



Année Universitaire : 2015-2016



Licence Sciences et Techniques : Géoresources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

Titre

**Etude tectono-métallogénique des structures filoniennes de la mine d'
El Hamamme secteur colline J « Maroc centrale »**

Présenté par:

**El mehdi JEDDI
Tarik BOUAJOUL**

Encadré par:

**Pr. HINAJE Saïd
Ing. SOUIAH Mohamed**

Soutenu Le 9 Juin 2016, devant le jury composé de:

**Pr. HINAJE Saïd
Pr. CHARROUD Mohamed
Pr. EL AAZAB Driss**

Stage effectué à : Mine d'el hammam (SAMINE)



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

Tarik BOUAJOUL
El mehdi JEDDI

Année Universitaire : 2015/2016

Titre : Etude tectono-metallogénique des structures filonienne de la mine d' El Hamamme secteur colline J « Maroc centrale »

Résumé

Ce travail a été effectué au sein de la société Anonyme d'Entreprise Minières (SAMINE) filière du groupe MANAGEM - ONA.

Ce travail fait office de projet de fin d'études dans le cadre de la formation du Licence Géo-ressources et Environnement 2015-2016 de la faculté des sciences et techniques de Fès.

Il traite l'étude structurale, lithologique et tectonique de la zone Colline J.

Pour atteindre notre objectif, ce travail a été structuré comme suit:

-la première partie abordera la synthèse bibliographique de la géologie régionale et locale du secteur afin de mieux cerner le contexte géologie et le cadre géodynamique de celui-ci.

-la seconde partie abordera les travaux qui ont été effectués sur la zone d'étude à savoir : la description des sondages carottés et des faciès pétrographiques rencontrés, Les levés cartographiques et les coupes transversales, projection stéréographiques des données.

La méthodologie adoptée dans ce travail est de faire un levé cartographique de détails (1/2000) et des coupes géologique à partir desquels on fera la caractérisation des formations géologiques (faciès, pendage, direction...) et des structures (faille, ductiles, cassantes, minéralisées) et aussi l'analyse structurale dans la zone d'étude. Cette caractérisation passera aussi par une projection stéréographique des données.

Mots clés : Fluorine, mine d'El Hamamme, tectonique , sondage carotté, Maroc central

Remerciements

Notre entière reconnaissance envers notre encadrant Mr S.HINAJE pour n'avoir ménagé aucun effort pour la réussite de ce travail et de notre formation académique.

On le remercie pour sa confiance sans faille, sa patience et sa grande disponibilité .On le remercie de nous avoir initiés à la rigueur du travail et pour la qualité humaine dont il a fait preuve.

Toute la gratitude va à Mr SOUIAH Mohamed Chef service géologique à la SAMINE pour son aide et ses conseils précieux mais surtout pour sa qualité humaine qui a été d'un très grand réconfort.

Nos sincères remerciements et reconnaissances vont également à l'endroit du personnel du service géologie pour nous avoir accompagnés et guidés tout au long de notre stage et pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'ils nous ont fait vivre.

Pour terminer cette liste non exhaustive tout en gardant le meilleur pour la fin, nous souhaitons remercier profondément nos familles respectives, nous amis et tous ceux qui nous ont soutenu, aidé et ont partagé leur savoir et leur expérience avec sympathie.

AVANT PROPOS

Dans le cadre de la formation continue LST Géoressources et Environnement , nous avons réalisé un stage dans la mine d'El Hammam (Société Anonyme d'Entreprises Minières). Le sujet de ce stage, proposé par notre professeur M. Hinaje , comporte deux parties :

-Etude structurale et la cartographie de surface et au fond du secteur colline J.

-Description et analyse des sondages carottés effectués dans ce de ce secteur.

Ce stage a plusieurs objectifs :

- Voir de près un marché de travail.*
- Appliquer des données théoriques dans le coté pratique.*
- Se familiariser avec le terrain.*
- Avoir l'esprit de travailler en équipe.*
- Respecter les gens et les normes de travail.*

Plan

➤ Généralités sur la mine d'El Hammam

CHAPITRE I : présentation de la mine d'el hammam dans le contexte géologique du Maroc

I- APERÇU GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL DU MAROC

- 1)- *Domaine rifain*
- 2)- *Domaine atlasique et mésétien*
- 3)- *Domaine anti atlasique et saharien*

II- GEOLOGIE DU MAROC CENTRAL

- 1) - *Cadre structural*
- 2)- *Cadre métallogénique*

Chapitre II : Cadre administratif et historique des recherches relatif à la mine d'El Hammam

- 1)- *Présentation de SAMINE (l'ONA-MANAGEMENT).*
- 2)- *Historique de la mine d'El hammam*
- 3)- *Situation Géographique*
- 4)- *Aperçu sur la fluorine (minerai exploité)*

Chapitre III : Aperçu géologique du district minier d'el Hammam

I- LITHOSTRATIGRAPHIE

- 1)- *Ordovicien et Silurien*
- 2)- *Dévonien*
- 3)- *Carbonifère*

II- STRUCTURALE

- 1)- *Tectonique cassante :*
- 2)- *Tectonique souple*

III- MÉTAMORPHISME

IV- MAGMATIQUE

V- MINÉRALISATION

1)- *Les phases de minéralisation :*

2)-*Modèles de mise en place des minéralisations*

VI- METHODES D'EXPLOITATIONS

➤ **Etude structurale et analyse des sondages carottés du gîte minier « la colline J »**

CHAPITRE I : Etude et analyse des sondages carottés de la zone colline J

1)- **Objectif des sondages carottés**

2)- **Principe des sondages carottés**

3)- **Réalisation du log d'un sondage carotté**

4)- **Description des sondages carottés**

5)- **Les coupes transversales des sondages réalisés**

CHAPITRE II : Etude structurale et cartographique de la zone colline J

1)- **Introduction.**

2)- **Cartographie et réalisation d'une carte simplifiée.**

A)- Lithologie de la zone.

B)- structurale

3)- **Le levé géologique et cartographique sub-surface**

4)- **Les mesures tectoniques.**

5)- **Projection stéréographique des données.**

6)- **Interprétation des résultats.**

Conclusion.



Généralités sur le district minier
D'EL HAMMAM

CHAPITRE I : Présentation de la mine D'EL HAMMAM dans le contexte géologique du Maroc

I- Aperçu géologique et structural du Maroc

Le Maroc se situe au coin nord-ouest de la plateforme saharienne, il est entouré par les plaques mobiles de la mer méditerranée au Nord et l'océan atlantique à l'Ouest.

En effet, au cours de sa longue histoire géologique conditionnée par cette position de charnière, entre les continents africains, européen et américain...plusieurs cycles orogéniques se sont succédés, contribuant chacun, par son contexte géodynamique et son ampleur, à façonner les grands domaines structuraux du Maroc.

C'est ainsi que l'on en distingue trois, définis en fonction de la localisation et de l'importance des effets des orogénèses les plus récentes. Du Sud au Nord, le domaine anti-atlasique et son prolongement saharien, le domaine atlasique et mésetien et le domaine rifain séparés les uns des autres, par l'accident sud-atlasique d'une part et la limite des charriages tertiaires venus du Nord, d'autre part. Les deux derniers domaines sont caractérisés par l'empreinte prédominante laissée par les orogénèses varisque et alpine tandis que le premier domaine a été essentiellement façonné par les orogénèses précambriennes et varisque.

1 - Domaine anti atlasique et saharien

Intimement lié au bouclier ouest africain au Sud et limité par l'accident sud-atlasique au Nord, ce domaine est formé par un socle protérozoïque constitué par les ensembles suivants :

- La partie nord de la dorsale archéenne des Reguibat, datée à 2800 Millions d'années, la plus ancienne du pays et qui est affectée par l'orogénèse éburnéenne à 2200 Millions d'années. Au Nord de ce socle éburnéen, se trouve la partie mobile de la chaîne panafricaine d'âge protérozoïque supérieur, constituée au sud par une plateforme elle même relayée au nord par un bassin océanique matérialisé par la paléosuture ophiolitique de Bou-Azzer.
- Au Nord-Est de cette suture et dans un contexte de subduction panafricaine, s'est développé un arc volcanique avec un cortège de vulcanites et d'intrusions plutoniques calco-alcalines caractéristiques. Ces ensembles ont été structurés par l'orogénèse panafricaine. Ces formations protérozoïques sont recouvertes en discordance par des

séries transgressives allant de l’Infracambrien au Carbonifère et qui sont déformées, comme celles qu’elles recouvrent, par l’orogénèse hercynienne. Celle-ci est notamment mieux exprimée dans la partie occidentale de l’Anti-Atlas.

2- Domaine atlasique et mésétien

Situé entre l’accident sud atlasique et la limite sud du Prérif, ce domaine est constitué par :

- Un socle paléozoïque (les mésetas) d’âge allant du Cambrien jusqu’au Carbonifère et constitué essentiellement par des terrains sédimentaires avec une intense activité volcanique bimodale au Viséen. Ce socle a été structuré par l’orogénèse hercynienne responsable aussi de la mise en place de nombreuses intrusions de granitoïdes.
- Une couverture, formée de terrains essentiellement carbonatés, mésozoïques et cénozoïques comportant deux unités structurales :

Une zone à couverture plissée comprenant le Haut et le Moyen Atlas, ayant subi une tectonique alpine précoce.

Une zone à couverture tabulaire comprenant le causse moyen atlasique, les hauts plateaux et le pays des horts dans le Maroc oriental

3- Domaine rifain

Il est constitué par les zones internes, la zone des flyshs et les zones externes.

Les zones internes sont représentées dans deux régions sur la côte méditerranéenne : entre Sebta et Jabha et dans les Bokkoya. Par leur origine, ces zones internes sont liées à la plaque d’Alboran, individualisée au Mésozoïque entre l’Afrique et l’Europe et se composent de plusieurs unités cristallines et sédimentaires.

Le domaine des nappes des flyshs est constitué d’unités formées de séries sédimentaires détritiques déposées dans un bassin profond, à la marge de la plaque d’Alboran.

Les zones externes correspondent à l’ancien sillon externe, établi sur la marge nord-africaine, comblé par d’épaisses séries mésozoïques et cénozoïques. Parmi les unités qui constituent ces zones, certaines sont enracinées et d’autres sont sous forme de nappes.

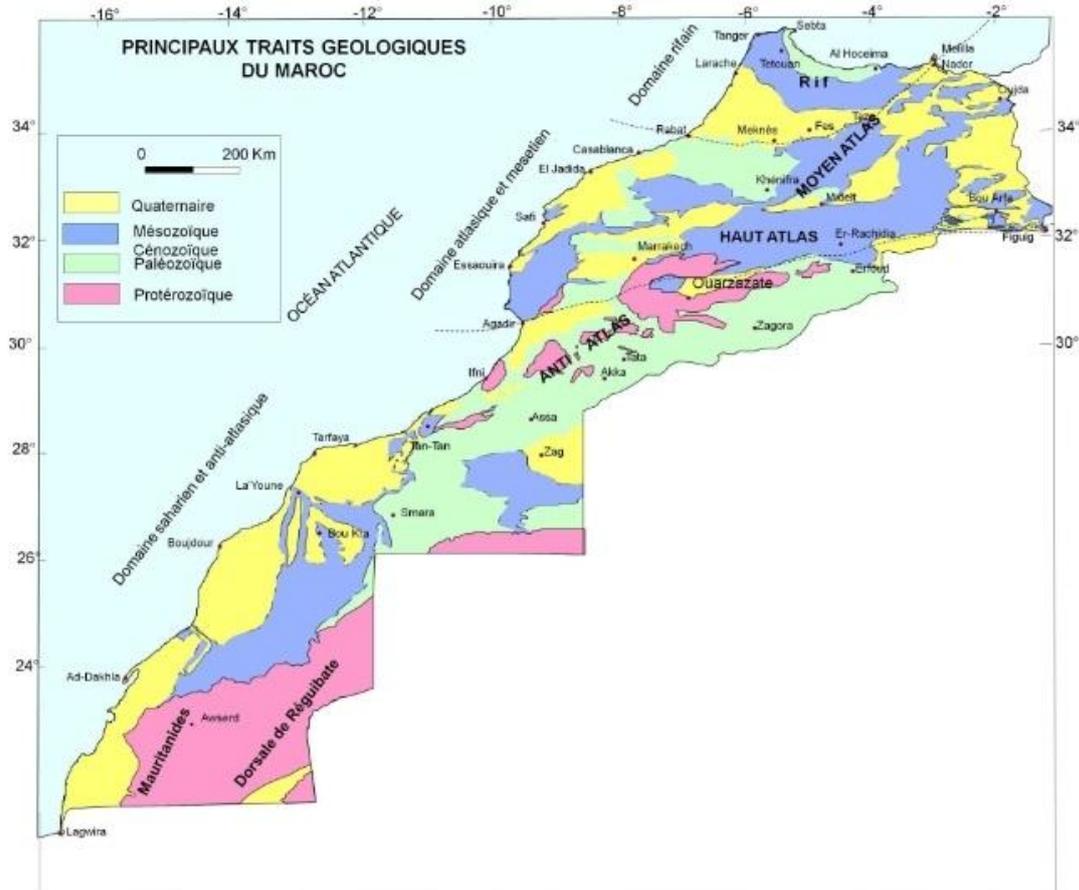


Figure 1 : domaines structuraux du Maroc (d'après Michard et al, 1989)

II-GEOLOGIE DU MAROC CENTRAL

1) CADRE STRUCTURAL

Le Maroc central est structuré par l'orogénèse hercynienne. Les effets de l'orogénèse alpine ne sont pas reconnaissables dans ce domaine. Il est subdivisé en plusieurs unités (Termier, 1936 ; Morin, 1955 ; Piqué, 1964) qui montrent une structuration majeure NE-SW. Ces unités sont réparties en cinq grandes zones (Michard, 1976) constituant une succession d'anticlinoriums et synclinoriums séparés par de mégafailles. Celles-ci ont joué à la limite du bassin au Carbonifère en cisaillement lors des compressions tardi-hercyniennes (Piqué, et al, 1979). De l'Est vers l'Ouest on trouve.

