

UNIVERSITE CADI AYYAD

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES GUELIZ MARRAKECH

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Laboratoire GEORESSOURCES - Unité associée au CNRST (URAC 42)

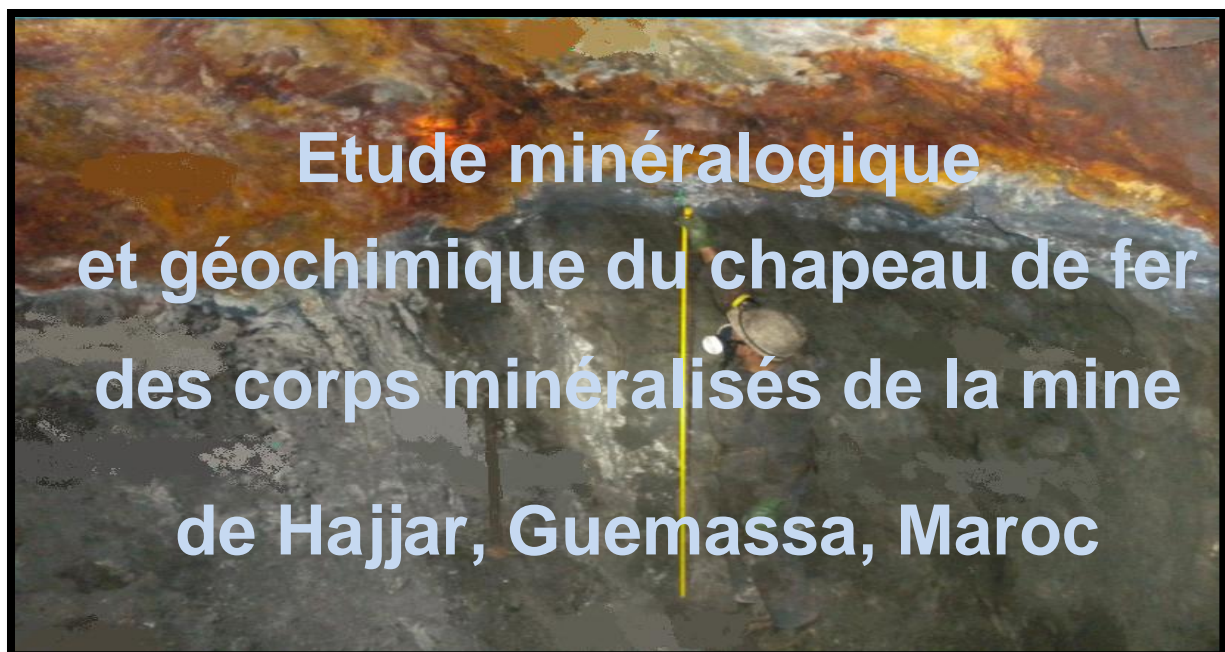
PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention de la

Licence Es-Sciences et Techniques

Géologie Appliquée aux Ressources Minières

« LST-GARM »



Réalisé par :

Mlle. JAMILI Afra

Mlle. OULEDSABER Hasna

Encadré par :

Mr. HIBTI M. (FST)

Mme. ESSARRAJ S. (FST)

Mr. KHALIFA A. (CMG)

Soutenu le Jeudi 28 Juin 2012 devant:

Mme. ESSARRAJ S. (FST)

Mme. REDDAD A. (FST)

Mr. HIBTI M. (FST)

Mr. KHALIFA A. (CMG)

Remerciement

On ne saurait commencer ce rapport sans remercier ALLAH le tout puissant, le tout miséricordieux, qui nous a donné Grâce et bénédiction pour mener à terme ce projet.

Il nous est agréable de nous acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes, dont l'intervention au cours de ce projet, a favorisé son aboutissement.

Nous ne saurions jamais comment exprimer notre profonde gratitude à

Mr Hibti A., Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, qui a accepté notre encadrement. Nous lui sommes très reconnaissantes d'être toujours rendu disponible malgré ses préoccupations, nous le remercions pour son dévouement, ses conseils judicieux, ses directives pertinentes ...qu'il trouve ici le témoignage de notre profond respect.

Nous tenons également à exprimer notre respect et remerciement à notre encadrant **Mme Essarraj S.**, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, qui n'a épargné aucun moyen pour nous aider et nous soutenir, et aussi pour nous avoir prodigué les remarques nécessaires ainsi que les conseils appréciables qui nous ont été d'un appui considérable dans notre projet.

Notre gratitude est ainsi allouée à notre encadrant à la Compagnie Minière de Guemassa, **Mr Khalifa A.**, cadre géologue, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'il nous a fait vivre durant notre période de stage.

Mr. Outhounjite M., chef du Service Géologie à la Compagnie Minière de Guemassa, merci infiniment pour votre accueil et pour la confiance que vous nous avez accordé dès notre arrivé au service.

Nous témoignons notre remerciement à tous l'ensemble du personnel du Service Géologie à la Compagnie Minière de Guemassa, pour leur accueil sympathique ainsi que leur coopération professionnelle tout au long de ce stage.

Nous présentons aussi nos remerciements à tous les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger ce modeste travail.

On ne saurait oublier de remercier toute l'équipe pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech et les intervenants professionnels responsables de la formation Géologie Appliquée aux Ressources Minières, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Que tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, trouvent ici l'expression de nos sentiments les plus distingués.

Table des matières :

Liste des figures5

Liste des photos et des planches6

Chapitre 1: Présentation générale

1. Objet et méthodologie.....8

2. Organisme d'accueil.....9

3. Aperçut historique du gisement de Hajjar.....10

4. Présentation du gisement polymétallique de Hajjar.....10

5. Situation géographique.....11

6. Cadre géologique.....12

6.a. Cadre géologique régional.....12

6.b. Cadre géologique local.....13

7. Lithostratigraphie16

8. Structuration générale.....18

9. Métamorphisme.....19

10. Mode de mise en place.....19

11. Présentation du chapeau de fer.....25

11.a. Généralités sur les chapeaux de fer.....25

11.b. Le chapeau de fer de Hajjar.....27

Chapitre 2: Etude lithologique

1. Introduction.....	29
2. Etude lithologique.....	30
2.a. Interprétation des coupes synthétiques.....	31
2.b. Log synthétique.....	37

Chapitre 3: Etude métallographique

1. Introduction.....	40
2. Etude macroscopique.....	40
3. Etude microscopique.....	43

Chapitre 4: Etude géochimique

1. Introduction.....	47
2. Résultats et interprétations.....	48
Conclusion.....	55
Liste des références.....	56

Liste des figures :

Chapitre 1: Présentation générale

Figure 1 : Morphologie du gisement de HAJJAR (document interne CMG)

Figure 2: Carte de localisation géographique de la mine de Hajjar (document interne)

Figure 3 : Carte géologique du nord du Maroc (Piqué et Michard ,1989)

Figure4 : Esquisse géologique du massif paléozoïque des Guemmassa. Localisation du Douar Lahjar à l'extrémité orientale du massif (Maïer et al, 1986).

Figure 5: Log synthétique du gisement Hajjar (document interne CMG)

Figure 6 : Modèle montrant les étapes (1 à 4) d'évolution dynamique de la mise en place des volcanites et de la minéralisation sulfurée de Douar Lahjar (Haïmeur,

Figure 7: Stade 1 dans la genèse des amas sulfurés des Jbilet et Guemmassa (Hibti, 2001).

Figure 8 : Stade 2 dans l'évolution des amas des Jbilet (Hibti, 2001)

Chapitre 2: Etude lithologique

Figure9 : Plan de situation des différents sondages (document interne CMG)

Figure10 : Plan de localisation des différentes coupes réalisées (AB, AC, DB et ED).

Figure11 : Coupe synthétique AB passant par les sondages HS 109, HS 133

Figure 12 : Coupe synthétique AC passant par les sondages HS109, HS135 et HS132.

Figure 13 : Coupe synthétique DB traversant les sondages HS123, HS141, HS142 et HS130.

Figure14: coupe synthétique ED traversant les sondages HS133, HS137, HS114 et HS123.

Figure15: coupe d'évolution des faciès dans le fond (document interne CMG).

Figure 16 : Log synthétique des différents sondages.

Chapitre 4: Etude géochimique

Figure 17 : Diagramme de la variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS130.

Figure 18 : Diagramme de la variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS132.

Figure 19 : Diagramme de la variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS133.

Figure 20: Diagramme de la variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS135.

Figure 21 : Diagramme de la variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS123.

Figure 22 : Diagramme de la variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS109.

Liste des photos et planches :

Chapitre 1: Présentation générale

Photo 1 : Le contact entre le chapeau de fer et la zone minéralisée (document interne CMG).

Chapitre 3: Etude métallographique

Planche1 : Etude macroscopique : -Photo 1 : Pérites gréseuses, Photo 2 : Minerai pyriteux, Photo 3 : Minerai cuprifère, Photo 4 : Minerai plombo-cuprifère et Photo 5, 6 et 7 : Chapeau de fer.

Planche1 : Etude microscopique : -Photo 1 : Pérites gréseuses, Photo 2 : Minerai pyriteux, Photo 3 : Minerai cuprifère, Photo 4 : Minerai plombo-cuprifère et Photo 5, 6 et 7 : Chapeau de fer.

Chapitre 1:

Présentation générale

1. Objectif et méthodologie

Le présent travail nous a été proposé par la Compagnie Minière des Guemassa, dans l'objectif de valoriser et de caractériser le chapeau de fer des corps minéralisés de la mine de Hajjar. Zone récemment sujette de l'intérêt du groupe minier, vu qu'elle présente certains caractères qui peuvent servir comme guide d'exploration pour d'autres lentilles annexes associées aux corps déjà connus dans le gisement de Hajjar, ainsi que sa richesse très prononcée en métaux principalement le Cuivre et l'Argent.

Pour ceci, nous étions amenées à faire une étude lithologique et minéralogique pour établir l'évolution latérale et verticale des différentes zones minéralisées. Ensuite, nous avons entrepris une étude géochimique afin de vérifier et de confirmer les observations macroscopiques et microscopiques.

Afin d'atteindre les objectifs susdits, nous avons effectué un ensemble de travaux sur le terrain et au laboratoire :

- Sur le terrain, une grande partie du travail s'est déroulée à la cartothèque de la CMG (étude des sondages). En effet, six sondages carottés ont été levés. Un échantillonnage systématique a été réalisé afin de définir la nature des faciès composant le chapeau de fer ainsi que le degré d'altération supergène caractérisant cette zone. Nous avons aussi effectué une visite au fond au niveau 630 afin d'observer la zone chapeau de fer.
- Au laboratoire, le travail a consisté en une étude pétrographique, métallographique et géochimique, ainsi que l'interprétation des différentes données recueillies sur le terrain.

2. Organisme d'accueil :

Le présent travail nous a été proposé par la Compagnie Minière des Guemassa du Groupe Managem ONA, qui est un acteur principal du secteur minier marocain. ONA est aujourd'hui un opérateur de dimension internationale à travers son holding minier Managem.

Créé en 1996, Managem 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 Hamman).

3. Aperçut historique du gisement de Hajjar :

Le gisement de Hajjar a été découvert en 1984, dans le cadre d'un programme de recherche d'amas sulfurés dans les Jebilet et les Guemassa, mené depuis 1982 par la Direction de la Géologie en collaboration avec le BRGM et le BRPM (Felenc et al., 1985).

La découverte de ce gisement a pour origine une anomalie aéromagnétique décelée par la campagne GEOTEREX en 1968. Suite au contrôle au sol de cette anomalie par magnétisme, gravimétrie et méthodes électriques, un sondage (HS1) a été implanté et a permis de traverser la structure minéralisée sur plus de 200m dont 120m de sulfures massifs.

D'autres sondages (28 au total) ainsi que des travaux miniers furent exécutés par le BRPM et ont permis l'évaluation de plus de 15 millions de tonnes à 10% Zn, 3% Pb, 1% Cu, 30% S, 75g/t Ag (quelle année).

En Février 1988, la CMG (Compagnie Minière des Guemassa), qui exploite actuellement le gisement, a été créée par l'ONA et le BRPM et a repris les travaux miniers et les sondages de reconnaissance (Hmeurras 1997).

4. Présentation du gisement polymétallique de Hajjar :

Le gisement polymétallique à Pb-Zn-Cu de Hajjar (Douar Lahjar) est le premier de type sulfures massifs volcanogènes (VMS) au Maroc. Il est classé parmi les 10 premiers gisements de Zn au monde. Il forme une masse économique de 16 M/t à 8% de Zn, 2 à 3% de Pb, 0,4 à 0.6% de Cu et 60 g/t Ag (Hibti, 2001).

C'est un amas sulfuré à pyrrhotite-sphalérite encaissé dans une série volcano-sédimentaire viséenne épimétamorphique. Cet amas est caractérisé par une paragenèse sulfurée assez particulière par sa composition à pyrrhotite dominante ($\approx 75\%$) et sphalérite avec chalcopryrite et galène subordonnées.

L'amas sulfuré est subdivisé en trois corps minéralisés (Fig. 1): le corps principal (CP), le corps Ouest descendierie (CWD) et le corps Nord-Est (CNE).

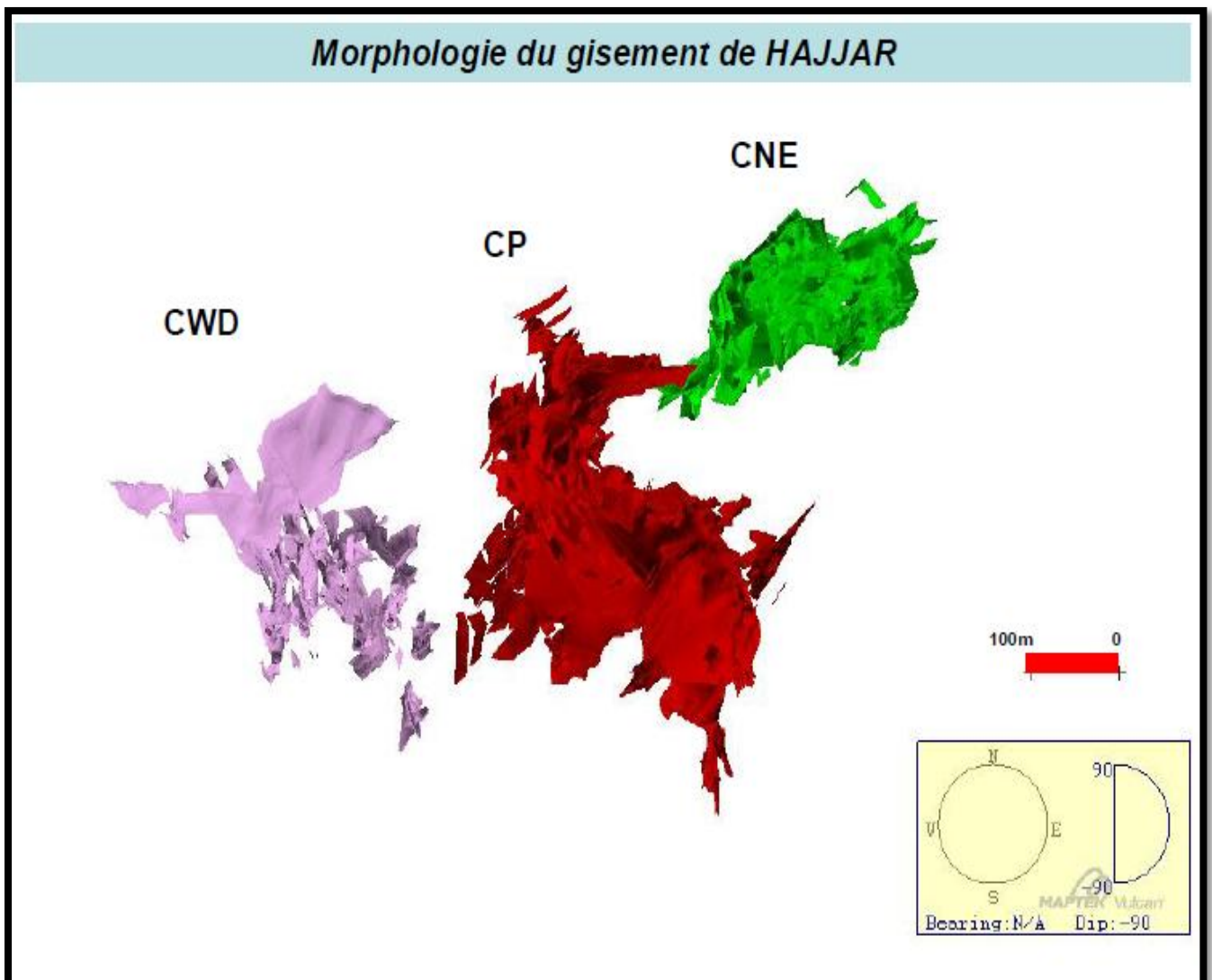


Figure 1 : Morphologie du gisement de HAJJAR (document interne CMG)

5. Situation géographique:

Le gisement polymétallique de Hajjar se situe à environ 35 Km au sud ouest de Marrakech. Il appartient au massif des Guemassa plus précisément à sa partie orientale. Il est accessible via la route secondaire S507 reliant Marrakech à Amezmiz (Fig. 2). Ce gisement se trouve dans une région composée d'un ensemble de petites collines d'altitudes modérées variant de 600 à 800m environ et caractérisé par un climat chaud et aride.

