



Année Universitaire : 2016-2017



Master Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

**Cartographie géologique et aspect tectono-métallogénique
du secteur de Jebala
(district minier d'El Hammam, Maroc central hercynien)**

Présenté par :

Yassine CHARIKKI

Encadré par :

- Said HINAJE, FST – Fès,
- Mohamed BOUKHIR, FST-Fès,
- Mohamed SOUIAH, SAMINE,

Soutenu le 15 Juin 2017 devant le jury composé de :

- Mr. Said HINAJE
- Mr. Mohamed BOUKHIR
- Mr. Driss EL AZZAB
- Mr. Mohamed CHARROUD
- Mr. Mohamed DAHIR
- Mr. Mohamed SOUIAH

Encadrant, FST- Fès
Co-Encadrant, FST- Fès
Examinateur, FST-Fès
Examinateur, FST-Fès
Examinateur, FSDM-Fès
Invité, SAMINE

Stage effectué à : SAMINE,





DEDICACES

Je dédie ce travail

A mes parents

En témoignant de ma gratitude pour tant d'années de sacrifices, de prières et d'encouragement. Que dieu leur accorde une longue vie.

A mes frères et sœurs

Mery et Abdou, pour leurs encouragements et leurs affections.

A mes et collègues

Pour tous les bons moments que nous avons passés ensemble. Avec mes souhaits d'un avenir plein de joie et de succès.

Spécialement : Mehdi, Abdessamad, Houcine, Wail, Taha, Hamza, Tariq, Adil, Badr, Mohamed, Abdelhaq, Rachid, Zakaria, Youness, Ibrahim, Ismail, Adam, Otmane, Oussama, Achour, Imad, Said, Hassan, Hamid, Abderrahmane, Yassine, Khadra, Khadija, Siham, Amina, Rabab, Noura, Asmae, Manar, Fatima-zahra, Soukayna, Wafae, Nassira, Nadia

...

A mes enseignants

Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma royale considération.



REMERCIEMENTS

Le bon déroulement de ce projet est bien sûr en lien avec les personnes qui m'ont aidé et soutenu tout au long de ces deux années.

Au terme de ce travail, j'ai l'agréable devoir, signe de gratitude de remercier **ALLAH** le Tout-puissant qui a rendu possible mon parcours universitaire jusqu'à ce jour. Mes remerciements vont ensuite vers toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail ainsi qu'à notre formation.

En premier lieu, j'exprime mes chaleureux remerciements et ma profonde reconnaissance à mon encadrant **Pr. Said HINAJE** professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de FES, d'avoir accepté de diriger ce travail. Je le remercie infiniment de sa directive, ses conseils précieux, ses idées, sa gentillesse, sa sympathie ainsi que pour la disponibilité dont il a su faire preuve malgré ses multiples responsabilités, a minutieusement supervisé ce travail et il est fortement investi dans sa réalisation.

Mes remerciements vont aussi à la société Anonyme d'Entreprise Minier (SAMINE) qui m'a donnée la chance de réaliser un stage dans un climat ambiant et accueillant.

Je tiens à remercier **Mr. Mohamed SOUIAH** chef du service Géologie à la SAMINE, qui a mis le tout nécessaire à notre disposition pour le bon déroulement du stage ainsi pour son encadrement sa disponibilité, ses idées et ses aides précieuses durant tout le stage.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit des membres du service de géologie de SAMINE, **A. LAABARTA, T. RACHID, M. OUJJA, O. AGHOUIDAMI**, et spécialement **I. IKIOUCH** et **P. SAKOUVOGUI** pour leurs accueil et leur collaboration.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury, **Pr. Mohamed CHARROUD, Pr. Mohamed BOUKHIR, Pr. Driss EL AZZAB** professeurs à la Faculté des Sciences et Techniques de FES, et **Pr. Mohamed DAHIR** professeur à la Faculté des Sciences Dhar Mahraz FES, qui ont accepté de juger ce travail.

Je ne peux terminer sans remercier **Mr. ACHOUR, Mr Hassan BAROUDI** et **Mr Alla CHETIRA** qui ont facilité plusieurs tâches tout le long du stage.



قَالَ اللهُ تَعَالَى
« وَمَنْ يَتَّقِ اللَّهَ يَجْعَلْ لَهُ مَخْرَجًا، وَيَرْزُقْهُ مِنْ حَيْثُ لَا يَحْتَسِبُ »
صَدَقَ قَوْلُهُ الْحَقُّ



RESUME

Ce travail entre dans le cadre des projets d'exploration de la SAMINE sur les sulfures. La zone cible est celle du Jebala qui fait partie de la ride d'El Hammam (Maroc central hercynien). Elle contient l'indice de plomb dont l'objectif est de chercher sa continuité. Géologiquement cette zone appartient à l'anticlinal des quartzites qui correspond à un ensemble de boutonnières ordoviciennes et siluriennes. Ces dernières affleurent à l'Est de la mine d'El Hammam en structures anticlinales déversées vers le NE.

La cartographie de la zone d'étude, la prospection « marteau » et les analyses microtectoniques et structurales, nous ont permis de décrire la série stratigraphique, la minéralisation et les différentes phases tectoniques affectant la zone.

De point de vue stratigraphique, le secteur commence par les séries ordovicienne et silurienne (schistes, grès, quartzites et schistes noires) indiquant un milieu de plateforme épicontinentale. Par discordance, ces deux entités sont surmontées par la série du Viséen moyen-supérieur (schistes et calcaschistes) qui indique le morcèlement de la plateforme et la formation d'un bassin. Enfin, se dépose la série du Viséen supérieur (schistes et grès) qui indique le début du comblement du bassin.

L'analyse de la fracturation nous a permis de mettre en évidence les paléochamps de contraintes responsables de la structuration de la zone d'étude :

- * phase de compression NNW-SSE : Post-Permien ;
- * phase de compression WNW-ESE : Permien supérieur ;
- * phase de compression NE-SW à NNE-SSW : Anté-Permien ;
- * phase de compression NW-SE : Westphalien-Stéphanien.

Quant à la minéralisation, nous avons vérifié la structure minéralisée (indice de Pb) et confirmé deux continuités vers le Sud-Ouest (structures des ravins 1 et 2). La première a donné des bonnes teneurs en analyse XRF, par contre la deuxième n'a pas répondu aux analyses géochimiques car elle est dispersée dans les schistes. L'analyse de la relation fracturation-minéralisation a permis d'attribuer probablement la mise en place de cette minéralisation au post-Permien dans un contexte décrochant avec ouvertures en pull-apart.

Mots clés : Cartographie, Fracturation, Tectonique, minéralisation, Géochimie, Jebala, Maroc central, Hercynien.



ABSTRACT

This work falls within the scope of SAMINE's exploration projects on sulphides. The target area is that of the Jebala which is part of the El Hammam ripple (Hercynian central Morocco). It contains Pb index whose objective and seek its continuity. Geologically this zone belongs to the anticlinal of the quartzites which corresponds to a set of Ordovician and Silurian buttonholes. The latter are exposed to the east of the El Hammam mine in anticlinal structures discharged to the NE.

The mapping of the study area, hammer survey and micro-structural and structural analyzes allowed us to describe the stratigraphic series, mineralization and the different tectonic phases affecting the area.

From a stratigraphic point of view, the sector begins with the Ordovician and Silurian series (schists, sandstones, quartzites and black shales) indicating an epicontinental platform environment. These two entities are surmounted by the middle-upper Viséan series (schists and calcaschists), which indicates the morassing of the platform and the formation of a basin. Finally, the upper Viséan series (schists and sandstones) is deposited which indicates the beginning of the filling of the basin.

The analysis of the fracturing allowed us to highlight the paleochamps of constraints responsible for the structuring of the study area:

- * Compression phase NNW-SSE: Post-Permian;
- * Compression phase WNW-ESE: Upper Permian;
- * Compression phase NE-SW to NNE-SSW: Ante-Permian;
- * Compression phase NW-SE: Westphalian-Stephanian.

As for the mineralization, we verified the mineralized structure (Pb index) and we confirmed two continuities towards the South-West (structures of ravines 1 and 2). The first gave good grades in XRF analysis, whereas the second did not respond to the geochemical analyzes because it is dispersed in the schists. The analysis of the fracturing-mineralization relationship has probably attributed the establishment of this post-Permian mineralization in a falling out with pull-apart openings.

Keywords : Cartography, Fracturation, Tectonics, mineralization, Geochemistry, Jebala, Central Morocco, Hercynien.



TABLE DES MATIERES

	n° page
INTRODUCTION GENERALE	1
 <u>PREMIERE PARTIE : GENERALITES</u>	
I. Aperçu géologique régional.....	3
I.1. Domaines structuraux du Maroc	3
I.2. Meseta occidentale marocaine.....	5
I.3. Massif central hercynien	5
I.3.1. Cadre lithostratigraphique.....	5
I.3.2. Cadre structurale.....	7
I.3.3. Cadre métallogénique.....	11
II. Conclusion.....	12
 <u>DEUXIEME PARTIE : APERCU GEOLOGIQUE DE LA MINE D'EL</u>	
 <u>HAMMAM</u>	
I. Situation géographique.....	14
II. Historique de la mine.....	14
III. Aperçu géologique.....	15
III.1. Lithostratigraphie	17
III.2. Tectonique.....	19
III.2.1. Déformation souple.....	19
III.2.2. Déformation cassante	20
III.3. Magmatisme.....	21
III.3.1. Magmatisme basique.....	22
III.3.2. Magmatisme acide	22



III.4. Métamorphisme 23

III.5. Minéralisations 23

IV. Conclusion 25

TROISIEME PARTIE : ETUDE GEOLOGIQUE DE LA STRUCTURE

A GALENE DU SECTEUR JEBALA (district minier d'El Hammam)

I. Introduction 27

II. Situation géographique 27

III. Aperçu géologique de la zone d'étude 28

IV. Cartographie de la structure N20 à galène (secteur de Jebala) 29

IV.1. Faciès métamorphiques 30

IV.2. Cartographie géologique au 1/2500 du gîte minier de Jebala 33

IV.3. Coupes structurales 37

IV.4. Coupes lithostratigraphiques 43

V. Géochimie des filons minéralisés 47

VI. Structure minéralisée à plomb 50

VII. Analyse tectonique de la fracturation 54

VII.1. La schistosité 54

VII.2. Les fentes de tension 56

VII.3. Les failles 57

VIII. Conclusion 60

CONCLUSION GENERALE 61

LISTE DES FIGURES 54

RESSOURCES BIBLIOGRAPHIQUES 55

INTRODUCTION GENERALE

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un stage master au sein de la société Anonyme d'Entreprise Minières (SAMINE) filière de groupe MANAGEM-ONA, entre le 01 Février et le 31 Mai 2017. Dans le district minier d'El Hammam, l'entreprise exploite principalement des filons de fluorine, et récemment des filons de galène. Ce projet de fin d'étude entre dans le cadre de la formation Master G.R.E « GEORESSOURCES ET ENVIRONNEMENT » au titre de l'année universitaire 2016-2017, assuré par le département de géo-environnement de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

L'objectif de ce travail est principalement de faire la carte géologique au 1/2500 du secteur de Jebala afin de délimiter la structure filonienne porteuse de la minéralisation plombifère, de rechercher et vérifier la possibilité de la présence d'autres structures à plomb (par la réalisation d'échantillons), et de faire une étude structurale et tectono-métallogénique de la zone afin de déterminer la phase (ou les phases) minéralisatrice à plomb et sa relation avec les phases tectoniques.

Dans cet objectif, le présent document a été structuré comme suit :

- une première partie qui correspond à une synthèse bibliographique pour connaître le contexte géologique générale (les domaines structuraux du Maroc, la meseta occidentale et le Maroc Central) ;
 - une deuxième partie consacrée à la mine d'El Hammam, pour citer sa localité, son historique et son contexte géologique (stratigraphie, tectonique, magmatisme ...) ;
 - et enfin la troisième partie qui s'intéresse à la zone d'étude et les différents travaux effectués, en commençant par situer la zone dans son contexte géologique, avec une description des faciès que nous avons rencontré sur le terrain. Par la suite nous présenterons la carte géologique au 1/ 2500, les coupes structurales et les logs lithostratigraphiques que nous avons réalisés. Une partie est consacrée aux résultats des études géochimiques des échantillons que nous avons réalisés. Enfin, une analyse structurale de la zone dans laquelle est située la structure minéralisée à Pb.
-

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

I. Aperçu géologique régional

Le Maroc, situé dans la partie septentrionale du continent africain, par sa position de charnière entre le domaine méditerranéen et le craton ouest africain, a été le siège de plusieurs cycles orogéniques (précambrien, hercynien et alpin). Ces orogénèses sont à l'origine de la configuration structurale actuelle, mise en évidence par Michard, A. (1976) et Choubert, G. (1980) et qui montre trois grands domaines structuraux.

I.1. Domaines structuraux du Maroc (fig.1)

La définition des trois grands domaines structuraux du Maroc est basée principalement sur leurs âges et sur les orogénèses qui les ont formés. Ainsi on allant du nord (chaîne plus récente) au sud (chaîne plus ancienne), ces domaines sont :

Le domaine rifain : Caractérisé par une déformation intense de l'écorce et la présence de nappes charriées vers le S à SW qui l'apparente au vaste système orogénique alpine d'âge tertiaire. Il est formé de terrains allochtones chevauchant la Meseta Occidentale. On y connaît aussi des terrains paléozoïques qui affleurent surtout dans la partie interne de la chaîne. Ce domaine constitue le prolongement de la chaîne alpine au Maroc et fait partie de l'ensemble Bético-rifo-tellien.

Le domaine meseto-atlasique : ce domaine est subdivisé en deux grands ensembles :

- Domaine atlasique (Moyen Atlas et Haut atlas) dont le socle est hercynien mais de couverture alpine, Ce sont des chaînes intracontinentales à relief élevé, dont les formations méso-cénozoïques sont affectées par l'orogénèse atlasique.

- Domaine mésétien qui a été structuré par l'orogénèse hercynienne et fracturé et faillé au cours de l'orogénèse alpine, il est divisé à son tour en deux ensembles :

- la meseta orientale formée par les hauts plateaux orientaux situés entre le Moyen Atlas et le Haut Atlas (central et oriental), ils s'étend à l'Est en Algérie par la meseta oranaise, les affleurements paléozoïques dans cette zone forment des boutonnières de faible extension (Jerada, Debdou, Mekkam, Midelt, Beni Znassen).

- la meseta occidentale c'est un vaste plateau à l'ouest des chaînes atlasiques. Il laisse apparaître une large partie du socle hercynien qui englobe les massifs de Maroc Central, Rehamna et Jebilet. La série stratigraphique paléozoïque est continue du Cambrien au Permien. La déformation hercynienne s'est accompagnée d'un métamorphisme régional épizonal à mésozonal et la mise en place des granitoïdes syn à tardi-tectonique.

Le domaine anti-atlasique et saharien : ce domaine est constitué par la chaîne anti-atlasique structurée pendant les orogènes Eburnéenne et/ou Panafricaine (socle), dont la couverture paléozoïque est restée plus au moins stable pendant l'orogène Hercynienne. Ce domaine saharien occupe la partie nord occidentale du craton ouest africain. Il regroupe des terrains d'âge protérozoïque inférieur déformés et métamorphisés pendant l'orogène Eburnéenne (Ouali et al, 2001).

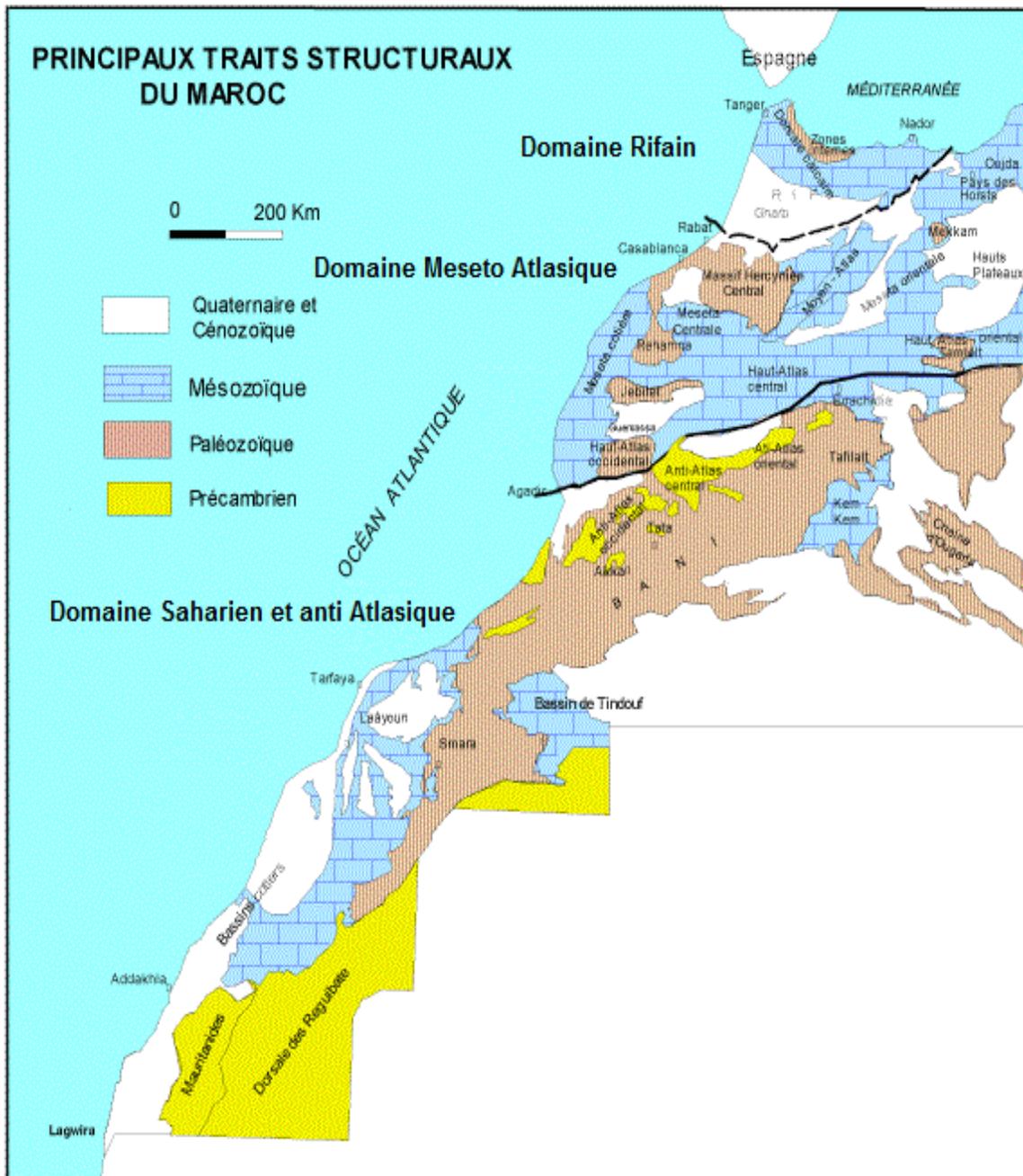


Figure 1 : Carte des principaux traits structuraux du Maroc (ONHYM)

I.2. Meseta Occidentale marocaine

C'est un massif hercynien pénéplané, recouvert de bassins de Crétacé supérieur-Eocène riches en phosphates; ces derniers sont peu déformés par les phases alpines, au contraire de l'Atlas et du Rif.

Le socle hercynien, intéressant pour ses roches ornementales, se rencontre dans trois massifs : les Jbilet au nord de Marrakech, les Rehamna au nord de Benguerir, et le "Massif Central" entre Casablanca et Azrou. Cette zone est caractérisée par l'absence des affleurements précambriens, une forte tectonique hercynienne (avec des nappes dans l'est), l'existence d'un métamorphisme régional dans l'ouest, et des intrusions granitiques.

Les intrusions granitiques hercyniennes forment plusieurs batholites âgés de 340 à 260 Ma (Carbonifère moyen à Permien), les plus jeunes étant post-tectoniques. Le raccourcissement produit par le plissement hercynien est orienté en gros NW-SE.

En gros, des calcaires se trouvent dans le Cambrien inférieur, des grès dans l'Ordovicien, des récifs dans le Dévonien inférieur et moyen (Tiflet), et des lentilles de calcaires dans le Viséen. Après pénéplanation de la chaîne hercynienne, plusieurs golfes marins venant de l'Atlantique (Haha, Doukkala, Plateau des Phosphates, Sillon sud-rifain) déposent une série transgressive du Crétacé supérieur à l'Eocène inférieur : elle inclue les bancs calcaires du Turonien (Calcaires de Boujad) et la série phosphatée du Maestrichtien, grande source de richesse pour le Maroc.

