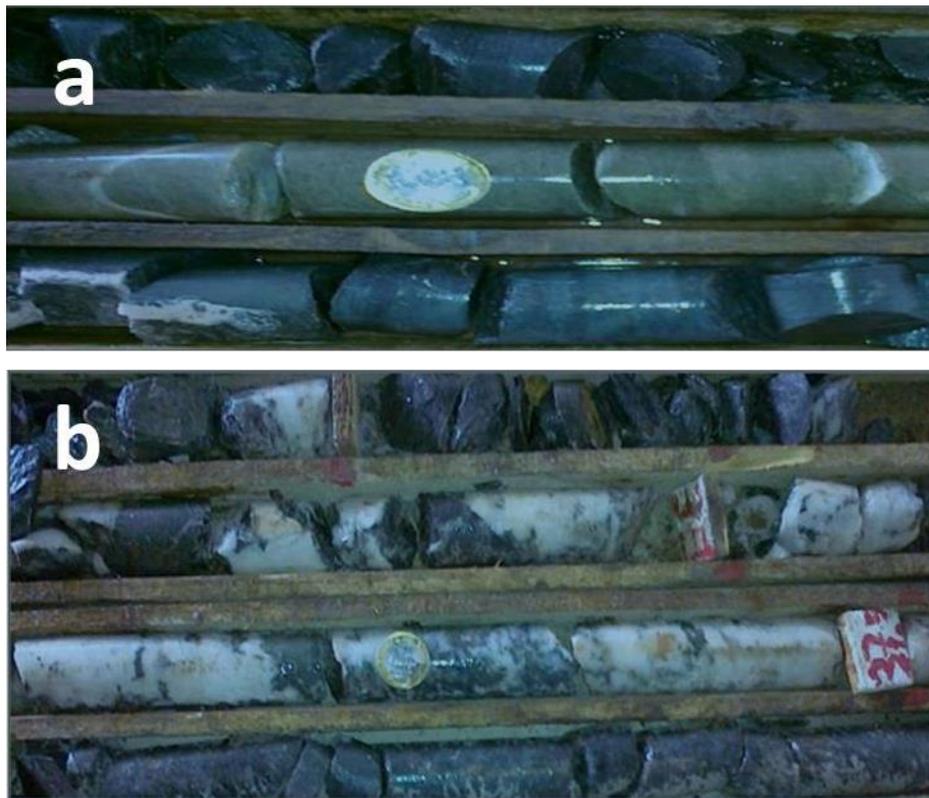


Figure 41: a) une faille à remplissage de chlorite, b) une faille a remplissage de quartz dans les pélites

II. Etude structurale

L'étude structurale détaillée nous a permis d'avoir une idée sur la tectonique de Koudiat Aicha. Cette partie portera sur une description des quatre phases de déformations tectoniques qui ont affectées le secteur de Koudiat Aicha (D0, D1, D2, la déformation cassante tardi-hercynienne) on

se basant sur l'analyse des microstructures (Ex. : schistosité) et sur les jeux des failles observées au niveau -330 m.

1. Levés structuraux réalisés

Un levé structural (Fig. 40) a été réalisé pour le niveau -330 m. Il montre la présence de la même succession lithostratigraphique décrite précédemment au niveau sondages (Cf. partie I). En effet, le mur montre la présence des tufs, le toit est formé principalement par les métapélites carbonatées et une formation intermédiaire formée par la minéralisation polymétallique. L'étude des différents éléments structuraux relevés sur le terrain ont été reportées par projection stéréographique sur des rosaces directionnelles.