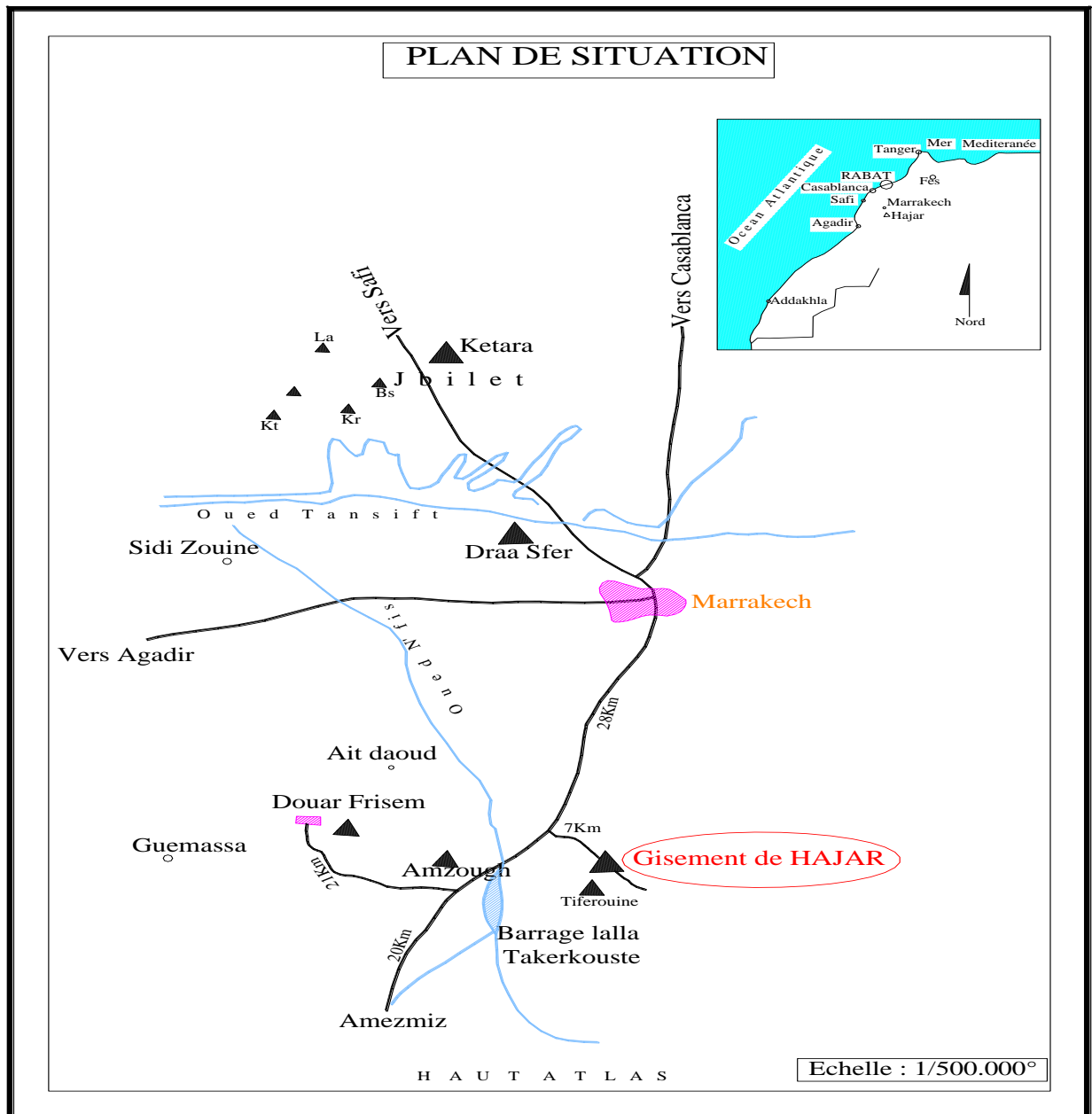


Figure 2: Carte de localisation géographique de la mine de Hajjar (document interne CMG)

6. Cadre géologique :

6. a. Cadre régional :

Géologiquement, on distingue cinq grands domaines structuraux au Maroc (Piqué et Michard, 1989) : (Fig. 3)

- Domaine Saharien : formé par des terrains d'âge protérozoïque inférieur, intensément déformés et métamorphisés durant l'orogénèse éburnéenne (2000 Ma). Ces séries protérozoïques sont couvertes au nord par les roches paléozoïques non déformées du bassin de Tindouf.
- Domaine Anti-Atlasique : constitué d'un socle structuré par l'orogénèse panafricaine (680 et 570 Ma) (Leblanc et Lancelot, 1980). Sa couverture protérozoïque terminale et paléozoïque est affectée par une déformation hercynienne relativement modérée.
- Domaine Mesetien : ce domaine de la chaîne hercynienne est représenté par des massifs paléozoïques qui émergent au sein de la couverture tabulaire d'âge mésozoïque et cénozoïque non déformée (Gentil, 1918). Il est divisé en deux parties : la meseta occidentale et la meseta orientale.
- Domaine Atlasique : dont le Haut Atlas, qui sépare le Maroc en deux : au nord le domaine des Mesetas et au sud, l'Anti-Atlas et le domaine saharien. Le moyen atlas, une autre barrière qui divise les mesetas en meseta occidentale et orientale. Les terrains permo-mésozoïques et cénozoïques sont structurés durant l'orogénèse atlasique.
- Domaine Rifain : constitué de nappes allochtones liées à l'orogénèse alpine chevauchant le domaine mesetien.

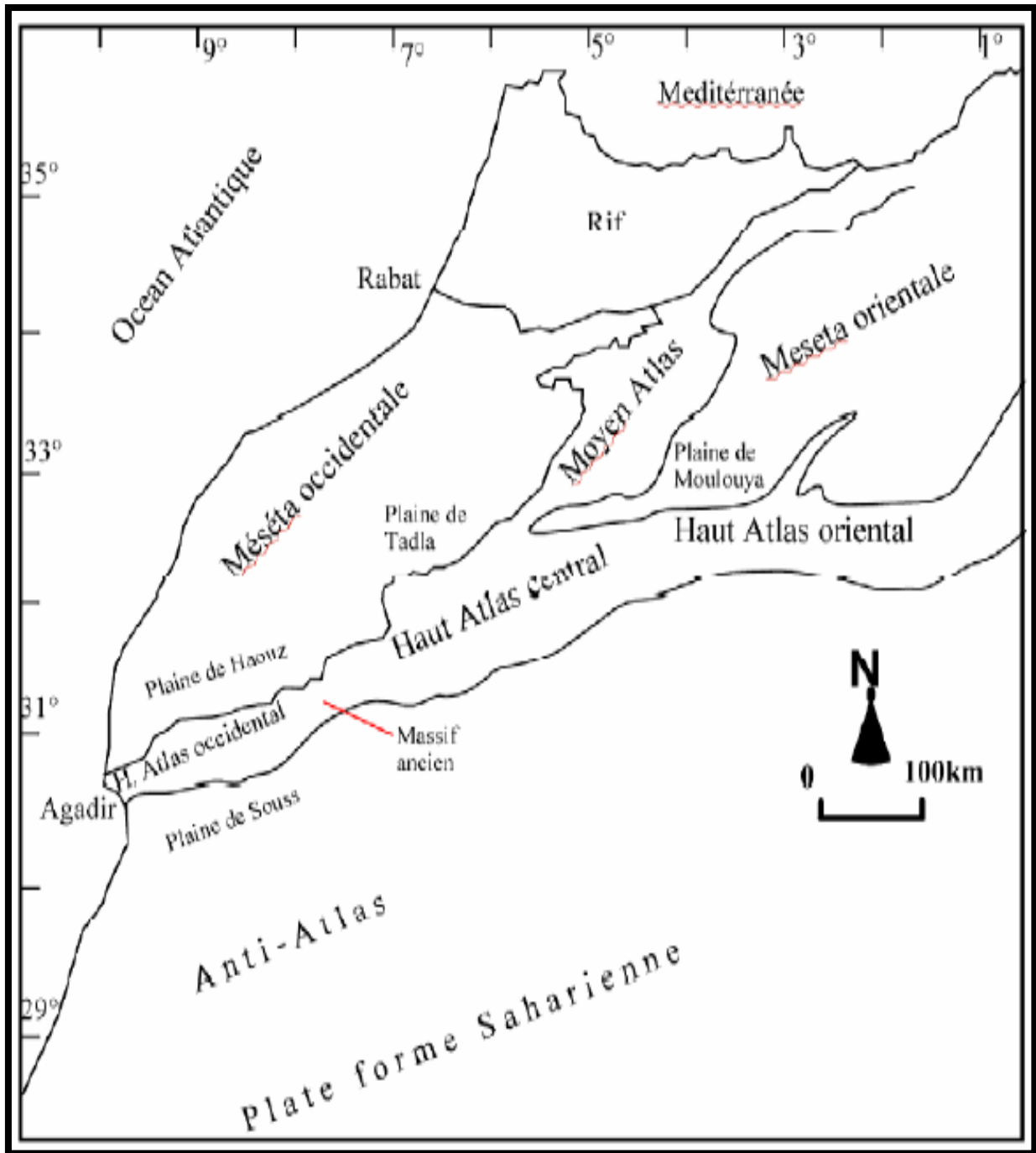


Figure 3 : Carte géologique du nord du Maroc (Piqué et Michard ,1989)

6. b. Cadre géologique local :

De point de vue géologique, le gisement de Hajjar appartient au massif hercynien des Guemassa. Ce dernier est composé d'un ensemble de blocs tectoniques qui percent la couverture mio-pliocène et forment un jalon entre les grands massifs mésétiens au nord et ceux du Haut-Atlas au sud. Il est constitué de terrains sédimentaires et volcano-sédimentaires d'âge viséen supérieur–namurien (Roch, 1950). Deux domaines y sont distingués (Maïer et al, 1986), (Fig.4) :

★ Le domaine des Guemassa (s.s) ou Guemassa occidentales : qui comporte une série schisteuse de type flysch caractérisée par des intercalations de roches acides sous forme de lames et/ou sills (volcanisme effusif et fissural), rarement sous forme de tufs et tuffites acides ((Maïer et al, 1986); Gros et al., 1986).

★ Le domaine de N'fis ou Guemassa orientales : où s'inscrit l'amas sulfuré de Douar Lahjar, qui est constitué d'une série tuffitique mise en place par écoulement turbiditique au pied d'un talus; le volcanisme s'y présente sous la forme de roches d'épanchements acides (laves, dômes et "débrisflows"), mises en place dans des sédiments plus ou moins lithifiés (Gros et al., 1986).

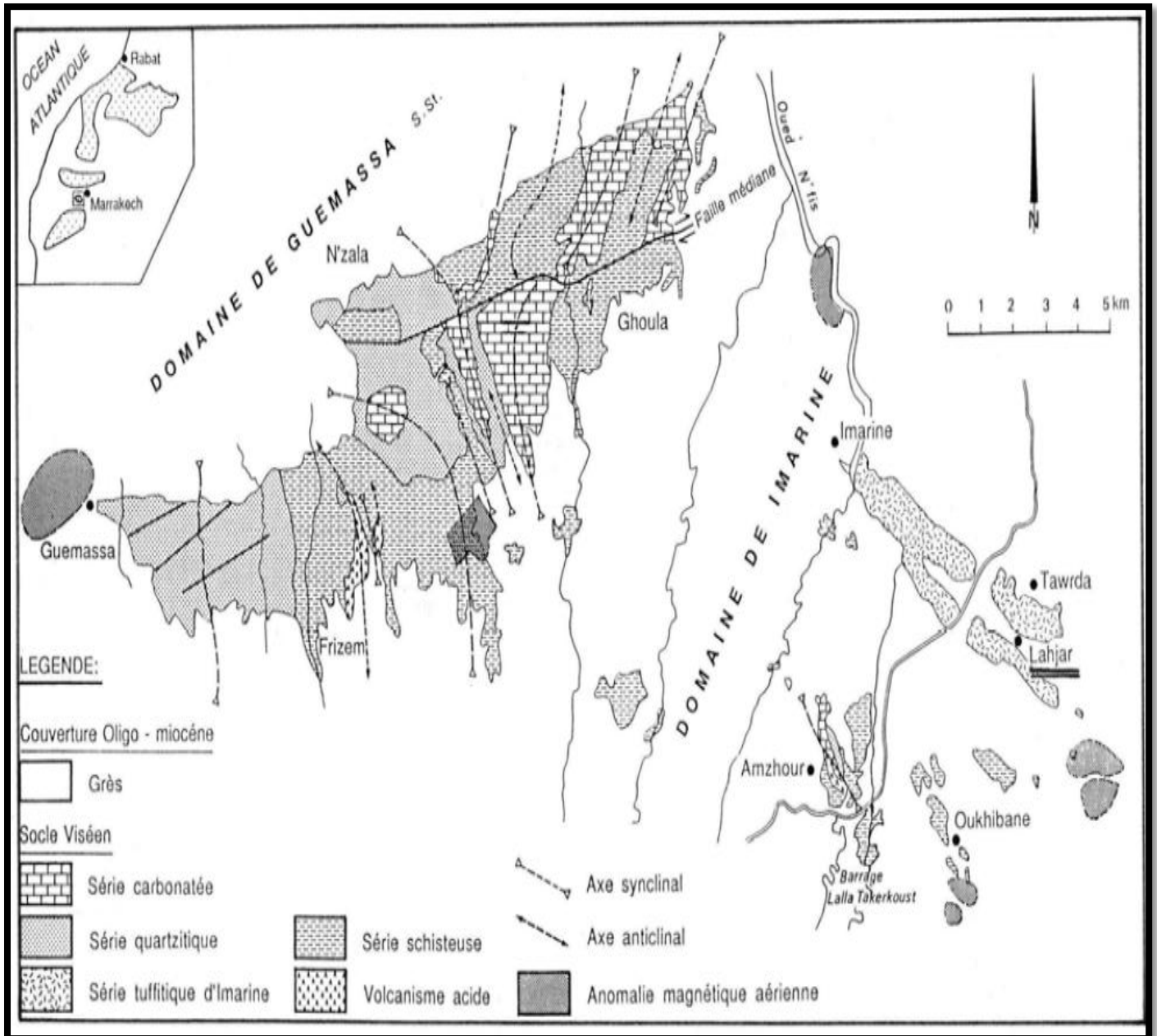


Figure 4 : Esquisse géologique du massif paléozoïque des Guemmassa. Localisation du Douar Lahjar à l'extrémité orientale du massif (Maïer et al, 1986).

7. Lithostratigraphie :

Le log stratigraphique de la mine de Hajjar (Fig.5) montre une disposition verticale de deux grandes unités encadrant l'amas sulfuré volcanogène de Hajjar.

L'unité basale ou mur de la minéralisation, correspond à une unité volcano-sédimentaire composée essentiellement de coulées pyroclastiques et de laves.

L'unité sommitale, qui représente le toit de l'amas sulfuré, est principalement sédimentaire avec des intercalations volcano-clastiques. La partie inférieure de cette unité est pélitique avec des passages carbonatés.

L'amas sulfuré et les sédiments exhalatifs associés correspondent à l'unité médiane dans laquelle on trouve des lambeaux d'encastement sédimentaire de dimensions variables. La minéralisation repose sur une zone béchique (50 à 80m) constituant le stockwerk.

Latéralement et dans la partie sous-jacente de l'amas minéralisé apparaissent les sédiments exhalatifs (Fig.5), (chlorite, biotite et grenat), (Hibti, 1993, 2001).