I.3. Massif central hercynien

Le Maroc Central occupe la partie septentrionale de la meseta occidentale. Sa série lithostratigraphique comporte les formations paléozoïques allant du Cambrien jusqu'au Permien recouvertes en discordance par les terrains mésozoïques tabulaires du bassin de Khouribga au sud et par les terrains mésozoïques tabulaires du causse moyen atlasique à l'est et le mole côtier à formations paléozoïques à l'ouest et par le bassin du Gharb et du Sais plio-Quaternaire au nord.

I.3.1. Cadre lithostratigraphique (document Samine)

La série Paléozoïque du Maroc est quasi complète depuis le Cambrien jusqu'au Permien au niveau du Maroc Central.

- **Le Cambrien (540-500 Ma)**

Le Cambrien inférieur débute par une sédimentation carbonatée avec des calcaires et des dolomies, ensuite au Cambrien moyen, les dépôts sont détritiques avec des schistes et des grauwackes. Les variations d'épaisseur importantes du Cambrien moyen indiquent l'existence d'un rift ou graben dans la Meseta occidentale. Ce contexte distensif est aussi argumenté par la présence d'un magmatisme basique de type alcalin intraplaque (basaltes, dolérites). En outre des dépôts gréseux marquent le stade postrift.

- **L'Ordovicien (500-435 Ma)**

Après une lacune (Cambrien supérieur-Ordovicien inférieur.), l'Ordovicien est transgressif avec des dépôts détritiques fins (argilites, pélites), puis grossiers (grès et quartzites) à l'Ordovicien supérieur avec en particulier des faciès d'argiles microconglomératiques qui sont des témoins de la glaciation fini-ordovicienne. L'environnement est de type plate-forme marine peu profonde et peu subsidente.

- **Le Silurien (435-410 Ma)**

Les dépôts sont minces et de faciès très homogènes : argilites noires à Graptolites, Phtanites. Des carbonates apparaissent au Silurien supérieur.

- **Le Dévonien (410-355 Ma)**

Le Dévonien est concordant avec le Silurien, avec au début du Dévonien inférieur le même faciès d'argilites noires à Graptolites. Le Dévonien inférieur et moyen est caractérisé par le développement de faciès carbonatés (récifs). La Meseta occidentale correspondait à une vaste plate-forme marine carbonatée.

- **Le Carbonifère (355-295 Ma)**

Dans les bassins, les dépôts carbonifères sont continus et généralement concordants avec le Dévonien. Sur les rides, la tendance à l'émersion est responsable de lacunes du Tournaisien et du Viséen inférieur. Le Viséen supérieur correspond à une période de grande transgression (à proximité des rides et sur le haut-fond se déposent des calcaires récifaux, dans les bassins s'accumulent des épaisses séries grésopélitiques souvent turbiditiques). La sédimentation est marine, essentiellement détritique, dure jusqu'au Westphalien inférieur.

L'activité magmatique est intense au Viséen supérieur et au Namurien avec la mise en place de laves et d'intrusions basiques: basaltes, dolérites, gabbros. Leur nature alcaline transitionnelle à tholéitique indique clairement un contexte distensif.

- **Le Permien (295-245 Ma)**

Les terrains permien sont en discordance angulaire sur les structures antérieures. Ce sont des dépôts continentaux datés du Permien inférieur (Autunien) (conglomérats, grès et silts rouges provenant de l'érosion des reliefs de la chaîne hercynienne). A ces dépôts est associé un volcanisme important avec des coulées de trachytes, andésites et rhyolites.

I.3.2. Cadre structurale

Le Maroc Central est subdivisé en plusieurs unités (Termier, 1936; Morin, 1951) à structuration majeure NE-SW. Ces unités sont réparties en cinq grandes zones (Michard, 1976) constituant une succession d'anticlinoriums et de synclinoriums séparés par de failles majeures (Fig.2):

- à l'ouest le mole côtier est constitué par l'anticlinorium de Casablanca à matériel cambro-ordovicien peu déformé;
 - le Synclinorium occidental de Ben Slimane et celui de Sidi Bettache à flysch Dévono-Dinantien séparés par la ride de Cherrât à matériel Siluro-Dévonien. Il est limitée au nord par la zone de Rabat-Tiflet qui est structurée et métamorphisée par l'orogénèse calédonienne (Piqué, 1979 ; El Hassani, 1991);
 - l'anticlinorium de Khouribga Oulmès, composé de plis plus ou moins serrés à schistes et quartzites. Il présente deux granites intrusifs: le granite de Zær et celui d'Oulmès;
 - le synclinorium du Fourhal-Telt, occupé par des flyschs néo-Viséennes et marqué par l'intrusion granitique du Ment (Michard, 1976);
 - l'anticlinorium de Kasbat Tadla-Azrou: appelée aussi zone de nappes. Il est constitué de terrains Cambro-Ordoviciens autochtones sous forme d'anticlinaux et de formations allochtones Viséennes. Il est marqué par de petites intrusions granitiques à savoir l'intrusion de Jbel Aouam.
-

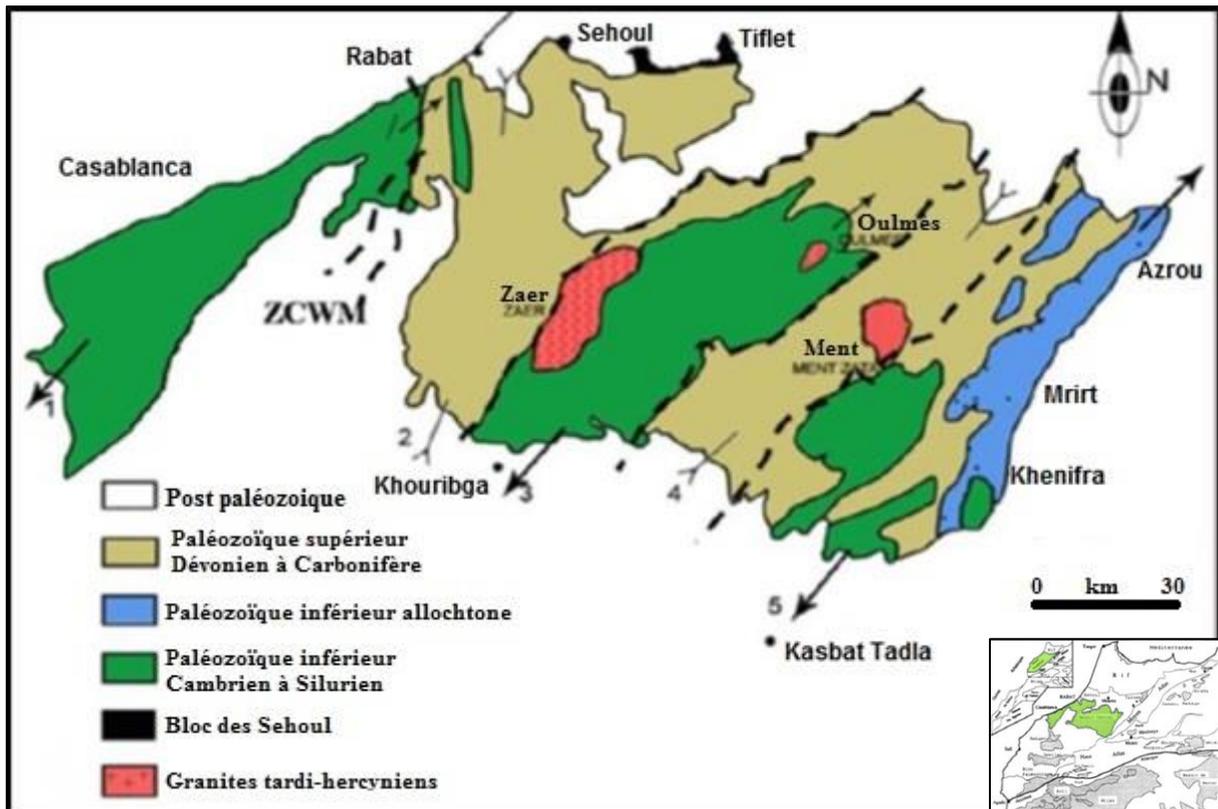


Figure 2 : Carte géologique du Massif central (Nerci, 2006, modifié) (1: anticlinorium de Casablanca, 2: synclinorium Sidi Bettache-Ben Sliman, 3: anticlinorium Khouribga-Oulmès, 4: Synclinorium Foughal-Telt, 5: anticlinorium Kasbat Tadla-Azrou)

Ces mégastructures sont affectées par des accidents et des zones de failles d'ampleur régionale, avec notamment des failles NE-SW dont la plus importante est la faille ou l'accident de Smâala-Oulmès. Cette dernière correspond au contact anormal entre l'anticlinorium Khouribga-Oulmès et le synclinorium Fourhal-Telt.

C'est cette famille des accidents qui ont véhiculé la mise en place des granites du Maroc Central (Zäer, GUILIANI, 1982 ; Oulmès, DIOT et al, 1987; Aouam, CHEILLLETZ, 1984).

D'autres accidents décrochantes dextres E-W à WNW-ESE également d'ampleur régionale sont connus, l'un des plus importants est de loin la faille d'Aguelmous-M'irt.

L'ensemble des données structurales ont permis de définir que l'orogénèse hercynienne s'est déroulée principalement au Carbonifère en deux phases (fig.3) :

- **La phase intraviséenne**

Cette phase de déformation est contemporaine de la sédimentation dans les bassins carbonifères de la Meseta occidentale. Les déformations compressives sont observées essentiellement à la bordure E de ces bassins carbonifères, dans les régions situées entre Azrou et Khénifra et dans les Jbilet orientales. Dans ces secteurs, les terrains paléozoïques constituant le substratum anté-carbonifère des bassins enregistrent des plis synschisteux NNE-SSW déversés vers l'ouest, un métamorphisme de faible degré (schistes verts) daté à 330 Ma (Viséen supérieur Namurien) et des chevauchements vers l'Ouest. La bordure orientale des bassins est ainsi soulevée en structures antiformes au front desquelles la sédimentation carbonifère est caractérisée par des dépôts détritiques syntectoniques (flyschs à blocs, olistostromes). Dans ces zones surélevées, une partie du Paléozoïque est découpée en nappes de charriage qui se mettent en place pendant le remplissage des bassins carbonifères (nappes de glissement synsédimentaire).

- **La phase majeure**

Cette phase est observée dans l'ensemble du domaine mésétien. La direction de raccourcissement est orientée NW-SE, les structures sont des plis synschisteux de direction NNE-SSW à ENE-WSW associés à un métamorphisme régional de faible degré (épizone, faciès à schistes verts), sauf dans le massif des Rehamna où il atteint la mésozone (faciès amphibolite). Le métamorphisme daté à 300 Ma indique que cette phase majeure se déroule à la fin du Westphalien. Le sens de déversement des plis est variable mais le plus souvent vers l'ouest ou le NW, ils sont associés à des chevauchements et des charriages.

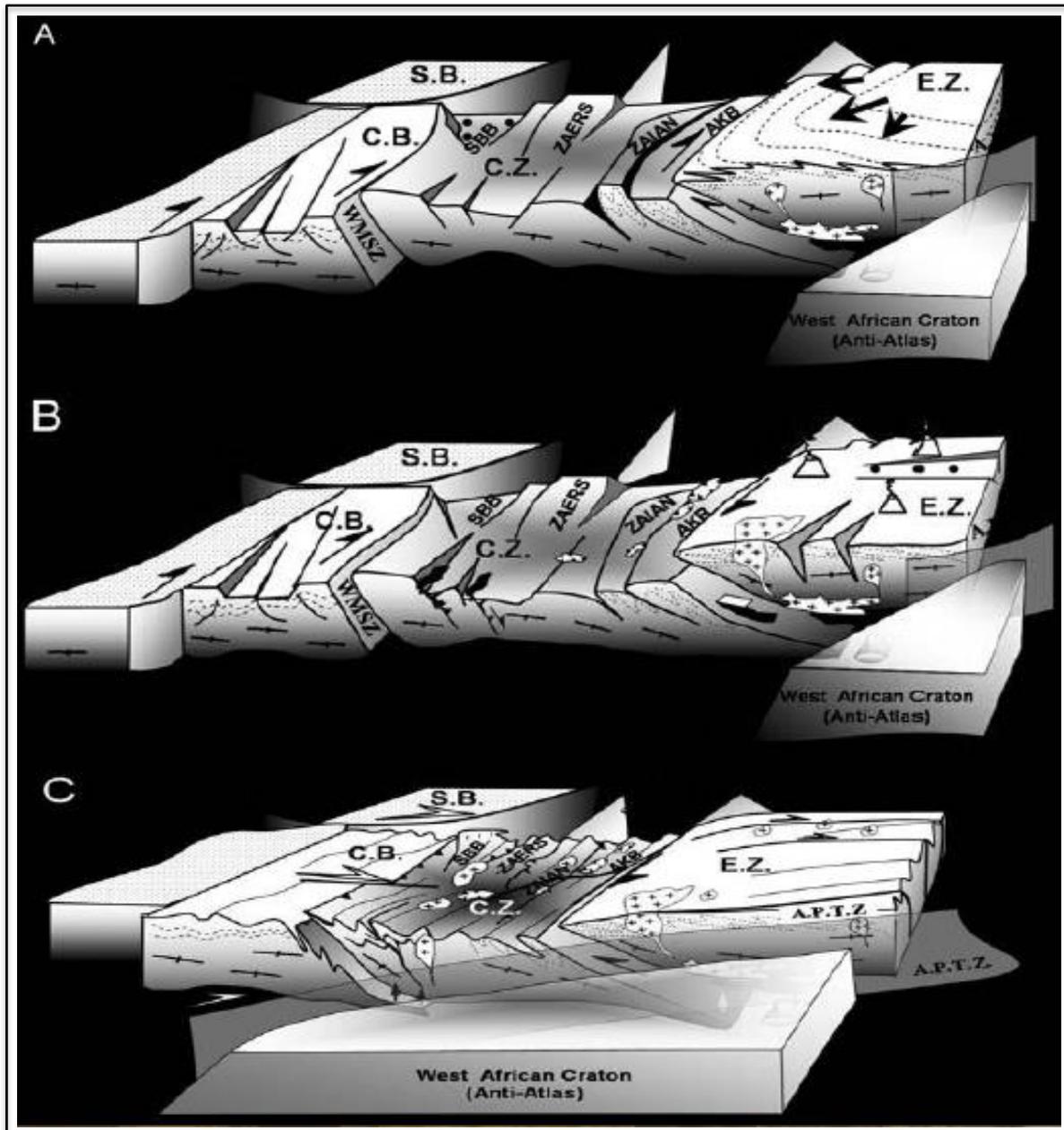


Figure 3 : Modèle géodynamique de l'orogénèse mésétien (d'après Hoepffner et al, 2005)

(A) Dévonien supérieur Tournaisien, les phases Eovariques touchent essentiellement le domaine est de la Meseta, à l'ouest, une grève feuillet de déformation est accompagnée d'une ouverture transpressive de pull-apart bassins.

(B) Massif central au cours du Viséen

(C) Vers la fin du Carbonifère, les principales phases varisques ont déjà affectés l'ensemble du domaine Meseta (aujourd'hui transformée en un bloc Meseta) qui heurte obliquement contre l'Anti- Atlas, une tectonique de collisions continue jusqu'à ce que le début du Permien.

(AKB: Bassin Azrou-Khénifra / APTZ: Zone de transformation Atlas-Paléozoïque / CB: Block côtier / CZ: Zone centrale du Meseta / EZ: Zone orientale du Meseta / SB: Bloc de Sehoul / SBB: Bassin de Sidi Bettache / TBFZ: zones de failles de Tazekka-Bsabis / WMSZ: Zone de cisaillement ouest mésétien)

I.3.3. Cadre métallogénique (fig.4)

Sur le plan métallogénique, le Maroc Central recèle un nombre important d'indices et de gisements filoniens aux signatures périgranitiques. On peut citer le gisement Pb-Zn (Ag) de Jbel Aouam, l'ancien gisement d'étain d'EL Karit (Oulmès), le gisement de fluorine d'EL Hammam et un nombre de petits gisements d'antimoine anciennement exploités. Routhier (1980) a par ailleurs qualifié le Maroc Central de province métallifère stanno-wolframifère. En revanche jusqu'à nos jours aucun indice ni gisement à minéralisation de type VMS ou SEDEX n'est signalé au Maroc Central.

II. Conclusion

Le Maroc, situé au nord-ouest du continent africain, se divise en trois grands domaines structuraux, qui sont du nord au sud :

- le domaine rifain qui constitue la chaîne la plus récente d'âge alpine ;
- le domaine meseto-atlasique, d'une couverture Mésozoïque et Cénozoïque et d'un socle Paléozoïque, il se divise en chaînes atlasiques et en mesetas (occidentale et orientale) ;
- le domaine anti atlasique et saharien, ce domaine comporte les terrains les plus anciens (Précambrien) comme socle et une couverture d'âge Paléozoïque.

La meseta occidentale constitue une zone où le socle Paléozoïque affleure en trois grands massifs : les Jebilet au nord de Marrakech, les Rehamna au nord de Benguerir, et le "Massif Central" entre Casablanca et Azrou.

Le massif central est l'affleurement Paléozoïque le plus vaste, il a la série complète du Cambrien au Permien et il est subdivisé en plusieurs unités à structuration majeure NE-SW. Ces unités sont réparties en cinq grandes zones constituant une succession d'anticlinoriums et de synclinoriums séparés par de failles majeures. La structuration de ce domaine s'est faite en deux phases : la première, intraviséenne contemporaine de la sédimentation dans les bassins carbonifères, la deuxième datée vers la fin du carbonifère (Westphalien-Stéphanien). Ces deux phases ont conduit à la structuration actuelle du massif.

Sur le plan métallogénique Le socle hercynien constitue une province métallogénique très productive dont les minéralisations se répartissent en sous-provinces dont celui du Maroc central. Dans le Maroc central, il s'agit des minéralisations pneumatolytiques ou de départ acide à étain d'Achmmach, le gisement d'étain d'El Karit, le filon de fluorine d'El Hammam, celui à F-Pb-Ba-Ag de Zrahina, les concentrations pyrométasomatiques à Sn-W autour du granite de Ment et les filons à Pb-Sb ou Pb seul, dont le plus important est celui de Tighza-Jbel Aouam.

DEUXIEME PARTIE : APERCU

GEOLOGIE DE LA MINE D'EL HAMMAM

I. Situation géographique

Le district d'El Hammam est situé à environ 65Km au sud-ouest de la ville de Meknès et fait partie de la province de Khemisset (fig.5). C'est une zone forestière, caractérisée par un relief accentué du Maroc central dont l'altitude varie entre 540m (au niveau d'oued Beht) et 1200m (crête de Jbel Achemeche) et un réseau hydrographique dense qui dessine des talwegs et des vallées dont les principales sont celles de l'oued Beht et son affluent oued Boutoukret.