- **1.** Tout à l'Ouest s'étend l'anticlinorium de Casablanca à matériel cambro-ordovicien et des plis modérés.
- **2.** 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) ;

- 3. 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.
- 4. Le synclinorium du Fourhal-Telt, occupé par des flyschs néovisiéens et marqué par l'intrusion granitique du Ment (Michard, 1976).
- 5. 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.

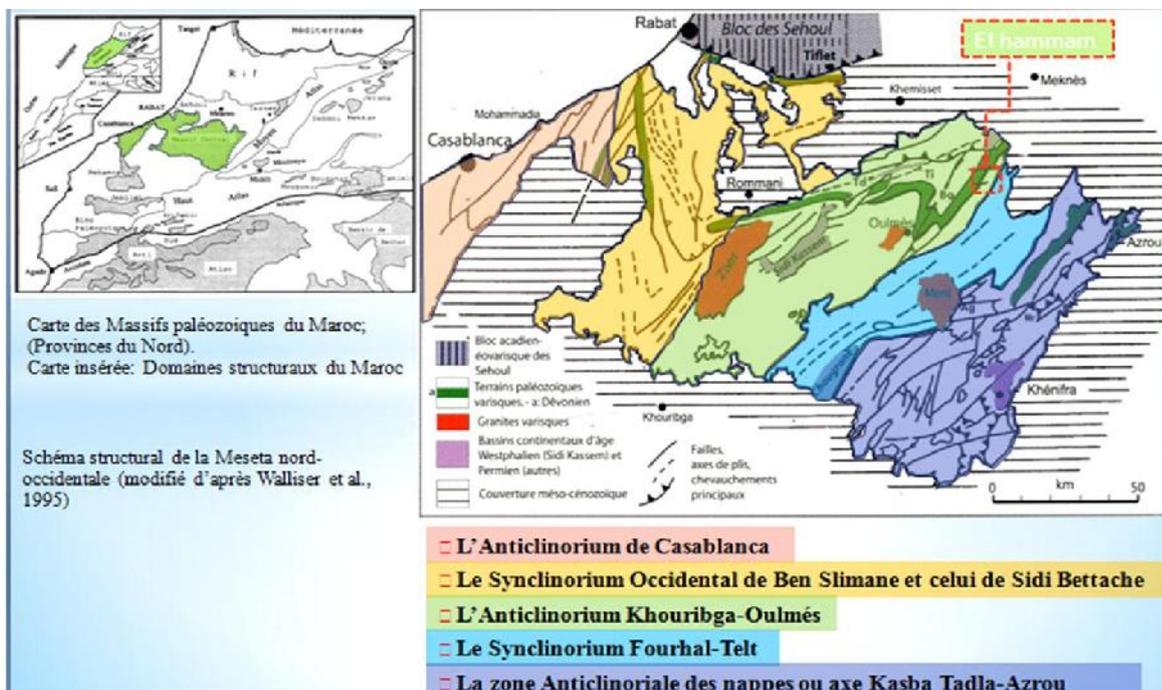


Figure 2 : Schéma structural de la Méséta nord-occidentale (d'après Wallise et al., 1995)

2-CADRE METALLOGENIQUE

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-PbBa-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-J. Aouam.

GISEMENT	CONTEXTE GEOLOGIQUE	MINERALISATION	MODELE
EL HAMMAM/ACHEMACH	Terrains paléozoïques plissés et métamorphisés Au toit d'un Granite monzonitique (243Ma)	-Skarns à tungstènes(500-550°C) -Skarns à Bore(370-430°C) -Skarns à étain(570-630°C)	Métasomatose lié au granite
		-Sulfures (pyrrhotite, pyrite, blende, la chalcoppyrite, bismuth, galène)	Hydrothermalisme
		-Fluorine(200-120°C) Filon NE-SW et E-W	(1)? Hydrothermalisme mésothermal lié aux granites (Jébrak,1984) Age Stéphano-autunien (2)? développement des bassins triasico-jurassiques (Cheilletz et al,2010) 205 Ma
		Cassitérite (Etain)	Hydrothermalisme
J.AOUAM -TIGHZA	Terrains paléozoïques Auréoles métamorphiques d'un ensemble de granites (tardi hercynien ~290Ma) Déformation hercynienne	-skarns à scheelite(570 à 600°C)	Métasomatose par effet de granites
		- filons et veines à quartz-scheelite-wolframite(400 et 450°C) NW-SE	Hydrothermalisme empruntant les fractures résultant du jeu dextre du cisaillement d'Aguelmous-Mrirt
		- filons à Pb-Zn-Ag, déposés dans des fractures NE-SW(280°C)	Hydrothermalisme empruntant les fractures résultant du jeu dextre du cisaillement d'Aguelmous-Mrirt Age 286 Ma
ZRAHINA	Viséo-namurien plissé avec intrusion Rhyolitique	-Filon ou lentilles et filonnets de barytine (F,Ba, Pb, Ag, Zn et Cu) - Roches magmatiques filoniennes (microgranite et "rhyolite quartzique" = esméraldite) à pyrite, barytine	Concentration par différenciation magmatique, entre le magma initial, et le magma rhyolitique hypersiliceux
AÏT AMMAR	Séries plissées du SW des ZAER ordovicien inf-moy	Couche ferrugineuse formant une lentille ENE-WNW(Fer Oolithique)	Altération continentale mobilisant le stock ferrifère très abondant dans le socle précambrien (lessivage et altération de cendres et laves volcaniques) Llawnir-Llandello inférieur
EL KARIT	Terrain paléozoïques Intrusion Granite de Oulmès (300Ma)	Précipitation du béryl automorphe, la cassitérite et la muscovite, puis le quartz tardif dans les filons précoces à quartz et tourmaline réouverts	Circulations hydrothermales lié au granite. 560 à 475°C

Figure 3 : Tableau synthétique de la province métallogénique du Maroc central (d'après Diallo, 2014)

Chapitre II : Cadre administratif et historique des recherches relatif à la mine d'El Hammam

I- Cadre administratif et historique des recherches relatif à la mine d'El Hammam

➤ GROUPE ONA-MANAGEM :

1)- Présentation de SAMINE :

La Société Anonyme d'entreprises minières « SAMINE » est une filiale du groupe MANAGEM dont la capital atteint 26 millions de Dirhams. Elle s'organise selon l'organigramme suivant :

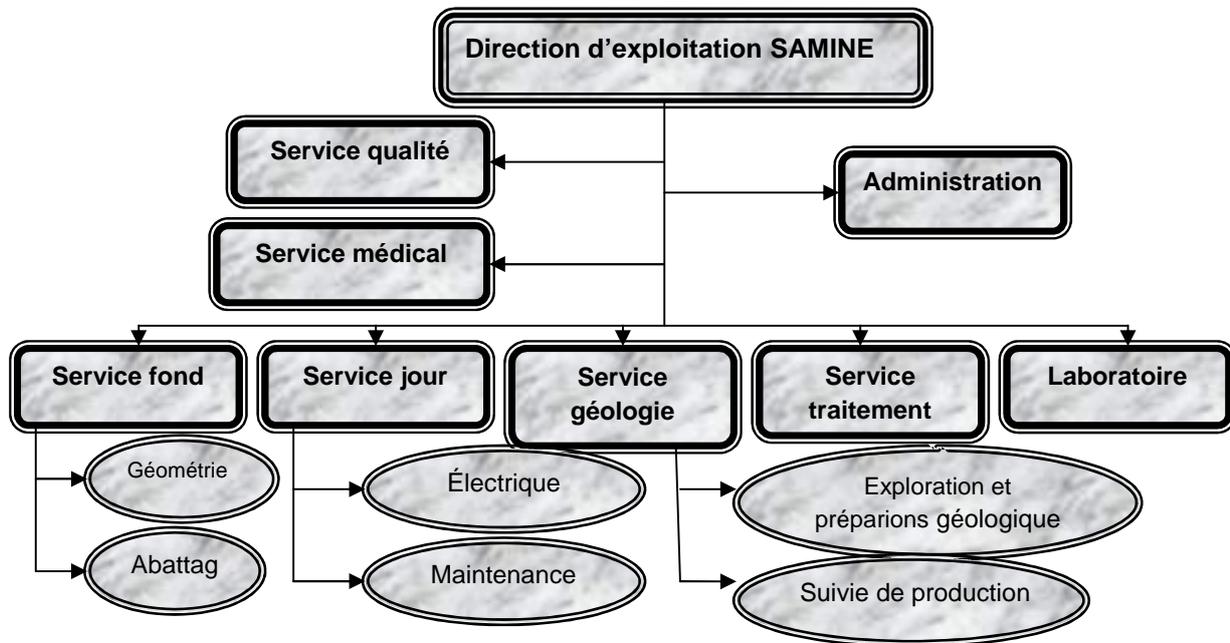


Figure 4 : organigramme de la mine d'el hammam (service SAMINE)

SAMINE a comme rôle, la production de la fluorine chimique et de répondre aux exigences de la demande des clients avec les délais convenus.

2)- Historique de la mine d'El Hammam

L'existence de la fluorine dans la région d'El Hammam a été signalée depuis 1923 par J. Barthoux, Elle a été exploitée dès 1947 par les frères Dubois dans le secteur de Bergamou au

Nord, ensuite par UGINE au sud d'El Hammam en 1953 et par Société Anonyme d'entreprises minières (SAMINE) en 1964.

En 1970 BRPM a repris les recherches géologiques qui ont abouti à la mise en exploitation de gisement par SAMINE ; une association BRPM-ONA.

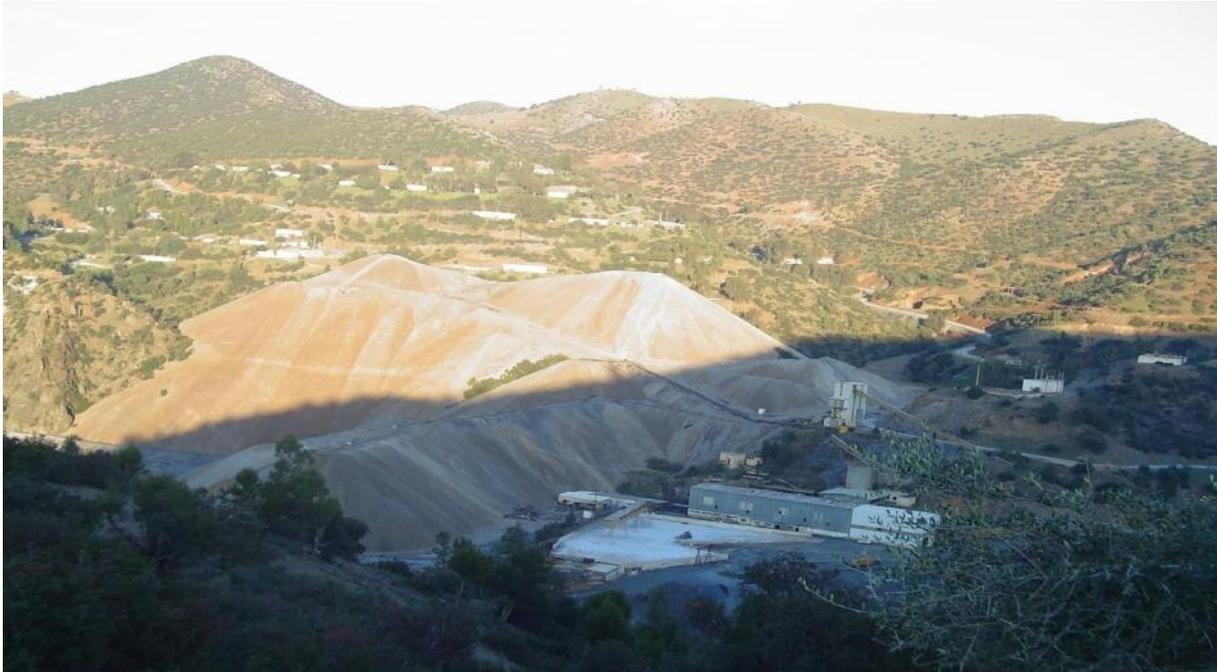


Figure 5 : aperçue de la mine d'el Hammam

3)- Situation géographique

Le district d'El hammam est situé au Maroc central à environ 65Km au sud-ouest de la ville de Meknès et fait partie de la province de Khemisset. C'est une zone forestière, caractérisée par un relief accentué 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 au sud et son affluent oued Boutoukret, Celui-ci correspondant au talweg qui sépare les deux collines (J et K) portant les principaux travaux miniers.

Il est accessible par deux voies :

- Route goudronnée : Meknès à la mine en passant par un village Ras Gerry.
- Piste carrossable d'Agourai à la mine en passant par Achemeche.