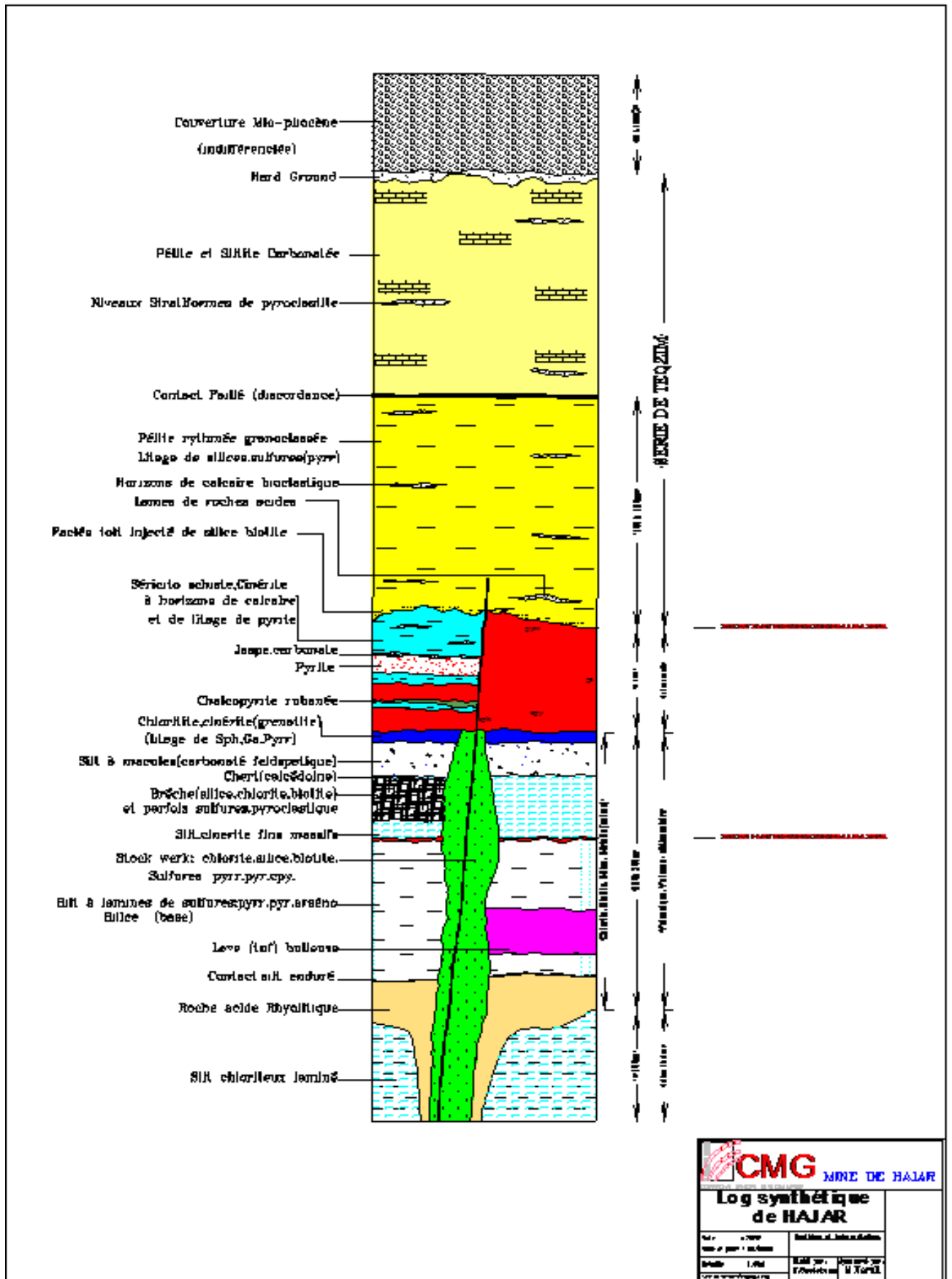


Figure 5: Log synthétique du gisement Hajjar (document interne CMG)

8. Structuration générale :

L'étude structurale du massif des Guemassa a montré une superposition de plusieurs phases de déformation qui ont joué un rôle majeur dans la configuration actuelle de l'amas sulfuré. Trois phases peuvent être distinguées (Hibti 1993, 2001):

- Une première phase antéschisteuse D0 qui se matérialise par la présence de failles normales de direction subméridienne (NS à NE-SW). Les slumps et les flexures donnent à cette phase un caractère synsédimentaire.
- Une phase majeure D1 responsable de la structuration principale de l'amas sulfuré et générant des plis P1 localisés surtout dans la série basale. Elle affecte aussi bien le niveau minéralisé que l'encaissant sédimentaire et développe une schistosité de flux S1 de direction sub-méridienne soulignée par l'étirement des sulfures au niveau du minerai et au niveau de l'encaissant.
- Une phase synschisteuse D2 plicative et cassante caractérisée par des plissements P2 de direction NE-SW affectant la schistosité S1. Ce sont des plis isoclinaux qui engagent à la fois le minerai et l'encaissant. Cette phase D2 développe une schistosité de fracture S2 de direction moyenne NE-SW avec un fort pendage vers l'ouest, matérialisée par la réorientation des sulfures étirés lors de la phase D1.

9. Métamorphisme :

Le domaine des Guemassa a connu un métamorphisme général de type épizonal (Haimeur, 1988 ; Soulaïmani, 1991 ; Hibti, 1993), dont la paragenèse est essentiellement à quartz-chlorite-albite-muscovite. L'existence d'un métamorphisme de contact est probable parce qu'on note un développement de la biotite au dépens de la chlorite précoce ainsi que la présence de commungtonite (HIBTI, 2001) et l'antophyllite (Zouhry, 1999) localisées et poussant sur les chlorites et les sulfures associés.

Ces minéraux indiquent des conditions de métamorphisme plus sévère.

10. Mode de mise en place :

D'après HAÏMEUR, (1988), la distribution et l'agencement spatial des faciès des différentes formations de Douar Lahjar (zone de la mine de Hajjar), appuyée par l'analyse pétrographique et minéralogique, a permis de dégager une relation génétique logique qui lie la nature et l'organisation des dépôts volcano-sédimentaires d'une part et l'aspect et la distribution des minéralisations d'autre part. Le modèle présenté ci-dessous (Fig. 6) schématise les quatre principales étapes permettant d'expliquer la mise en place et l'agencement des principaux faciès volcano-sédimentaires et la minéralisation du gisement de Hajjar.

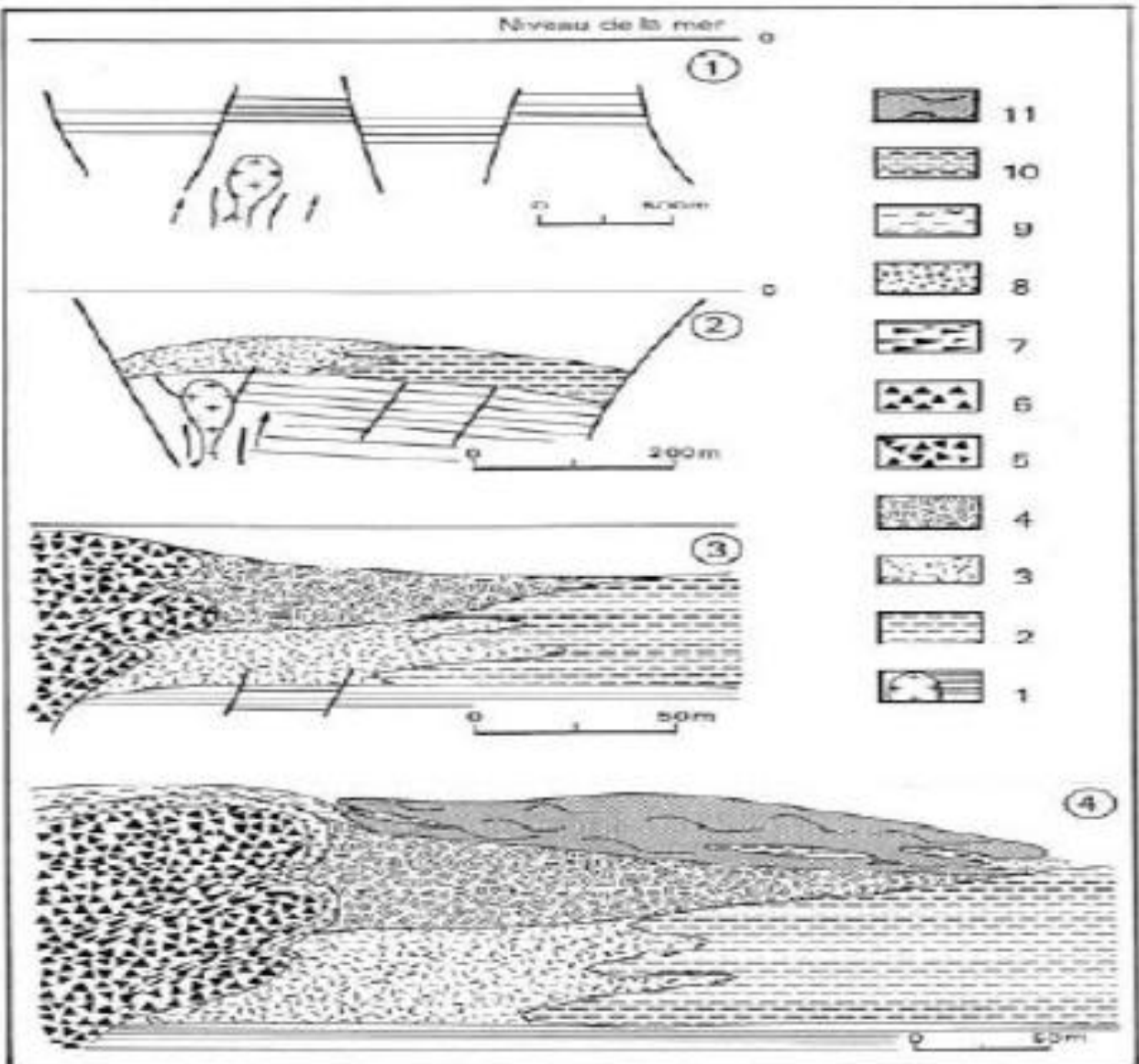


Figure 5 : Modèle montrant les étapes (1 à 4) d'évolution dynamique de la mise en place des volcanites et de la minéralisation sulfurée de Douar Lahjar (HAIMEUR, 1988).
Figurés : 1, substratum de la série de Douar Lahjar traversé par la protrusion acide ; 2, tuffites inférieures et tufs cendreux ; 3, tufs pyroclastiques inférieurs ; 4, tufs supérieurs ; 5, brèches volcaniques non orientées ; 6, brèches volcaniques à aspect entrecroisé ; 7, brèches volcaniques orientées ; 8, hyaloclastites ; 9, coulées de tufs à texture perlitique ; 10, séricitites et chloritites ; 11, amas sulfuré "slumpé".

Figure 6 : Modèle montrant les étapes (1 à 4) d'évolution dynamique de la mise en place des volcanites et de la minéralisation sulfurée de Douar Lahjar (Haïmeur, 1988).

Selon Haïmeur, (1988), le corps minéralisé de Hajjar s'observe au sommet d'une pile volcanique de composition acide sans aucune manifestation basique ou intermédiaire. L'événement volcanique majeur correspond à la montée progressive et lente d'une masse protrusive acide très visqueuse (étape 1, Fig. 6). Cette montée est annoncée par l'émission explosive d'une grande quantité de tufs pyroclastiques (tufs inférieurs et supérieurs), qui soustraient l'essentiel de la fraction gazeuse de cette masse. Ces tufs ont dû se mélanger aux sédiments ambiants pour donner des tuffites (étape 2). La protrusion se met en place en s'auto-brêchifiant d'une manière hétérogène suivant l'importance locale du reliquat gazeux (étape 3). L'émiettement de la partie supérieure de ce dôme en hyaloclastites témoigne de son arrivée sur un fond marin. Dans ces conditions, l'altération par les fluides magmatiques et l'eau de mer apparaît très intense, ce qui est logique dans un tel contexte (étape 4). C'est à la fin de cet épisode que se déposent les sulfures qui glissent sur le flanc oriental de la zone haute déterminée par la protrusion. D'une manière générale, la distribution des faciès pyroclastiques proximaux à l'ouest et distaux à l'est, montre clairement la polarité sédimentologique de l'ensemble. L'existence vers l'ouest de dépôts sommitaux de calcarénites à entroques, indique une zone haute de plate-forme carbonatée.

Selon Hibti, (2001), le gisement est un amas sulfuré massif enraciné sur son stockwerk avec une zonalité caractéristique à l'intérieur de l'amas matérialisée par une prédominance du Zn et du Pb latéralement et au sommet du gisement. Ceci n'est pas toujours évident à cause de la complexité des dépôts et de la morphologie.

Du point de vue géodynamique, la mise en place de la minéralisation de Hajjar s'intègre dans le modèle de mise en place des amas sulfurés des Jebilet et des Guemassa (Hibti, 2001) qui se déroule en trois étapes (Fig. 7 et Fig. 8):

- Stade 1 : la formation du bassin qui contient l'amas de Hajjar est liée à la distension du grand bassin mésétien marocain. Pendant cette période, une activité volcanique, matérialisée par la mise en place d'un dôme rhyodacitique et d'une série volcano-sédimentaire constituée de tufs et de pélites gréseuses, se développe parallèlement à un magmatisme bimodal. La minéralisation sulfurée est le résultat de l'activité hydrothermale associée à cette activité volcanique. Les fluides hydrothermaux chargés en métaux circulent dans l'encaissant volcano-sédimentaire durant le Carbonifère. Le dépôt des sulfures se fait en même temps que la sédimentation dans un bassin à failles synsédimentaires.

- Stade 2 : phase syn-cinématique : à l'échelle du bassin mésétien, la compression hercynienne majeure (NW-SE) a provoqué un rejeu des structures synsédimentaires en failles inverses décrochantes (senestres et dextres) et le fonctionnement de zones de cisaillement ductile. Ce rejeu a engendré des basculements et des torsions des horizons minéralisés.

- Stade 3 : phase post-cinématique : liée aux événements tardi-hercyniens et atlasiques et se traduit par des dislocations, des décalages et des remobilisations des sulfures. C'est un stade qui se traduit principalement par des failles remplies de brèches de quartz avec des sulfures remobilisés (pyrrhotite, chalcopryrite et traces de sphalérite et galène).

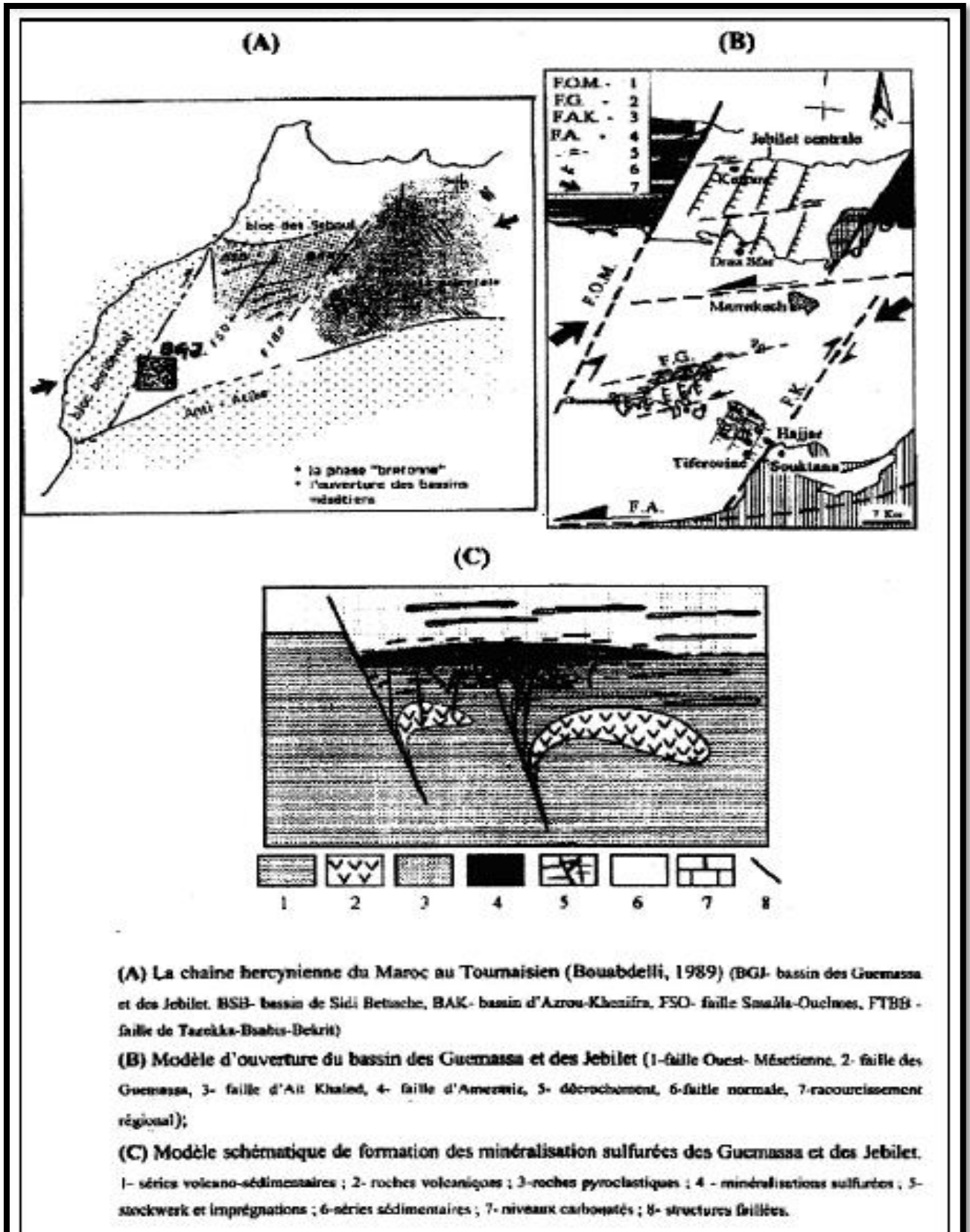
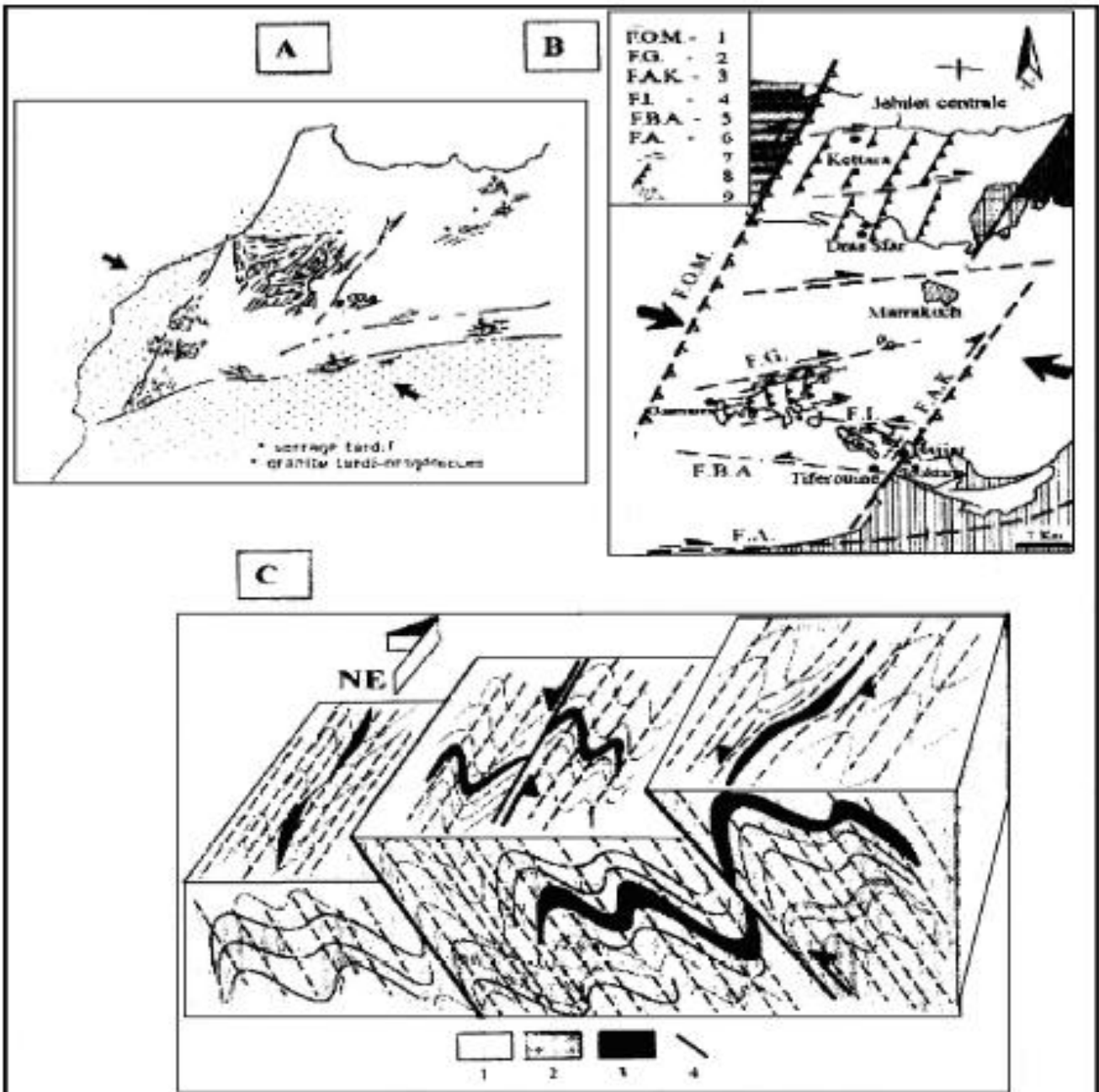


Figure 7: Stade 1 dans la genèse des amas sulfurés des Jbilet et Guemassa (Hibti, 2001)



(A) La compression post-namuro-westphalienne (Bouabdelli, 1989) ;

(B) Effet sur le bassin des Guetnassa et des Jebilet (1-faïlle Ouest- Mésetienne, 2- faille des Guetnassa, 3 faille d'At Khated, 4-écaillage d'Imarize, 5- écaillage du Barrage-Amezough, 6- faille d'Amzenniz, 7 décrochement, 8-faïlle inverse, 7-raouissement régional);

(C) Effet du paroxysme hercynien sur les minéralisations sulfurées. 1- volcano-sédimentaires, 2 roches volcaniques ; 3- minéralisations sulfurées , 4- structures failées.