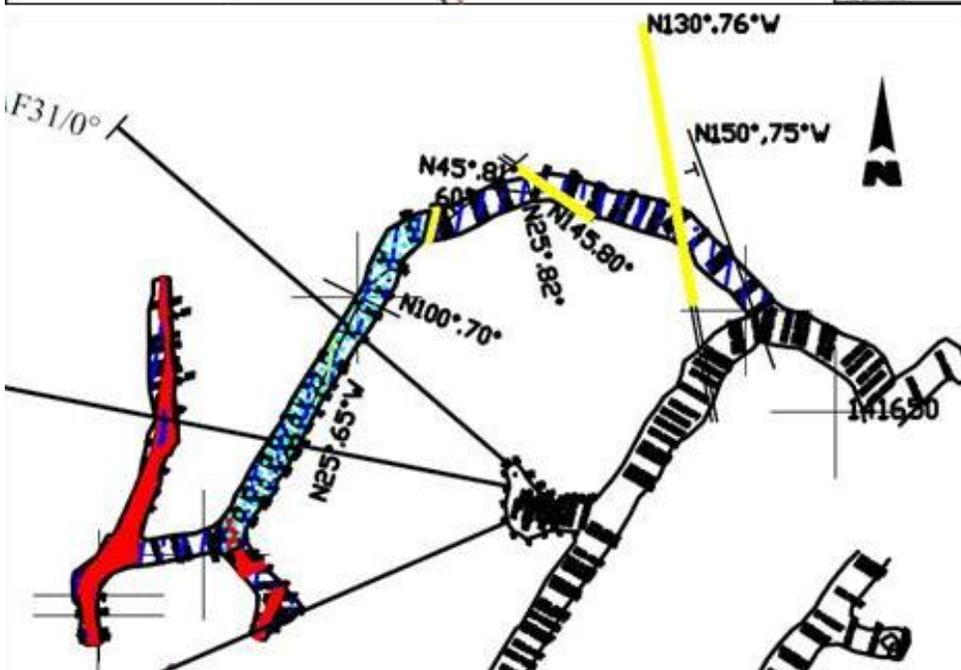
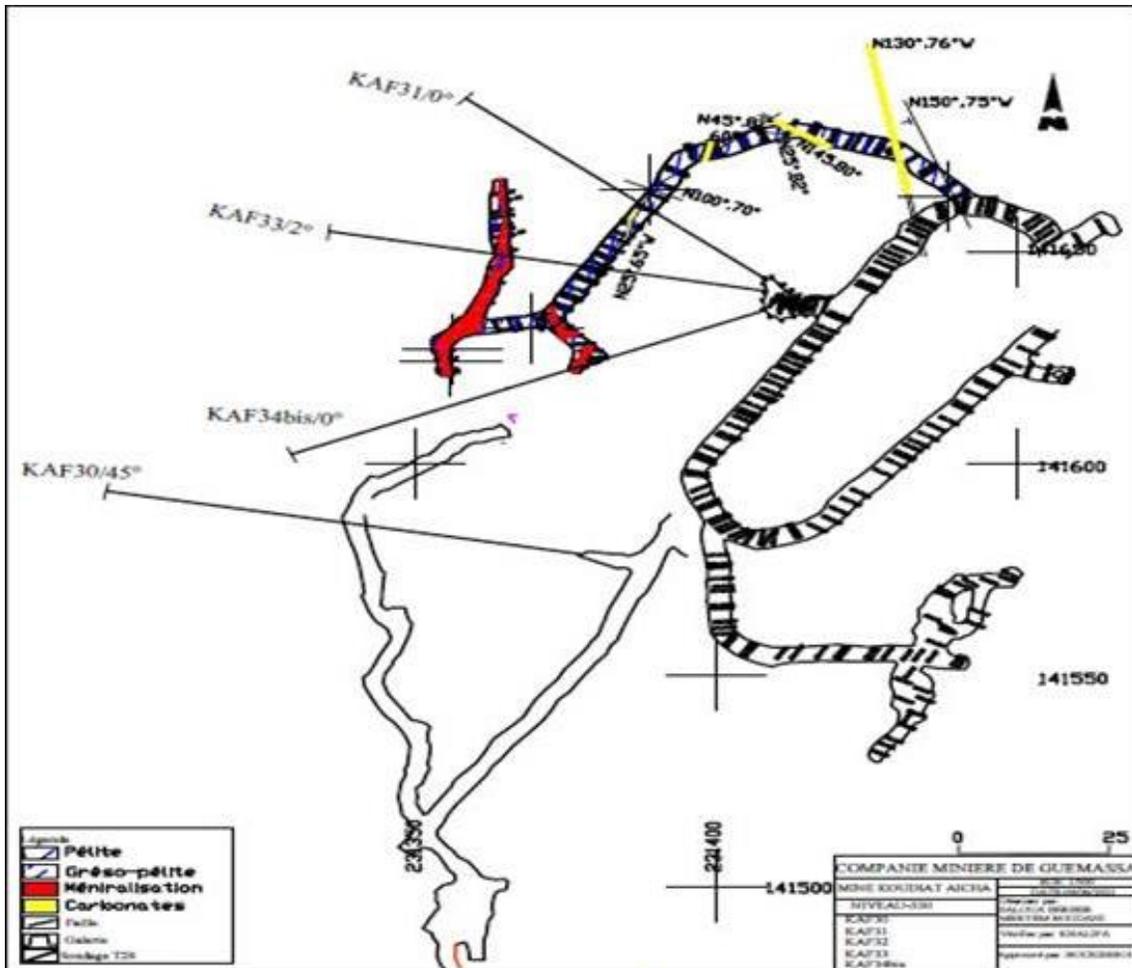