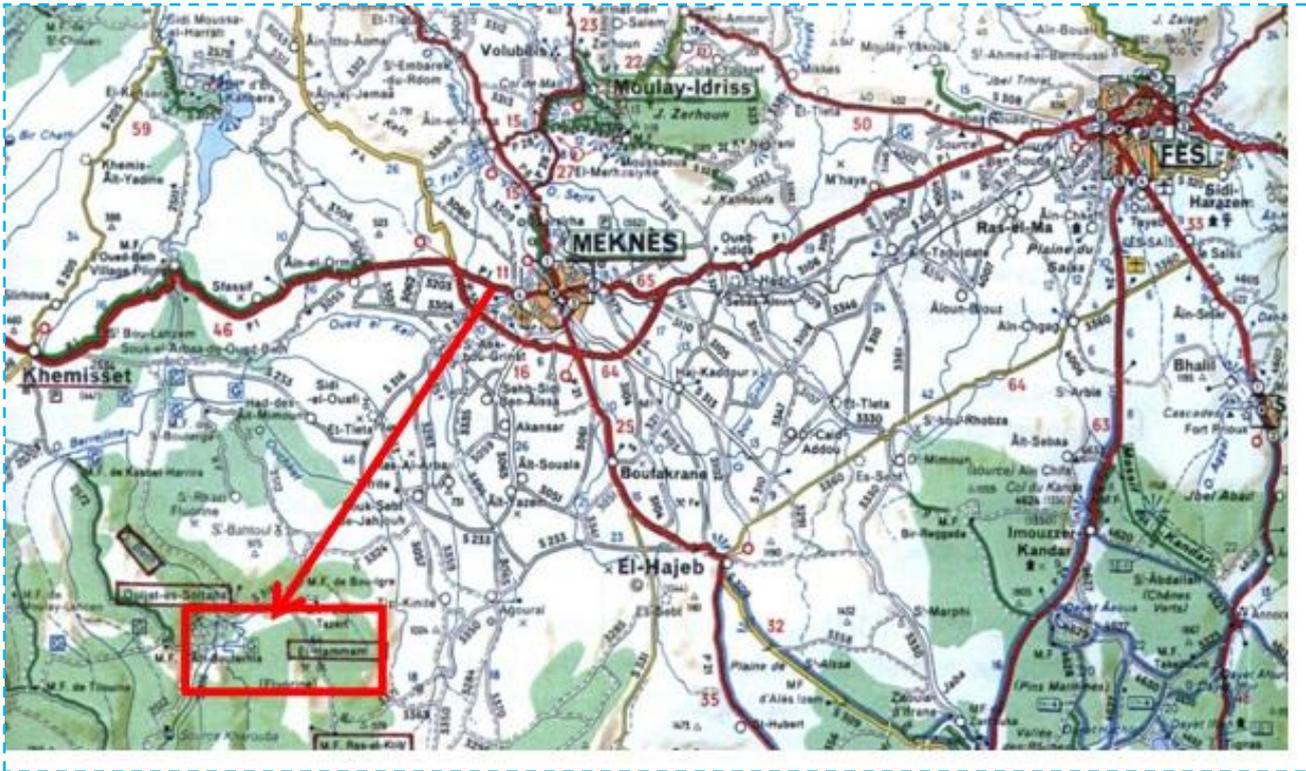


Figure 6 : carte géographique de la mine d'el Hammam (Google Map)

4)- Aperçu sur la fluorine (minerai exploité):

b) Propriétés chimiques :

- Formule chimique : CaF_2 .
- Système cristallin : cubique
- Densité : 3,1 à 3,2.
- Dureté : 4.
- Teneur en fluor : 48%.
- Clivage parfait.
- Fragile et translucide.

c) Domaine d'utilisation de la fluorine :

La fluorine est utilisée dans trois domaines principaux :

- Le domaine métallurgique : la fluorine peut être utilisée comme fondant dans les laitiers.
- Le domaine céramique : la fluorine est utilisée dans la fabrication de l'acide fluorhydrique et les fluorures,
- Le domaine chimique : La fluorine est la principale matière première de production du fluor et de ses combinaisons pour les industries chimiques, du verre et de nucléaire.

Chapitre III : Aperçue géologique du district minier d'el Hammam

Le district d'El Hammam est situé dans une zone de dislocation majeure du socle hercynien qui appartient au Maroc Central et plus particulièrement dans la terminaison orientale de l'anticlinorium Khouribga-Oulmès.

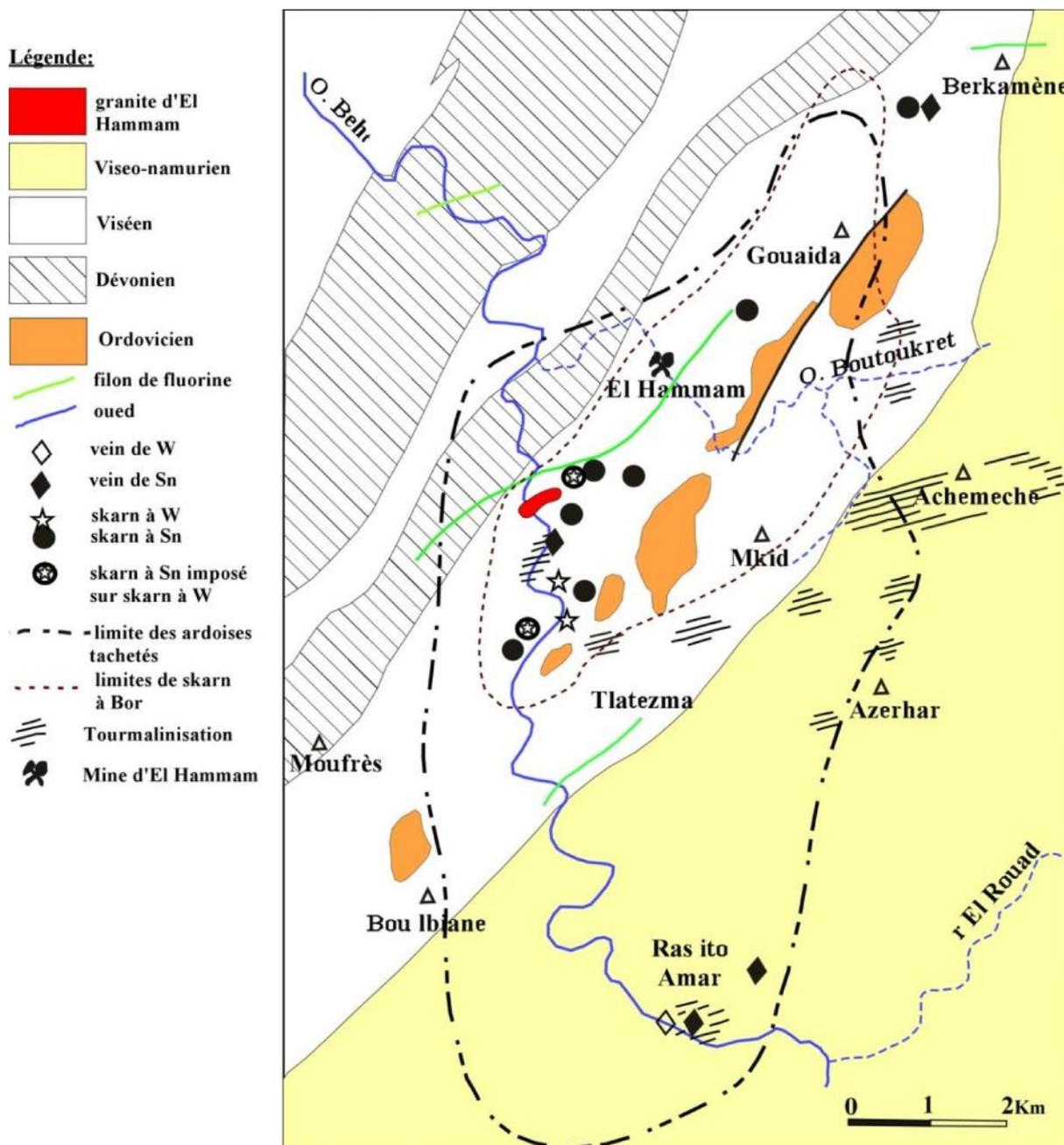


Figure 7 : Carte géologique et log lithostratigraphique du district d'El Hammam (service géologique SAMINE)

I- Lithostratigraphie

Les terrains qui composent la série stratigraphique du district sont exclusivement d'âge paléozoïque (du Silurien au Carbonifère). Ils constituent deux ensembles séparés par une discordance majeure d'âge Viséen inférieur, recoupés par un magmatisme varié et structurés par l'orogénèse hercynienne en un ensemble de synclinaux et anticlinaux de direction générale NE-SW.

Le contexte litho-stratigraphique de ces structures à été défini comme suit (Par J.AGARD 1965) :

1) Ordovicien et Silurien :

Les terrains apparaissent sous forme de boutonnières anticlinales où l'on distingue deux termes :

- des schistes noirs micacés riches en matière organique. Ils correspondent à une sédimentation profonde. Ces schistes sont riches en graptolites qui leur donnent un âge du Wenlock.
- des quartzites blancs micro-conglomératiques complètement disloqués.

2) Dévonien :

Il est constitué par des schistes jaunes et des petits bancs de calcaire griotteux (similaire au faciès griotte) sous forme d'un anticlinorium double principalement à l'ouest de la mine et formant l'arrête centrale du district.

3) Carbonifère :

Il est constitué par des terrains discordants sur l'anticlinorium dévonien. Il est représenté par une série viséenne qui couvre la majeure partie du district d'El Hammam et renferme la quasi-totalité des minéralisations en fluorine. Le Viséen peut être subdivisé en :

Une série inférieure aux calcaires : renferme des schistes gréseux, des schistes ampéliteux, des conglomérats fins et des microconglomérats ;

Une série schisto-calcaire : formée de schistes à plusieurs barres calcaires d'épaisseurs variables (métrique à décimétrique) formant l'ossature des principaux reliefs de la région. C'est dans ces niveaux que se sont développés les skarns ;

Une série supérieure aux calcaires : composée de schistes verts en dalles, de schistes gris ardoisiers et de petits bancs de grès à épaisseur décimétrique ;

Il convient de noter que les terrains viséens se sont déposés en discordance angulaire, marquée par des conglomérats, sur les formations du Silurien et du Dévonien.

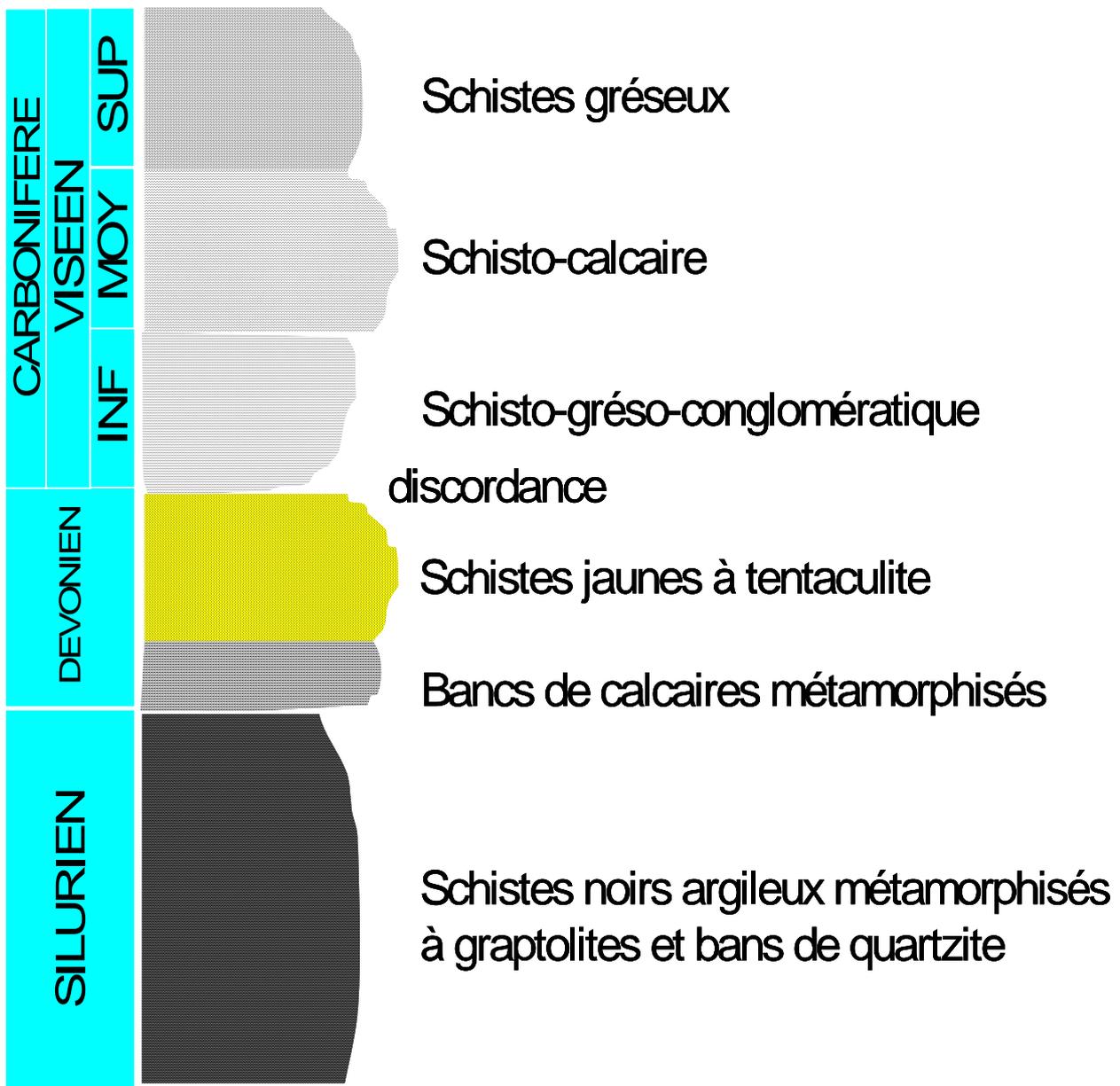


Figure 8 : Log stratigraphique du district d'El Hammam (service géologique SAMINE)

II- Aperçu structurale :

1)- Tectonique souple

Causées par deux phases compressives différentes :

- Une phase de compression NW-SE engendrant la structure majeure du district en une suite d'anticlinaux et de synclinaux orientés donc NE-SW, et déversés vers le SE.
- Une phase de compression N-S entraînant un repliement des structures de la première phase et engendrant des mouvements dextres sur les failles NNW-SSE.