Fig. 7 - Stade 2 dans l'évolution des amas des Jebilet (Hibti, 2001)

Figure 8 : Stade 2 dans l'évolution des amas des Jbilet (Hibti, 2001)

11. Présentation du chapeau de fer :

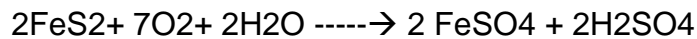
11. a. Généralités sur les chapeaux de fer

Le chapeau de fer est défini comme une zone d'altération d'un corps minéralisé sulfuré (filonien ou amas sulfuré), située au dessus de la surface piézométrique où les eaux chargées en O_2 et CO_2 atmosphériques circulent rapidement vers le bas et vont dissoudre les éléments chimiques des roches.

Sous l'effet de l'altération superficielle, les amas sulfurés peuvent subir un phénomène d'enrichissement supergène des sulfures engendrant la redistribution des éléments et la définition de différentes zones ; notamment la zone d'oxydation ou chapeau de fer.

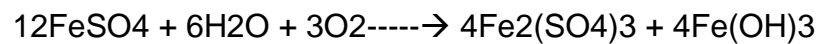
D'après les modèles classiques, de nombreux facteurs sont impératifs à la formation d'un chapeau de fer et le développement de la zone de cémentation. Ces conditions sont principalement les facteurs climatiques (pluviométriques, température,...), les conditions morphologiques ou morphotectoniques, les conditions des gisements antérieurs (porosité-perméabilité, quantité de soufre présent : présence de pyrite ou de pyrrhotite, paragenèses minérales).

Cette altération supergène commence par une oxydation des sulfures, notamment la pyrite, libérant ainsi des ions sulfatés et des cations métalliques. Ces derniers se trouvent par la suite déplacés vers le bas et se concentrent au niveau de la zone de cimentation. Au niveau de cette zone d'oxydation, plusieurs réactions se déclenchent à partir de la pyrite, parfois même la pyrrhotite (Smirnov, 1951) :



Pyrite

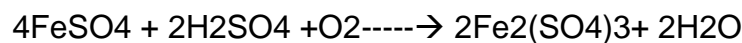
sulfate ferreux



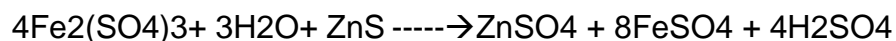
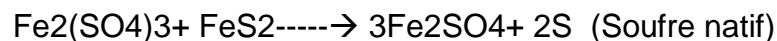
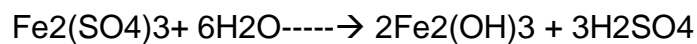
Sulfate ferrique

hydroxide ferrique

OU



Hydrolyse



En milieu neutre ou faiblement acide, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ est instable :



Goethite

Hématite

La vitesse de ces réactions chimiques est fonction de la taille des grains, la texture du minerai hypogène, la nature des phases minérales présentes et l'affinité des métaux pour le soufre.

11. b. Le chapeau de fer de Hajjar

Au niveau de Hajjar, la partie supérieure de l'amas située au dessus du niveau piézométrique s'oxyde et donne un chapeau de fer. Il s'agit d'une zone très riche en minéraux d'oxydation (oxydes et hydroxydes de fer) et en particulier les ocres (rouges et jaunes). Elle a une puissance d'environ 20m (côte 650 à 630), sa base est marquée par des teneurs élevées en Cu (3,90%), Pb (12,80%) et Ag (138 à 370g/t) (Hibti 2001). Ce chapeau de fer surmonte un zone de cémentation assez riche en Cuivre.

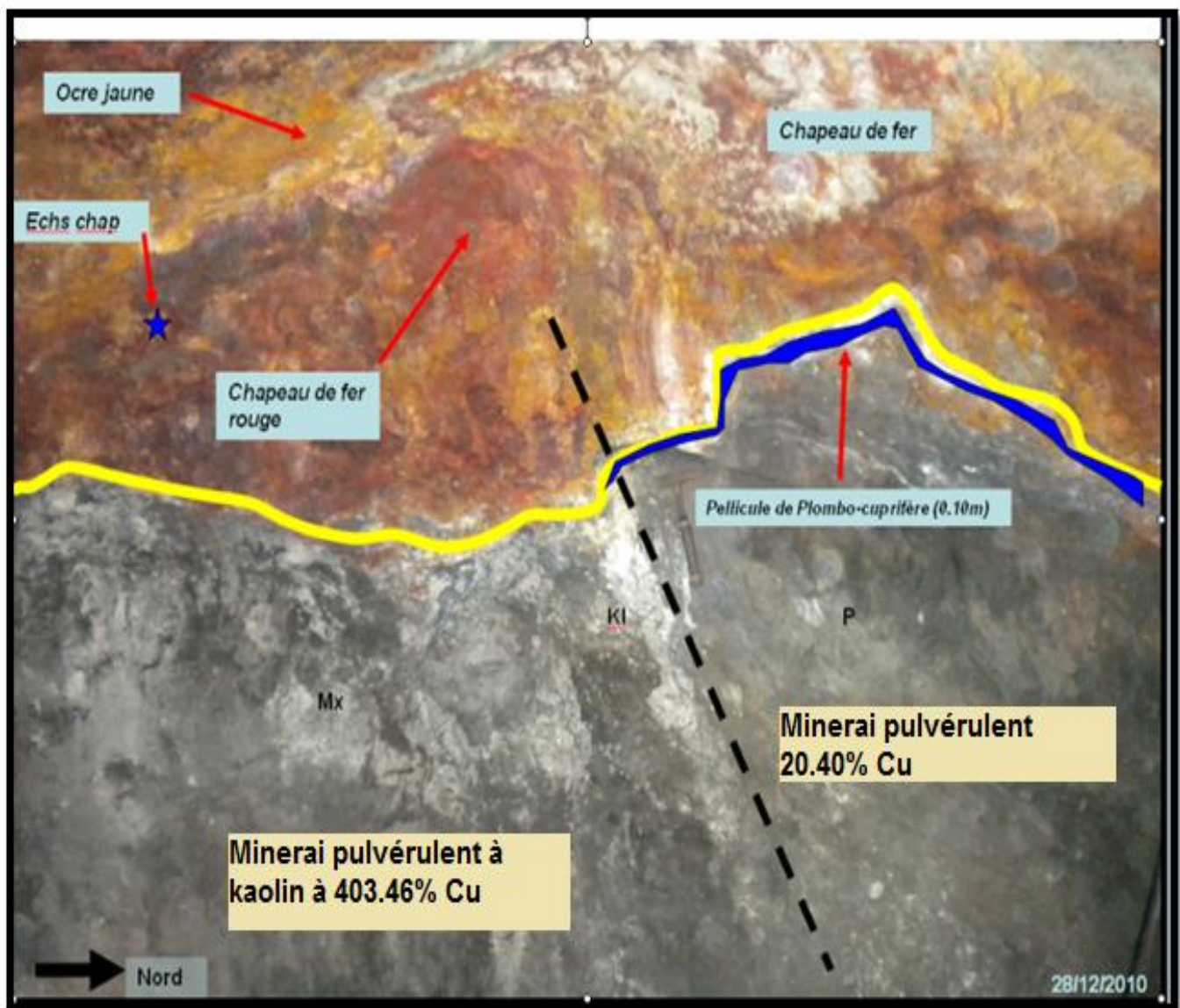


Photo 1 : Le contact entre le chapeau de fer et la zone minéralisée (document interne CMG).

Chapitre 2:

Etude lithostratigraphique

1. Introduction :

Dans le but de mieux cerner et de bien définir les différentes caractéristiques du chapeau de fer des corps minéralisés de l'amas sulfuré de Hajjar, nous avons effectué différentes études, notamment sur le plan lithostratigraphique, métallographique et géochimique.

Ces études ont été réalisées sur six sondages carottés appartenant à différentes zones (HS130 et HS132 zone A, HS133 et HS135 zone B, HS109 zone C et HS123 zone Nord) (Fig. 9).

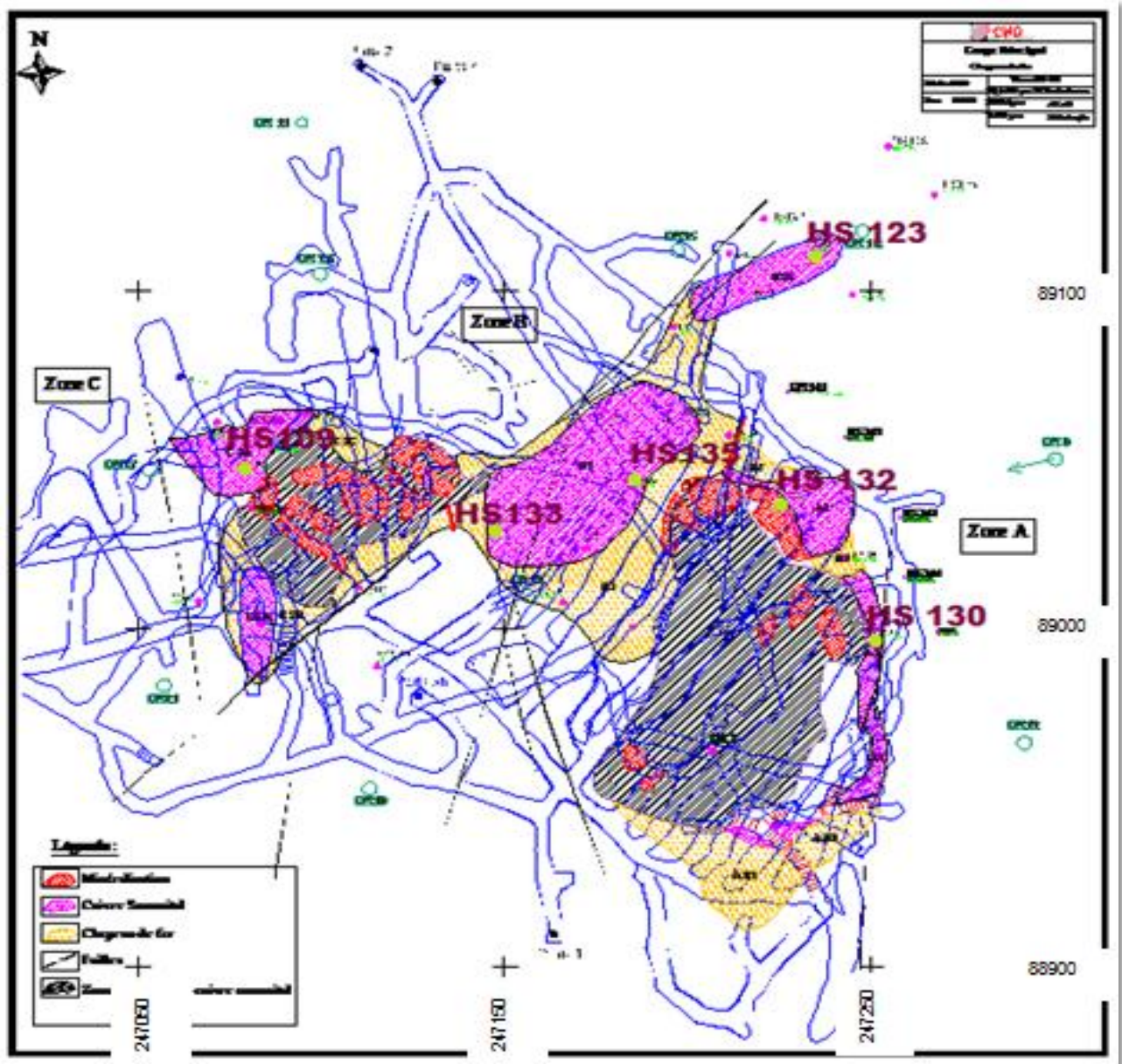


Figure9 : Plan de situation des différents sondages (document interne CMG)

2. Etude lithostratigraphique :

L'étude lithologique de six sondages carottés nous a permis d'établir des coupes synthétiques dans différentes orientations (Fig.10) afin de définir l'évolution latérale des différents faciès interceptés par les sondages. Les données recueillies à partir des coupes synthétiques (Fig. 10) ainsi que les levés détaillés des différents sondages que nous avons étudiés nous ont permis d'établir un log synthétique résumant l'évolution lithologique verticale et latérale de la zone étudiée.

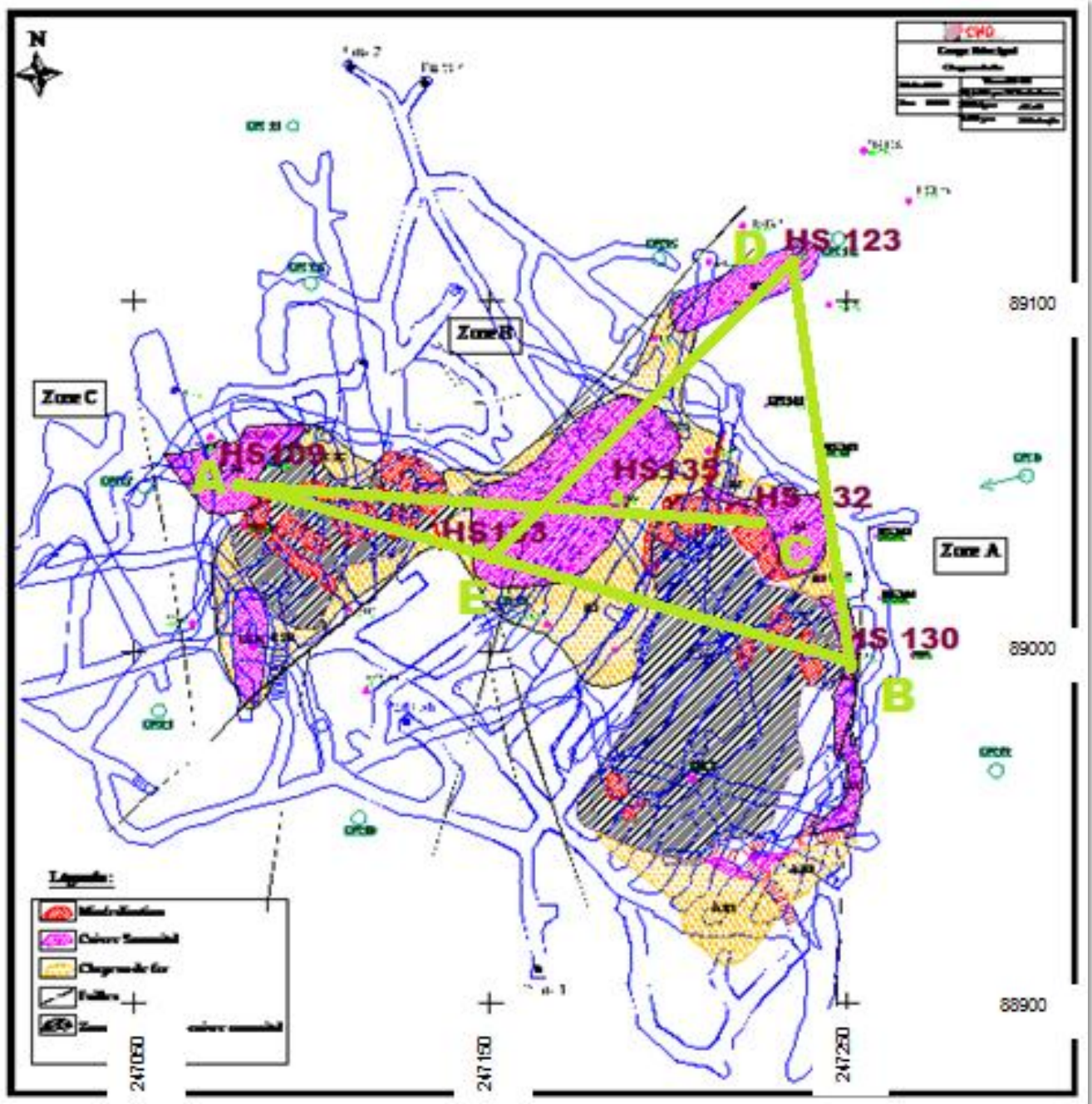


Figure 10: Plan de localisation des différentes coupes réalisées (AB, AC, DB et ED)

2. a. Interprétation des coupes synthétiques :

La coupe AC orientée W-E (Fig.11) et la coupe AB orientée NWW-SEE (Fig.12) montrent une évolution latérale presque continue des pélites et/ou des schistes dont la puissance avoisine les 10 m. Le faciès gréseux apparaît localement sous forme de petites lentilles discontinues, coiffant parfois la zone oxydée du chapeau de fer. Ce dernier, dont la puissance atteint les 25 m abrite, des zones kaolinitisées très restreintes (<1m) et d'autres bréchifiées plus étendues (>1m). La zone minéralisée est répartie en un minerai cuprifère à covellite et bornite dont l'épaisseur diminue en allant de l'Est ($\approx 3\text{m}$) vers l'Ouest ($\approx 1\text{m}$), suivie par un minerai pyriteux atteignant les 9 m, et vers la fin se présente le minerai zincifère avec des traces de plomb ($\approx 2\text{m}$). (les coupe sont décrite du haut vers le bas).