Figure 42: Levé structural

2. Interprétation

- La déformation synsédimentaire (D0)

Elle est caractérisée par une période de sédimentation, les structures liées à cette déformation synsédimentaire au secteur de Koudiat Aicha sont peu visibles ; Cet effet est expliqué par la transposition de la S0 par la S1.

Les structures reliées à la déformation synsédimentaire sont surtout visibles dans les Jebilet orientales où la déformation compressive est peu intense. Elles comprennent des failles synsédimentaires, des slumps, et des nappes gravitaires.

- La déformation synschisteuse hercynienne majeure D1 :

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

-La schistosité S1 (Fig.41a) : Elle est très visible au niveau des galeries souterraines de la mine et elle affecte toute la série de Koudiat Aicha surtout les formations pélitiques. Les mesures sur le terrain de cette schistosité (S1), donnent des directions variantes entre N135 et N145 avec un fort pendage (80à90) vers Ouest.

-Plissement P1(Fig.41b) : Dans Koudiat Aicha, on remarque la présence de plissement centimétrique, à décimétrique à axe orienté NW-SE.

-Boudinage : Du fait de leur rhéologie différente, les filons du carbonate et les bancs gréseux au sein des pélites montrent un boudinage et un aplatissement selon les plans de la schistosité S1. La direction des boudins suit souvent les plans S1.

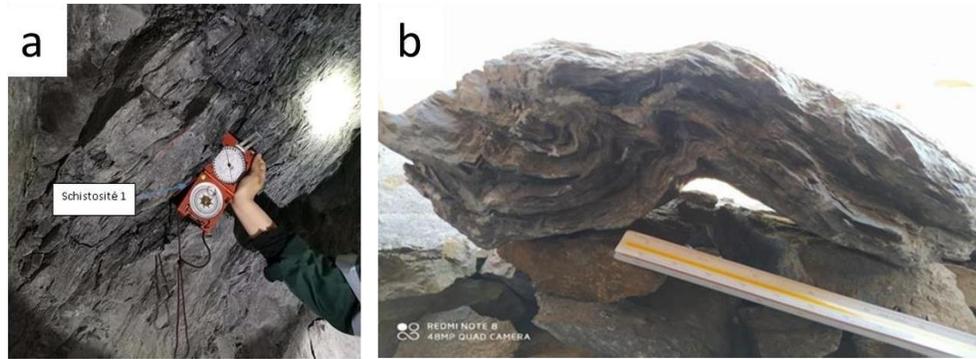


Figure 43: a) la schistosité S1, b) plis centimétriques à carbonates dans les pélites

- La déformation hercynienne tardive D2 :

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

- La schistosité S2

La série de Koudiat Aicha est affectée de l'Est à l'Ouest par une schistosité S2, perpendiculaire à la S1. Elle est d'Azimut variable, allant de N225 à N235 avec un pendage fort vers l'Est.



Figure 44: La schistosité S2

- Le plissement P2

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

- La déformation cassante tardi-hercynienne :

La formation cassante est présentée par les failles. Les mesures effectuées aux niveaux des galeries et la disposition cartographique des failles sur les plans structuraux permettent d'identifier un ensemble de familles de failles de pendage fort, direction différents, d'ouverture variable, et du remplissage différent (matériel broyé, quartz, chlorite, sulfures).