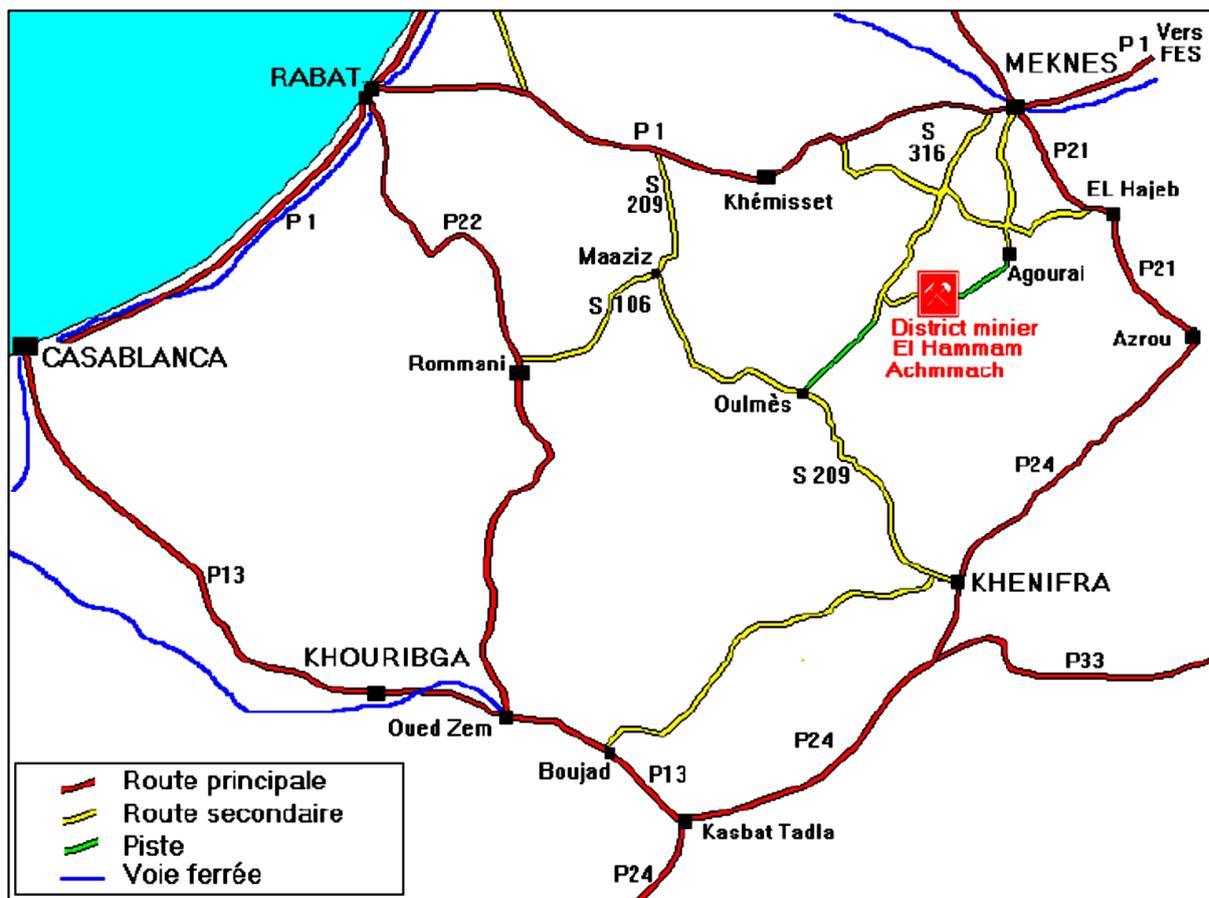


Figure 5 : Localisation et routes d'accès à la mine d'El Hammam

II. Historique de la mine

Le district d'El Hammam avait attiré l'attention de plusieurs géologues et prospecteurs, grâce à la présence de roches magmatiques basiques et acides. Il s'agit principalement d'un batholite granitique enfoui, peu profond, affleurant à la surface par l'intermédiaire d'apophyses dans le lit de l'oued Beht. En plus du granite, on trouve des dolérites, des rhyolites et des microgranites.

La recherche des minéralisations dans le district minier d'El Hammam peut être décrite comme suit (Document Samine) :

- La zone est connue par des grattages anciens qui datent d'avant l'arrivée des colonisateurs romains ... ;
- l'existence de la fluorine dans cette région est connue depuis 1932 (J. Barthoux);
- en 1931, des recherches de plomb furent entreprises à Berkamène;
- en 1941, D. Matveleff nota la présence de fluorine associés a de la calcite et a l'hématite sur un filon au NNE d' El Hammam;
- en 1947, M.M Dubois et ses frères découvrent l'important filon d'El Hammam;
- en 1951, J.Agard et PH. Morin ont montré l'importance du district d'El Hammam-Berkamene et des coupes ont été établis par PH. Morin;
- en 1961, les travaux de recherches furent repris par un groupe Américain en association avec le B.R.P.M (Bureau de Recherche et de Participation Minières);
- en 1965, une étude détaillée du para genèse du filon d'El Hammam a été établis par, F.Guet et M.Gaillard;
- en 1966, une étude géologique et structurale du district d'El Hammam-Berkamene fut établie par, J.Agard;
- en 1970, une étude réalisée par El Maghraoui, sur le gisement de fluorine de El Hammam, cette étude a été réalisée à partir des observations en surface et dans les galeries de la mine, complétées et approfondies par les résultats des sondages;
- ces travaux aboutissent à la mise en exploitation du gisement par la SAMINE nouvelle société composée d'intérêt Marocain (B.R.P.M, O.N.A), Français (P.U.K) et Allemand (Preussag).

III. Aperçu géologique

Le district d'El Hammam se situe au Maroc central hercynien et plus particulièrement dans la terminaison orientale de l'anticlinorium Khouribga-Oulmès. Les roches affleurantes dans la région ont des âges qui vont de l'Ordovicien-Silurien au Viseen supérieur-Namurien probable. Elles sont recoupées par un magmatisme varié et structurés par l'orogénèse hercynienne en un ensemble d'anticlinaux et synclinaux. Le district est limité par deux unités structurales (Fig.6) :

- Au nord-ouest, l'unité de Tafoudeit, décrite comme un ensemble Viseen supérieur-Namurien, chevauchant vers le SE. La limite est matérialisée par une série d'accidents

crustaux (NE-SW). Ces accidents ont contrôlé la sédimentation (Ben Abbou 1990), la mise en place des granites de Zaer (Lagarde, 1987) et les manifestations volcaniques du Permien.

- Au sud-est, l'unité de synclinorium Fourhal (Termier 1936), composée aussi des formations du Viseen supérieur-Namurien. Sa limite ouest est matérialisée par un accident cisailant qui correspond à la faille d'Oulmès.

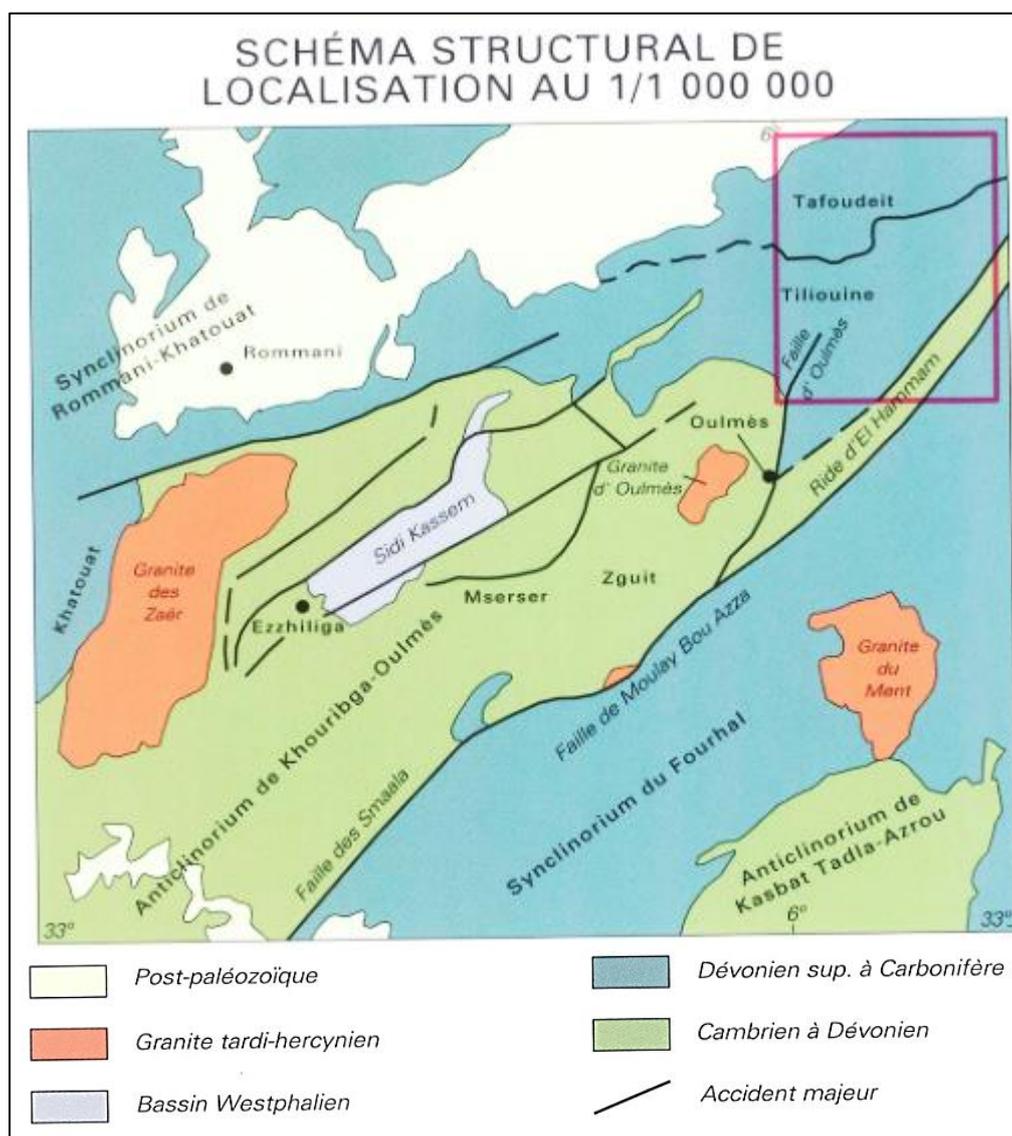


Figure 6 : Schéma structurale associé à la feuille géologique de Bouquachmir qui montre la délimitation de la ride d'El Hammam entre l'unité de Tafoudeit au NW et le synclinorium de Foughal au SE (Izart et al)

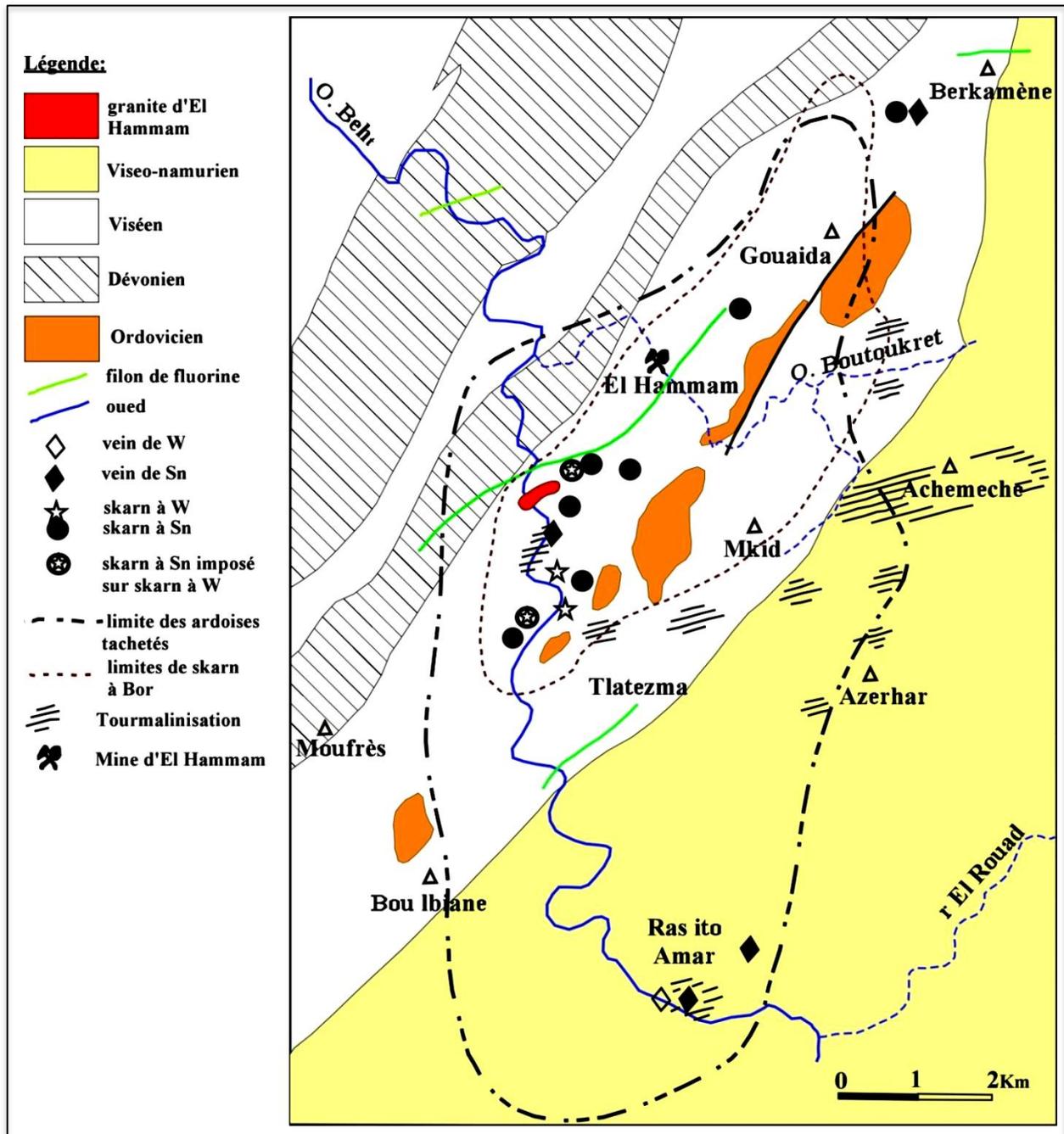


Figure 7 : Carte géologique du district d'El Hammam (Sonnet 1981, modifié Samine)

III.1. Lithostratigraphie

La lithostratigraphie de la région d'El Hammam a été définie par Agard (1966) qui a décrit de bas vers le haut les ensembles suivants (Fig. 8) :

- le Silurien est représenté par des pélites noires à graptolites et des grès associé à des lentilles de quartzites (Ces grès quartzites pourraient être attribués à l'Ordovicien);
- le Dévonien est composé par des schistes jaunes à tentaculites et des petits bancs à calcaires griottes;
- le Viséen correspond à la majorité des terrains qui reposent en discordance, par l'intermédiaire des conglomérats, sur les faciès les plus anciens (Ordo-silurien et Dévonien). La série viséenne comprend trois termes : schisto-gréseux conglomératique (terme de base), schiste et schisto-calcaires fossilifères (terme intermédiaire) et schiste et grès (terme supérieur);
- le Namurien correspond à la série flychoïde (alternance des pélites et grès);
- le Quaternaire comporte les éboulis de piedmont et les alluvions qui recouvrent directement le paléozoïque (lacune des terrains tertiaires et de secondaires).

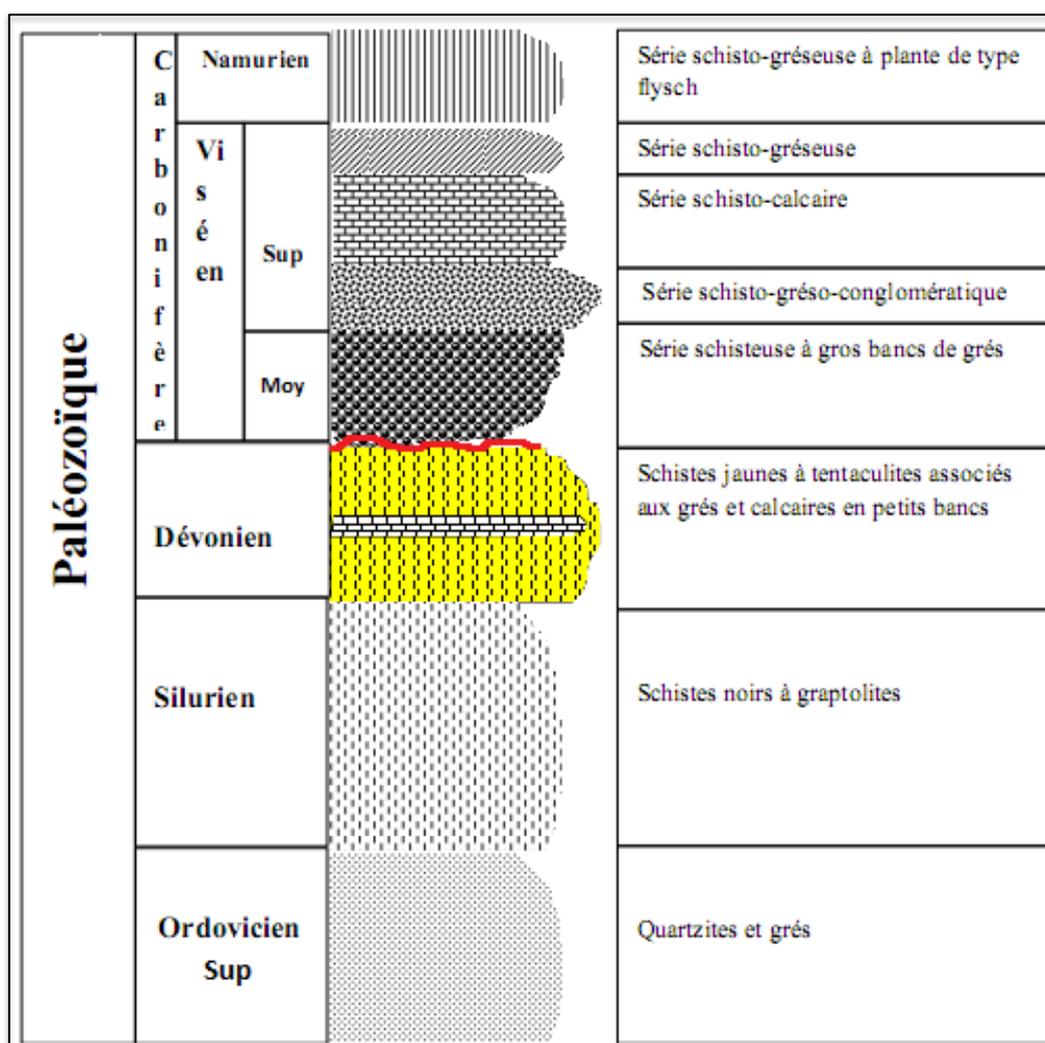


Figure 8 : Log stratigraphique schématique de l'unité d'El Hammam (Document SAMINE)

III.2. Tectonique

III.2.1. Déformation souple

Les terrains du district dessinent des plis importants liés à une phase de compression (NW-SE), ayant organisé la région d'El Hammam en plusieurs unités structurales de direction NE-SW. Les structures ont un pendage vers le NW et déversées vers l'est. Ainsi, dans le périmètre immédiat de la mine, une succession d'anticlinaux et de synclinaux avec des plis isoclinaux ont été mis en évidence (Van Marcke, 1979) (fig.9) :

- **L'anticlinal de Bou Lhana** : se prolonge vers le SW jusqu'au Jbel Moufrès. Il est composé de formations dévoniennes comportant une barre de calcaire métamorphisée qui forme une arrête tranchant le paysage à l'ouest du col de la mine.
- **Le Synclinal de la mine** (ou de Jbel Gouaïda) : renferme la quasi-totalité des filons de fluorine, les affleurements des skarns, de sulfures et de granite dans sa partie SW. Cette unité se pince vraisemblablement vers le nord de Jbel Gouaïda où elle est recoupée par la faille d'El Hammam dont le réseau de fractures est emprunté par la minéralisation fluorifère.
- **L'anticlinal des quartzites**: c'est un secteur à structure complexe. Il se prolonge au SE de Jbel Moufrès où les schistes noirs et les quartzites du Silurien (Ordovicien?) sont bien visibles au cœur de la série de base du Viséen supérieur.
- **Le synclinal de Jbel Berkamène** : s'étend de J. Kifane au nord jusqu'à Tlatezma au sud. C'est un synclinal très ouvert présentant des replis anticlinaux donnant une importante épaisseur apparente à la série viséenne. Il comporte le puissant dyke de dolérites de Jbel Mkkid et des microgranites à tourmaline de Tlatezma, Lalla Mimmouna et Sidi Lahcen.

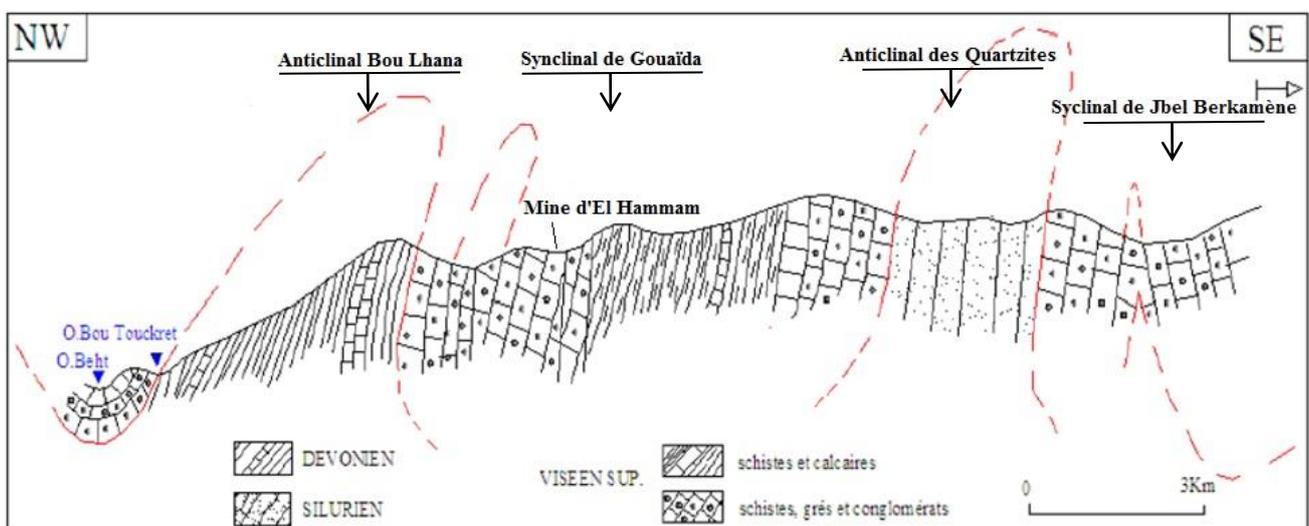


Figure 9 : Coupe schématique de la région d'El Hammam (Van Marcke, 1979)

Ces grandes structures sont localement reprises par une phase engendrant des plis droits à plans axiaux subméridiens. Ces plis développent une schistosité de crénulation pouvant parfois être pénétrative. Ce type de déformation serait lié à un régime de cisaillement dextre, comme l'attestent l'association systématique des plis aux zones de cisaillement, leur déversement et la forme sigmoïde des plans de schistosité principale (Rahho, 1996).