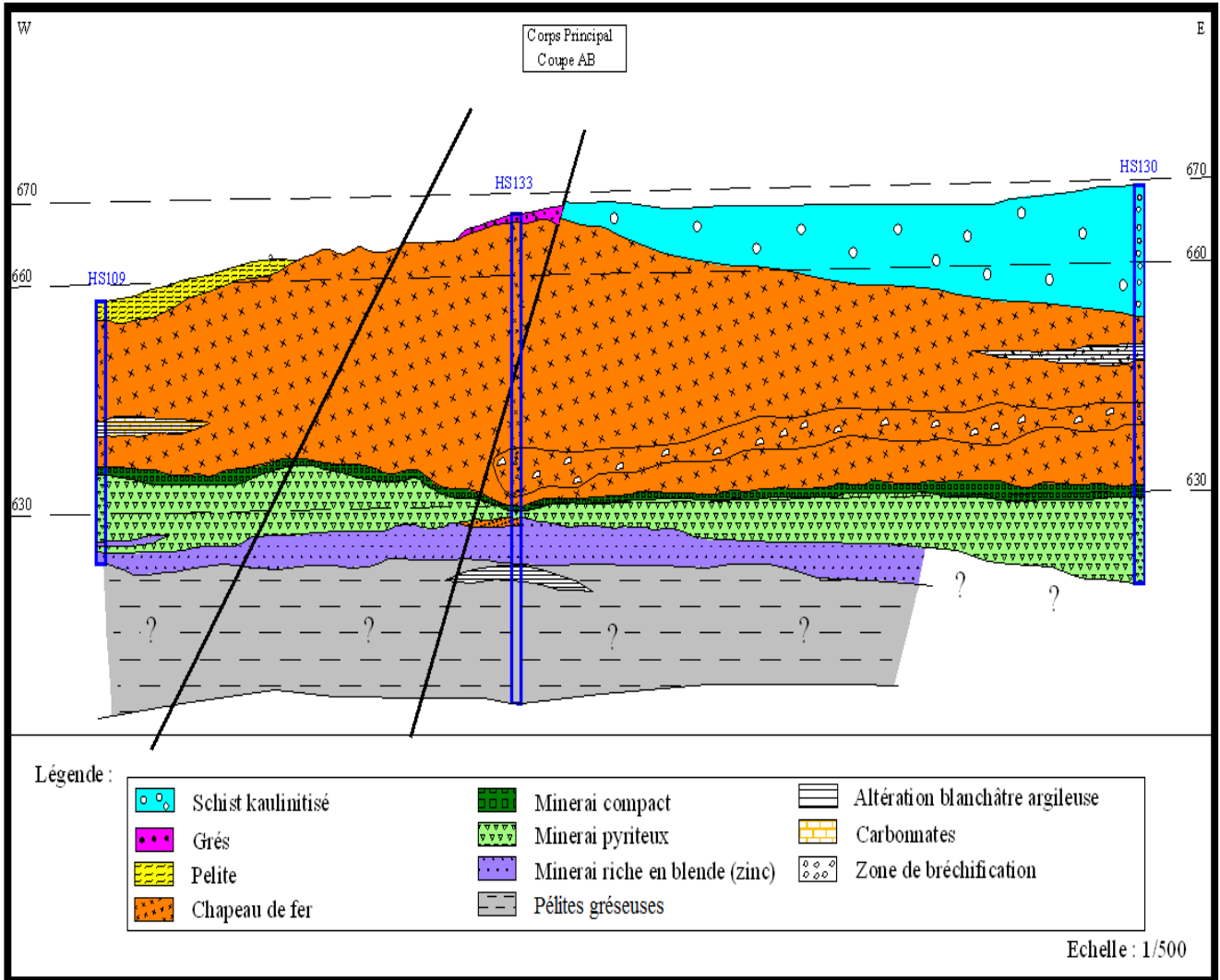


Fig. 11 : Coupe synthétique AB passant par les sondages HS 109, HS 133 et HS 130.

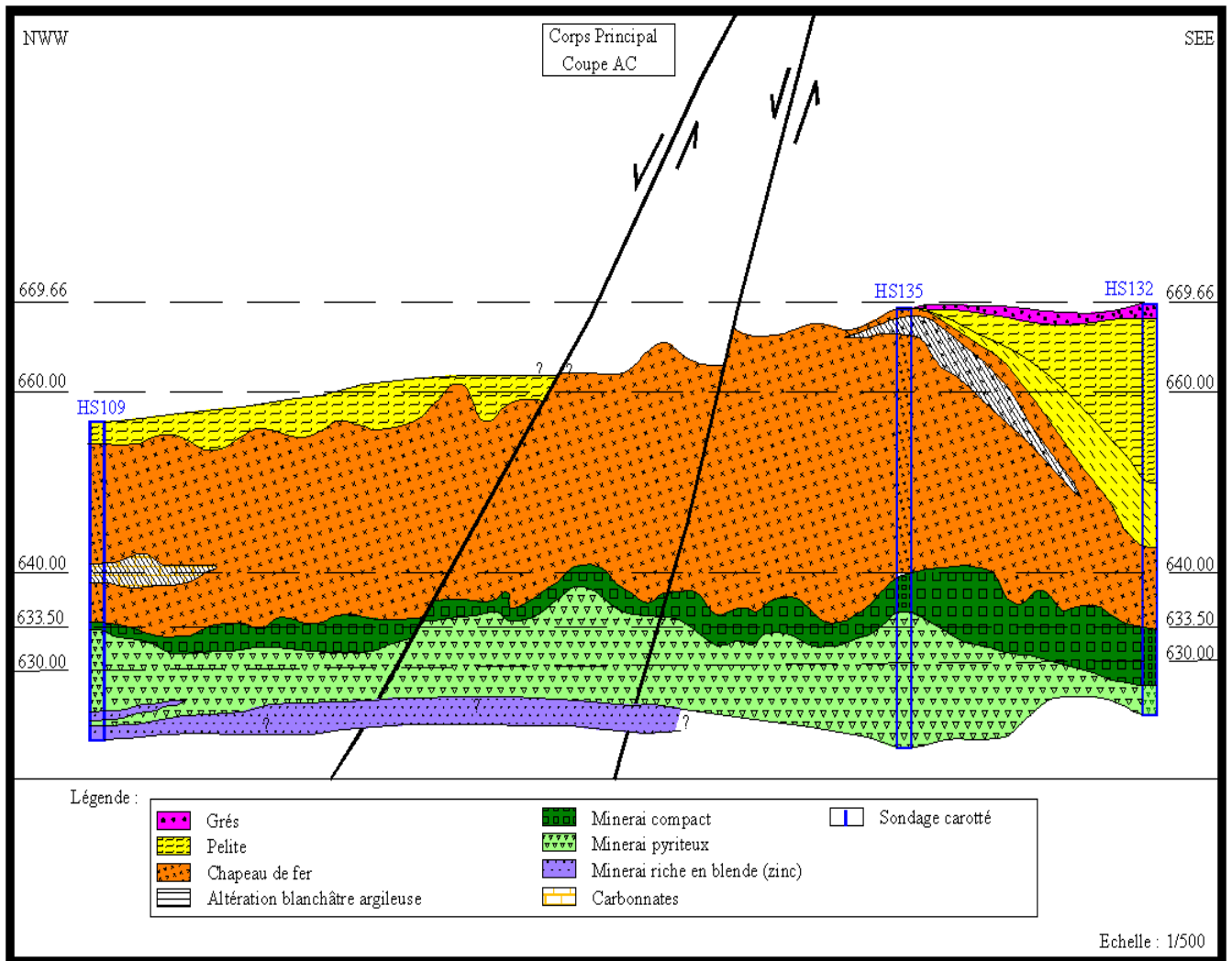


Figure 12 : Coupe synthétique AC passant par les sondages HS109, HS135 et HS132.

L'étude de la coupe DB orientée NNW- SSE (Fig.13) montre une discontinuité des faciès limitée par des structures cassantes. Vu qu'on retrouve vers les deux extrémités de la coupe une évolution lithologique continue, interrompue par un bloc constitué de pélites et de lentilles de laves, marqué par l'absence de zones d'oxydation et de minéralisation. Ceci peut être expliqué par le rejeu tardif de ces failles qui ont engendré le soulèvement de ce bloc et par la suite le basculement de la série du toit vers le haut. Probablement cette dernière a subi une érosion, ce qui explique l'absence du chapeau dans cette zone.

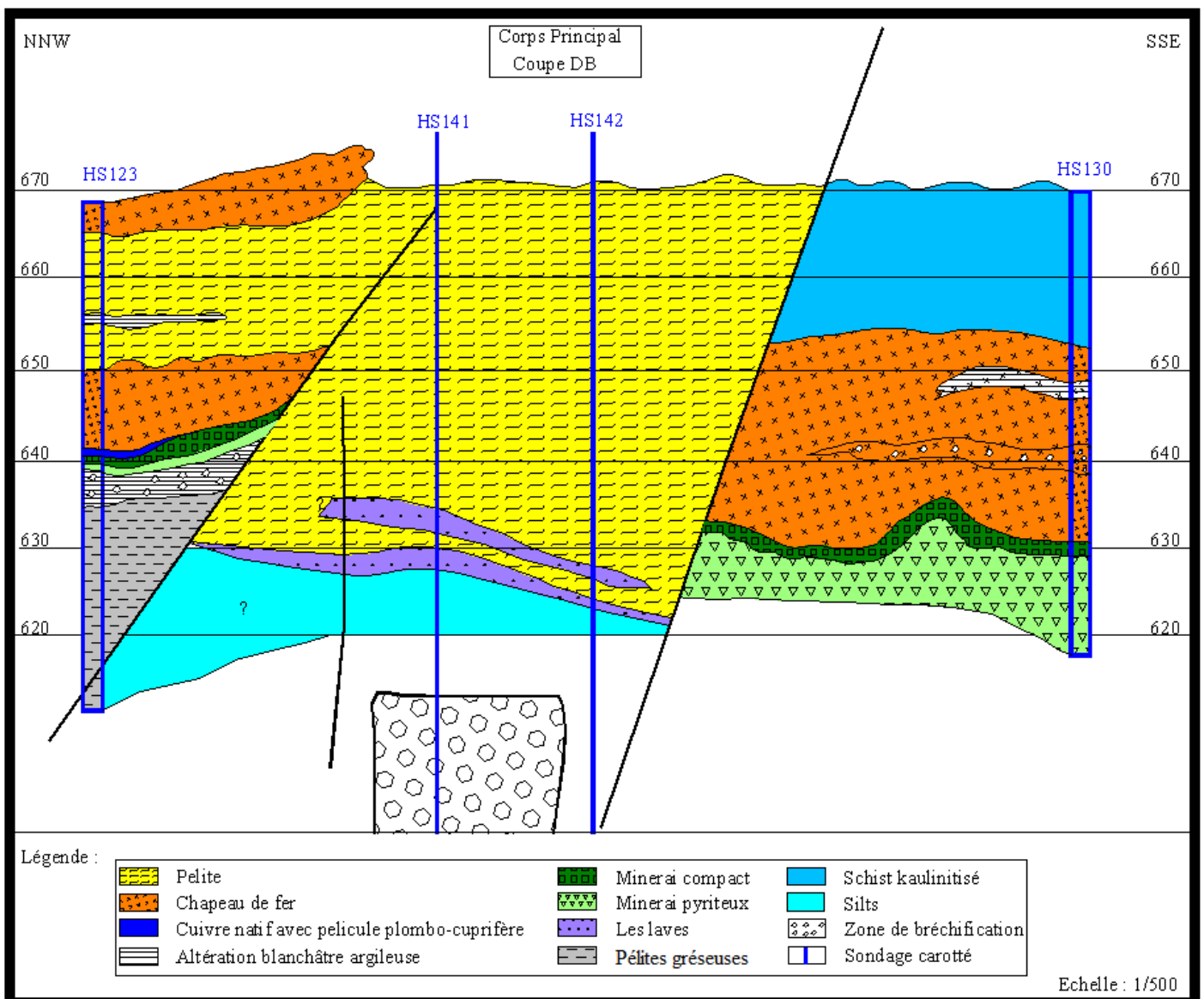


Figure 13 : Coupe synthétique DB traversant les sondages HS123, HS141, HS142 et HS130.

Et dans le but de confirmer cette hypothèse, il nous a été impératif de réaliser la coupe ED (SW-NE) (Fig.14). Cette dernière informe qu'il y a une continuité du chapeau de fer et de la zone minéralisée. Elle a permis de déduire que l'absence des zones rencontrées dans la coupe DB, est locale et est conditionnée par l'activité tectonique.

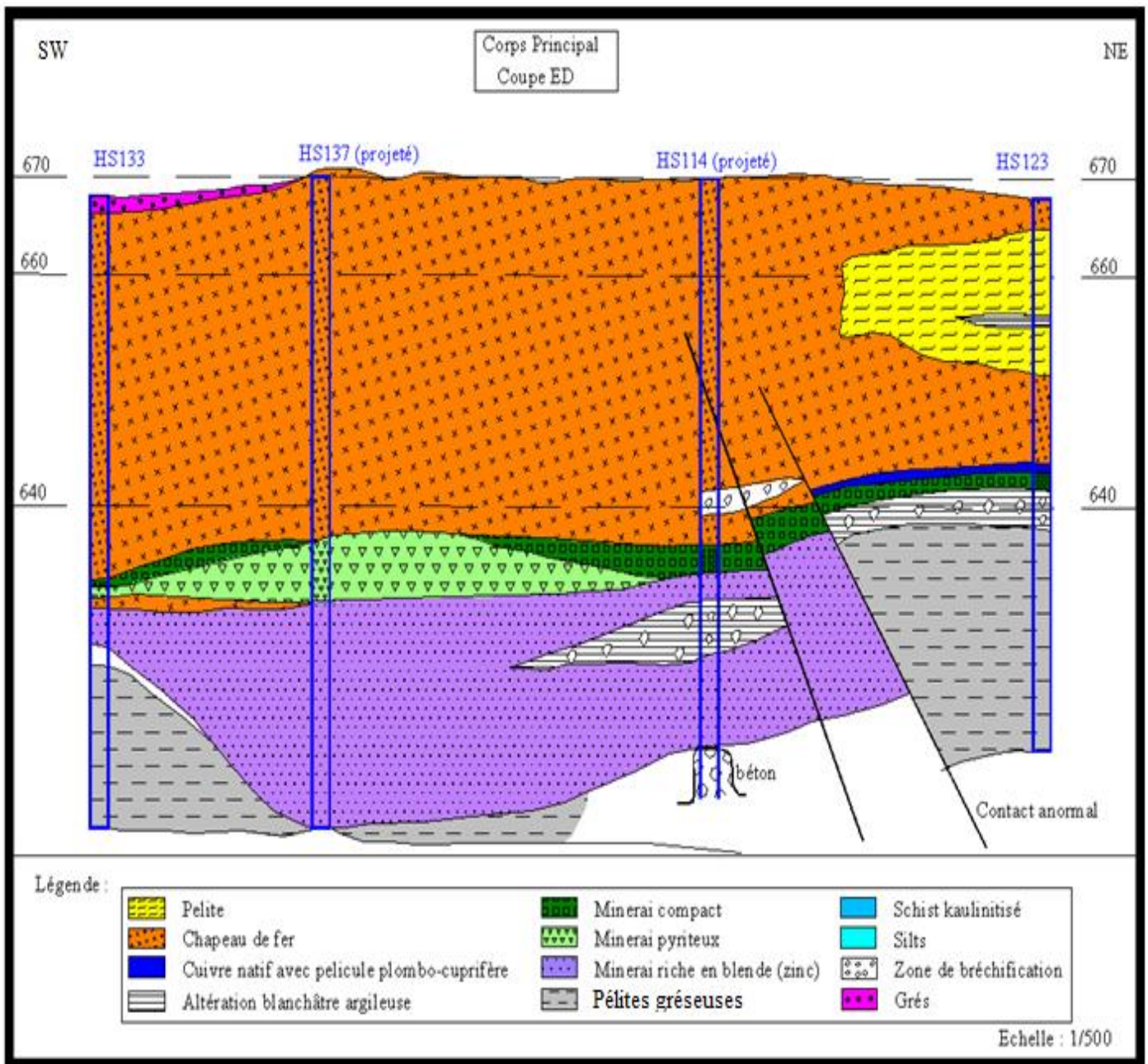


Figure 14 : Coupe synthétique ED traversant les sondages HS133, HS137, HS114 et HS123.