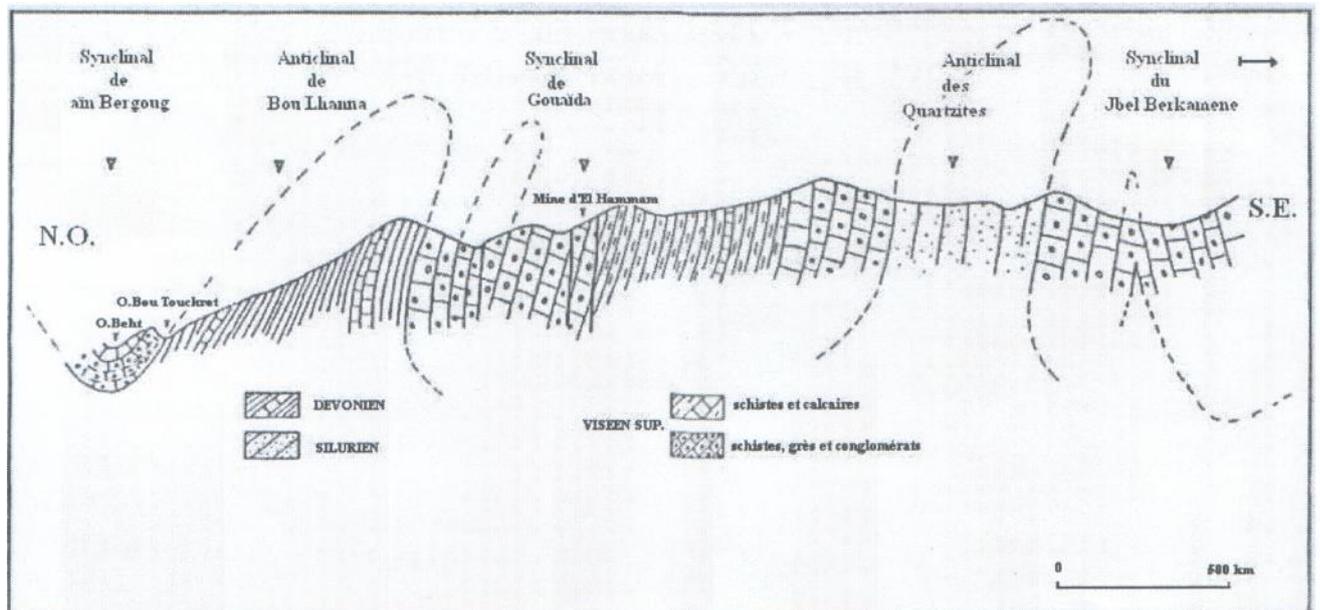


Figure 9 : coupe schématique d'El Hammam (d'après, G. Van Marck de Lummen, 1979)

2)- Tectonique cassante :

Dans la zone d'el hammam il existe deux types d'accidents :

- **Les accidents anciens :** à jeux surtout verticaux, et on distingue :
 - Des Failles de direction NE-SW analogues à celle de la faille d'El-hammam
 - Des Failles NW-SE perpendiculaires aux premiers et aux structures plissées

- **Les accidents récents :** ils sont de plusieurs types et postérieurs au magmatisme, et dont on distingue :
 - Des Failles de direction ENE-WSW, à remplissage de Tourmaline
 - Des Filons de Fluorine (Ca F₂), et de calcite (CaCo₃) les anciennes failles NE-SW
 - Des failles NNE-SSW occupées par des minéralisations à plomb dans une gangue calcifier (Moufrès, Gouaïda, faille de Jebala,...)
 - Des Failles NNW-SSE et d'autres orientées E-W sub-verticales normales ou inverses.

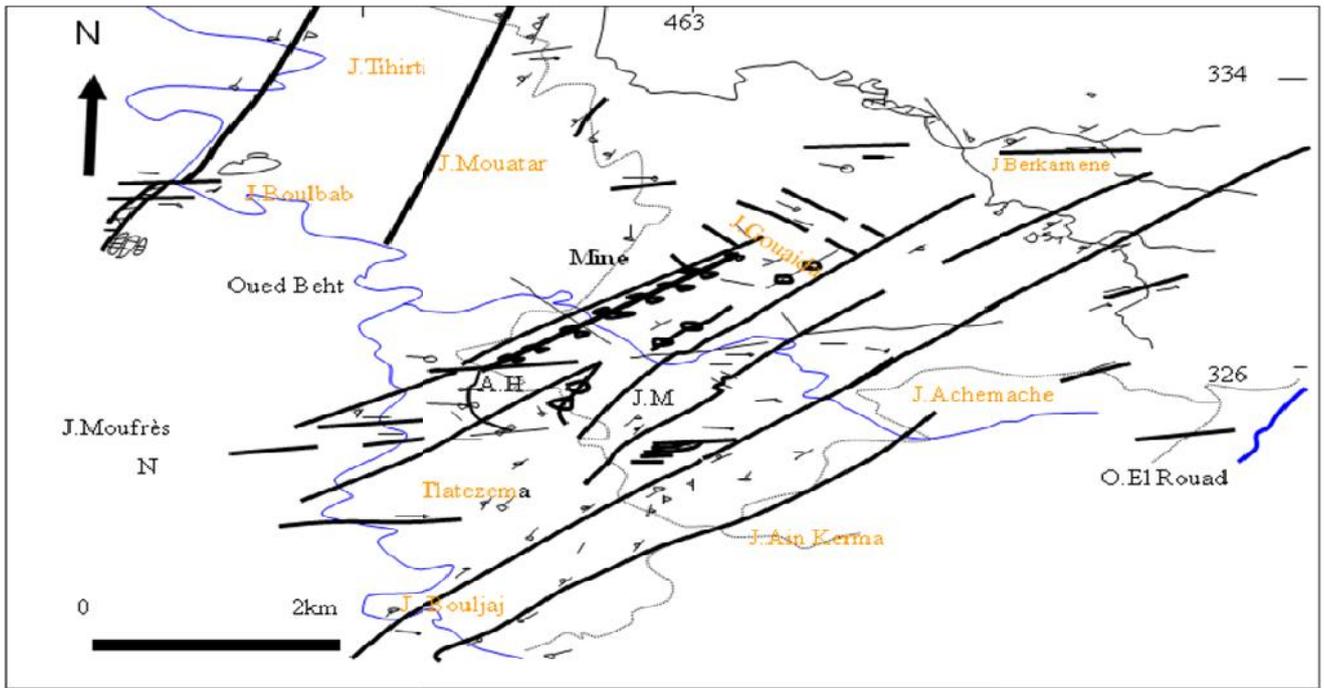
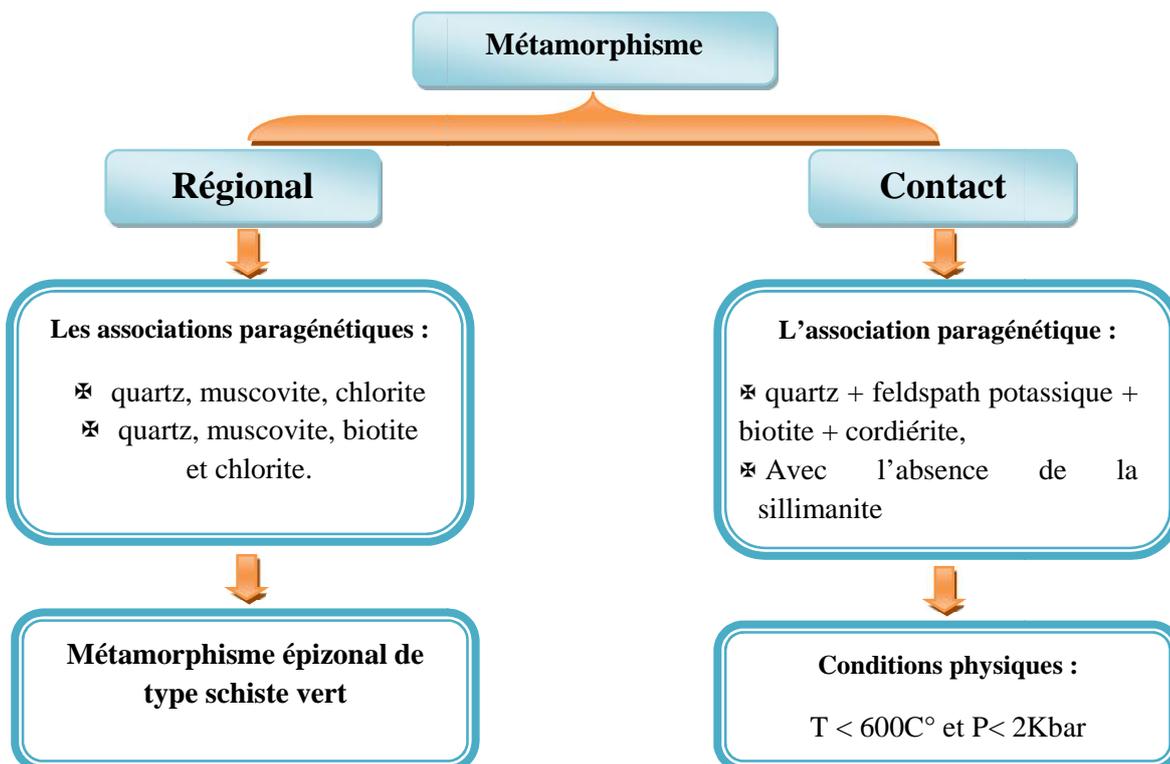


Figure 10: Schéma structural de la région d'El Hammam (Rahho, 1996 ; modifié)

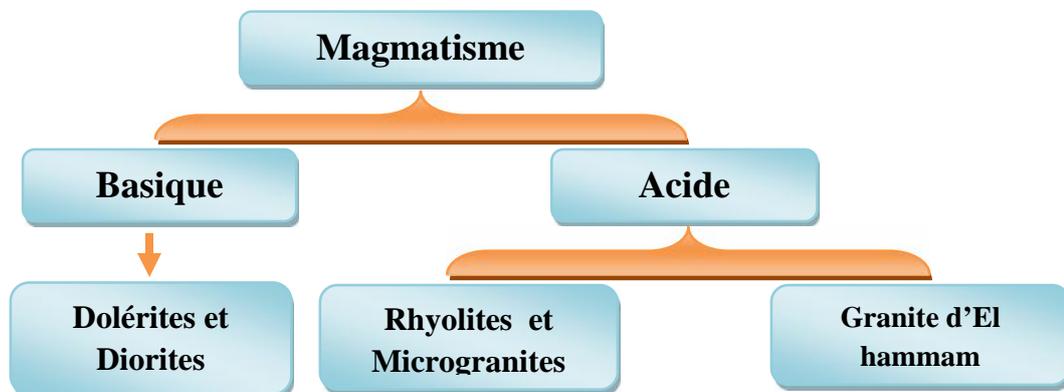
III- Métamorphisme

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).



IV- Magmatisme

Le secteur est le siège d'une importante activité magmatique pré et tardi-orogénique exprimée en filons et dykes basiques à acides de direction NE-SW et 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 silt de dolérites, des dykes de microgranite et un massif granitique enfoui au niveau d'oued Beht.



V–Minéralisation :

1)- Les phases de minéralisation :

Six phases de minéralisation ont été mises en évidence :

- phase de métamorphisme aboutissant à un développement des minéraux de métamorphisme dans les carbonates ou dans les schistes.
- phase skarnoïde qui se développe dans les niveaux à Wollastonite.
- Phase borée marquée par les gros filons de Tourmaline orientée ENE-WSW.
- Phase sulfurée comportant deux épisodes
 - ✓ Episode à Mispickel, bismuth, or et Chalcopyrite.
 - ✓ Episode à Pyrrhothines, Quartz, Schelite, Fluorine, Bismuth et Blende.
- Phase fluorée : Les filons de fluorine recoupent les minéralisations antérieures à savoir que la succession de minéralisation de cette phase est très complexe.
- Phase d'altération générale avec formation de limonite et du quartz.

2)-Modèles de mise en place des minéralisations

Le filon principal : C'est un filon NE-SW, il est délimité par les calcaires et les schistes métamorphiques de viséen supérieur à l'Est et par les structures dévoniennes à l'Ouest. Ce filon est riche en Fluorine verte d'aspect bréchique et lenticulaire à cause de la diversité des failles F2.

Les autres filons du district : ils sont classés en trois catégories :

- les filons dans l'axe du filon principal,
- les filons en amont de filon principal,
- les filons en aval et au Nord-Ouest e filon principal.