III.2.2. Déformation cassante

L'étude de la tectonique cassante du district d'El Hammam constitue un élément important pour la reconstitution de la mise en place des filons minéralisés de la région. Plusieurs familles de failles et de structures à toutes les échelles ont été observées (Rahho, 1996) (fig.10) :

- au cœur et à l'est du district, un réseau de failles de direction NE-SW appelées faille d'El Hammam et faille de Jebala, sont à l'origine des filons de calcite à fluorine. Cette direction règle la majorité des structures du district dont les jeux sont complexes;
 - des failles NNW-SSE de pendage sub-vertical et à jeu sénestre sont porteuses d'une minéralisation plombifère à gangue calcitique;
 - des filons de fluorine de direction ESE-WNW complètement sécants sur la direction principale NE-SW;
 - des failles de direction ENE-WSW auxquelles sont associées les grandes structures à tourmalinites du Jbel Achemache;
 - enfin des failles sub-verticales de direction E-W à jeu normal ou inverse avec des structures à tourmaline (Jbel Achemache), et fluorine dans le Jbel Achemache et au nord de Jbel Berkamène (Souhassou, 1997).
-

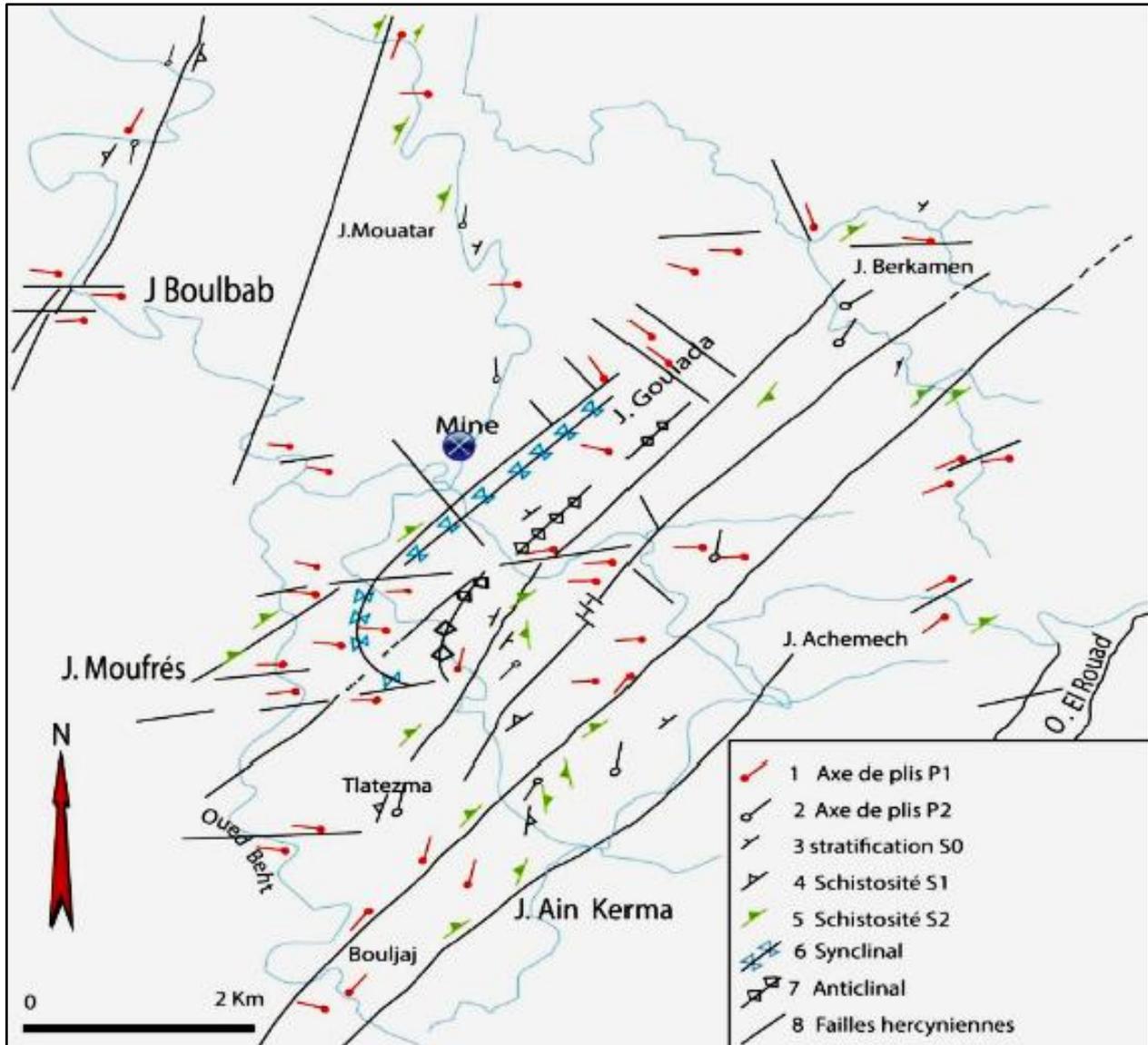


Figure 10 : Carte Structurale du district minier d'El Hammam (d'après RAHHO, 1996)

III.3. Magmatisme

Le secteur est le siège d'une importante activité magmatique pré et tardi-orogénique exprimée en filons et dykes basiques à acides organisés en faisceaux récurrents et parallèles de direction NE-SW. Ce magmatisme est d'âge paléozoïque. Il s'est développé en trois temps (Ben Yahia, 1988, in Kemmou, 2006) en donnant trois types de roches : des dykes et sills de dolérites, des dykes de microgranite et un massif granitique enfoui (batholite d'Achemache), dont une apophyse affleure dans le secteur de Moufrés (au SW de la mine) au niveau de l'oued Beht.

III.3.1. Magmatisme basique

Le magmatisme basique dans la région d'El Hammam est représenté par des dolérites en dykes et parfois en sills dans les séries dévoniennes et viséennes. Pétrographiquement, ces roches quand elles ne sont pas affectées par le métamorphisme, présentent une texture ophitique. Leur assemblage minéralogique comporte des plagioclases en lattes englobés dans l'augite automorphe, l'olivine en cristaux non zonés et portant les marques d'une corrosion (contour dentelé). On trouve comme minéraux accessoires le sphène, l'ilménite et l'apatite (Jebrak, 1984).

Les dykes de dolérites sont métamorphisés dans l'auréole du granite et présentent une schistosité liée à une phase antérieure c'est à dire un magmatisme dont la mise en place est précoce (Ben Yahia, 1988).

III.3.2. Magmatisme acide

Quant au magmatisme acide, il se manifeste en deux types :

- **Les microgranites** : Ils apparaissent peu après la phase de déformation majeure. Ils présentent des textures et des minéralogies variables. On passe des microgranites composés de quartz (automorphe), de feldspath potassique et de plagioclases, à des microgranites à quartz xénomorphe, orthose d'assez grande taille, biotite chloritisée et plagioclase albitique. Au NE, les filons présentent un faciès de rhyolite blanche à texture porphyrique et fluidale. Plusieurs microgranites présentent une tourmalinisation à pyrite liée au granite enfoui (granite d'El Hammam), ceci montre que ces dykes sont antérieurs à ce granite.

- **Le granite d'El Hammam** : C'est un granite tardi tectonique, affleurant entre Ain El Hammam et Oued Beht sur une large bande de 150m et une longueur d'un kilomètre. L'étendue de la zone métamorphique est de 11km sur 8km, ce qui montre la présence d'un vaste massif enfoui. Il est de nature calco-alcalin dont la genèse est liée à la fusion des matériaux sialiques. De point de vue pétrographique, ce granite est composé de quartz, des plagioclases très muscovitisés (Amenzou, 1998), de muscovites en gerbes, de chlorites et de l'ilménite.

Localement, on peut noter des variations de faciès : on trouve un granite tacheté caractérisé par la présence de l'andalousite et de la cordiérite (qui provient d'une assimilation des roches microgranitiques par le granite), ou un granite greisenié avec abondance de muscovite, ou un granite albitique marqué par l'abondance des plagioclases (Sonnet, 1981).

III.4. Métamorphisme

Les terrains du district d'El Hammam, principalement du Viséen supérieur, sont affectés par deux types de métamorphisme : l'un régional de faible degré (épizonal) et l'autre thermique (de contact).

- **Le métamorphisme régional** : Il a produit des roches faiblement transformées. Il s'agit de phyllades et de quartzo phyllades. Les associations paragénétiques issues de ce métamorphisme sont : *(quartz, muscovite, chlorite) ; *(quartz, muscovite, biotite et chlorite). Ces associations indiquent qu'il s'agit d'un métamorphisme épizonal de type schiste vert.

- **Le métamorphisme de contact** : Il est interprété comme étant le résultat de la mise en place du granite enfoui d'Achemache. Il est caractérisé par l'apparition des taches (andalousite et cordiérite) dans les métagéolites, donnant développement des schistes tachetés et des cornéennes dans les carbonates (skarns). On distingue six faciès métamorphiques de degré croissant et dont le plus élevé correspondant à l'association : quartz + feldspath potassique + biotite + cordiérite, avec l'absence de la sillimanite, ce qui permet d'estimer les conditions physiques de métamorphisme ($T < 600^{\circ}\text{C}$ et $P < 2\text{Kbar}$) (Sonnet, 1981).

III.5. Minéralisations

Les minéralisations du district d'El Hammam peuvent être classées en trois groupes (sonnet, 1981) :

- **Les skarns** à tungstènes, étain et bore mis en place par une métensomatose dans les calcaires Viséen. Ce sont des minéralisations précoces.

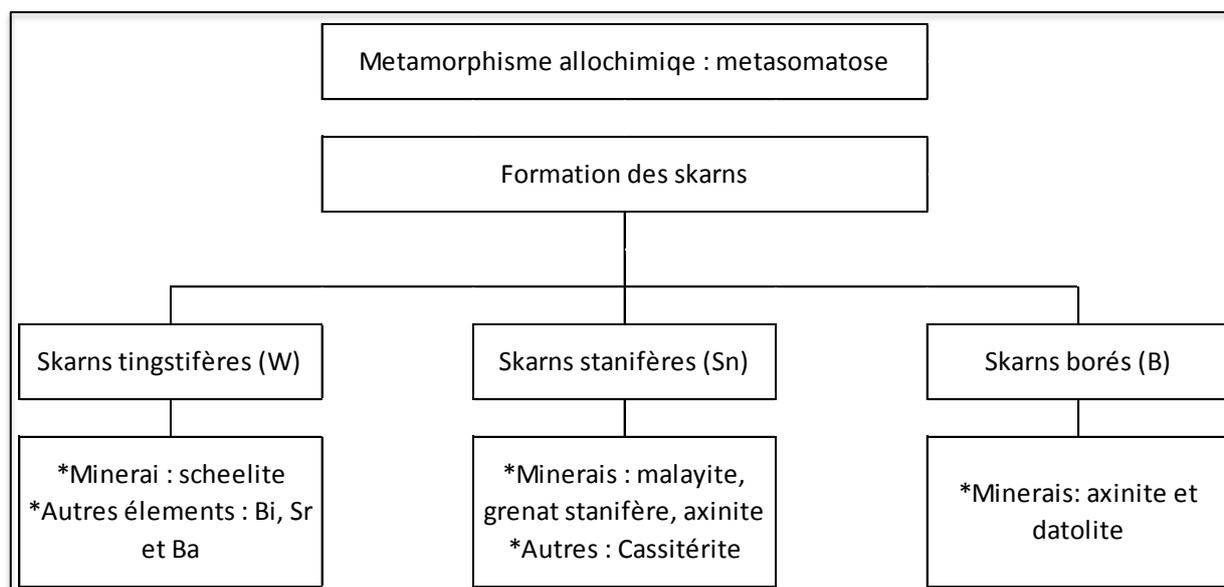


Figure 11 : Tableau récapitulatif des minéralisations skarnifères

➤ **Les minéralisations sulfurées** filoniennes subméridiennes à pyrrhotite abondante, blende, chalcopryrite, scheelite, bismuth. Elles se développent en milieux non carbonaté (schistes, granites, dolérites...) et elles sont disséminées dans les skarns et les cornéenne calcosilicatés.

A El Hammam, la concentration des sulfures se fait sous différentes types morphologiques (Kaisin, 1997).

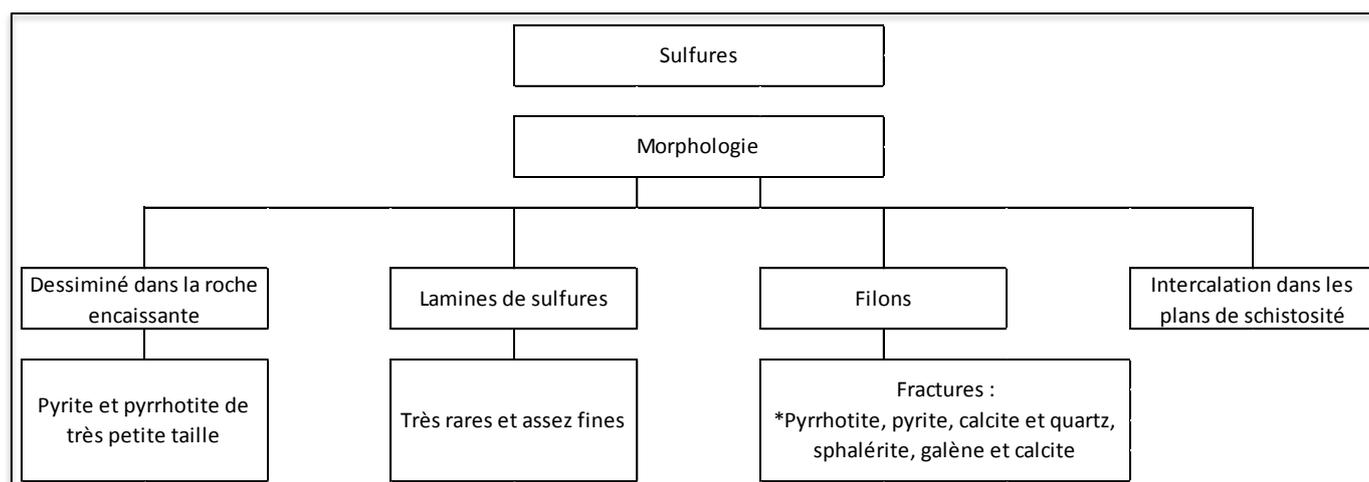


Figure 12 : Tableau récapitulatif des minéralisations sulfurées (d'après Kaisin, 1997)

Dans le district d'EL Hammam, la minéralisation sulfurée est diversifiée mais on ne peut en parler sans évoquer la lentille de pyrrhotite d'Ain El Hammam, qui est d'une puissance de 1,5m, une longueur de 50m et elle longe une barre calcaire transformée en skarns stannifère dits skarns d'Ain El Hammam.

➤ **Les minéralisations fluorifère** qui correspond à des filons en décrochement N35 à N40 à remplissage de calcite et fluorine suivi par un stade plus tardif à sulfures et quartz, présentant rarement un aspect de brèche de faille. Elles se mettent en place postérieurement aux minéralisations précédentes qu'elles recoupent lors d'une compression régionale ENE-WSW.

Deux types de filons peuvent être distingués en fonction de leur taille et de leur remplissage en calcite :

- des filons larges riches en calcite, de puissance importante (10m) (filon principal et filons popote);
- des filons de petite taille à faible teneur en calcite (moins de 5 %) située un peu partout dans le périmètre du district (Tlatezma, Berkamène, Moufrès).

IV. Conclusion

Le district d'El Hammam est situé dans une zone de dislocation majeure du socle hercynien au Nord-Est du Maroc Central. Sa série stratigraphique (Ordovicien jusqu'au Namurien), affecté par les phases de déformations hercyniennes, est structurée en quatre unités (déformation ductile) qui sont respectivement du NW vers le SE : l'anticlinal de Bou Lhana, le synclinal de la mine (ou de Jbel Gouaida), l'anticlinal des quartzites et le synclinal de Jbel Berkamene.

La déformation cassante dans la région d'El Hammam est manifestée par plusieurs familles de failles, notamment la famille de direction NE-SW qui est la plus fréquente et généralement la porteuse des minéralisations.

En outre, la région est caractérisée par un magmatisme d'âge Paléozoïque qui s'est développé en trois temps (Ben Yahia, 1988) :

- Le magmatisme basique (intrusions de dolérite) généralement sous forme de sills et parfois en dykes quelquefois, dans les séries Dévoniennes et Viséennes.
- Magmatisme acide (microgranite) apparaissant peu après la déformation majeure P1.
- Mise en place du granite d'El Hammam et de l'auréole de métamorphisme) tardi-orogénique dont la genèse est attribuée à la fusion des matériaux sialiques.

Quant aux minéralisations, plusieurs phases de minéralisation sont connues : d'abord les minéralisations liées à une activité métasomatique responsable de la formation des skarns, on distingue trois épisodes dont la succession chronologique est la suivante : (les skarns à tungstène, les skarns à étain dite stannifères et les skarns à Bore, ensuite des minéralisations filoniennes à sulfures et enfin des minéralisations filoniennes à fluorine.

TROISIEME PARTIE : ETUDE
GEOLOGIQUE DE LA STRUCTURE A
GALENE DU SECTEUR JEBALA
(district minier d'El Hammam)

I. Introduction

Récemment l'entreprise Samine qui exploite la mine d'El Hammam, a lancée de nouveaux projets d'exploration qui visent principalement les sulfures dans l'ensemble des régions entourent la mine. Or, vu que son contexte géologique (granite enfui) ressemble à celui de la mine de Tighza-Jbel Aouam qui exploite le plomb et l'argent principalement, l'entreprise minière a orienté ces recherches spécialement vers ces deux éléments.

La mine à développer des indices de plomb déjà existants (de Ain El Hammam, de Jbel Moufress ...) et vise à développer d'autres (de Jebala, de Jbel Berkamène ...).

Les gisements développés par la mine montrent que les structures porteuses du plomb (Galène) correspondant à des filons et/ou à des fentes en ouvertures de direction principale N10 à N20 associés probablement à un des failles cisailantes de direction N30 à N40 (couloir de cisaillement à une grande échelle).

La région de Jebala est l'objet de notre travail qui consiste principalement à la réalisation de la carte géologique de la région, la délimitation de la structure porteuse du plomb, la recherche des autres structures qui peuvent être importantes (économiquement), la description des résultats d'analyses (RFX) des échantillons qu'on a réalisé et enfin l'analyse structurale des ensembles de mesures que nous avons réalisé.

II. Situation géographique de région de Jebala

La région de Jebala, se situe à l'est de la mine d'El Hammam (fig.13), à 2 kilomètres à vol d'oiseau et à 3 kilomètres par la piste qui mène à Achemache. Son altitude moyenne est de 850m. Elle est peu forestière et elle est drainée par plusieurs ravins qui versent vers l'Oued de Boutoukert qui est l'un des principaux affluent d'Oued Beht.