-Les failles (Fig. 43) : Ce sont des discontinuités d'ouverture et de remplissage différentes. Ce sont des failles d'orientation différente avec un pendage de 65 à 82. Le remplissage est différent selon le faciès intercepté, il est soit à carbonates, soit parfois à sulfures remobilisés.

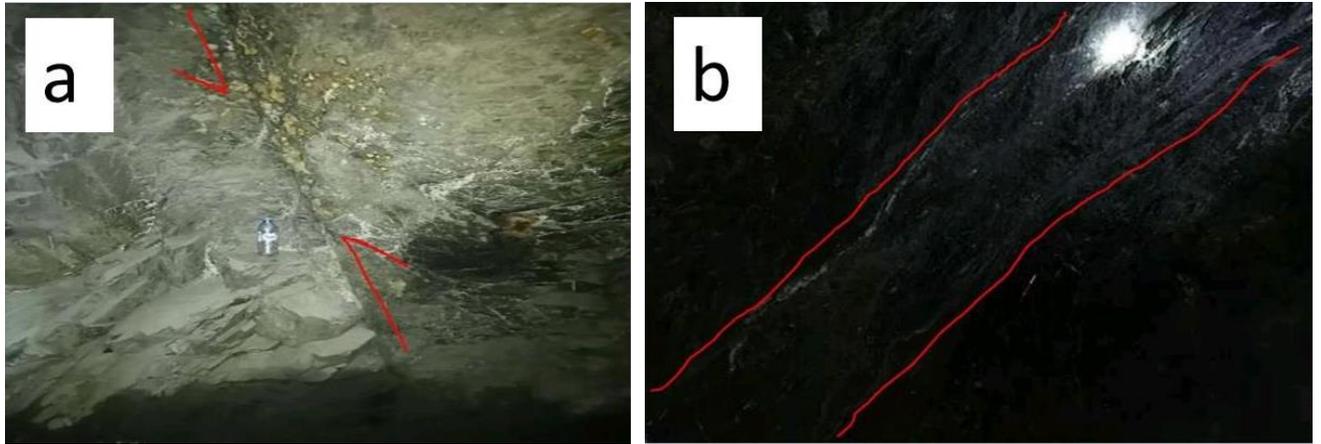


Figure 45: a) Faille senestre; b) Faille à remplissage de carbonates

Afin d'obtenir une idée sur la tectonique cassante dans notre zone d'étude, nous avons procédé à la projection des failles et de leurs classifications en utilisant les mesures prises sur le terrain. On utilise le logiciel DIPS qui a pour objectif la réalisation d'une projection stéréographique sur une rosace qui donne les familles de failles rencontrées. Le tableau suivant présente les mesures de pendage et de direction des failles traversant le niveau 330.T.L2

Les failles	Pendage	Direction
F1	75 vers Ouest	N150
F2	81 vers Ouest	N130
F3	80 vers Ouest	N145
F4	82 vers Ouest	N25
F5	81 vers Ouest	N145
F6	80 vers Est Nord Est	N145
F7	60 vers Nord Ouest	N45
F8	70 vers Nord Est	N100
F9	65 vers Ouest	N25