La coupe ci-dessous (document interne CMG) permet de voir l'évolution des faciès au niveau du fond (galerie souterraines). Il paraît que l'évolution des faciès ne diffère pas beaucoup des autres coupes qu'on a réalisées. En effet, elle montre une discontinuité du chapeau de fer vu qu'il se referme dans certains endroits. Suit par une pellicule plombo-cuprifère ($\approx 0,5\text{m}$) observé juste vers le Nord. Ensuite le minerai cuprifère à anomalie de Zn/Pb présente une grande puissance (≈ 2 à 3m) et qui est recoupé dans certains endroits par le minerai cuprifère pyriteux. (la coupe est décrite du haut vers le bas).

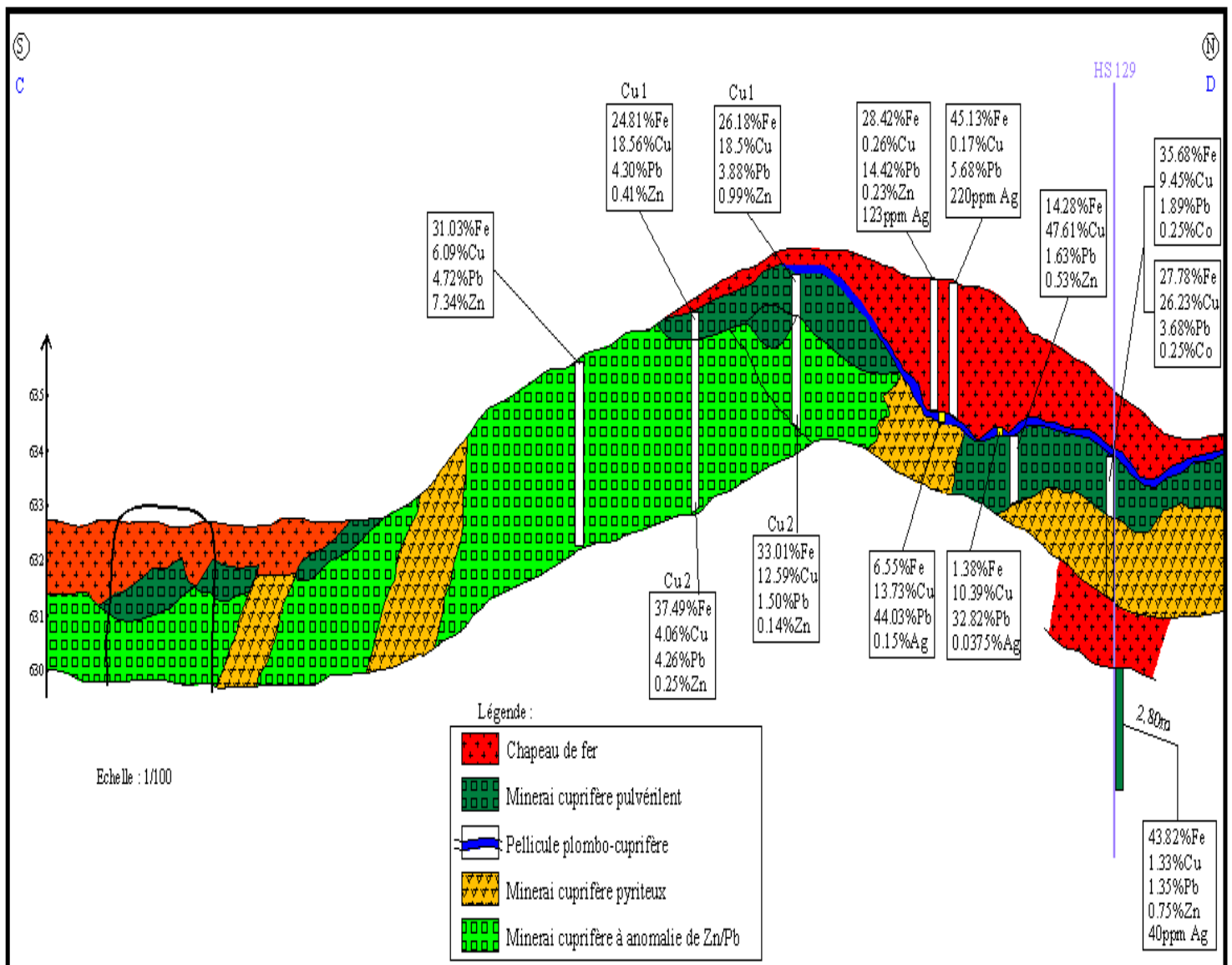


Figure 15: Coupe réalisée au niveau du fond. (Document interne de la CMG)

2. b. Log synthétique :

Les données recueillies à partir des coupes synthétiques et des levés détaillés des différents sondages étudiés nous ont permis d'établir un log synthétique résumant l'évolution lithologique verticale et latérale de la zone étudiée.

De la base vers le haut on distingue :

- Des pélites gréseuses rappelant celles de la série du mur ($\approx 6\text{m}$).
- L'horizon minéralisé est subdivisé en :
 - Un minerai oxydé riche en plomb observé en certaines zones ($\approx 4,2\text{m}$).
 - Un minerai pyriteux ($\approx 6\text{m}$).
 - Un minerai cuprifère à covellite et à bornite d'environ 1,2m, qui est généralement pulvérulent. Ce dernier peut être surmonté par une fine pellicule ($\approx 0,4\text{m}$) plombo-cuprifère.
- Le chapeau de fer ($\approx 20\text{m}$) présente une alternance d'ocres rouges et jaunes ou un mélange entre les deux. Ces derniers peuvent avoir un aspect massif ou broyé. On note la présence de zones kaolinisées et d'autres bréchifiées dont la nature est généralement siliceuse.
- Des pélites à puissance variable allant de 2m à 14m, et sont localement fracturées et/ou altérées.

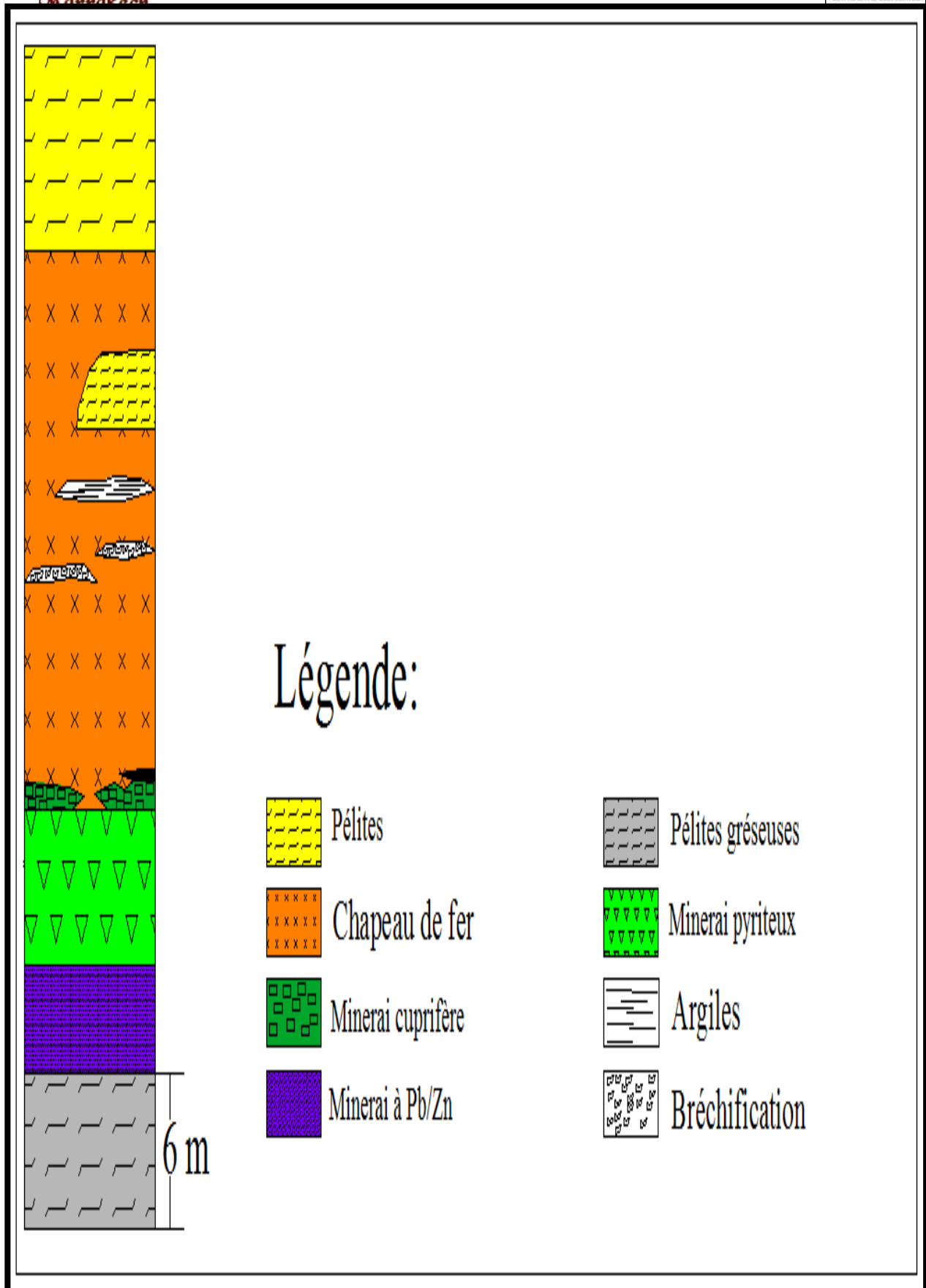


Figure 16 : Log synthétique réalisé à partir des différents sondages.

Chapitre 3:

Etude métallographique

1. Introduction :

Cette étude a été réalisée sur la base d'une dizaine de lames et sections polies, confectionnées à partir des échantillons récoltés au niveau des différents faciès identifiés sur les sondages. L'objectif de cette étude est de bien caractériser les associations minéralogiques des faciès identifiés.

2. Etude macroscopique :

L'examen macroscopique des différents sondages nous a permis de reconnaître différents faciès :

-Planche 1

- **Les pélites gréseuses**, observées vers la base du sondage HS123, nous rappellent celles de la série du mur.



- **Le minerai pyriteux** a été reconnu dans tous les sondages; il est généralement compact.



- **Le minerai cuprifère** à bornite et covellite se présente sous aspect pulvérulent ou rarement massif avec un certains litage.



- **Le facies plombo-cuprifère** observé uniquement dans le sondage HS123 (641,02m) et dont la puissance ne dépasse pas les 40 cm. Le cuivre s'y présente sous forme de veinules dans une pellicule grisâtre plombo-cuprifère.



- **Le chapeau de fer** est formé d'ocres rouges et/ou jaunes ou même d'un mélange entre les deux. Il se présente sous forme compact ou broyée, avec un degré d'oxydation variable d'un sondage à un autre manifesté par la présence de l'hématite ou de la goethite.



- Il est marqué dans certains sondages (HS132 et HS133) par un remplissage des fissures par les carbonates dont l'aspect est lenticulaire ou par le remplissage des vides par de la silice (dimension centimétrique).



- Le chapeau de fer montre des zones complètement bréchifiées cimentées par des ocres rouges. Ces brèches sont de nature siliceuse, ayant une forme anguleuse et une dimension centimétrique. (les sondages HS 130 et HS133).



3. Etude microscopique :

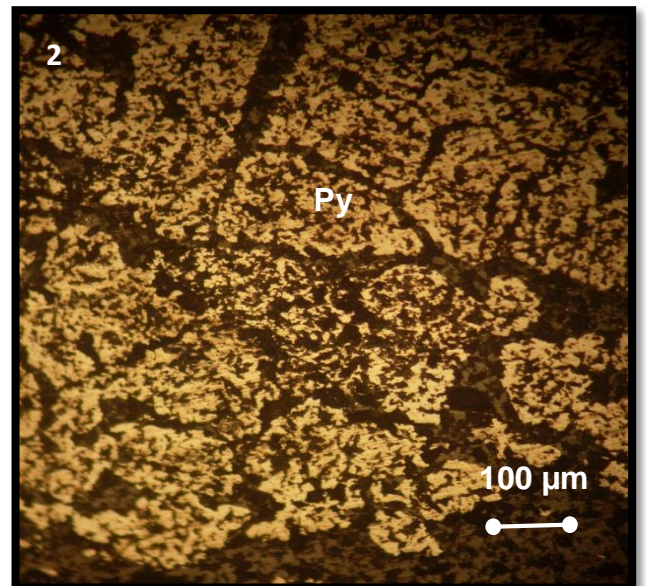
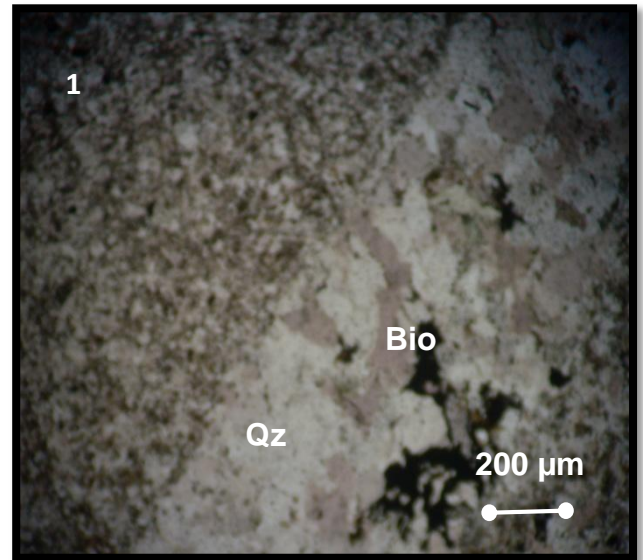
L'étude microscopique est venue pour compléter la description des différents faciès observés macroscopiquement.

Nous avons pu observer :

➤ Le faciès des pélites gréseuses à aspect très fin avec développement de la biotitisation et la chloritisation. Le tout est affecté par des veinules de quartz. on a aussi quelque disséminations de pyrrhotite ainsi des bréchifications. Cela confirme qu'on est à la base la minéralisation.

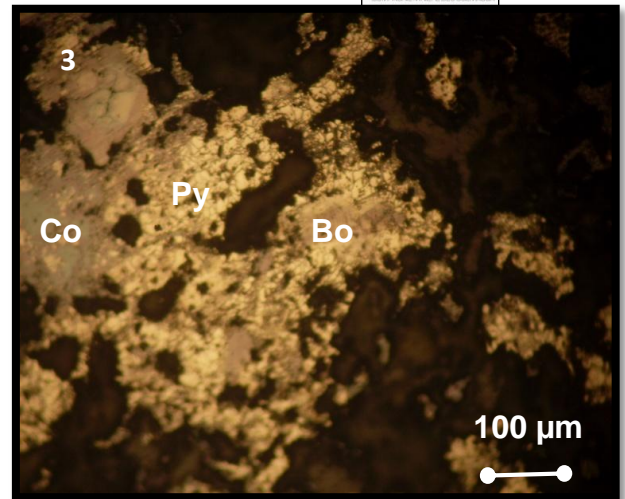
➤ Le facies pyriteux se présente en bird-eyes ; forme typique de la zone d'oxydation. Il y a aussi quelques remplissages de chalcopyrrite avec un peu de sphalérite. Les grains de pyrite ont une dimension de 50 à 500 micromètres, le plus souvent corrodés par les oxydes.

-Planche 2

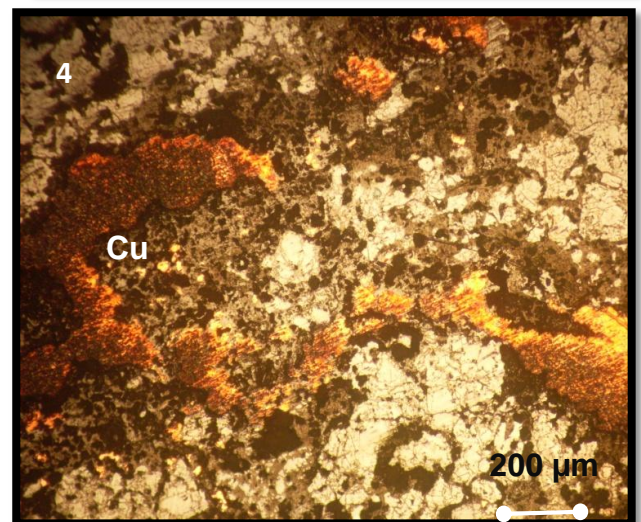


- Abréviations : Bio : Biotite, Qz : Quartz et Py : Pyrite.