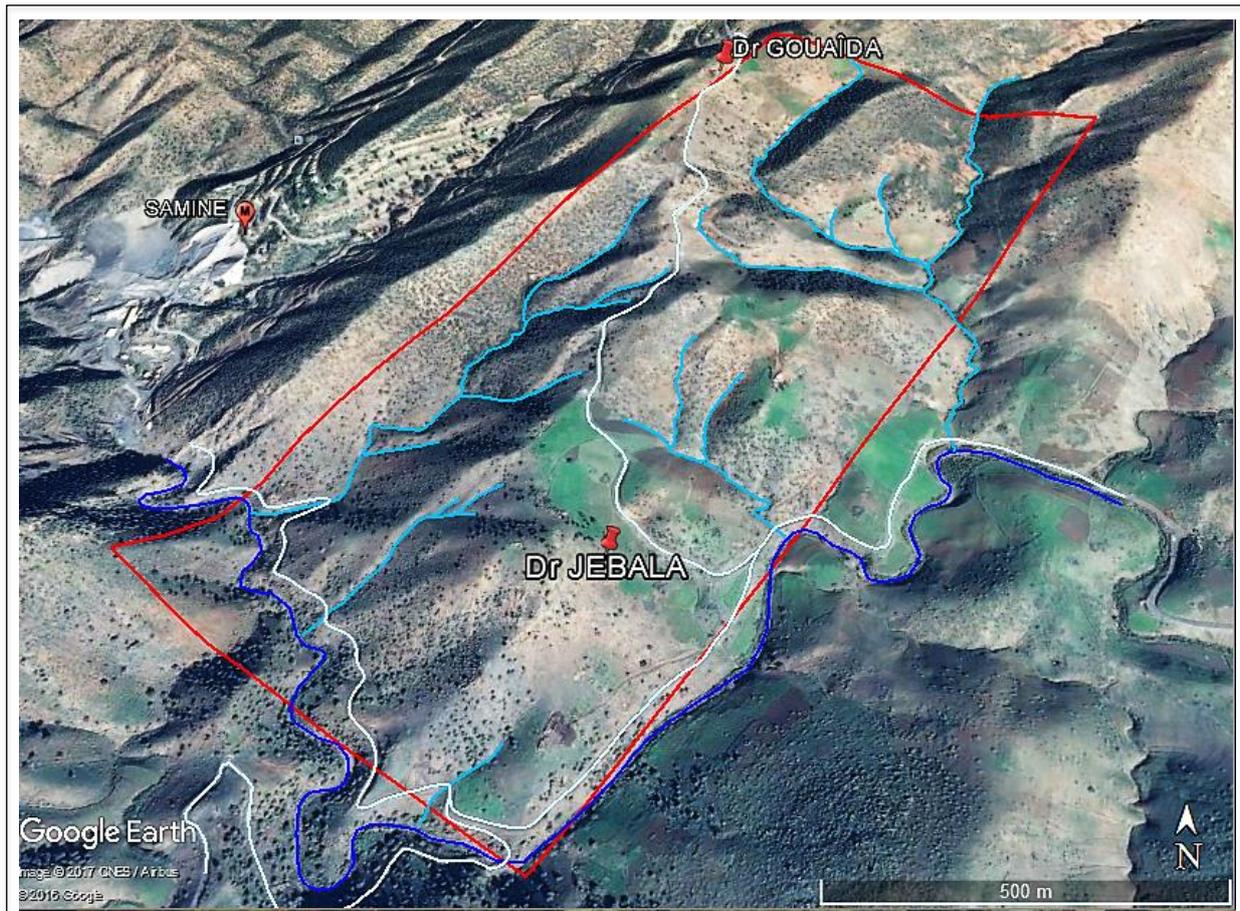


Figure 13 : Situation de la zone de Jebala (cadre rouge), vue satellitaire sur google earth

III. Aperçu géologique de la zone d'étude

La zone étudiée fait partie de l'anticlinal des quartzites. Cet anticlinal correspond à un ensemble de boutonnières affleurant à l'est de la mine, à matériel principalement Ordovicien et Silurien, dessinant sur environ 6km une bande large de 1km orientée NE-SW (Rahho, 1996).

Dans ces boutonnières on peut distinguer deux termes :

- des schistes noirs micacés riches en matière organique. Ces schistes sont riches en graptolites dont l'âge est le Silurien moyen (Agard, 1966) ;
- des formations indifférenciées des schistes et grès à intercalations de quartzites.

Dans la boutonnière centrale (de Jebala), ces deux termes sont surmontés à l'ouest, par discordance, par les formations du Viseen moyen-supérieur. Ces derniers correspondent à des schistes à intercalations carbonatées de plateforme, notamment la barre de carbonate skarnifiée qui est large de plus de 50 mètres, et correspond à la limite est des filons de fluorine

(Faille d'El Hammam 'FEH'). A l'est les formations Ordoviciennes sont limitées par un grand couloir de cisaillement (couloir de Jebala). Il s'agit d'une grande faille (d'échelle régionale) de direction NE-SW héritée depuis les premières phases tectoniques affectant la région. Après ce couloir (vers l'est) se sont les formations du Viséen supérieur qui correspondent à des schistes et grès turbiditiques et schistes alternés.

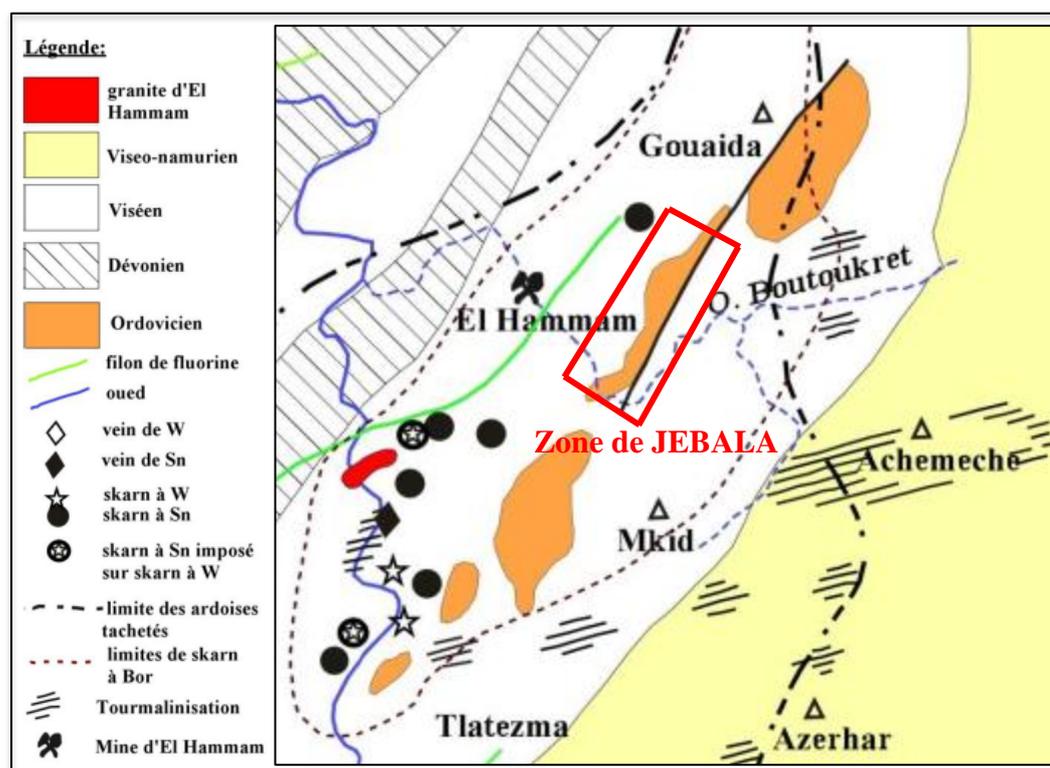


Figure 14 : Situation de la zone de Jebala (cadre rouge), dans la carte géologique de la région d'El Hammam (Sonnet, 1981)

IV. Cartographie de la structure N20 à galène (secteur de Jebala)

Le travail de cartographie se base principalement sur la reconnaissance des différents faciès, l'effectuation des différentes mesures (schistosités, pendages ...), la réalisation des coupes structurales, la synthétisation des logs stratigraphique, la bonne représentation des données récoltées et l'interprétation logiques des différentes observations.

Afin de réaliser la carte géologique de la région, on a entamé plusieurs travaux techniques, en utilisant des outils cartographiques anciens (cartographie sur fond topographique et papier millimétrique) et récentes (GPS et Google earth).

IV.1. Les faciès rencontrés

Le secteur est formé essentiellement d'un ensemble de séries schisteuses de différents âges. Ces schistes sont soit associées aux grès (Ordovicien/Viséen supérieur) et aux carbonates (Viséen moyen-supérieur) ou bien seuls (Silurien).

L'ensemble des coupes réalisées dans le secteur ont permis de définir les formations métamorphiques suivantes :

- **Les calcaschistes**

Ce sont des roches caractérisées par l'alternance de schistes et des barres calcaires d'épaisseurs variables (centimétriques à métriques). Elles forment l'ossature des principaux reliefs de la région (colline K, K-est ...) et sont souvent très inclinées vers le nord-ouest et parfois verticalisées. Ces barres calcaires montrent localement un degré métamorphique très élevé qui provoque la perte de leur aspect original (skarns).

- **Les schistes et grès indifférenciés**

Ce sont des schistes et grès qu'on ne peut pas différencier que par l'abondance de l'un par rapport à l'autre.

- Schistes gréseux

Ce sont des formations schisto-gréseuses, de couleurs rougeâtre à grisâtre, montrant une schistosité nette. Elles forment la plupart des dépressions de la région, par contre les carbonates, les grès et les quartzites forment les reliefs.

- Grès schisteux

Ce sont des formations de grès-schisteux, de couleur rougeâtre, d'aspect dur, parfois massifs (bancs de grès seuls), et d'une schistosité moins abondante (à cause du comportement des grès). Elles forment des petits reliefs dans la région, et elles forment une bande qui longe toute la boutonnière ordovicienne.

- **Les quartzites**

Ce sont des roches siliceuses, très dures, composées exclusivement ou en grande partie de quartz, à cassure conchoïdale lisse ou finement esquilleuse. Elle montre en cassure une couleur grisâtre et des filonets de quartz. Elles s'érigent en grandes lentilles sur le terrain et

elles affleurent aux sommets des collines avec des puissances pluri-métriques, orientées N30 à N40 généralement à pendages vers le nord-ouest. Certains de ces quartzites contiennent des veines de quartz et des niveaux oxydés à sulfures. Ces roches correspondent à des grès déposés dans un milieu sédimentaire intertidal à supratidal, ayant subi un métamorphisme plus au moins intense.

IV.2. Cartographie géologique au 1/2500 du gîte minier de Jebala

La région de Jebala correspond à une boutonnière d'âge Ordovicien, entourée par les terrains Viséen. Elle est limitée à l'ouest par une discordance angulaire avec les terrains d'âge Viséen moyen-supérieur et à l'est par une faille orientée N40 qui limite l'Ordovicien du Viséen supérieur (couloir de Jebala).

La carte géologique réalisée dans la zone d'étude (fig.19/hors texte) nous a permis d'identifier les formations géologiques et leurs limites (stratigraphique et/ou tectonique), les ensembles de familles de failles, filons et structures minéralisées. Il faut signaler la présence d'importantes zones recouvertes, soit par des champs, des habitations ou bien par des dépôts récents au niveau des ravins. L'essentiel des zones cartographiées sont aux alentours de la route, dans quelques ravins (où les terrains sont bien visibles) et dans les sommets (là où les roches sont durs et résistent à l'érosion). Pour les terrains recouverts, nous avons réalisé une corrélation entre les faciès lithologiques de part et d'autre de la zone ; pour compléter la carte.

Par leurs âges, les formations cartographiées dans le secteur d'étude, du plus récent au plus ancien, sont :

- **formation d'âge Viséen supérieur (Carbonifère)**

Les roches de cet âge dans la zone d'étude, correspondant à des schistes et des schistes alternés avec des grès et des carbonates (parfois skarnsifiés). Elles se présentent en bandes de direction N40 (comme toutes les structures de la région), limitées au Nord-ouest par le couloir de Jebala et au Sud par le couloir de cisaillement d'Oued Boutoukert (parallèle à l'Oued dans la région de Jebala, N30 à N40) ;

- **la série d'âge Viséen moyen-supérieur (Carbonifère)**

Les formations du Viséen moyen-supérieur de la boutonnière de Jebala correspondent à des calcschistes et des schistes à passées carbonatées et des skarns. Il s'agit d'une barre carbonatée skarnifiée, contenant des lits schisteux. Vers le Sud-Est, elle devient plus schisteuse et passe latéralement et progressivement à des schistes.

Par une discordance, ces terrains surmontent les terrains ordoviciens et siluriens. Cette discordance est non cartographiée à cause des recouvrements. Mais vers le Nord de la région, là où les carbonates de la colline K rencontrent la route (à côté du Gouaïda), ces carbonates surmontent directement des schistes noirs siluriens.*

- **la formation d'âge Silurien**

Les roches d'âge Silurien de la zone d'étude, correspond à des schistes noirs qui affleurent en bordures des terrains Ordoviciens. Dans la zone d'étude, elles sont localisées au Nord, près des carbonates viséens et dans un des ravins effluents de Oued Boutoukert.

- **la série ordovicienne**

Les terrains d'Ordovicien forment l'essentiel des affleurements de la région de Jebala. La série est formée essentiellement de schistes et grès indifférenciés. Les grès affleurant à l'Ouest, passent latéralement vers l'Est à des schistes et grès avec prédominance des schistes. Ceux-ci montrent des lentilles gréseuses, et l'ensemble de la série est traversé par des lentilles de quartzites qui affleurent dans les sommets sous forme de lentilles discontinues.

Outre les formations géologiques, la zone présente plusieurs failles de directions différentes à remplissages qui diffèrent d'une faille à une autre (quartz, oxydes, sulfures, brèche ou sans remplissage) (voir table des failles, annexe 1). Deux couloirs de cisaillements ont été mis en évidence, le premier c'est le couloir de Jebala de direction N40, il est hérité depuis les anciens phases qui ont structurées la région, le deuxième se situe au SE du premier, il est parallèle à Oued Boutoukert au Sud de Jebala.

Une structure minéralisée en plomb a été vérifiée (indice de plomb vers la route) avec deux continuités vers le Sud-Ouest, la vérification de cette structure est réalisée par suite (chapitre d'analyses géochimiques).

La schistosité dans la zone d'étude est divisée en 3 familles, S1 de flux, la plus ancienne, elle a une direction qui varie entre N10 jusqu'à N40, elle est rencontrée dans tous les formations du secteur, S2 de fracture, elle recoupe la première et elle a une direction qui varie entre N110 et N125, enfin S3 de fracture, elle recoupe les deux premières, elle a une direction qui varie de N70 jusqu'à N90, et elle est rencontrée principalement dans les terrains du Viséen supérieur (cause de sa faible abondance).

IV.3. Coupes structurales

Afin de comprendre la structuration de la zone d'étude, nous avons réalisé cinq coupes structurales qui traversent la totalité des faciès de la zone étudiée et qui montrent les différents pendages des stratifications. Puisque tous les affleurements de la région sont structurés N30 à N40, les profils choisis pour les coupes sont orientés principalement NW-SE (fig.19).

Les coupes que nous avons réalisées (fig.20, 21, 22, 23 et 24) montrent les différents affleurements de la zone d'étude et leur structuration. La série ordovicienne avec des schistes et grès et la barre des quartzites, se présente comme un anticlinal déversé vers le Sud-Est. Cette série est surmontée à l'Ouest, en discordance, par la série du Viséen moyen-supérieur (schistes et carbonates) qui montre un pendage important à vertical vers le nord-ouest. A l'Est, après le couloir de Jebala (limite est de la boutonnière ordovicienne) il y a les formations du Viséen supérieur qui correspondent à une barre carbonatée, des schistes et des grès. Pour le Dévonien, en 1984 M. Jebrak signale qu'il est absent de l'anticlinal des quartzites et qu'il forme un anticlinorium double à l'Ouest de la mine d'El Hammam (loin de la zone d'étude).

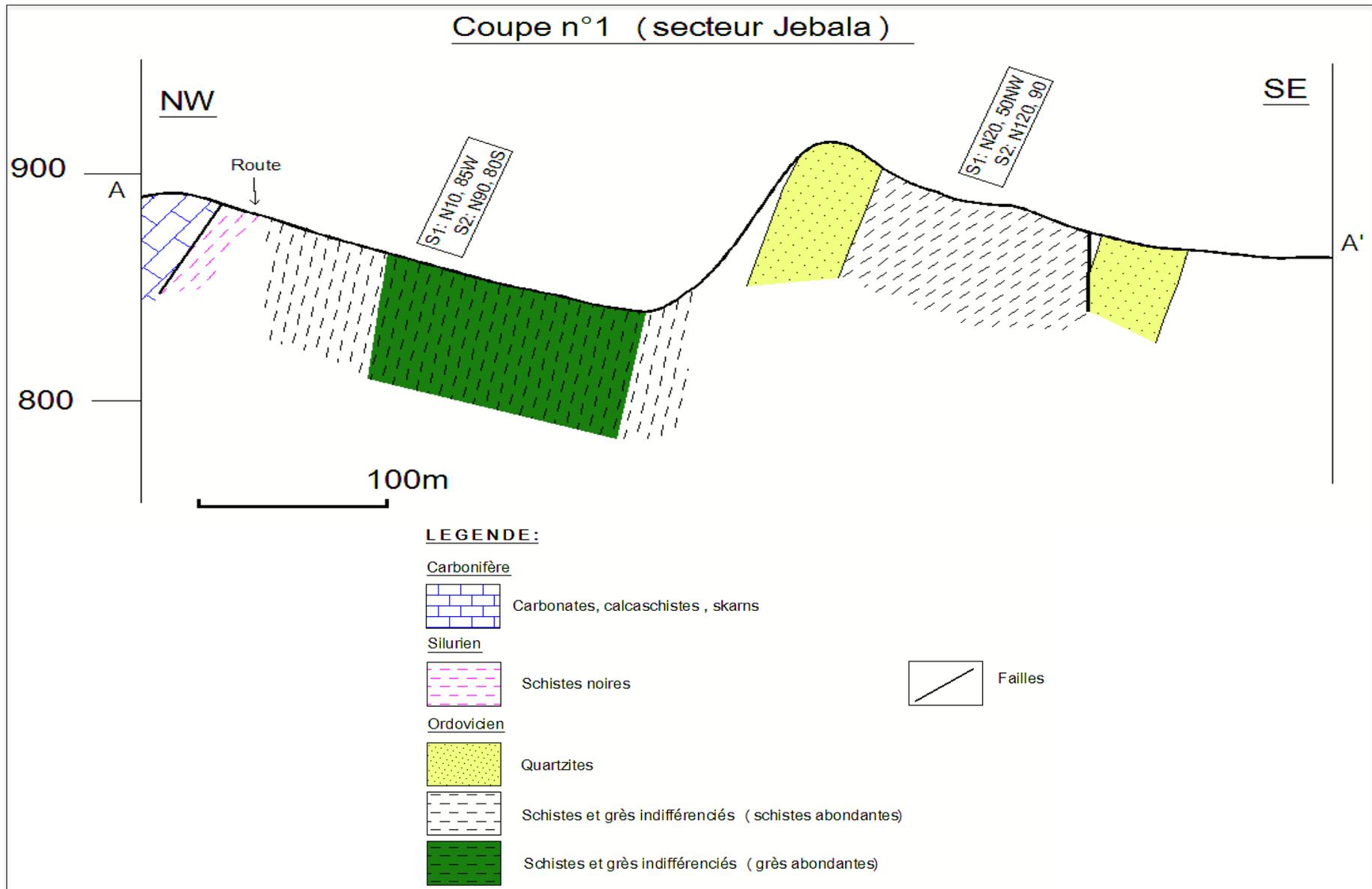


Figure 21 : Coupe géologique n°1 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)