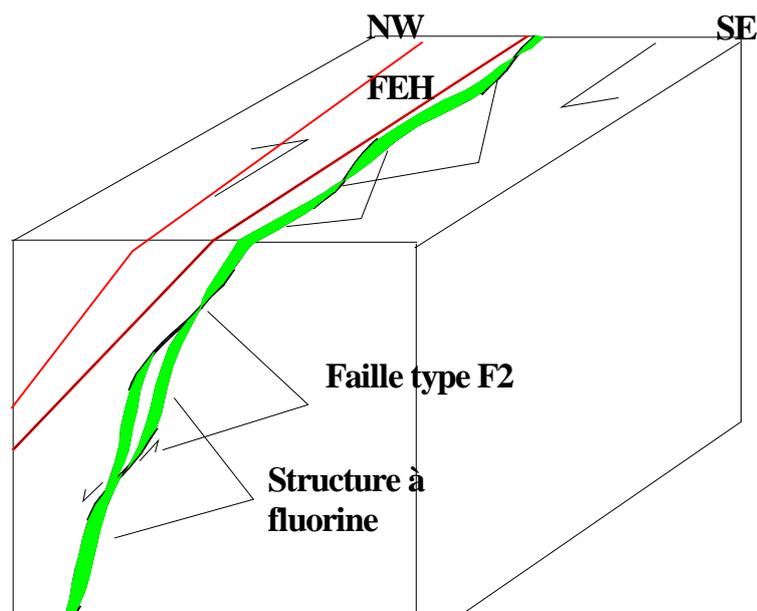


Figure 11 Schéma montrant la relation entre la minéralisation fluorifère et la faille d'El Hammam (Service géologie de SAMINE)

VI- Méthodes d'exploitations :

La première méthode utilisée, depuis l'ouverture de la mine jusqu'à l'année 2003, est la méthode des chambres magasins (CM). A partir de 2001, la méthode des tranches montantes remblayées (TMR) a été appliquée dans le gisement d'El Hammam et a finalement remplacé la chambre magasin. Une variante de la TMR avec rampe au filon a été adaptée au gisement K-Est Gouaida

(prolongement NE du gisement centre). Elle consiste à réaliser un plan incliné de 15% dans le filon, sur le remblai au fur et à mesure de l'abattage des tranches d'une taille.

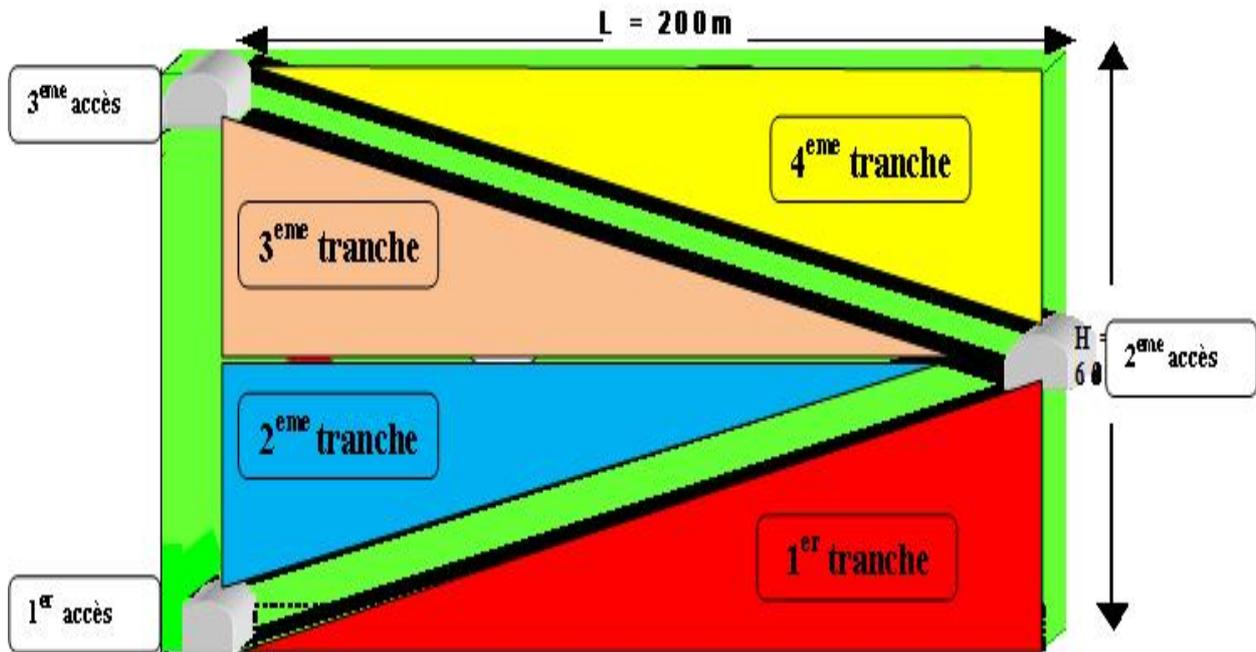


Figure 12 : méthode d'exploitation dans lamine d'el hammam (TMR)

Etude structurale et analyse des sondages
carottés du gîte minier « la colline J »

CHAPITRE I : Etude et analyse des sondages carottés de la zone colline J

Dans cette phase le géologue doit faire des recherches dans le terrain pour localiser les zones qui sont minéralisées c'est-à-dire définir les paramètres de la structure minéralisée tels que : longueur, pendage, largeur pour déterminer le tonnage de minerai

1) Objectifs des sondages :

- ✓ Orientation des recherches : les sondages donnent des informations précises pour l'orientation des travaux.
- ✓ Avoir des reconnaissances : les sondages permettent d'avoir une reconnaissance générale concernant la lithologie la stratigraphie...
- ✓ Vérification des cibles : Les sondages informent sur l'existence ou l'absence de minéralisation.
- ✓ Évaluation : La minéralisation est délimitée et échantillonnée pour déterminer son tonnage sa teneur et sa puissance.
- ✓ Calcul des réserves : Les sondages permettent d'estimer les réserves en minerai et par conséquent planifier le cheminement de développement de la mine.

2)- Principe Des Sondages Carottés :

La roche est extraite sous forme de carottes qui ont la forme d'un cylindre à l'aide d'une couronne diamantée qui est fixée au bout d'une tige métallique creuse et qui est animée d'un mouvement de rotation par une série de moteur.

Après l'arrivée de la tige à son terme, il est appelé au sondeur de récupérer les carottes et de les déposer dans des caisses en bois organisée sous forme de colonnes.

Les caractéristiques des sondages carottés c'est qu'ils sont très chers du fait qu'ils traversent de longues distances et qu'ils donnent des informations plus précises (log stratigraphique, minéralisation, information géotechnique....)

Alors que les sondages percutants sont moins chers c'est pourquoi qu'on commence par les percutants.



Figure 13 : machine de sondage (Sondeuse LY44)



Figure 14 : caisses à carotté de sondage SCJ 52/2/-55°

3- Réalisation du log d'un sondage carotté

Le log consiste à la réalisation d'une description pétrographique et structurale bien détaillée des terrains traversés par le sondage.

Le matériel utilisé pour cette opération est :

- ✓ Loup
- ✓ Double mètre
- ✓ Acide chlorhydrique (HCL)
- ✓ Crayon Gomme
- ✓ Rapporteur

On décrit également les différentes étapes à respecter lors de ce travail :

- Préparation d'un log vierge à une échelle 1/200, avec les différentes colonnes à remplir (lithologie, structural etc. ...)
- Étalage des caisses à carottes.
- Lavage des carottes pour bien distinguer les limites lithologiques et structural .
- Mesure des cotes de la limite lithologique et structurale par rapport aux cotes inscrites sur les taquets .

NB : la longueur entre deux taquets successifs est 3m et la première longueur forée deux mètres.

- Reporter ces cotes sur la fiche du log à une échelle 1/200.
- Description pétrographique des faciès, des zones des failles, identification de la minéralisation.
- Mesure des angles de la stratification, la schistosité et les plans des failles par rapport à l'axe de la carotte.
- Estimation des teneurs en fluorine CaF₂ des structures minéralisées.

4- Description des sondages carottés

- **SCJ52/2/-55 SE :**

Ce sondage traverse une série de schistes tachetés avec ($50 < V < 65$). Il est affecté par des fractures à calcite et trace des sulfures, et des microplis matérialisés par des veinules de quartz. La structure minéralisée traversée se trouve entre 138m -139.2 m, et la deuxième structure entre 200-202 présente une texture massive géodique avec une dissémination des sulfures (pyrite, pyrrhotite), avec une teneur de 25%.

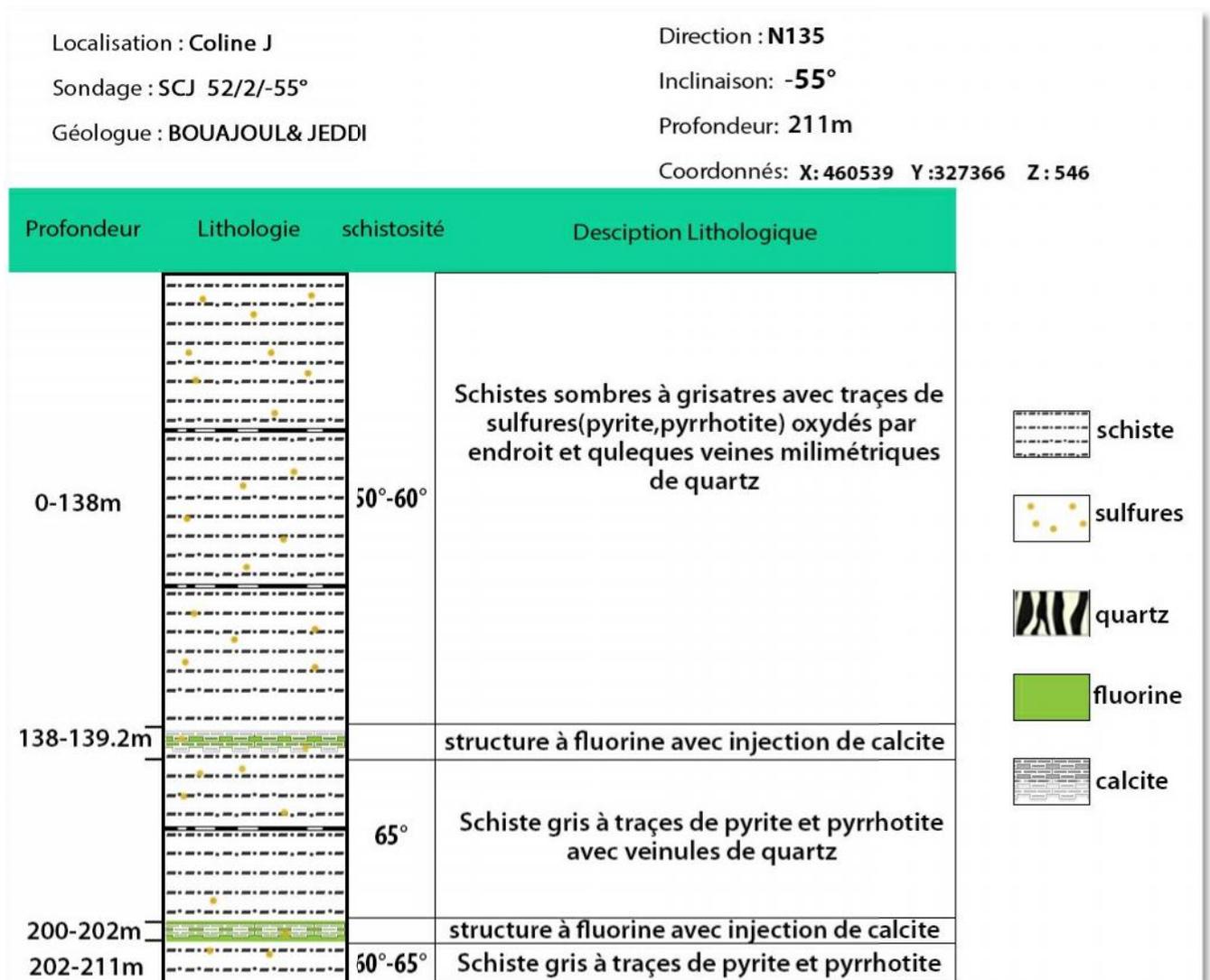


Figure 15 : log du sondage SCJ 52/2/-55°

• **S.C.J/49-50/1/-55° :**

Ce sondage a traversé des schistes sombre et des schistes grises, la schistosité ($50 < V < 65$), et deux structure de calcite et fluorine à puissance traversée de 3m à 30% de CaF2 estimée à une profondeur de 125m et 163m, avec des veines de quartz et de calcite quelques trace de sulfure (pyrite+pyrrhotite).