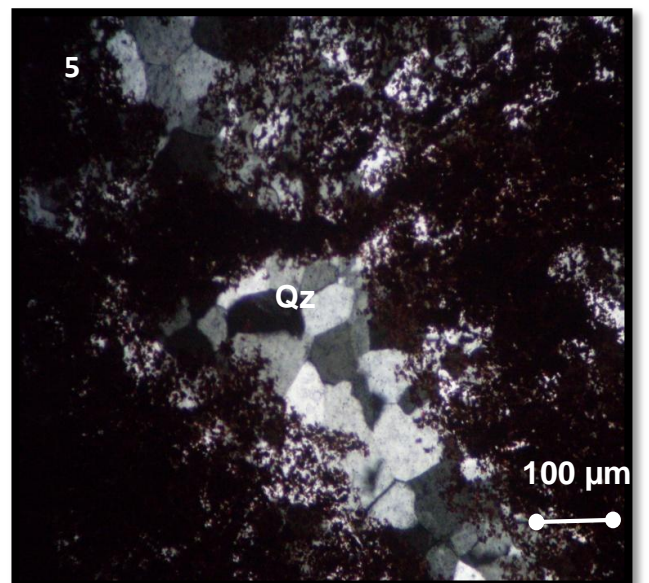
- Le facies cuprifère contient de la pyrite, de l'arsénopyrite, de la chalcosite, de la bornite et des traces de covellite ainsi que quelque relique de chalcopyrite. C'est un minerai rubané avec une texture de type bird-eyes caractérisant la zone de céméntation.



- Le minerai plombo-cuprifère composé de cuivre natif sous forme de liseré remplie; on a aussi de l'Hématite associé à la Goethite et un peu de chalcosite.

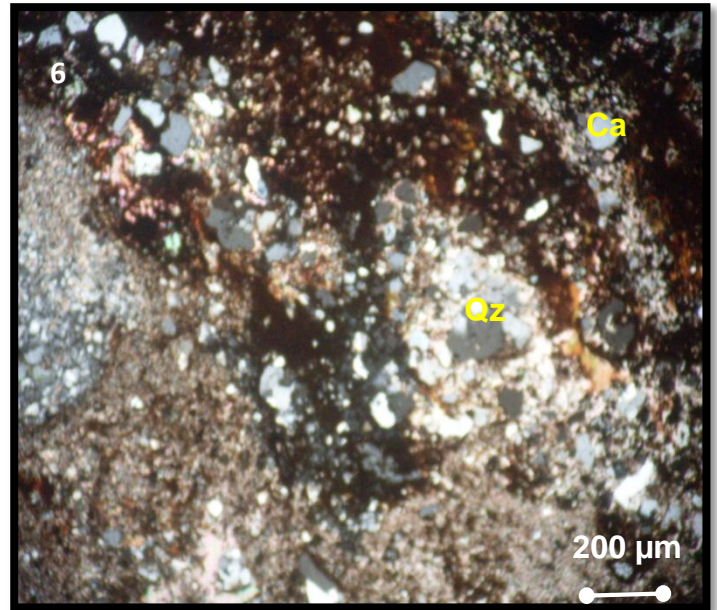


- Le facies du chapeau de fer montre un matériel siliceux qui peut être d'origine sédimentaire ou volcanique. Ce dernier est complètement oxydé et seul les endroits reliques qui apparaissent encore mais on voit surtout de la silice. On constate aussi que l'Hématite est sous forme de cristaux grossiers parfois isolés d'ordre de 10 micromètres.

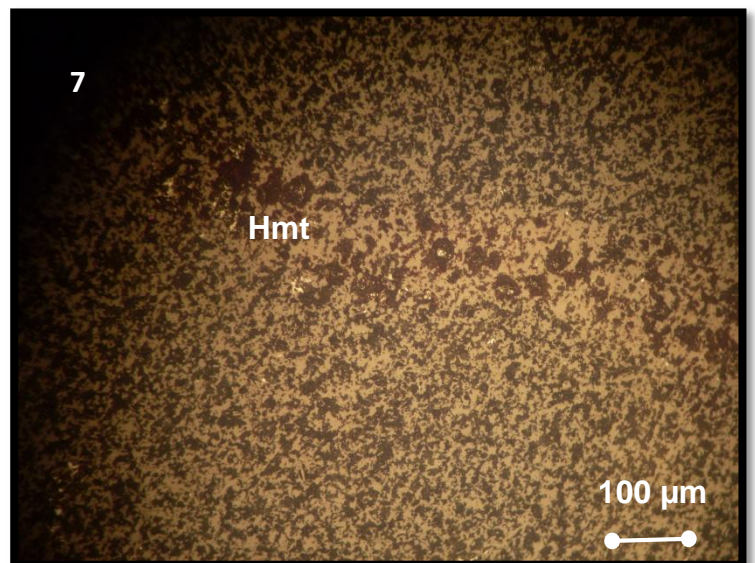


- Abréviations : Co: Covellite, Bo: Bornite, Py : Pyrite, Cu: Cuivre natif et Qz : Quartz.

- Au niveau de ce chapeau de fer on a observé aussi un faciès amalgamé entre une composition gréseuse et carbonatée. Les fragments gréseux sont d'ordre millimétrique à micrométrique, cimentés par des oxydes et des hydroxydes (Hématite et Goethite). On observe aussi le cuivre natif sous forme de liseré avec une existence probable de cérusite.



- Au même niveau, le chapeau de fer, nous avons observés des zones bréchifiées qui nous ont permis d'identifier une faciès de pélites gréseuses avec une prédominance du quartz très silicifié, fracturé et bréchifié. Les fragments de silicifié sont segmentés par la silice associée aux oxydes et hydroxydes de fer notamment de l'hématite.



- Abréviations : Qz : Quartz, Ca : Carbonate et Hmt : Hématite.

Chapitre 4:

Etude géochimique

1. Introduction :

Des analyses géochimiques ; notamment par ICP-AES (laboratoire de valorisation REMINEX), ont été réalisées sur un certain nombre d'échantillons récoltés à partir des sondages étudiés. Ces analyses vont nous permettre de vérifier l'évolution des différents éléments analysés en fonction des différentes zones observées tout au long des sondages étudiés. Nous nous sommes focalisés sur certains éléments représentatifs tels le Cuivre, le Fer, le Zinc, le Plomb et l'Argent.

2 .Résultats et interprétations :

Sondage HS 130 :

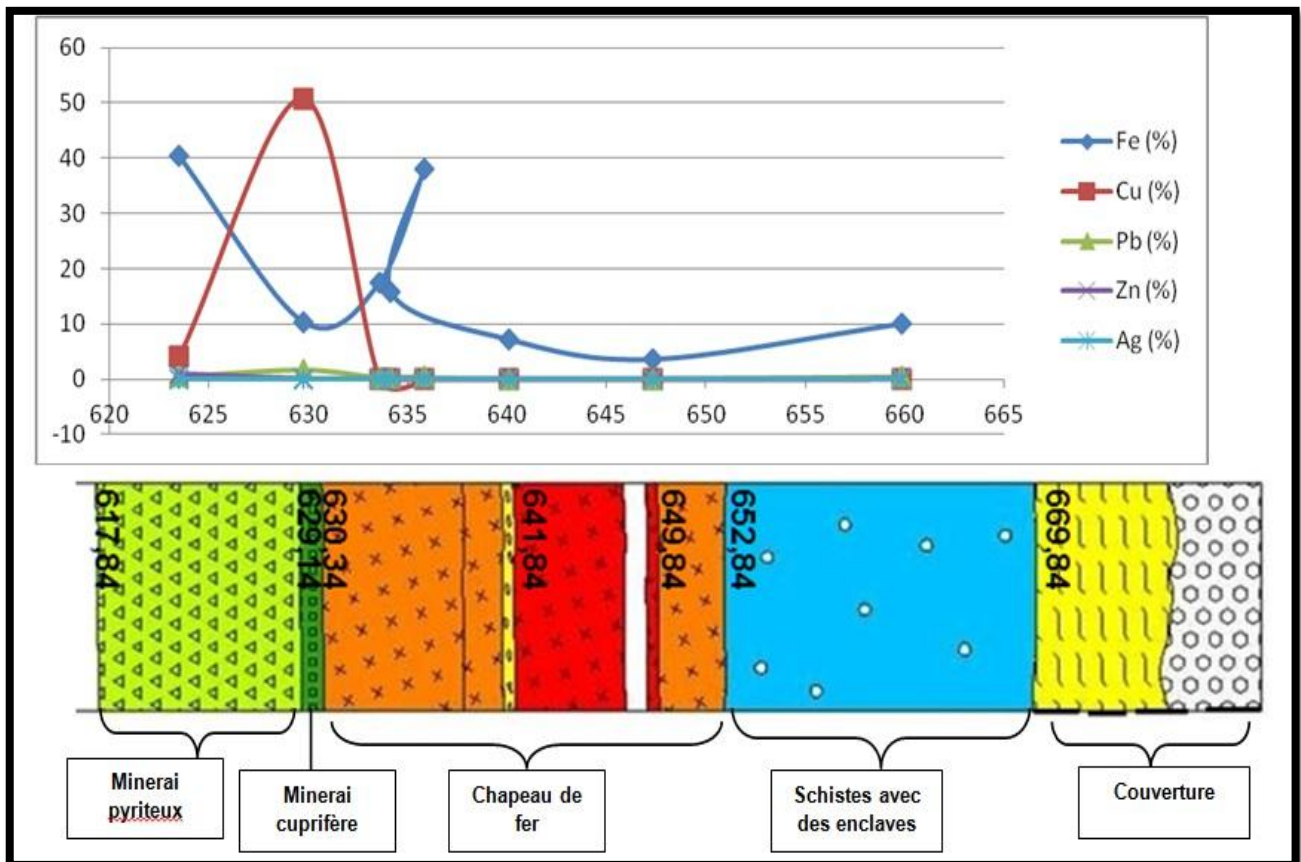


Figure 17 : Diagramme de variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag dans le sondage HS 130.

Sur le diagramme ci-dessus (Fig. 17),

Le cuivre se présente en teneurs très faibles (<2%) à part un pic de 50% qui apparaît au niveau -630m. Ces fortes teneurs en cuivre coïncident avec une zone où la minéralogie est dominée par un minerai cuprifère.

Le Fer : il montre des teneurs plus importantes par rapport au cuivre. En effet, les teneurs les plus élevées coïncident parfaitement avec les zones du minerai pyriteux ainsi qu'au niveau du chapeau de fer.

Le Plomb – le Zinc et l'Argent : Sur ce sondage les teneurs de ces trois éléments sont très basses voire nulles, sauf pour le plomb qui montre des teneurs très faibles coïncidant avec les minerais cuprifères. Ceci peut traduire la présence de galène et/ou de cérusite en fines inclusions dans ce minerai.

Sondage HS 132 :

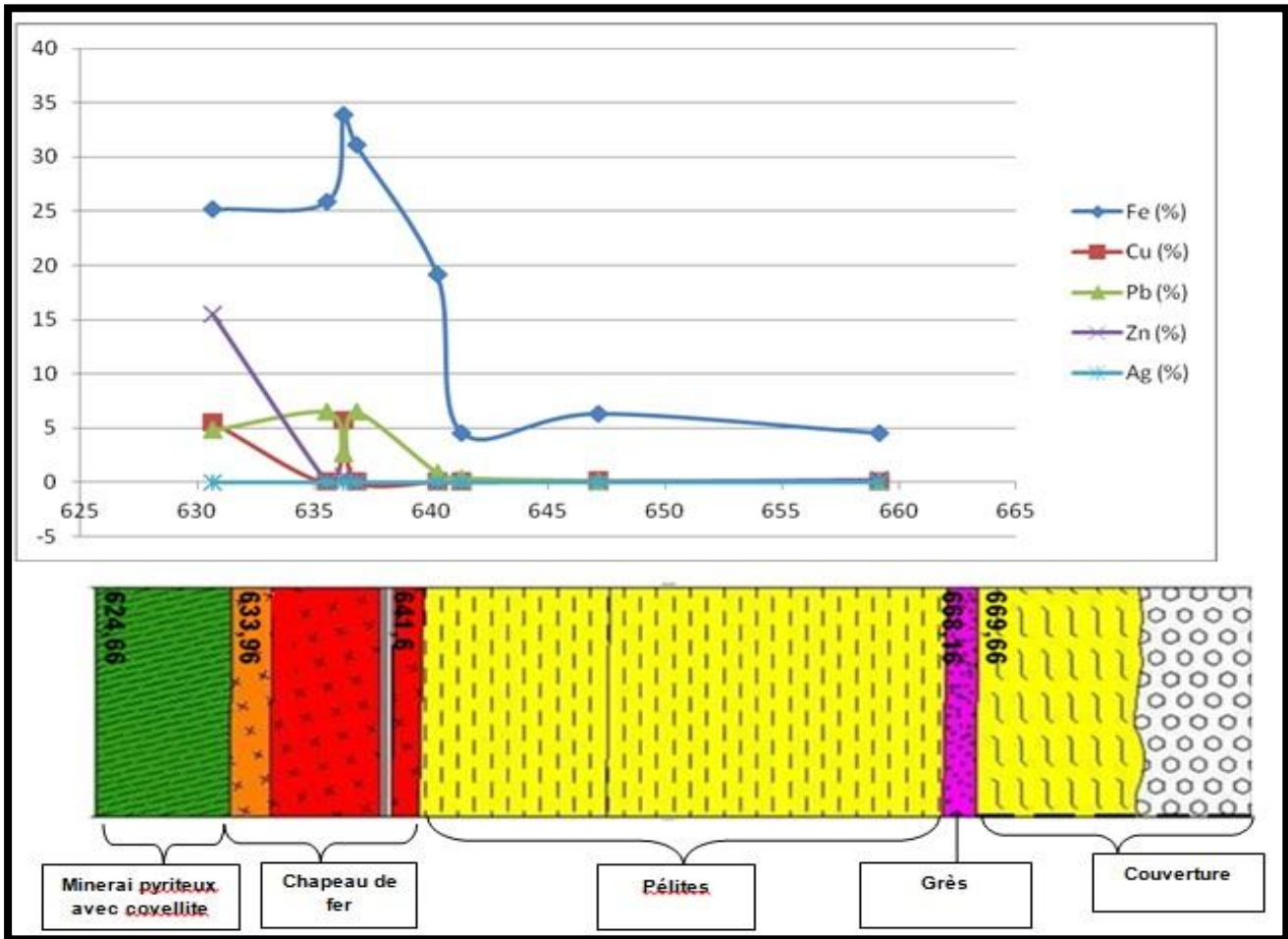


Figure 18 : Diagramme de variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS 132.

Le Cuivre et le Plomb se présentent généralement en faibles teneurs de pic de 5% au niveau 630 et qui coïncide avec la zone où on a une dominance du minerai cuprifère.

Le Fer montre des teneurs élevées avec un pic de 35% qui coïncide surtout avec les ocre rouge ; en effet ces teneurs sont plus importantes par rapport au cuivre.

Le Zinc se présente en teneur élevée où on observe que le pic de ce dernier coïncide avec celui du cuivre au niveau 630.

Sur ce sondage l'Argent montre une teneur nulle, donc on a absence de minerai argentifère.

Sondage HS 133 :

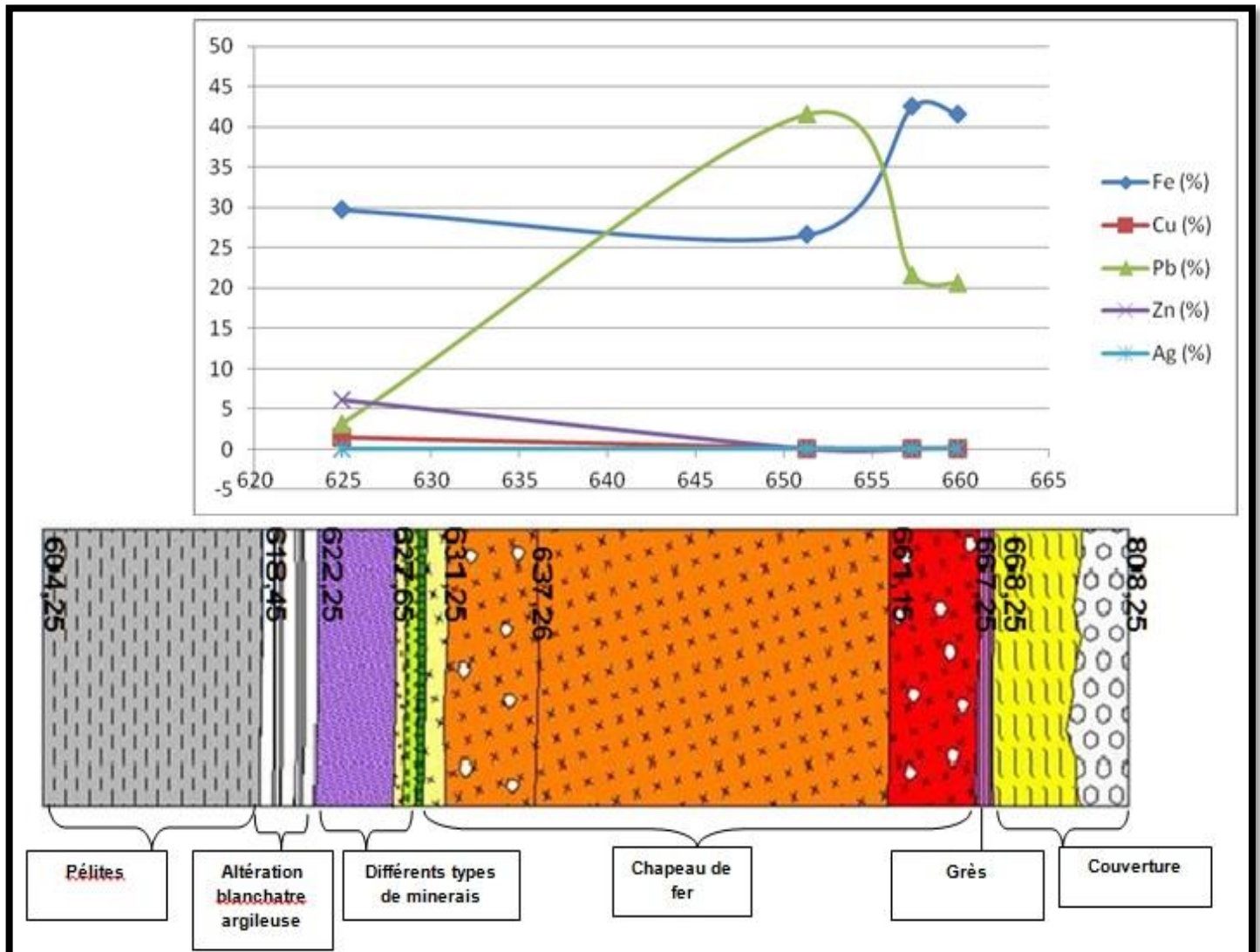


Figure 19 : Diagramme de variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS 133.