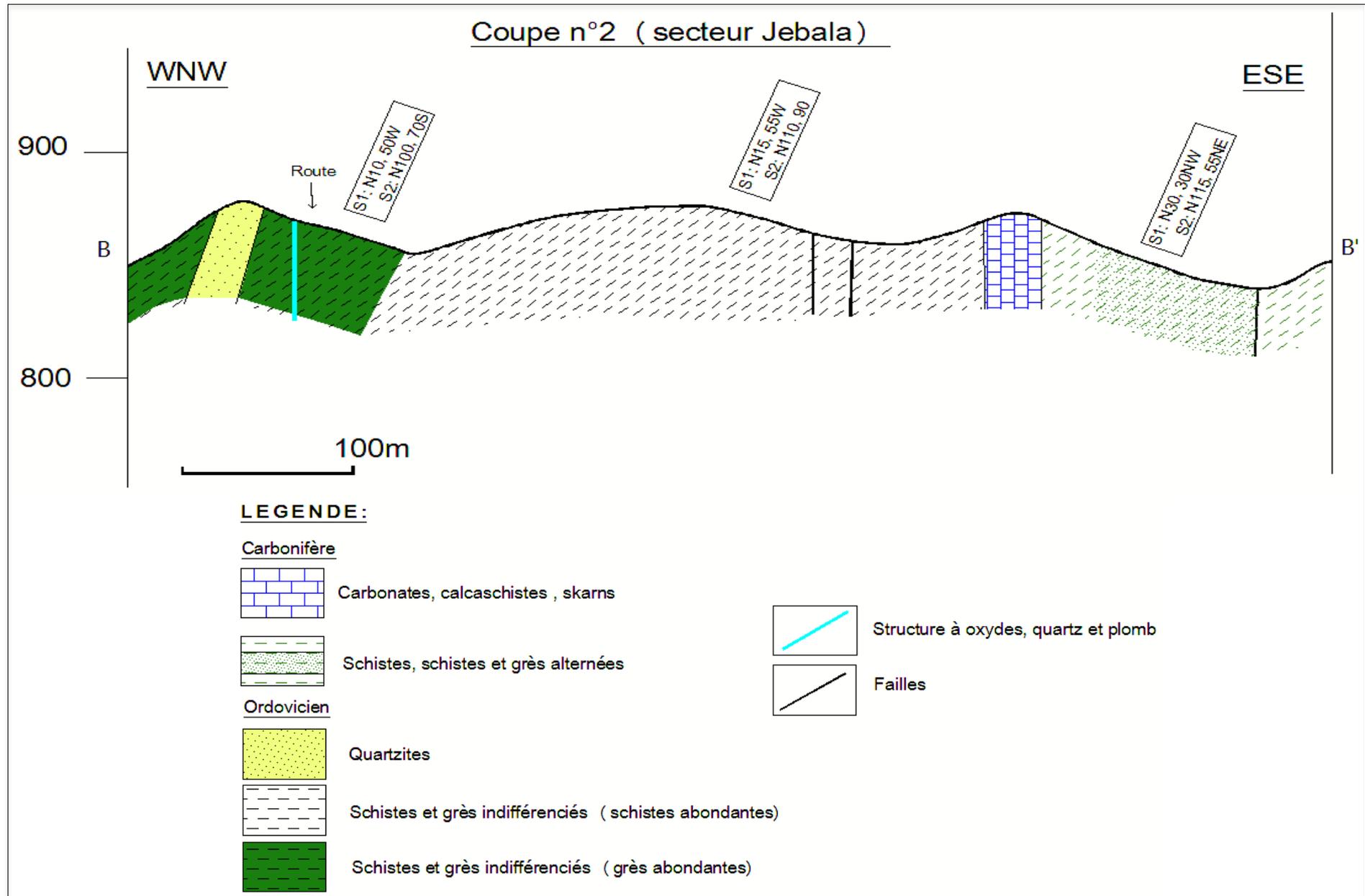


Figure 22 : Coupe géologique n°2 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)

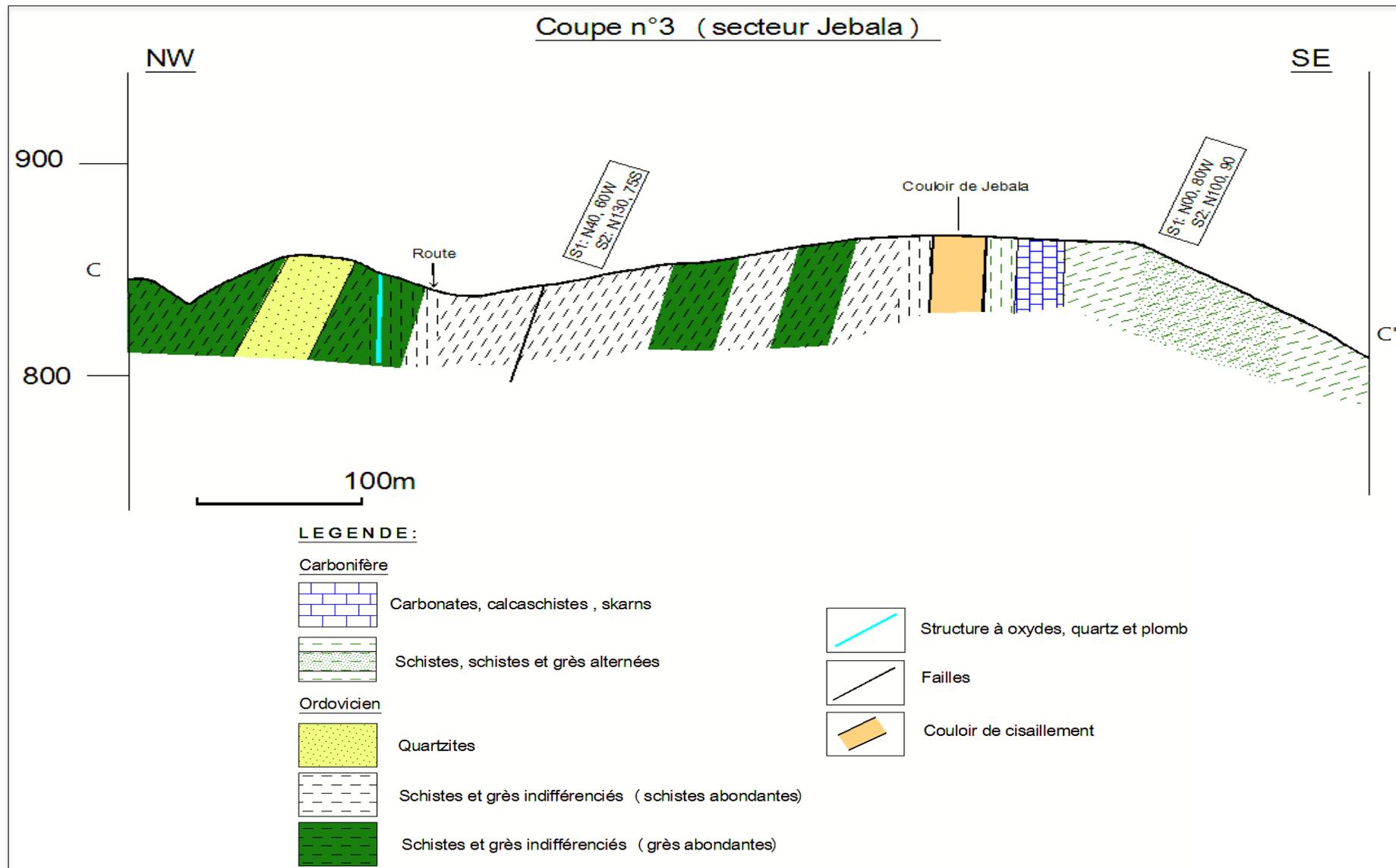


Figure 23 : Coupe géologique n°3 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)

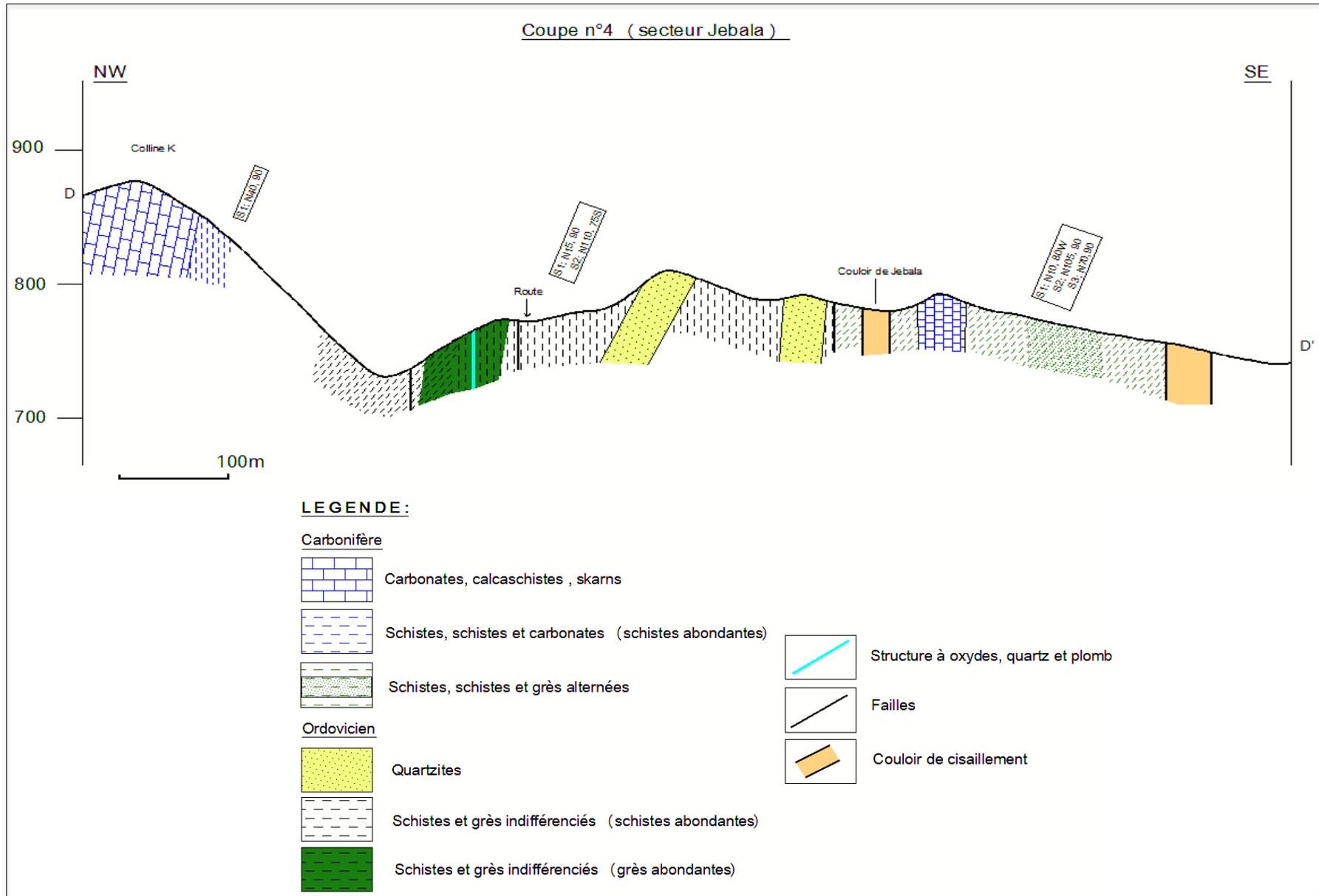


Figure 24 : Coupe géologique n°4 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)

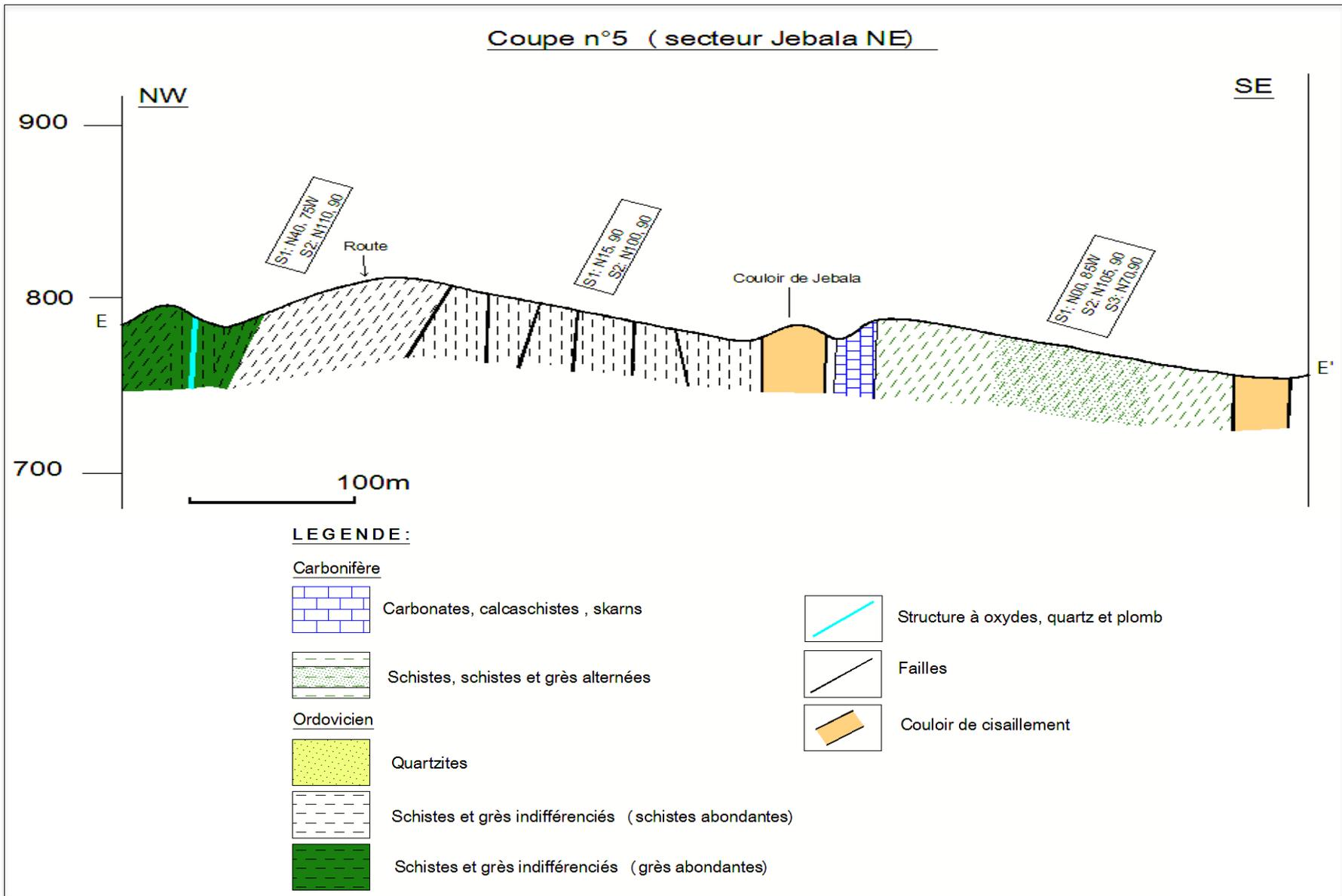


Figure 25 : Coupe géologique n°5 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)

IV.4. Coupes lithostratigraphiques

L'ensemble des coupes géologiques que nous avons réalisées dans la zone d'étude, en plus des levées de terrains ; nous ont permis de dessiner les différentes coupes lithostratigraphiques et la coupe synthétique de la région.

- Coupe stratigraphique 1 (fig.25) :

Elle est associée à la coupe structurale 1 elle montre la série ordovicienne, d'épaisseur 200m environ, qui commence par des schistes et des grès sur lesquels s'est déposée la barre des quartzites (40m d'épaisseur) et elle se termine par des schistes et grès qui deviennent plus gréseux au sommet, sur cette série on trouve les schistes noirs du Silurien surmontés par une discordance par les calcaschistes du Viséen moyen-supérieur. Ainsi dans cette coupe on remarque l'absence des schistes du Viséen moyen-supérieur qui doivent être normalement sous les calcaschistes.

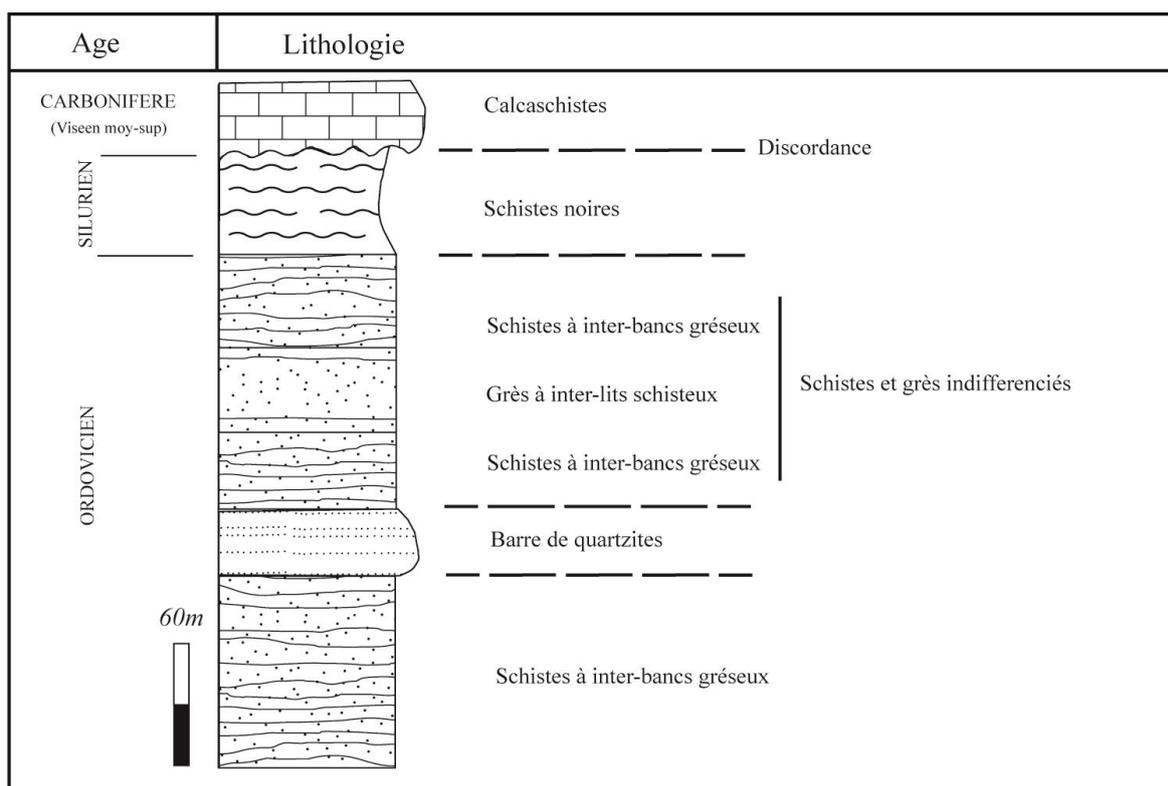


Figure 26 : Log stratigraphique 1 (secteur de Jebala, district minier d'El Hammam)

- Coupe stratigraphique 2 (fig.26) :

Cette coupe est associée à la coupe structurale 3, elle montre de bas vers le haut, la série ordovicienne, d'épaisseur 200m environ, qui commence par des schistes et grès ensuite la barre des quartzites et la série se termine par des schistes et des grès avec une abondance gréseuse, ensuite les formations du Viséen supérieur qui correspondent à des carbonates sur lesquels se dépose des grès et schistes alternés. Ainsi cette coupe n'arrive pas aux formations du Silurien et du Viséen moyen-supérieur.

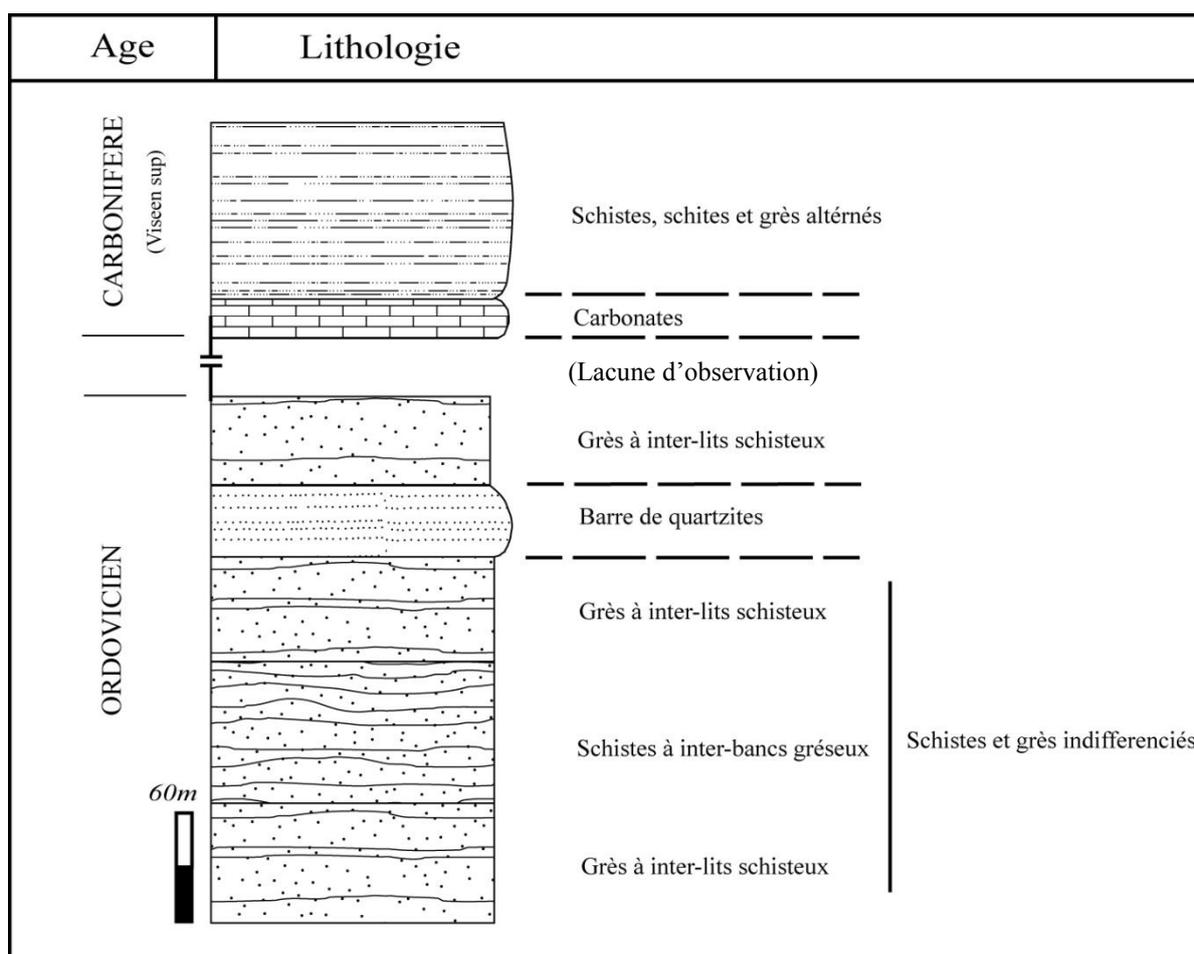


Figure 27 : Log stratigraphique 2 (secteur de Jebala, district minier d'El Hammam)

- Coupe stratigraphique 3 (fig.27) :

Associée à la coupe structurale 4, cette coupe montre de bas vers le haut la série ordovicienne qui commence par des schistes et grès (40m), sur lesquels on trouve la barre des quartzites (40m), ensuite des schistes et grès avec des niveaux plus schisteux et d'autres plus gréseux. Après une lacune d'observation à cause des recouvrements, il y a des schistes qui montrent des carbonates au sommet, sur lesquels sont déposés les calcaschistes du Viséen moyen-

supérieur. Enfin le Viséen supérieur qui commence par des carbonates sur lesquelles il y a des schistes et des grès alternés.