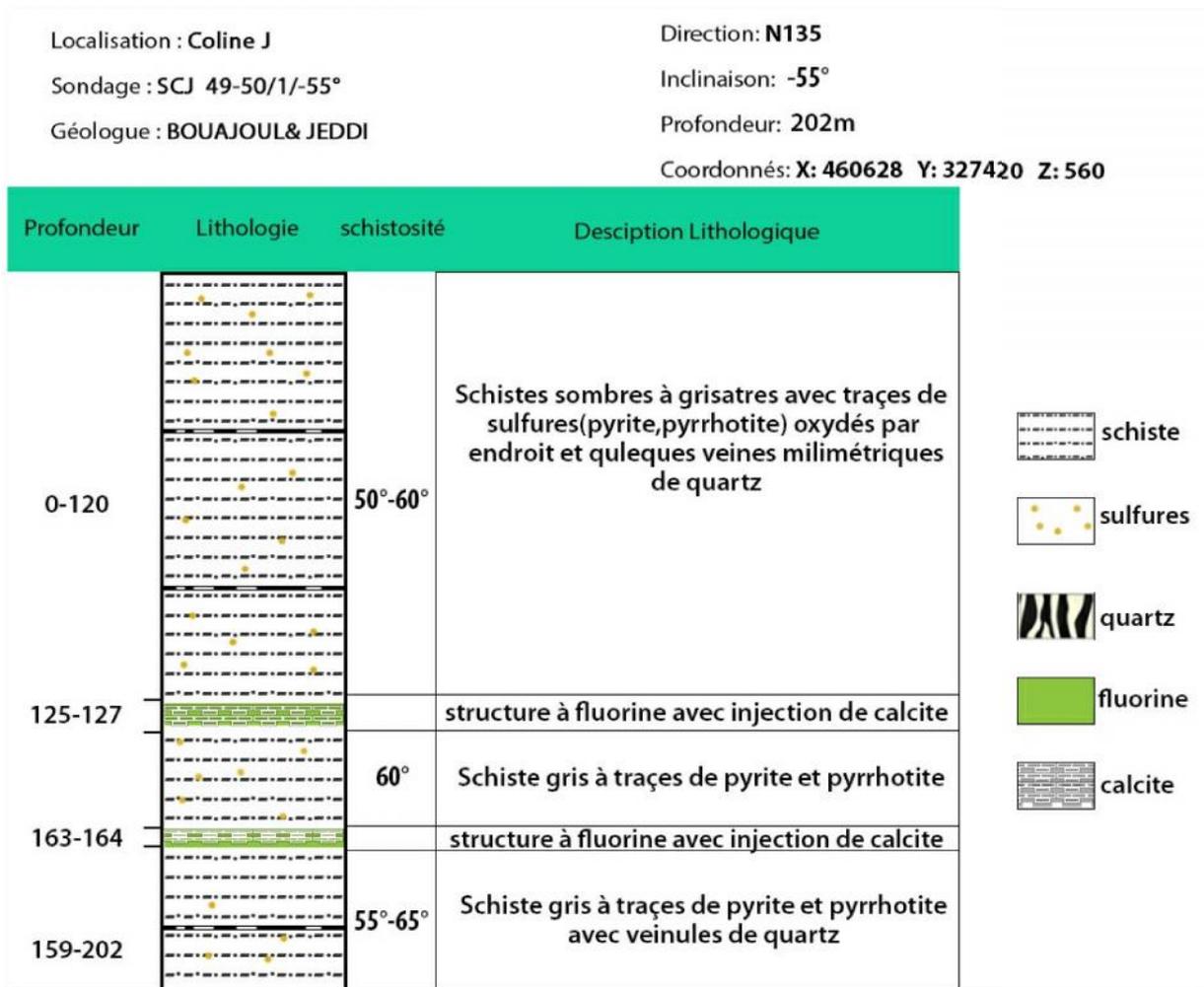


Figure 16 : log de sondage SCJ 49-50/1/-55°

• **S.C.J/49-50/2/-55° :**

Ce sondage a traversé les mêmes facies que le sondage précédent avec une petite différence en schistosité qui varie entre ($45 < V < 65$), et trois structure de fluorine à puissance totale traversée de 3.5m à 35% de CaF2 estimée à une profondeur de 165.7-166, 210-211.5m et 219.7-221.5, avec des veines de quartz, de calcite et traces de sulfure (pyrite+pyrrhotite).

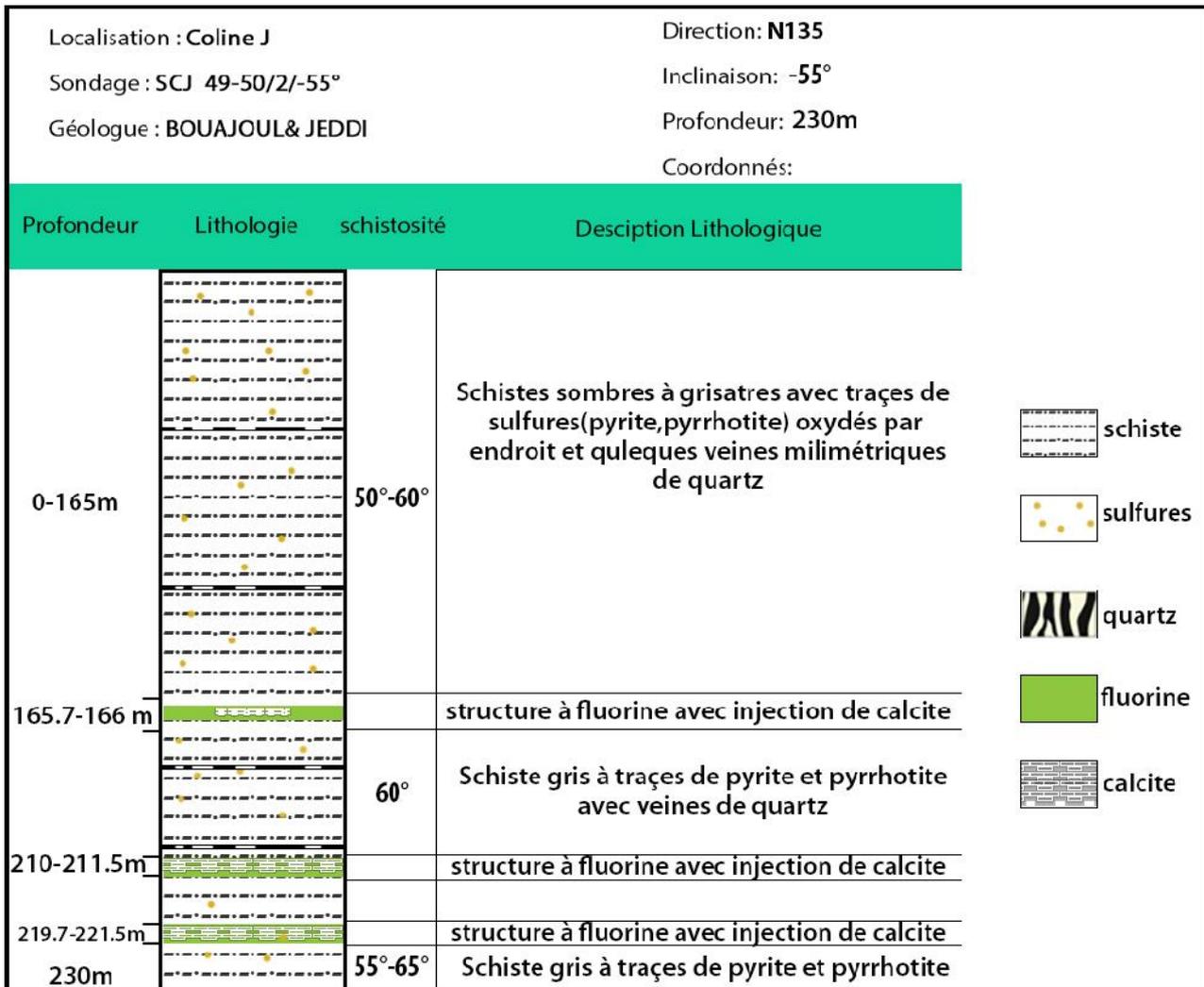


Figure 17 : log de sondage SCJ 49-50/2/-55°

5- Coupes transversales des sondages :

Les coupes sont réalisées on se basant sur la description pétrographique des faciès, les zones des failles et les structures minéralisées des sondages qu'on a faits.

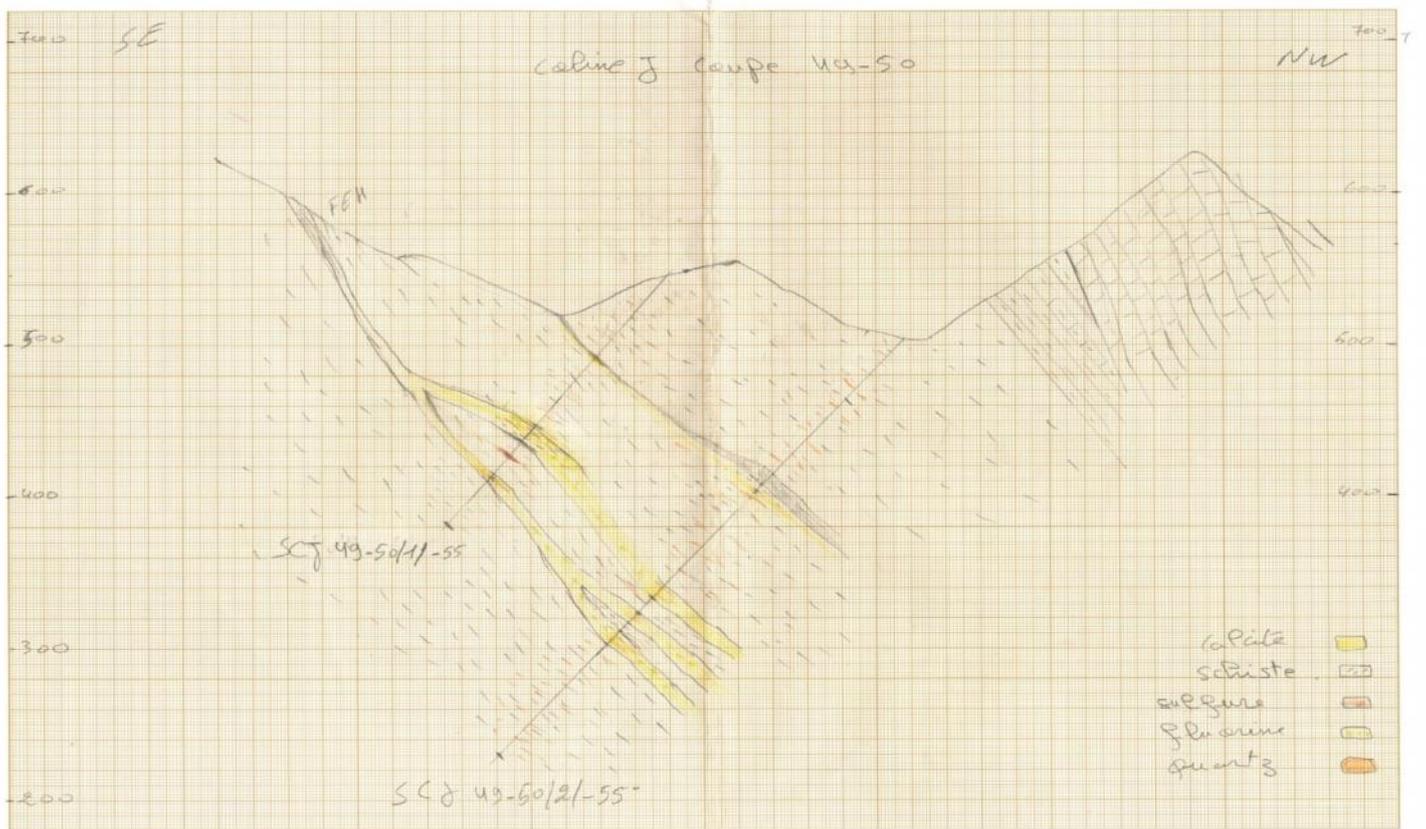


Figure 18 : Coupe transversale des sondages carottés (Coline J) SCJ49-50/1-55° et SCJ 49-50/2-52°

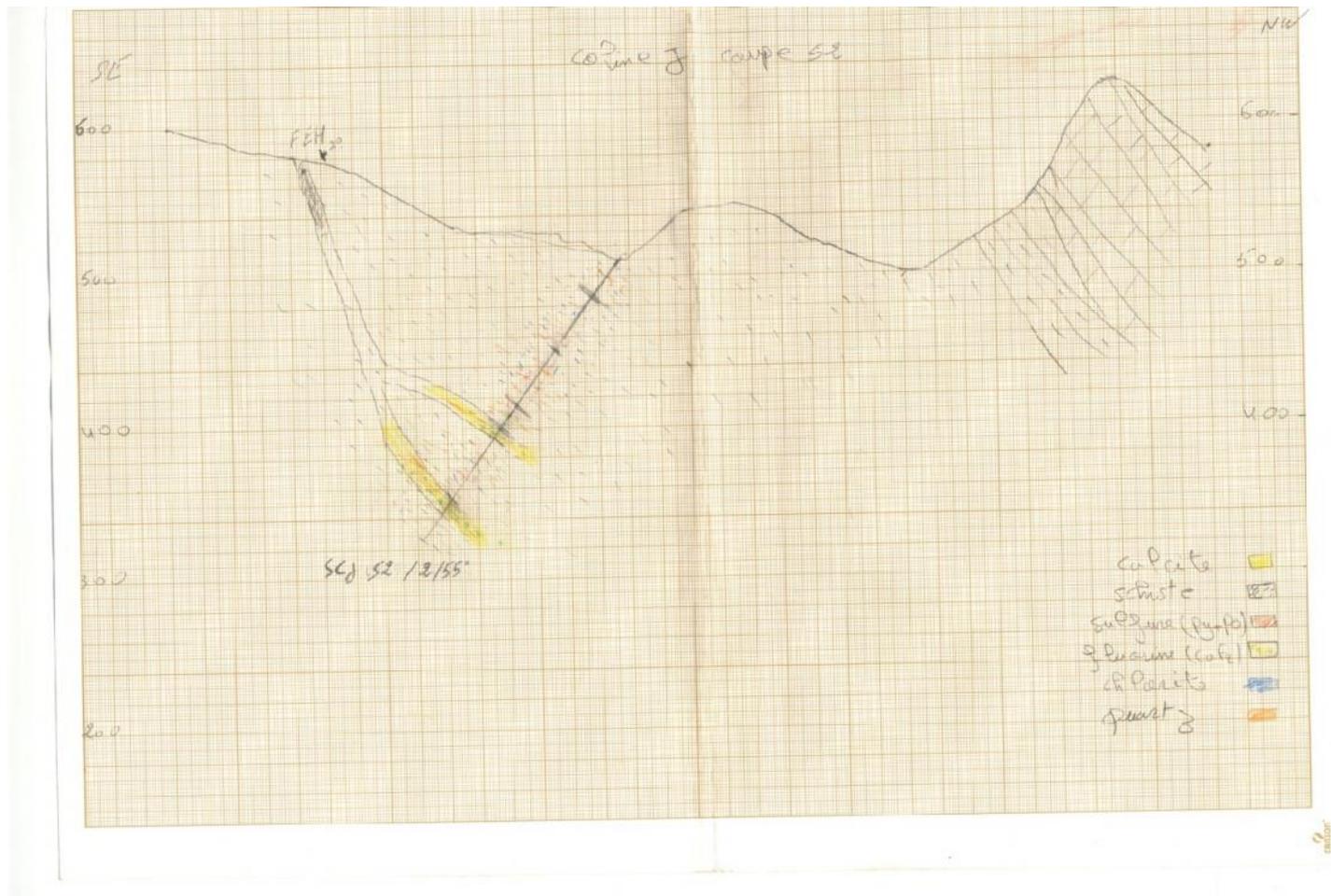


Figure 19 : Coupe transversale des sondages carottés (colline J) SCJ52/2-55°

CHAPITRE II : Etude structurale et cartographique de la zone colline J

1- Introduction

C'est de faire une couverture cartographique des structure à une échelle de 1/2000 dans le secteur colline J, qui se situe sur la continuité de l'axe gisement centre et moufres, de NE vers le sud-ouest ; étude structurale, étude pétrographique et interprétation des résultats obtenus.