Pour le diagramme ci-dessus :

Le Fer et le Plomb enregistrent des teneurs plus importantes par rapport aux autres éléments. Ces dernières se projettent sur la zone du chapeau de fer avec des pics de 42%.

Le Zinc se présente en faible teneur dans la zone des pélites gréseuses et atteint les 6%.

Le Cuivre et l'Argent ont des teneurs très basses à voire nulle dans ce sondage.

Sondage HS 135 :

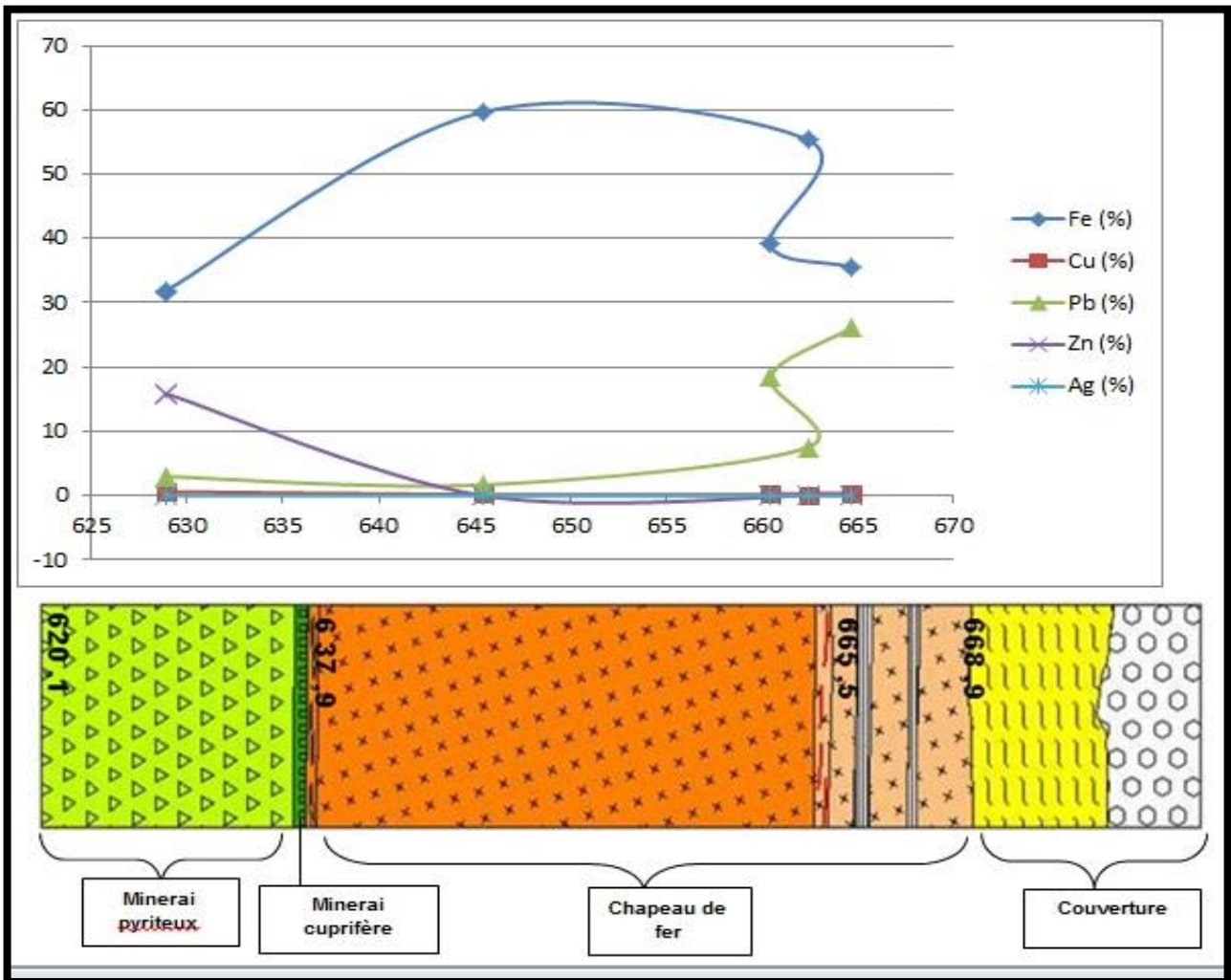


Figure 20 : Diagramme de variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS 135.

Pour le diagramme ci-dessus :

Le Fer se présente en teneur très élevée où il trace un grand pic de 60% qui coïncide avec le chapeau de fer.

Le Plomb enregistre une teneur de 25% dans la zone d'ocres jaunes au niveau 665.

Le Zinc montre un pic de 15% coïncidant avec la zone du minerai pyriteux.

Le Cuivre et *l'Argent* présentent des teneurs nulles, on a absence du minerai cuprifère et argentifère dans ce sondage.

Sondage HS 123 :

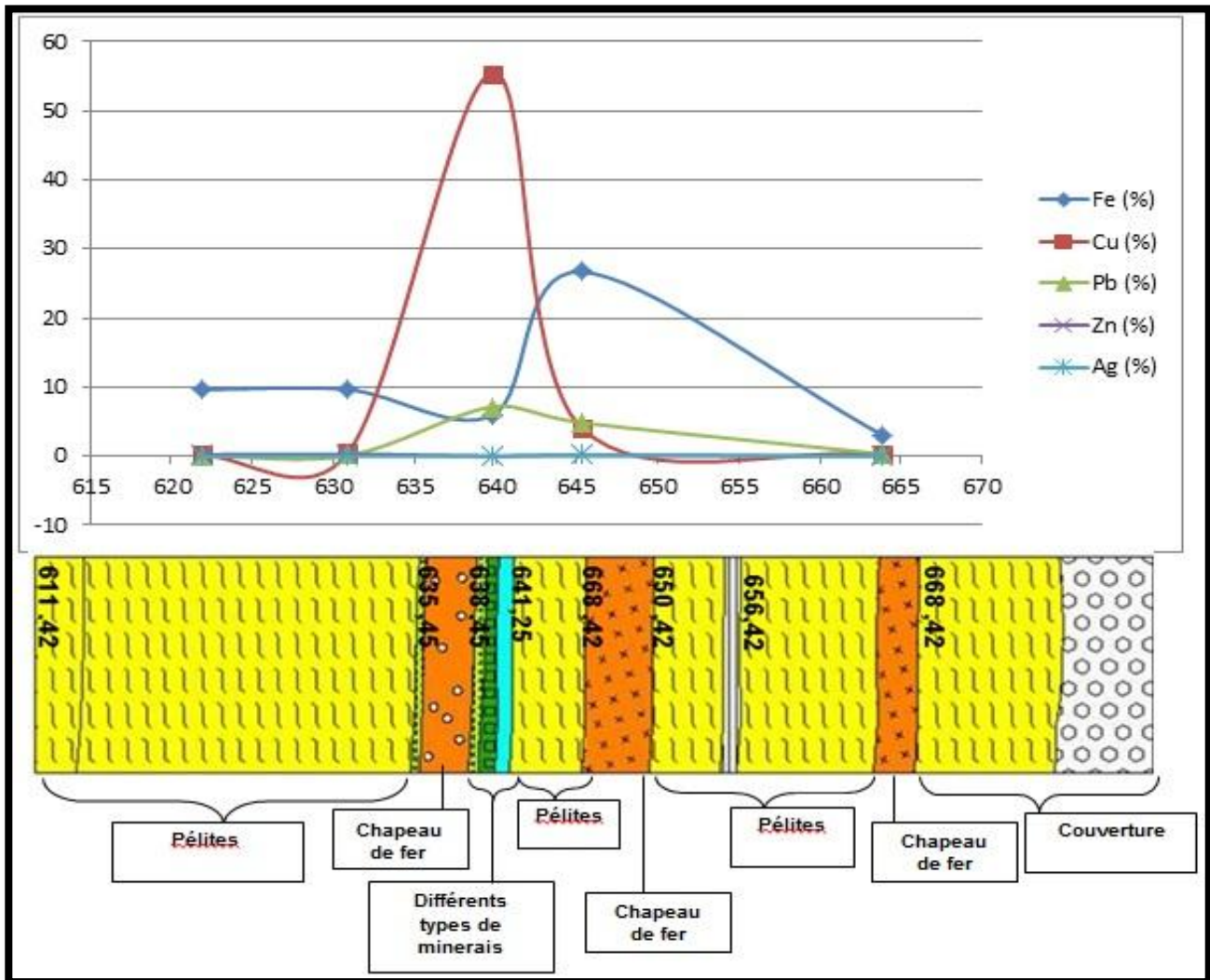


Figure 21 : Diagramme de variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS 123.

Pour ce diagramme ci-dessus :

Le Cuivre enregistre des teneurs faibles mais il trace un pic de 55%, qui coïncide avec la zone où le minerai cuprifère est dominant.

Le Fer se présente en teneur élevée dans la zone de chapeau de fer.

Le Plomb montre une teneur de 7% au niveau des pélites cela peut être traduit par la présence du minerai plombifère.

L'Argent et le Zinc ont des teneurs nulles dans ce sondage.

Sondage HS 109 :

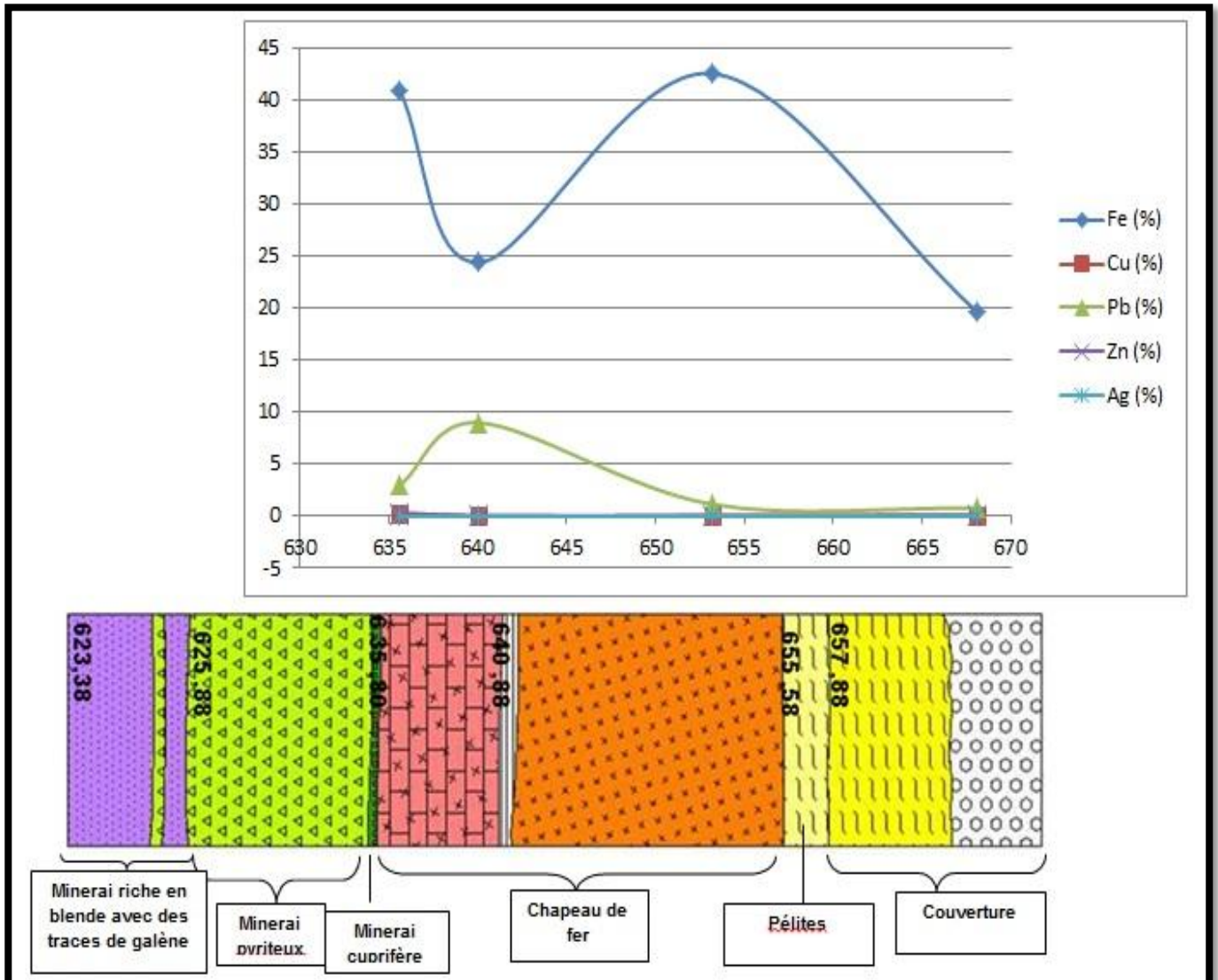


Figure 22 : Diagramme de variation des teneurs du Fe, Cu, Pb, Zn et Ag du sondage HS 109.

Le diagramme ci-dessus :

Le Fer se présente en teneur élevée avec deux pics d'environ 42% coïncidant avec la zone chapeau de fer.

Le Plomb montre des teneurs moyennes avec un pic de 9% qui coïncide avec la zone du chapeau de fer.

Les teneurs du Cuivre, de l'Argent et du Zinc sont nulles dans ce sondage.

Conclusion

D'après l'étude lithostratigraphique, nous avons pu définir l'évolution latérale et verticale du chapeau de fer des corps minéralisés de la mine de Hajjar. Où on constate une continuité du chapeau de fer et de la minéralisation, à l'exception d'une zone où y a absence de ces derniers. Ceci peut être expliqué par le rejeu tardif des failles suivi par le basculement de la série du toit vers le haut et probablement l'érosion de celle-ci.

Afin de caractériser notre chapeau de fer, on a réalisé une étude métallographique basée sur les observations macroscopiques et microscopiques, qui ont révélé différents faciès et paragenèses :

- Au niveau du chapeau de fer on a identifié les ocres rouges et jaunes, qui contiennent des degrés variables d'oxydation manifesté par l'hématite et la goethite. Cette dernière est guidée par la porosité et la perméabilité.
- Au niveau de la minéralisation on a reconnu un minerai pyriteux, un minerai cuprifère avec une abondance de covellite et de bornite ainsi que de la chalcosite, l'arsénopyrite qui étaient peu abondant. Le minerai plombo-cuprifère contenait une importante quantité de cuivre natif.

Notre étude a concerné aussi la partie géochimique afin de vérifier l'évolution des différents éléments observés en fonction des six sondages levés.

On a constaté que le Cuivre se présente toujours en teneur élevée au niveau de la minéralisation cuprifère par rapport aux autres zones et la teneur élevée de Fer coïncide avec la zone chapeau de fer, le Plomb et le Zinc se présente en teneur variable d'un sondage à l'autre tandis que l'Argent avait une teneur nulle dans tous les sondages.

Références bibliographiques :

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

Haimeur, J. (1988). Contribution à l'étude de l'environnement volcano-sédimentaire du minerai de Douar Lahjar (Guemassa, Maroc), lithologie, paléo-volcanisme, géochimie, métallogénie. Thèse 3ème cycle, ENCG, Nancy, 51 p.

Hibti M. (2001). Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilet (Meseta Sud-occidentale, Maroc) : témoins de l'hydrothermalisme précoce dans le bassin mesétien. Thèse de doctorat Es- Sciences. Université de Marrakech.

Hibti M. (1993). L'amas sulfuré de Hajjar : contexte géologique de mise en place et déformations superposées (Haouz de Marrakech, Meseta Sud-occidentale, Maroc). Thèse de 3ème cycle. Université Cadi Ayyad Marrakech, 197 p.

Hmeurras M. (1997). Les amas sulfurés du Maroc .chapitre 2. la VMS province de jebilet Guemassa mines géologie et énergie Rabat in rapport sur les résultats des travaux des experts russes dans la région des jebilet Maroc. RP.interne CMG.

Maier, O.W.; Mellal, A. & EL Hakkour, A. (1986). Le gisement polymétallique hydrothermal sédimentaire de Douar Lahjar, Rapport BRPM, inédit.

Piqué A. et Michard A. (1981). Les zones structurales du Maroc hercynien Sci. Géol, Vol.34 Strasbourg p. 135-146.

Piqué A. et Michard A. (1989). Moroccan hercynides a synopsis. The Palaeozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of west Africa .Am .J.Sci .298 .: 286-330.

Smirnov V. (1982) Géologie des minéraux utiles.

Soulaimani A. (1997). L'évolution structurale des affleurements paléozoïques du Haouz de Marrakech (Guemassa -N'Fis, Maroc). Thèse 3ème cycle. Université de Marrakech.

Zouhry, S (1999). Étude métallogénique d'un amas sulfuré viséen à Zn Pb Cu : cas de Hajjar, Guemassa, Maroc. Thèse de l'école polytechnique de Montréal.