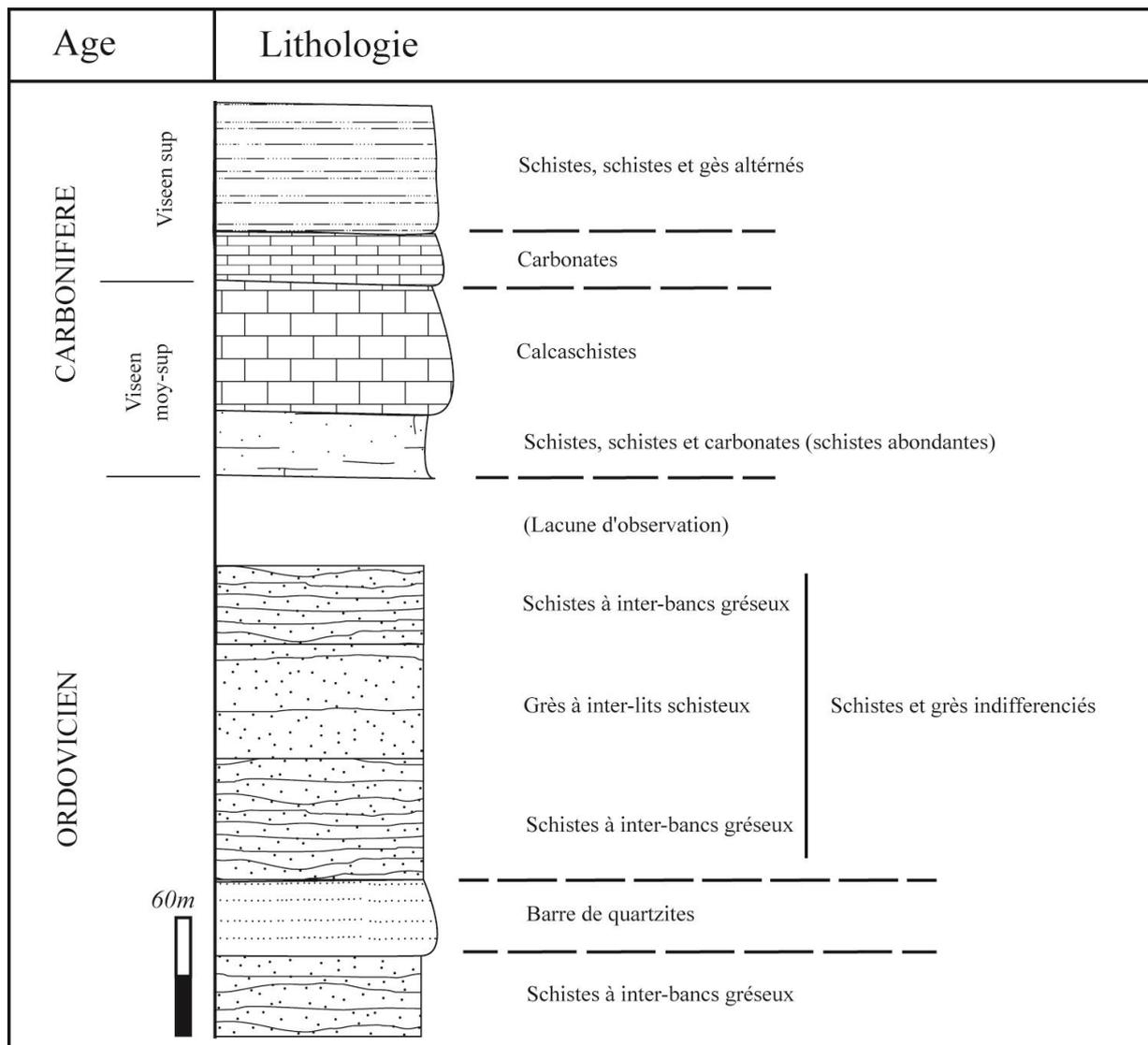


Figure 28 : Log stratigraphique 2 (secteur de Jebala, district minier d’El Hammam)

A partir de ces coupes stratigraphiques on peut conclure que la série ordovicienne de la zone de Jebala est essentiellement détritique. Elle commence par des schistes et grès qui deviennent plus gréseux au sommet, ensuite la barre quartzitique, et la série redevient schito-gréseuse vers le sommet. Sur cette série il y a les schistes noires du Silurien. Enfin le Carbonifère qui commence par des schistes qui montrent des carbonates au sommet sur lesquels il y a la barre carbonatée (des calcaschistes) qui longe la colline K (Viséen moyen-supérieur), quant au Viséen supérieur, la série montre des carbonates à la base sur lesquels il y a des schistes et des schistes alternés avec des grès.

V. Géochimie des filons minéralisés

Les analyses géochimiques que nous avons réalisées dans la zone, ont pour but de révéler la structure à indice de plomb, de rechercher et vérifier la possibilité de la présence d'autres structures minéralisées à teneurs exploitables. Dans cet objectif, nous avons réalisé un échantillonnage le long de toutes les structures oxydées rencontrées dans le secteur. Les échantillons pris sont envoyés au laboratoire de la Samine, où ils sont analysés par la fluorescence à rayonnement X (XRF). Ce type d'analyse donne la teneur totale en élément chimique concernés par la recherche.

Ci-dessous (fig.29) le tableau montrant la description des échantillons et leur teneur en plomb et en zinc :

L'ensemble des analyses géochimiques que nous avons réalisées, montrent la présence de l'indice de plomb (E18, structure à indice de plomb sur la route). Une continuité vers le Sud-Ouest est confirmée par ces analyses (E13, structure du ravin 1), une troisième continuité vers le sud-ouest de la deuxième (E36, structure du ravin 2), elle est de même direction mais elle n'a pas donné des teneurs favorables. Ceci peut être expliqué par la dispersion de la minéralisation dans une zone à abondance schisteuse.

En outre, les autres structures échantillonnées n'ont pas donné des résultats positifs ni en plomb, ni en zinc ou en autres éléments analysés par le labo de la Samine (arsenic, cuivre, fer, soufre, étain, calcium, fluore).

VI. Structure minéralisée à plomb

La structure minéralisée en plomb est située en trois endroits (sur la route, sur le ravin au NW de la route et sur un autre ravin au NW de la deuxième) :

- Structure de la route (fig.30 et 31) :

La structure à plomb de la route présente un affleurement très altéré et oxydé dans des schistes et grès indifférenciés à abondance gréseuse d'âge Ordovicien. Elle est de direction N30 avec un pendage sub-vertical et une puissance de 30cm au maximum. La structure correspond à des oxydes de couleur rougeâtre, des oxydes grisâtres, du quartz et des schistes dispersés qui indiquent que la structure correspond probablement à un remplissage d'une faille.

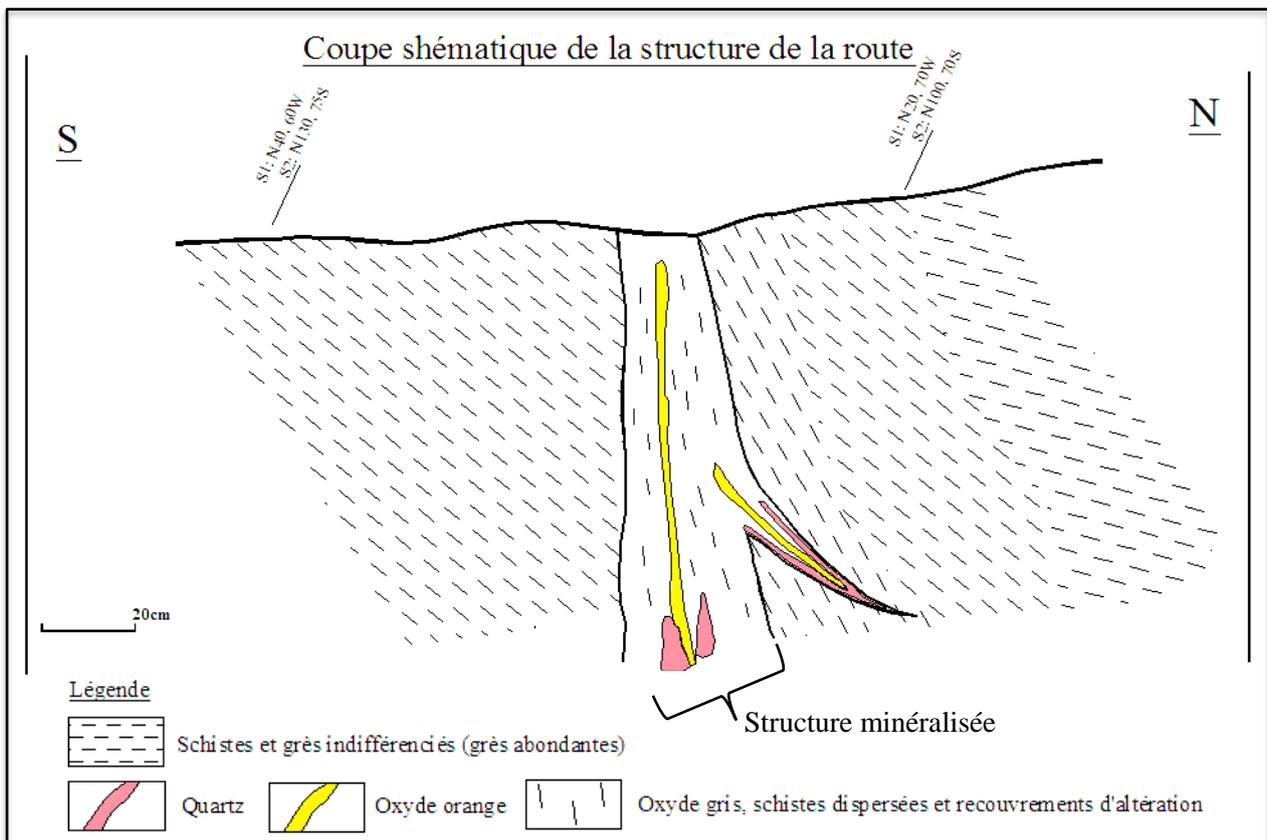


Figure 32 : Coupe schématique de la structure à Pb de la route

- Structure du ravin 1 (sud-ouest de la route) (fig.32 et 33) :

Au sud-ouest de la route, dans un petit ravin, affleure la continuité de la structure, dans des schistes et grès d'Ordovicien, elle a un aspect plus dur que la première, de direction N20 et d'un pendage subvertical et d'une puissance maximal de 40cm.

Comme la première structure, celle-là montre des oxydes oranges, rouges et gris, mais il y a absence des schistes dispersées et des quartz.

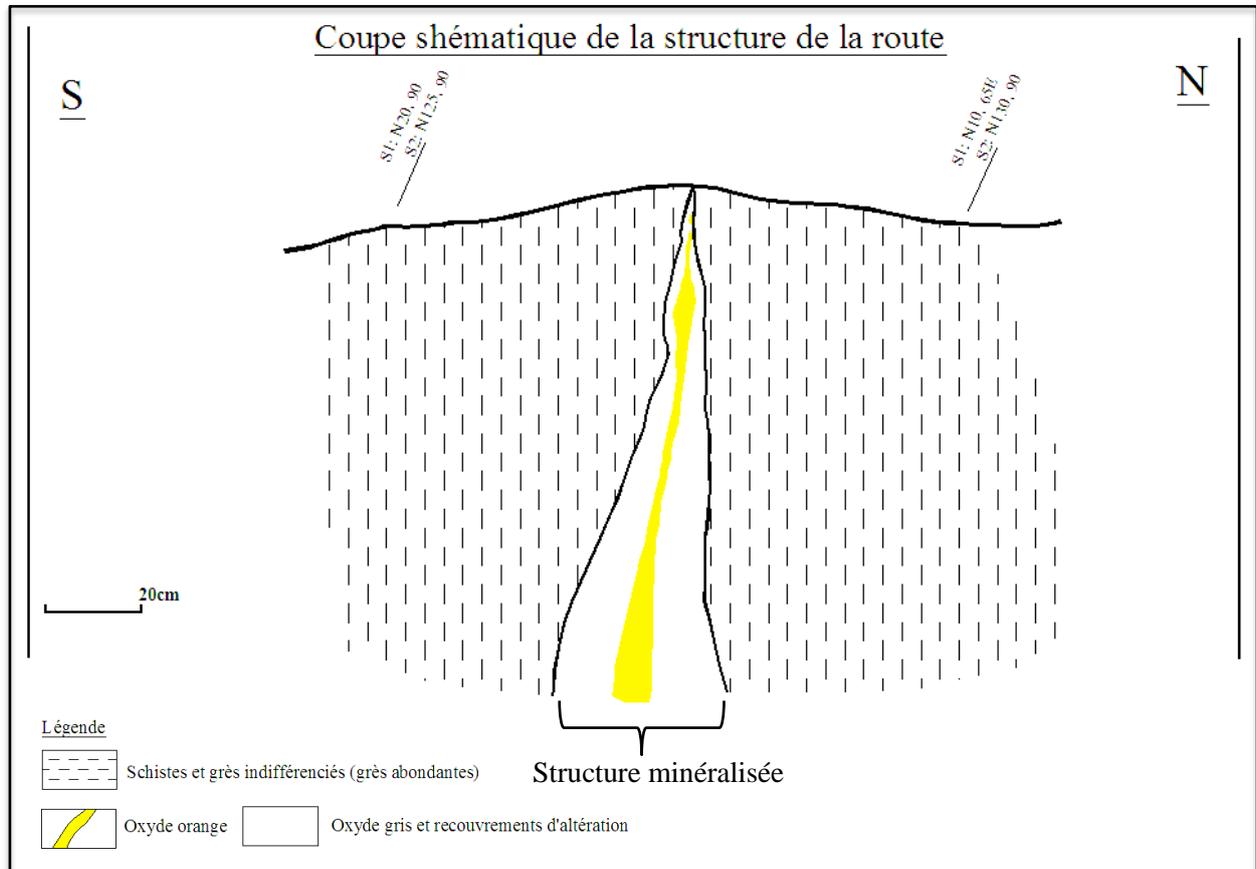


Figure 34 : Coupe schématique de la structure à Pb du ravin 1

- Structure du ravin 2 (sud-ouest de la structure du ravin 1) :

Cette structure répond à la même direction des deux premières mais elle n'a pas donné des résultats aux analyses géochimiques, elle correspond deux ensembles une à côté de l'autre, la première c'est une zone où il y a beaucoup d'oxydation jaunâtre (2m) (fig.34), la deuxième une oxydation noirâtre très poussée (1m) (fig.35).

VII. Analyse tectonique de la fracturation et relation avec la mise en place des minéralisations

L'analyse tectonique de la fracturation correspond au traitement des différentes mesures effectuées sur le terrain (failles striées, fentes de tension, schistosités...). Le tri des différentes phases de fracturation est basé sur l'âge des formations fracturées, les recouvrements des plans de fractures et la superposition des tectonoglyphes. Ceci dans le but d'établir une chronologie

relative des paléochamps de contraintes qui ont affectés la série paléozoïque de la zone d'étude. La séparation et la chronologie des différentes phases tectoniques se fait sur le terrain par la présence de recoupements, de superposition de stries, d'incompatibilité des jeux de failles parallèles et l'âge des couches tectonisées. Les mesures recueillies et triées, sont traitées par les programmes d'Angelier (1990) (Hinaje, 2004).

L'extraction des différentes phases tectoniques qui ont affectés notre zone d'étude est basée sur l'analyse de la schistosité, des fentes et des failles minéralisées ou stériles.

VII.1. La schistosité

L'analyse des différentes familles de schistosités (S1, S2 et S3) dans la zone d'étude nous a permis d'extraire 3 phases tectoniques qui se succèdent dans le temps. Nous les avons notées respectivement S1, S2 et S3.

▪ S1

Cette schistosité de flux (S1) affect la quasi-totalité des terrains de la zone d'étude, avec une direction qui varie entre N15 à N55. Elle est causée par une compression ductile à cassante de direction NW-SE.

Cet état de contraintes (compression NW-SE) qui a causé cette schistosité (S1) correspond à la phase majeure hercynienne datée du Westphalien-Stéphanien (Rahho, 1996).

▪ S2

La schistosité 1 est recoupée par une schistosité de fracture (S2). Cette dernière est bien visible dans les lits schisteux (absentes dans les bancs gréseux) et elle est de direction variable entre N120 à N140. L'analyse de ces directions a permis de conclure qu'elle est causée par une compression NE-SW.

Ces états de contraintes (compression NE-SW) correspondent à une phase attribuée par Rahho (1996) à l'Anté-Permien.

▪ S3

Outre la S1 et S2, une troisième famille de schistosité est observée dans les terrains du Viséen supérieur de la zone d'étude. C'est une schistosité de fracture qui recoupe les deux autres. Elle a une direction qui varie de N70 à N85. Ces directions montre que cette schistosité résulte d'une compression NNW-SSE.

Cet état de contraintes (compression NNW-SSE) est attribué à un âge post-Permien par Rahho (1996).

VII.2. Les fentes de tension rectilignes

L'analyse des mesures des fentes de tension (directions, pendages, remplissages, directions d'ouvertures et recoupements) a permis de déterminer trois familles de directions principales ; et donc trois états de contraintes différents.

▪ Famille 1

Cette famille de fentes a une direction variable de N25 à N50 avec des pendages généralement sub-verticaux et un remplissage quartzique et parfois quartz et oxydes rouilles.

Cette famille directionnelle indique qu'elle est causée par une compression NE-SW, associée à une extension NW-SE. Cet état de contraintes correspond à un épisode de la phase responsable de la schistosité S2 (permutation σ_2 - σ_3). On l'a attribué à l'Anté-Permien

▪ Famille 2

Cette famille de fentes a une direction qui varie entre N120 et N150, avec des pendages sub-verticaux et des remplissages principalement en quartz et oxydes.

Les directions de cette famille indiquent qu'elle résulte d'une compression NW-SE. Cet état de contraintes est semblable à celui qui a causé la schistosité de flux (S1), avec permutation des axes de contraintes et changements de leurs intensités, et qu'on a attribué au Westphalien-Stéphanien.

▪ Famille 3

Les fentes de la troisième famille ont des directions subméridiennes, des pendages subverticales et des remplissages quartzitiques principalement et parfois associé à des oxydes.

Cette famille directionnelle résulte d'une compression NNW-SSE. Cet état de contraintes confirme le même état qui a causé la deuxième schistosité de fracture (S3) et qu'on a attribué au Post-Permien.

VII.3. Les failles

L'analyse des failles striées, qui ont affecté les séries du secteur de Jebala (Ordovicien, Viséen moy-sup et Viséen supérieur), nous a permis d'extraire plusieurs phases tectoniques. Ces phases sont classées par les recoupements et par la comparaison avec la bibliographie.

- Phase de compression WNW-ESE

Cette phase correspond à la compression dont l'axe σ_1 est de direction N95 à N100. Elle est responsable des failles inverses de direction N05 à N20 et des décro-chevauchements de direction N20 et des décrochements senestres de direction N130 à N140. Cette phase est comparable à celle décrite par S. Hinaje (1995) dans l'Anti Atlas, et par Rahho (1996) dans la région d'El Hammam, et qui est attribuée au Permien supérieur voir même Trias inférieur.