Ce travail est accompagné par une coupe géologique de la zone d'étude, mettant l'accent sur la relation minéralisation et les déformations locales et régionale.

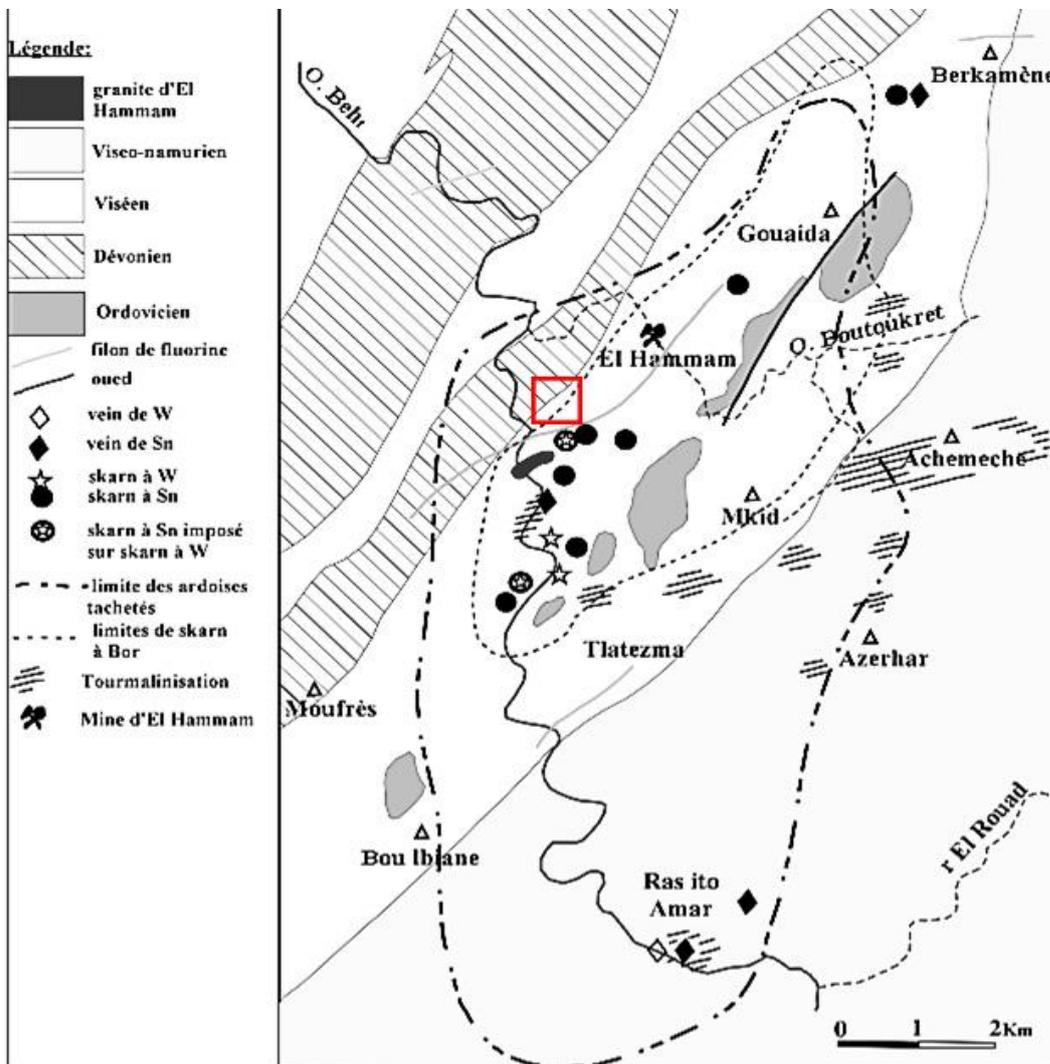


Figure 20 : situation de la zone d'étude (service géologie SAMINE)

➤ LES PRINCIPAUX TACHES EFFECTUES

- Cartographie de surface réalisée dans la zone d'étude à une échelle de 1/2000.
- Levée géologique de fond à une échelle de 1/2000.
- Coupe géologique.
- Projection stéréographique des données
- Interprétation des données



Figure 21 : photo montrant la zone de travail

2- Cartographie de surface :

A)- Lithologie de la zone.

- **Barre calcaire du Dévonien**

Cette barre orientée N25-N42 se trouve en continuité au nord-ouest de la faille d'El Hammam. Elle est en contact vers sud-ouest avec les formations du Viséen (schiste tacheté).



Figure 22 : Photo montrant la barre calcaire

- **Les schiste du Viséen**

Il s'agit en général des schistes et des cornéennes. Elles sont en général orientées N0-N25 avec un pendage vers Nord-ouest et déversement vers le Sud-Est.



Figure 23 : Photo montrant du schiste noir

B)- Structurale

La faille d'El Hammam est un couloir de cisaillement à remplissage généralement de calcite avec laquelle s'associent la silice (quartz), les sulfures (pyrrhotine, pyrite, et rarement chalcoppyrite et la galène), ayant une **direction N40-N60** et un **pendage 45-60°NW**.

Au sein de ce couloir, on rencontre deux grandes familles de faille : **les failles N30-N60** et **les failles N90 -N160 (Failles Fy)**.

- Les failles N30-N60 ont en général des miroirs striés à pitch orienté vers le Nord-Est et un pendage souvent faible à moyen (40°-60°NW). Localement on trouve des miroirs de faille au cœur de la F.E.H striés à pitch orienté vers le Sud-Ouest. Tandis que les failles N90-N160. sont sub-verticales (71°-90°NW).
- Les dernières sont tardives aux premières et les décalent de façon senestre. Alors que les premières ont une cinématique dextre.

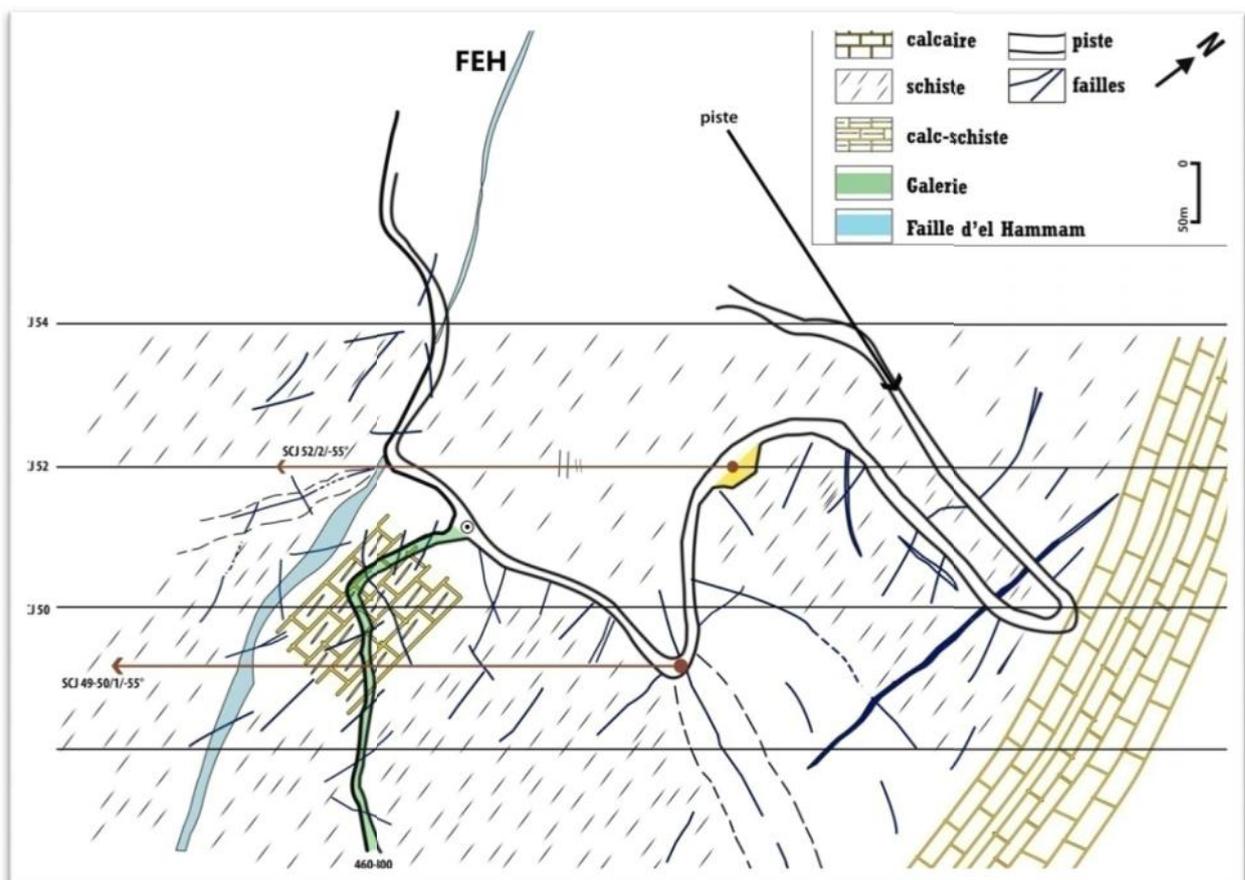


Figure 24 : carte géologique simplifié de la zone colline J (réalisé par bouaajoul & jeddi 2016)

3)- Levé géologique et cartographie en sub-surface

C'est un document très important dans le suivi géologique de la production dans la mine, c'est la projection de la structure en exploitation sur un support géométrique avec les mesures d'épaisseur et l'estimation de la teneur à l'œil nu.

Sur le levé géologique on importe aussi les directions des failles et de la schistosité.

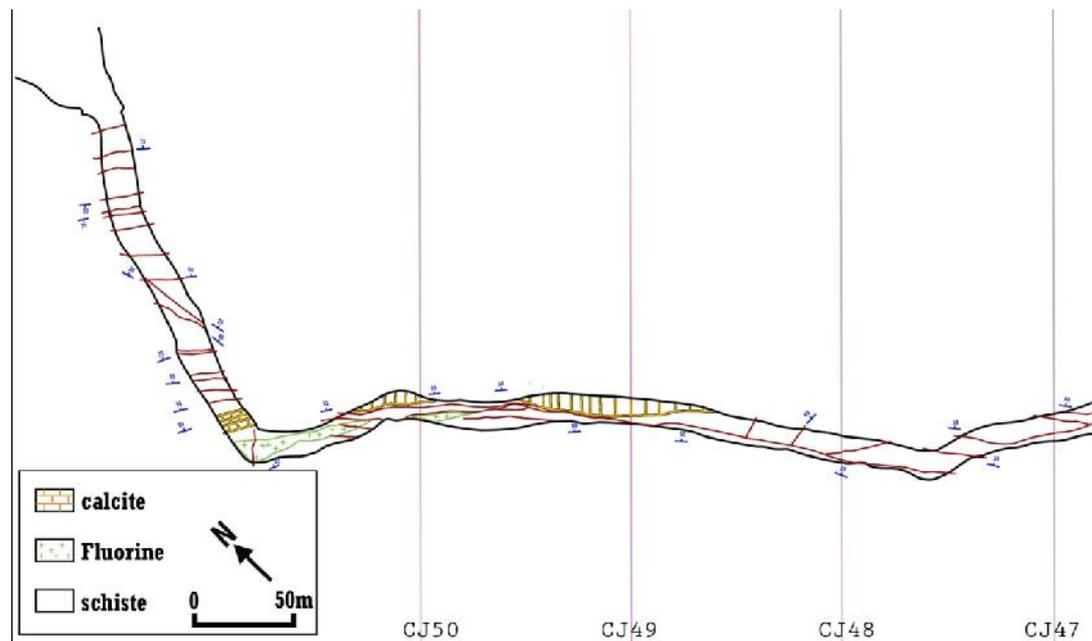


Figure 25 : levé géologique de niveaux J-100 (réalisée par bouaajoul&jeddi, 2016)

4)- Les mesures tectoniques.



Figure 26 : photo montrant deux plan de failles

Dans les tableaux ci-dessous sont répertoriées les caractéristiques de ces failles qui on a mesuré.