Figure 46: la direction et le pendage des failles/ niveau 330.T.L2

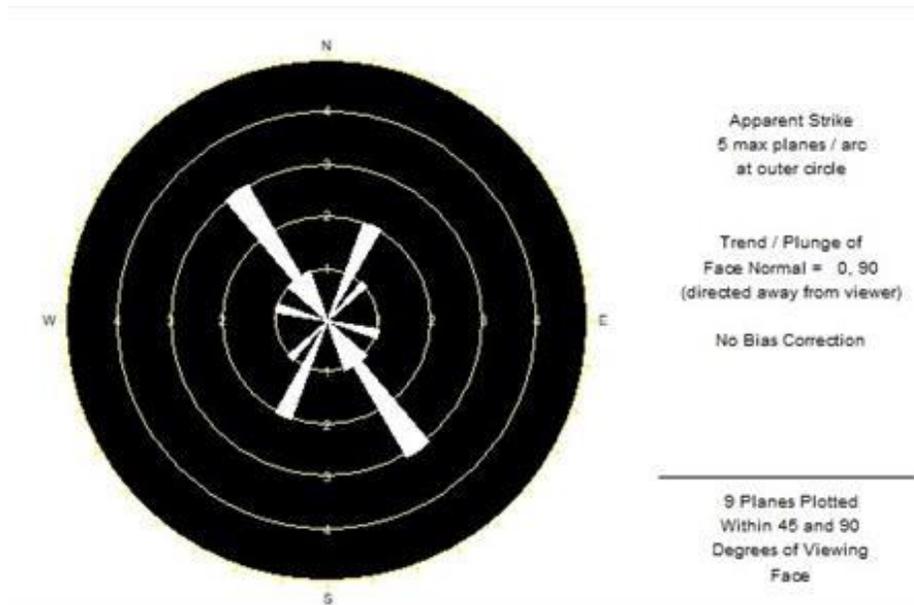


Figure 47: Rosaces directionnelles des failles du niveau 330.T.L2

D'après les rosaces les différentes failles montrent qu'il existe deux familles de failles très importantes dans notre point de vue structural d'où on distingue :

- Famille de direction NE-SW :

Cette famille regroupe l'ensemble des failles ayant une direction variable entre N25 et N45, cela nous conduit à conclure qu'elles sont liées à la phase tectonique hercynienne (Tuduri,2005).

- Famille NW-SE :

La famille NW-SE d'âge hercynien, Elle regroupe les failles dont les directions variantes entre N150 et N100. Ces failles ont un remplissage généralement à carbonates.