- Phase de compression NE-SW à NNE-SSW

Cette compression de direction N20 à N45, est responsable du jeu décrochant dextre des failles de directions N150 à N170, du développement de la deuxième famille de schistosité (S2) et de l'ouverture des fentes de tension de directions N35 à N50 (inversions σ_2 - σ_3). Cette phase est semblable à celle énoncée par plusieurs auteurs dont Rahho (1996) dans la région d'El Hammam et qui l'a attribuée à l'anté-Permien.

- Phase de compression NW-SE

Cette phase correspond aux anciennes failles inverses qui ont affecté la série ordovicienne. Se sont des chevauchements et décro-chevauchements qui ont jouées un rôle principale dans la structuration de la région d'El Hammam en générale et la zone d'étude en particulier. L'analyse des données de ces failles a montré que la phase correspond à une compression N135. Elle est responsable du développement de la schistosité de flux (S1) et de l'ouverture des fentes de directions N120 à N155. Par rapport au recoupements (entre le failles) observés sur le terrain et aux travaux antérieurs, cet état de contraintes est attribué au Westphalien-Stéphanien. C'est la phase majeure hercynienne qui est responsable de la strcuturation de tout le Maroc central.

Quant à la structure minéralisée en plomb de la zone d'étude, elle a une direction N20 à N30 et un pendage subvertical, et elle ne montre pas de jeu. Il s'agit probablement d'un décrochement senestre N20 dans lequel il y a des ouvertures minéralisées. On peut donc attribuée la minéralisation à un âge Permien à post-Permien.

VIII. Conclusion

La cartographie de la région de Jebala qui se situe à l'Est de la mine d'El Hammam, nous a permis de décrire à la fois la stratigraphie la minéralisation et l'aspect structurale de la région.

Les formations de la région de Jebala correspondent à des terrains ordoviciens (schiste-gréseux, grès-schisteux et quartzites), surmontés à l'Ouest par les schistes noires du Silurien. Ces deux ensembles sont surmontés en discordance par les terrains du Viséen moyen-supérieur (schistes et calcaschistes et skarns). A l'Est, les terrains ordoviciens sont limités par un couloir de cisaillement N40 (couloir de Jebala). Après ce couloir, affleurent les formations du Viséen supérieur qui correspondent à des schistes et des grès.

L'ensemble des coupes structurales que nous avons réalisées, nous ont permis de montré que le secteur correspond à une boutonnière ordovicienne qui affleure en anticlinal déversé vers le SE.

L'analyse microtectonique de la fracturation, nous a permis à partir de données récoltées sur le terrain (mesures des schistosités, des fentes et des failles), de déduire la présence de plusieurs états de contraintes. Ces dernières sont classées par ordre selon les recoupements entre les différentes structures et selon une comparaison avec les travaux antérieurs. Ces phases sont :

- phase de compression NNW-SSE : Post-Permien (confirmée par la schistosité)
- phase de compression WNW-ESE : Permien supérieur (confirmée par les failles);
- phase de compression NE-SW à NNE-SSW : Anté-Permien (confirmée par les failles, les fentes de tension et par la schistosité) ;
- phase de compression NW-SE : Westphalien-Stéphanien (confirmée par les failles, les fentes de tension et par la schistosité).

Quant aux minéralisations, le secteur d'étude ne montre qu'une seule structure minéralisée en plomb (structure de la route à indice de Pb), avec ses deux continuités vers le Sud-Ouest (structure ravin 1, et ravin 2). La première a montré de bonnes teneurs en analyse XRF, la deuxième n'est pas anormale dans les analyses géochimique ; car elle se situe dans une zone où les schistes sont dominants. Vers le Nord-Est cette structure est probablement limitée et fermée au contact d'une faille Est-Ouest. L'analyse tectonique des contraintes a montré que cette structure minéralisée (de direction N20 à N30 et à pendage vertical) est probablement un décrochement qui a joué pendant la phase post-permienne.

CONCLUSION GENERALE

La zone d'étude (Jebala) faisant partie de l'anticlinal des quartzites, correspond à une boutonnière à terrains ordoviciens et siluriens limitée à l'Ouest par une discordance des formations du Viséen moyen-supérieur (synclinal de la mine), à l'Est par le couloir de Jebala. Après ce couloir, on trouve les formations du Viséen supérieur.

La cartographie de la région nous a permis de décrire la série de la région en réalisant une carte géologique au 1/2500, des coupes structurales et lithostratigraphiques, des échantillonnages géochimiques et une analyse de la fracturation.

De point de vue stratigraphique les formations cartées dans la zone d'étude, du plus ancien au plus récent, sont :

- les formations d'âge Ordovicien qui correspondent à des schistes-gréseux, grès-schisteux et quartzites. Elles forment un anticlinal déversé vers le Nord-Est. A cet âge la région d'El Hammam correspondait à une zone de plateforme ou une zone de talus placée entre une plateforme épicontinentale (Meseta occidentale) et un sillon subsident à l'Est (Mesta orientale). A l'Est, les formations ordoviciennes sont limitées par un couloir de cisaillement (couloir de Jebala) qui correspond à une faille d'échelle régional héritée depuis les premières phases qui ont structuré la ride d'El Hammam ;
 - les formations du Silurien qui surmontent les terrains ordoviciens vers l'Ouest du secteur, correspondent à de schistes noirs. Les travaux antérieurs indiquent que ce sont des schistes noirs à graptolites. Ces dépôts détritiques sont accumulés dans un milieu calme et confiné ;
 - les formations du Viséen moyen-supérieur, qui surmontent les deux termes précédents par une discordance, correspondent à des schistes, carbonates, skarns et calcaschistes (colline K). Ces structures (discordance et dépôt des carbonates) indiquent le morcèlement de la plateforme et la formation d'un bassin.
 - les formations du Viséen supérieur (qui appartient au synclinal du Berkamène), se rencontrent après ce couloir de Jebala. Elles commencent par une barre carbonatée, surmontée par des schistes et des grès alternées. Ces formations essentiellement gréseuses indiquent que les dépôts du Viséen et leur continuité au Namurien entraînent le comblement du bassin.
-

Les coupes structurales que nous avons réalisées, ont permis de conclure que la zone d'étude correspond à un anticlinal ordovicien déversé vers le Nord-Est, surmontée en discordance par une partie d'un synclinal qui porte les formations viséennes (moyen-supérieur) légèrement inclinées vers le Nord-Ouest, et parfois même verticalisées. A l'Est des formations ordoviciennes, après la faille de Jebala (qui limite l'anticlinal) affleurent les formations du Viséen supérieur qui appartient au synclinale de Jbel Berkamène.

L'analyse de la fracturation (schistosité, fentes de tension et failles) nous a permis de mettre en évidence les paléochamps de contraintes responsables de la structuration de la zone d'étude. Ces phases sont classées en ordre chronologique à partir des observations du terrain (recouvrements entre les structures) et par une comparaison avec la bibliographie. De la plus récente à la plus ancienne, ces phases sont (fig.47) :

- phase de compression NNW-SSE : Post-Permien (confirmée par la schistosité)
- phase de compression WNW-ESE : Permien supérieur (confirmée par les failles);
- phase de compression NE-SW à NNE-SSW : Anté-Permien (confirmée par les failles, les fentes de tension et par la schistosité) ;
- phase de compression NW-SE : Westphalien-Stéphanien (confirmée par les failles, les fentes de tension et par la schistosité);

La structure minéralisée (indice de Pb de la route) de la zone d'étude correspond à une structure de direction N20 qui montre deux continuités vers le Sud-Ouest. Elle s'agit probablement d'un décrochement qui a donné des ouvertures minéralisées en plomb, de type pull-apart, qu'on attribue à l'anté-Permien (compression N45).

LISTE DES FIGURES

	n° Page
Figure 1 : Carte des principaux traits structuraux du Maroc (ONHYM)	4
Figure 2 : Carte géologique du Massif central (Nerci, 2006, modifié)	8
Figure 3 : Modèle géodynamique de l'orogénèse mésétien (d'après Hoepffner et al., 2005)	10
Figure 4 : Tableau récapitulatif des provinces métallogéniques du Maroc central	11
Figure 5 : Localisation et routes d'accès à la mine d'El Hammam	14
Figure 6 : Schéma structurale associé à la feuille géologique de Bouquachmir qui montre la délimitation de la ride d'El Hammam entre l'unité de Tafoudeit au NW et le synclinorium de Foughal au SE (Izart et al)	16
Figure 7 : Carte géologique du district d'El Hammam (Sonnet 1981, modifié Samine)	17
Figure 8 : Log stratigraphique de l'unité d'El Hammam (Document SAMINE)	18
Figure 9 : Coupe schématique de la région d'El Hammam (Van Marcke, 1979)	19
Figure 10 : Carte Structurale du district minier d'El Hammam (d'après RAHHO, 1996)	21
Figure 11 : Tableau récapitulatif des minéralisations skarnifères	23
Figure 12 : Tableau récapitulatif des minéralisations sulfurées (d'après Kaisin, 1997)	25
Figure 13 : Situation de la zone de Jebala (cadre rouge), vue satellitaire sur google earth	28
Figure 14 : Situation de la zone de Jebala (cadre rouge), dans la carte géologique de la région d'El Hammam (Sonnet, 1981)	29
Figure 15 : Photo montrant l'aspect des formations calcaschistes skarnifiés (colline K)	30
Figure 16 : Photo montrant l'aspect des formations des schistes gréseux	31
Figure 17 : Photo montrant l'aspect des formations des grès à inter-lits schisteux	32
Figure 18 : Photo montrant une roche quartzitique d'âge Ordovicien	33
Figure 19 : Carte géologique de la zone de Jebala (district minier d'El Hammam)	34
Figure 20 : Rosace des directions des schistosités mesurés (gauche), et fréquences des pendages (droite)	36
Figure 21 : Coupe géologique n°1 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)	38
Figure 22 : Coupe géologique n°2 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)	39
Figure 23 : Coupe géologique n°3 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)	40
Figure 24 : Coupe géologique n°4 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)	41
Figure 25 : Coupe géologique n°5 dans le secteur de Jebala (district minier d'El Hammam)	42
Figure 26 : Log stratigraphique 1 (secteur de Jebala, district minier d'El Hammam)	43
Figure 27 : Log stratigraphique 2 (secteur de Jebala, district minier d'El Hammam)	44
Figure 28 : Log stratigraphique 2 (secteur de Jebala, district minier d'El Hammam)	45
Figure 29 : Log stratigraphique synthétique de la zone de Jebala (district minier d'El Hammam)	56

Figure 30 : Tableau des résultats d'analyses géochimique (XFR) des structures minéralisés de la zone d'étude	49
Figure 31 : Photo de la structure minéralisée en Pb de la route	50
Figure 32 : Coupe schématique de la structure à Pb de la route	51
Figure 33 : Photo de la structure minéralisée en Pb du ravin 1	52
Figure 34 : Coupe schématique de la structure à Pb du ravin 1	52
Figure 35 : Photo de la structure minéralisée en Pb du ravin 2 (zone à oxydes oranges)	53
Figure 36 : Photo de la structure minéralisée en Pb du ravin 2 (zone à oxydes noirs)	53
Figure 37 : Stéréogramme de la schistosité de flux (S1) affectant les série ordovicienne et viséenne supérieur de la région de Jebala, district d'El Hammam	54
Figure 38 : Stéréogramme de la schistosité de fracture (S2) affectant les séries ordovicienne et viséenne supérieure de la région de Jebala, district d'El Hammam	55
Figure 39 : Stéréogramme de la schistosité de fracture 2 (S3) affectant la série du Viséen supérieur de la région de Jebala, district d'El Hammam	55
Figure 40 : Stéréogramme de la famille directionnelle 1 des fentes de tension affectant les séries ordovicienne et viséenne supérieur de la région de Jebala, district d'El Hammam	56
Figure 41 : Stéréogramme de la famille directionnelle 2 des fentes de tension affectant les séries ordovicienne et viséenne supérieure de la région de Jebala, district d'El Hammam	56
Figure 42 : Stéréogramme de la famille directionnelle 3 des fentes de tension affectant les séries ordovicienne et viséenne supérieur de la région de Jebala, district d'El Hammam	57
Figure 43 : Stéréogrammes des failles inverses et décrochantes affectant les séries ordovicienne et viséenne supérieure de la région de Jebala, district d'El Hammam	58
Figure 44 : Stéréogramme de la deuxième famille des failles décrochantes affectant les séries ordovicienne et viséenne supérieur de la région de Jebala, district d'El Hammam	58
Figure 45 : Stéréogramme des failles inverses affectant la série ordovicienne de la région de Jebala, district d'El Hammam	59
Figure 46 : Stéréogramme de la phase anté-permienne de la zone d'El Hammam et relation probable avec la minéralisation plombifère du secteur Jebala	59
Figure 47 : A : Stéréogramme de la phase post-permienne de la zone d'El Hammam et relation probable avec la minéralisation plombifère du secteur Jebala ; B : bloc diagramme récapitulatif de la structure minéralisée	62
Figure 48 : Tableau des directions des contraintes compressives et extensives dans la région de Jebala, de Gouaida (Nord de Jebala) et d'Achemache (Est de Jebala)	63

RESSOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agard, J. (1966) :** Données nouvelles sur le district de fluorine d'El Hammam-Berkamène (Maroc Central). Rapport service d'études des gîtes minéraux n°843, Rabat.
- Amenzou, M. (1998) :** Les granitoïdes hercyniens du massif des maures (var, France) : étude géologique et minéralogique, implications génétiques, 280 p.
- Ben Abbou, S. (1990) :** Evolution stratigraphique et structurale au cours du Paléozoïque de la bordure nord du Massif Central (Région d'Agouraï, Maroc), thèse 3ème cycle, 211p.
- Ben Yahia, M. (1988) :** Etude microthermique des inclusions fluides des skarns d'El Hammam (Maroc Central). Mémoire de maîtrise en géologie. Univ. Cath. Louvain, 137p.
- Cheilletz, A. (1984) :** Contribution à la géologie du district polymétallique (W-Mo-Cu-Pb-Zn-Ag) du Jbel Auam, Maroc Central. Thèse Doc. Etat, I.N.P.L., C.R.P.G., E.N.S.G. Nancy, 250 p.
- Choubert, G. (1980):** Anti-Atlas (Morocco). *Earth-Science Reviews* 16.
- Diot, et al (1987) :** Le granite d'Oulmès (Maroc central) : structure de l'étage magmatique à l'état solide et modèle de mise en place. *Bull. Soc. Géol. Fr. (7) 3*, 157-168.
- El Hassani, A. (1991) :** La zone Rabat-Tiflet : bordure nord de la chaîne caledonno-hercynienne du Maroc. *Bull. Inst. Sci, Rabat n° 15*.
- Giuliani, G. (1982) :** Contribution à la géologie du massif granitique des Zaër (Maroc Central). Etude des minéralisations à W-Sn-Mo associées. Thèse de Spécialité. I.N.P.L., Nancy, 345 p.
- Hinaje, S. (1995) :** Apport de l'analyse de la tectonique cassante tardi et post panafricaine à la modélisation de la mise en place de la minéralisation dans la boutonnière de Bou-Azzer (Anti-Atlas, Maroc). Thèse de 3ème cycle, Rabat, 238p.
- Hinaje, S. (2004) :** Tectonique cassante et paléochamps de contraintes dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas central (Midelt-Errachidia) depuis le Trias jusqu'à l'actuel. Thèse. Doc. Etat. Fac. Sci. Rabat. 363p.
- Hoepffner, C. Soulaïmani, A. & Pique, A. (2005) :** The Moroccan hercynides. *Journal of African Earth Sciences*, 43: 144-165.
- Jebrak, M. (1984) :** Contribution à l'histoire naturelle de filons (F, Ba) du domaine varisque français et marocain : essai de caractérisation structurale et géochimique des filons en extension et en décrochement. Thèse, Univ d'Oréalans. 507p.
-

- Kaisin, J. (1997) :** Etude minéralogique et pétrographique des minéralisations sulfurées de Jbel Berkamène. Mémoire de maîtrise en géologie, Univ. Cath. Louvain, 195p.
- Kemmou, D. (2006) :** Les terres rares dans le gisement d'El Hammam. Mémoire de DESA, Univ. My Ismail Meknès.
- Lagarde, J. L. (1987) :** Les plutons granitiques hercyniens, marqueurs de la déformation crustale : la déformation hercynienne post-viséenne de la Méseta marocaine. *Hercynica*, 1, 29-37.
- Michard, A. (1976) :** Eléments de géologie marocaine. Notes et Mém. Sev. Géol. Maroc, 252, 408p.
- Morin, P. (1951) :** Quelques problèmes relatifs aux roches granitiques et microgranitiques et à leur minéralisation dans le Maroc Central, Notes Serv. Géol, Maroc, t.4, n° 83, pp. 163p-182p.
- Nerci, K. (2006) :** Les minéralisations aurifères du district polymétallique de Tighza (Maroc central): un exemple de mise en place périgranitique tardi-hercynienne. Unpubl thesis, Orléans Univ., France and UQAM, Québec.
- Ouali, H. et al (2001) :** Les amphibolites de la boutonnière de Midelt (Haute Moulouya, Maroc) : témoins d'une extension intraplaque au Cambro-Ordovicien, Notes Mém. Serv, Géol. Maroc 408.
- Piqué, A. (1979) :** Evolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne : la meseta Marocaine Nord occidentale. Sci. Géol. Mém. Strasbourg.
- Rahho, H. (1996) :** Evolution tectono-métamorphique hercynienne du paléozoïque d'El Hammam (Maroc central septentrional). Analyse de la fracturation et mécanisme de mise en place des structures minéralisées. Thèse de 3ème cycle, Univ. Mohamed V. Rabat, 219p.
- Sonnet, PH. M. (1981) :** Les skarns à Sn, W, B de la région d' El Hammam (Maroc Central). Unpub ph. D. Thesis, Belgium, Univ. Cath. Louvain, 512p.
- Souhassou, M. (1997) :** Tourmalinites stériles et minéralisées en étain de l'Est du district d'El Hammam (Maroc Central) : Genèse et discrimination par la chimie des tourmalines et les inclusions fluides. DEA, Orléans. 34p.
- Termier, H. (1936) :** Etude géologique sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional. Note et Mém. Serv. Géol. Maroc, 33, 1566p.
- Van Marcke, G. (1979) :** Contribution à l'étude pétrographique et minéralogique d'une skarn stannifère d'El Hammam (Maroc Central). Mémoire de fin d'études, Univ Cath Lovrain.
-



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom : CHARIKKI Yassine

Année Universitaire : 2016/2017

Titre : Cartographie géologique et aspect tectono-métallogénique du secteur de Jebala (district minier d'El Hammam, Maroc central hercynien)

Résumé

Ce travail entre dans le cadre des projets d'exploration de la SAMINE sur les sulfures. La zone cible est celle du Jebala qui fait partie de la ride d'El Hammam (Maroc central hercynien). Elle contient l'indice de plomb dont l'objectif est de chercher sa continuité. Géologiquement cette zone appartient à l'anticlinal des quartzites qui correspond à un ensemble de boutonnières ordoviciennes et siluriennes. Ces dernières affleurent à l'Est de la mine d'El Hammam en structures anticlinales déversées vers le NE.

La cartographie de la zone d'étude, la prospection « marteau » et les analyses microtectoniques et structurales, nous ont permis de décrire la série stratigraphique, la minéralisation et les différentes phases tectoniques affectant la zone.

De point de vue stratigraphique, le secteur commence par les séries ordovicienne et silurienne (schistes, grès, quartzites et schistes noires) indiquant un milieu de plateforme épicontinentale. Par discordance, ces deux entités sont surmontées par la série du Viséen moyen-supérieur (schistes et calcaschistes) qui indique le morcèlement de la plateforme et la formation d'un bassin. Enfin, se dépose la série du Viséen supérieur (schistes et grès) qui indique le début du comblement du bassin.

L'analyse de la fracturation nous a permis de mettre en évidence les paléochamps de contraintes responsables de la structuration de la zone d'étude :

- * phase de compression NNW-SSE : Post-Permien ;
- * phase de compression WNW-ESE : Permien supérieur ;
- * phase de compression NE-SW à NNE-SSW : Anté-Permien ;
- * phase de compression NW-SE : Westphalien-Stéphanien.

Quant à la minéralisation, nous avons vérifié la structure minéralisée (indice de Pb) et confirmé deux continuités vers le Sud-Ouest (structures des ravins 1 et 2). La première a donné des bonnes teneurs en analyse XRF, par contre la deuxième n'a pas répondu aux analyses géochimiques car elle est dispersée dans les schistes. L'analyse de la relation fracturation-minéralisation a permis d'attribuer probablement la mise en place de cette minéralisation au post-Permien dans un contexte décrochant avec ouvertures en pull-apart.

Mots clés : Cartographie, Fracturation, Tectonique, minéralisation, Géochimie, Jebala, Maroc central, Hercynien.