3. La relation entre les sondages effectués et le niveau 330 T.L2 :

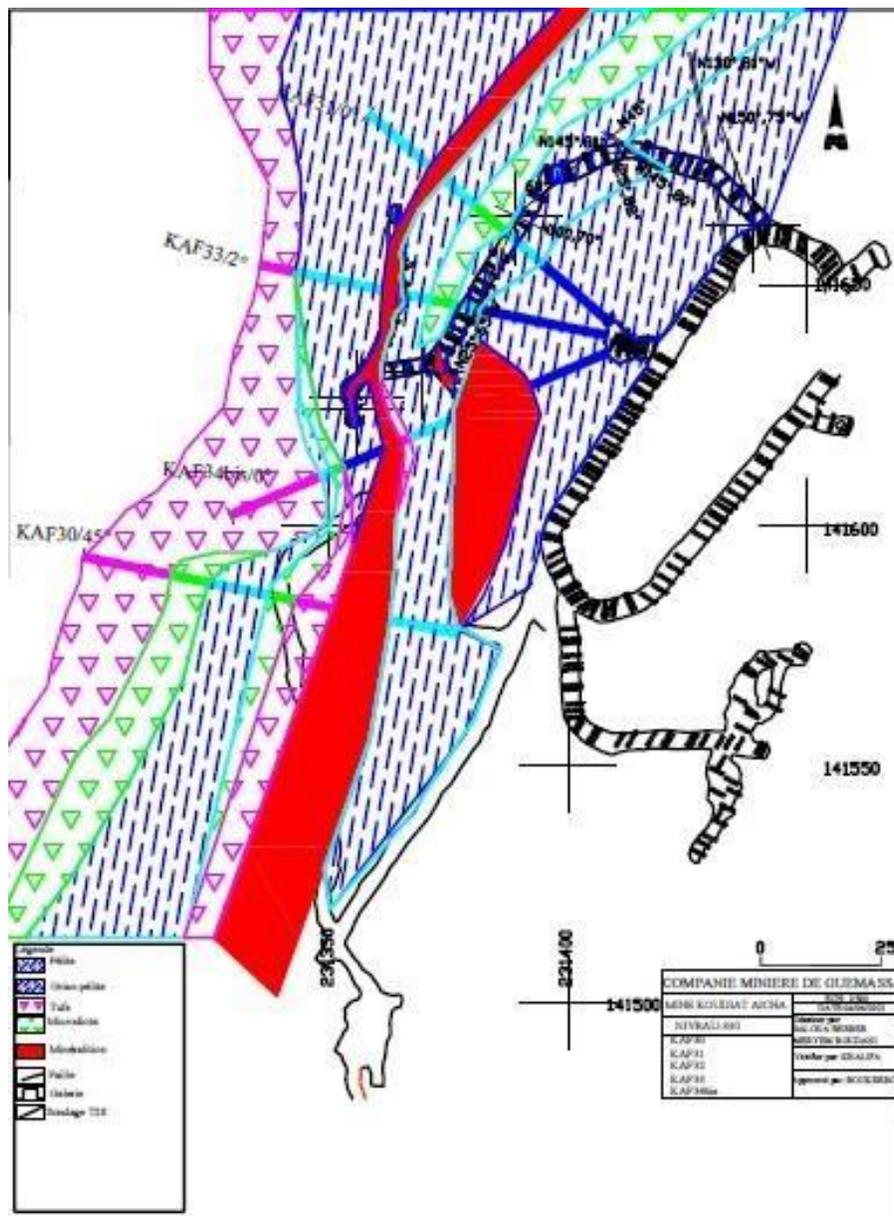


Figure 48: Coupe géologique des cinq sondages au niveau 330/T.L2

Conclusion :

La série de Koudiat Aicha a connu un ensemble de déformations, résumées en trois stades à intensités différentes. Le stade D1 compressive (La schistosité S1, le plissement et le boudinage), le stade D2 (la schistosité S2) et le stade D3 cassant (les failles). Cette succession de stades de déformation masquent les traces génétiques de la mise en place de la minéralisation. Toutes ces phases ont affecté la minéralisation, ce qui confirme l'antériorité de sa mise en place par rapport aux phases suscitées. La forme géométrique actuelle de la minéralisation de Koudiat Aicha est héritée de la morphologie initiale du bassin, et aussi par le résultat des phases de déformations successives. Cette reconstitution structurale est compatible avec celle proposée par Belkibir et al. (2007), et qui répond aux observations que nous avons répertoriées à travers les phases de déformation décrites.

Conclusion générale

La minéralisation polymétallique de Koudiat Aicha est composée d'une minéralisation de types VMS (Volcanogenic massive sulfides), à dominance de pyrrhotite à laquelle s'associent la chalcopirite, la pyrite et la galène.

La minéralisation se caractérise par une morphologie lenticulaire avec une orientation générale N-S. Cette minéralisation montre quatre types de textures : minerai massif, minéralisation sub-massive, minéralisation litée et minéralisation disséminée.

L'étude lithologique et pétrographique des sondages de la zone de cémentation et du fond, étudiés macroscopiquement montre globalement que la série de Koudiat Aicha est encaissée dans une série du toit constituée de métapélites à carbonates et une formation de mur, constituée d'une série volcanique et volcanosédimentaire, tufs et métapélites gréseuses. L'ensemble de ces faciès est recoupé par des veines et des filonnets à remplissage quartzeux et/ou carbonaté. On note aussi que l'encaissant est affecté par une altération hydrothermale associée au passage de fluides minéralisateurs ascendants. Cette dernière est représentée par : une chloritisation, une silicification, une carbonatation et une pyritisation.

Structuralement, le gisement est affecté par une déformation intense due aux phases tectoniques liées essentiellement à l'orogénèse hercynienne et qu'on peut résumer en deux types de structures ;

- Les structures ductiles dues à la phase compressive majeure D1, exprimées par des plis, des boudinages, des cisaillements et une schistosité S1 parallèle à S0.
- Les structures cassantes dues à la phase tardive D2, matérialisées par des failles, avec deux familles de directions différentes.

Cette succession de phases de déformation masque les traces génétiques de la mise en place de la minéralisation et contribue à la forme géométrique du corps minéralisé.

References bibliographiques

- A. ElHarti, "Modedegisement, étudestructuraleetcontextedemiseenplacedescorps magmatiques preorogéniquesdesJebiletcentrales.Surl'exempledesintrusionsdeKoudiat
- Kettara (Maroc Hercynien)," Thèse de 3ème cycle, Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia, Marrakech, Maroc, 1995.
- A.Essaifiet M.Hibti :Thehydrothermalsystem of CentralJebilet(Variscan Belt,Morocco):A genetic association between bimodalplutonism and massive sulphidedeposits. Journal of African Earth Sciences 50 (2008) 188–203
- A.J.Bernard,O.W.Maier,&A.Mellal,"Aperçusurlesamassulfurésmassifsdeshercynides marocaines," Mineralium Deposita 23, 104-114, 1988.
- A.Michard,"Eléments de géologiemarocaine," Notes et Mém. Serv. géol. Maroc, n° 252, 420 p., 1976.
- Aarab El M. (1984). mise en place du caractère cogénétique des roches magmatiques basiques etacidesdans lasérievolcanosédimentaire desaghlef (jebilet,marochercynien) thèse doctorat de 3 ème cycle, univ. nancy .
- Beauchamp J(1984) ,Lecarbonifère inférieurdes Jebiletetdel'Atlas de Marrakech(Maroc): migration et comblement d'un bassin marin. Bull Soc Geol Fr 7.
- Ben Aissi L. (2008). Contribution à l'étude gîtologique des amas sulfurés polymétalliques de Draa Sfar et deKoudiat Aïcha : comparaison avec les gisements de Ben Sliman et de Kettara (Jebilets centrales, Maroc hercynien). Thèse de doctorat, Uni Cadi Ayyad, Marrakech, 333 p.
- BenSalahM.K.(1989).Etudepétrographique,géochimiqueetstructuraledesmassifs granitiques deBamega-Tabouchent-BrarametOuledOuslam,Jebilet,Maroc.Thèsede3ème cycle, Uni Cadi Ayyad, Marrakech, 296 p.

-Bordonaro, J.L Gaillet & A. Michard," Le géosynclinal carbonifère sud-mésétien dans les Jebilet (Maroc) ; une corrélation avec la province pyriteuse du sud de l'Espagne," CR Acad Sci Paris 288-D, 1371-1374,1979.

-Chemsseddoha A. (1986). Cisaillement ductile et granite syntectoniques dans les Jebilet centrales: l'exemple du pluton hercynien (Massif des Jebilet, Meseta Sudmarocaine). Thèse 3ème cycle, Univ.Bordonaro

-Choubert, G et Marçais, J. (1956). Lesgrandstraitso de la géologiedu Maroc, in lexique stratigraphique du Maroc. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc. n° 134, Choubert, G. (1963).

-Histoiregéologiquedu Précambrien de l'Anti-Atlas. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc. N° 162,

-Document MANAGEM; Données géologiques des sondages et des travaux, miniers, KOUDIAT AÏCHA,2013.

-DocumentREMINEX;2009: Résultatsdestravauxdepréparationgéologique2007-2008: Secteur de KoudiatAïcha.

-Eddebbi A., Saquaque A., Kersit M., & Chbihi A. (1998). L'amas sulfuré de Hajar (Guemassa, Maroc).

-El Amrani El Hassani, I. (1994). Genèse et mise en place des granitoïdes peralumineux à biotite et cordiérite des Jebilet centrales (Maroc). Thèse d'Etat, Fac. Sci. Rabat, 219p.

-El Mouraouah R. (1992). Mise en évidence du caractère lamprophyrique des filons Tardihercyniens des Jebilet: Implication petrogénétique. Thèse de 3ème cycle, Marrakech, 104p.

-Essafi, A. (1995). Relations entre magmatisme, déformation et altération hydrothermale, l'exempledes Jebiletcentrales(hercynien, Maroc). Thésede Docteurd'Etat Es-Sciences, Université.Cadi Ayyad. Marrakech,

-Essaifi, A., Capdevila, A et Lagarde, J. L. (1995).nTransformation de leucogabbros en chloritoschistes sous l'effet de l'altération hydrothermale et de la déformation dans l'intrusion de Kettarabilet centrales). C. R. Accad. Sci. Paris.

- F. Kharbouch, "Les laves dévono-dinantiennes de la mesetamarocaine. Etude petrogéochimique et implication géodynamique," Thèse d'Etat, Uni. Bretagne, 1994. M.
- F. Lotfi, A. Belkadir; A.C. Brown, E. Marcoux, et S. Brunet, "Geology and mineralogy of the Hercynian Koudiat Aïch polymetallic (Zn, Pb, Cu) massive sulfide deposit, Central Jebilet, Morocco," *Exploration and Mining Geology*, 17, Nos. 3–4 : 45–162, 2008.
- Faouzi A. (1993) ;). Pétrologie des associations magmatiques bimodales pré-orogéniques des Jebilet: l'exemple des massifs de Koudiat Arhil et d'El Mna, (Maroc hercynien). Thèse de 3ème cycle, Marrakech, 134p.
- Fouad Lotfi et S. Burnet ; 2018 ; utilisation et apport de la géochimie des chapeaux de fer en prospection des amas sulfures: cas du gisement de Koudiat Aïch dans les Jebilet centrales
– Maroc, Exploration et Gestion des Ressources Naturelles et Environnementale, Université Ibn Zohr, Faculté Polydisciplinaire de Taroudant, Maroc Managen, Casablanca, Maroc.
- Franklin, J.M. (1993). Volcanic-associated massive sulphide deposits, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., and Duke, J.M., eds., *Mineral deposit modeling*, Geological Association of Canada Special Paper 40, p. 315-34.
- Gaillet, J. L and Bordonaro. M. (1981). Tectogénèse hercynienne dans le massif dinantien des Jebilet centrales (Maroc). *Sci. Géol. Bull. Strasbourg*. 34, p. 117-122.
- Galley, Alan G., M. D. Hannington, and I. R. Jonasson. (2007). Volcanogenic massive sulphide deposits". Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. 5: 141–161.
- H. Bamoumen, 1988 "Les déformations superposées contemporaines de la mise en place des nappes gravitaires des Jebilet orientales (Maroc)," Thèse de 3ème cycle, Marrakech, 189p.,.
- Hibti, M. (2001). Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilet (Meseta Sud-Occidentale, Maroc): Temoins de l'hydrothermalisme précède dans le bassin mesétien. Thèse de Doctorat d'Etat EsSciences. Univ. Marrakech, 301 p.

-Huvelin P.(1977). Etude géologique et gîtologique du massif Hercynien des Jebilet (Maroc Occidental). Note et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, N° 232 bis.

-Huvelin P. (1977). Etude géologique et gîtologique du massif Hercynien des Jebilet (Maroc Occidental). Note et Mém. Serv. Géol. Maroc, Rabat, N° 232 bis, 307 p.

-J. "Beauchamp, Le Carbonifère inférieur des Jebilet et de l'Atlas de Marrakech (Maroc) : Migration et comblement d'un bassin marin," Bulletin Société Géologique de France 7-XXVI- 6, 1025-1032, 1984.

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

-J.L. Lagarde et P. Choukroune, "Cisaillement ductile et granitoïdes syntectoniques: l'exemple du massif hercynien des Jebilet (Maroc)," Bulletin de la Société Géologique de France, XXIV 2, 1982.

-Jadid. M. (1989). Etude des processus de différenciation des roches magmatiques pré-orogéniques des Jebilet centrales sur l'exemple du massif stratiforme de Koudiat Kettara (Maroc hercynien). Thèse de 3ème cycle, Marrakech, 215p.

-Kharbouch, F. (1982). Pétrographie et géochimie des laves dinantiennes de la Mésète nord occidentale et orientale marocaine. Thèse de 3ème cycle. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg.

-Kharbouch, F. (1994). Les laves dévonien dinantiennes de la Mésète marocaine, étude pétro-géochimique et implications géodynamiques. Thèse de doctorat. Univ. Brest.

-Lagarde J.L. (1987). Les plutons granitiques hercyniens marqueurs de la déformation crustale: l'exemple de la Mésète marocaine. Thèse de doctorat. Université Rennes, 381p.

-Lotfi F. (2009): contexte géologique et minéralisation sulfures massifs (Zn, Pb, Cu) du gisement hercynien de Koudiat Aïcha, Jebilet centrales, Maroc. Thèse Université Cadi Ayyad Faculté des Sciences Semlalia – Marrakech.

-M., Gaillet J.L., & Michard A. (1979). Le géosynclinal carbonifère sud-mésétien dans les Jebilet (Maroc) ; une corrélation avec la province pyriteuse du sud de l'Espagne. CR Acad Sci Paris 288-D, 1371-1374.