FAILLES (surface)	S1	FT	S0	failles (fond)
N110, 90, 20W N135, 90 N80, 35 SW ,60 S N110, 80 NE DEXTRE N125, 65 WNW N115, 90 NE N160, 81 NE N150, 50 sw N165, 80 SE N115, 85 SW ,11° SENESTRE N115, 70 NE	S1: N50, 85 NE S1: N30, 20 SW S1: N50, 20 SW N55,30SW N55,30SW N45,65NE S1 : 35° NW S1: N40, 20NW S1: N50, 20 SW	N110, 90 NW N50, 45 SW N30, 73 NNE N45,65SW N35,75NE N25,60NE N20,65NW	N50, 20 WSW N100, 85 NW N110,80NW N120,80 N115,75	N135,47SW N135,75SE,20SW N135,85SW N150,70SE,40NE N145,35SW N140,40SE,25NE N125,30SE,20NE N125,45NW N130,50NW,5NE N135,70NW N135,65NW,15NW inverse N110,53NW N145,30NE N135,43NE N130,80SE,5NE
N65, 20 N, 20° N85, 83 NW, 30° SENESTRE N80, 33NNW (remplissage qrz)				N35,73SE,20NW DEXTRE N20,80SE,28N SENESTRE N20,20SE,11 DEXTRE N45,25SE N75,70SE N25,80SW N30,40SW N65,68SE N33,75SE N45,75SE N40,25SE
N83,73 N, 5°E N60,55NW,60SW N70, 75 NW N90, 35W N110,20WNW	N35, 80SE N40, 73 SE N40, 55 sW N20, 85 SW N80, 75 SW N15, 25 SSW			N50,35NW,15E Dextre N35,60NW,35NE N45,43NE N35,60NE N60,80NW N65,35NW
N18, 90, 20N SENESTRE N40, 90, 20E, DEXTRE N30, 90, 25E, SENESTE N50, 90, 25 ^E N38, 88 SE N70, 75 SE(remplissage qrz) N40, 75 SE N60, 85 SSE N45, 80SSE N55, 80SE N45,75SE	N40,40NW,30NE N40,80NW,30NE N40,65NW,85NE N45,55NW,30NE N55,65,30NE N35, 50 NW, 28° DESXTRE N45, 75 NW, 45° SENESTRE N80, 46 NW N35, 20 NNW N30, 45 NW			

N40, 35 SE	N50, 50 NW N50, 40 NW N40, 35NW N35, 50 W		N45,35NE,25W N55,40NW,20E Dextre
------------	--	--	-------------------------------------

5)- Traitement des données.

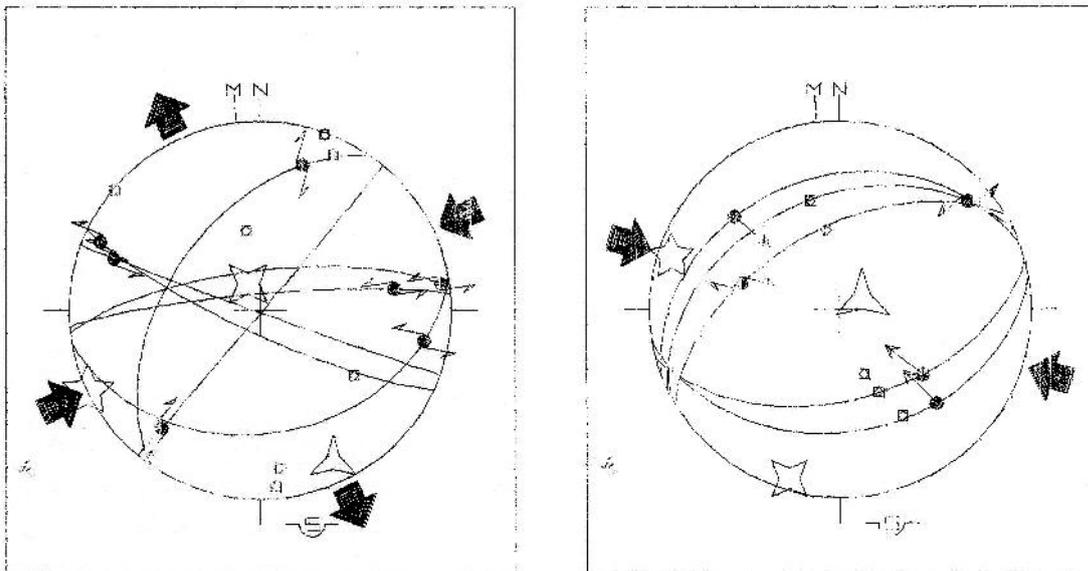
Cette étude porte sur la présentation des éléments structuraux récupère à partir des mesuré sur le terrain ainsi que la détermination des contraintes.

Legends des stéréogrammes ci-dessous :

Flèche centrifuge : extension ; flèche centripète : compression ; étoiles à 3, 4 et 5 branches représentent respectivement les contraintes 3, 2 et 1 ; M N : Nord magnétique et Nord géographique (diagramme de schmidt, hémisphère inférieur)

A)- Les failles

➤ Phase compressive N70-N110 (d'âge hercynien)



D'après la lecture des stéréogrammes on a obtenue les contraintes suivantes :

- $\sigma_3 = 0,26$; 1 : N65, 00 ; 2 : N156, 78NNW ; 3 : N155, 12SSE
- $\sigma_2 = 0,69$; 1 = N108, 08WNW ; 2 : N17, 07SSW ; 3 : N67, 79ENE

Les stéréogrammes montrent des décrochements senestres à composante inverse de direction NE-SW.

➤ **Phase compressive E-W**

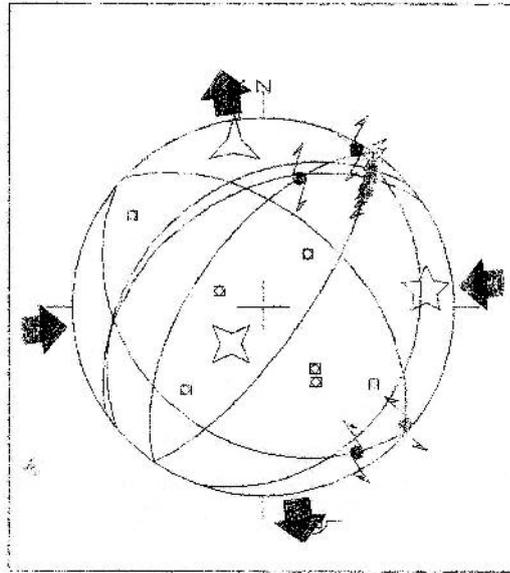


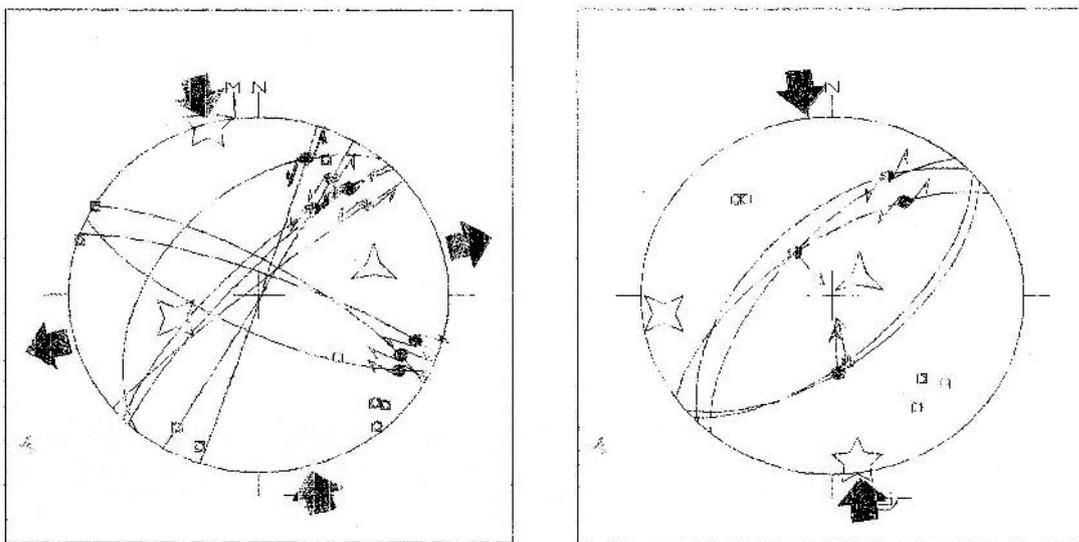
Figure 27: stéréogramme des décrochements dextre NNE-SSW et senestre SSE-NNW

- $\mu = 0,62$; 1 : N84, 15ENE ; 2 : N40, 69SW ; 3 : N170, 14NNW

Le stéréogramme montre deux types de décrochement:

- des décrochements dextre à direction N30.
- des décrochements senestres à direction N120-N130.

➤ **Phase compressive NNW-SSE.**



D'après la lecture des stéréogrammes on a obtenue les contraintes suivantes :

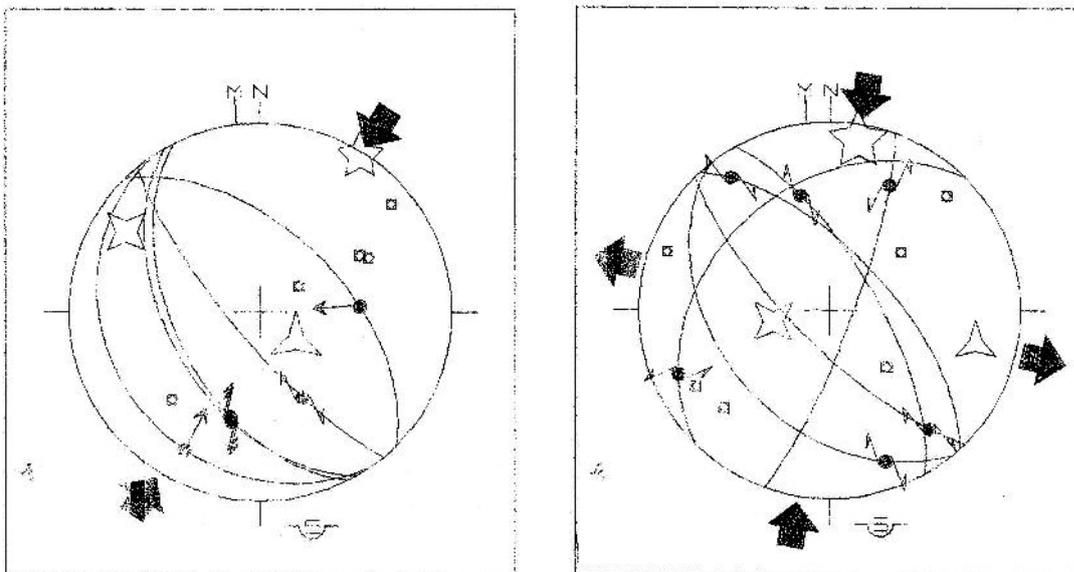
- $\sigma_1 = 0,42$; 1 : N164, 01NNW ; 2 : N73, 52WSW ; 3 : N75, 38ENE
- $\sigma_2 = 0,57$; 1 : N172, 07 SSE ; 2 : N84, 12WSW ; 3 : N54, 76ENE

Les stéréogrammes montrent deux types de décrochement :

- des décrochements senestres de direction N20-N40.
- des décrochements dextre de direction N110-N120.

Remarque : Sur le terrain on a remarque que la fracturation de direction N20-40 plus ancien que les N110-120.

➤ **Phase compressive NNE-SSW.**



- $\sigma_1 = 0,71$; 1 : N32, 03NE ; 2 : N121, 19WNW ; 3 : N129, 71SE
- $\sigma_2 = 0,34$; 1 : N09, 09NNE ; 2 : N78, 65WSW ; 3 : N103, 23ESE

B)- Les fentes de tension

Traces cyclographiques et traces polaires des fentes de tension NE-SW

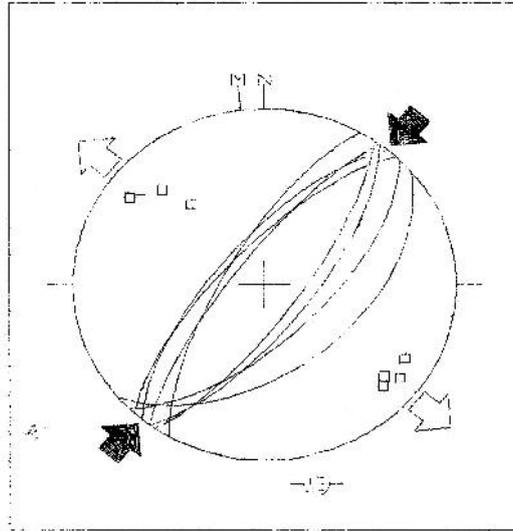


Figure 28 : stéréogramme des fentes de tension à calcite



Figure 29 : fente de tension avec remplissage de calcite

C)- La schistosité

Traces cyclographiques et traces polaires des plans de schistosité de fracture NW-SE

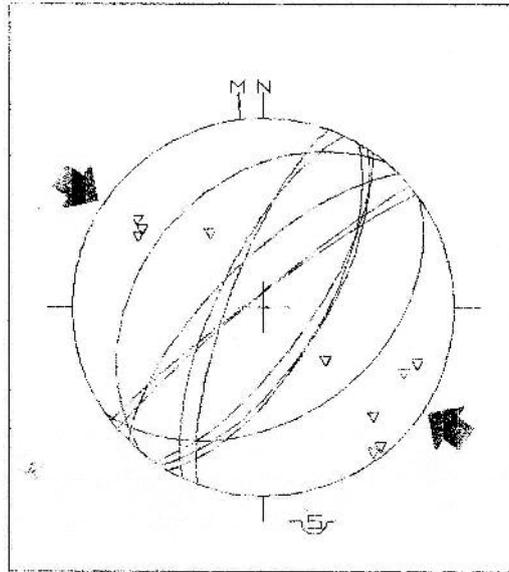


Figure 30 : stéréogramme de plan de schistosité affectant les schistes carbonifères

6)- Résultat et interprétation

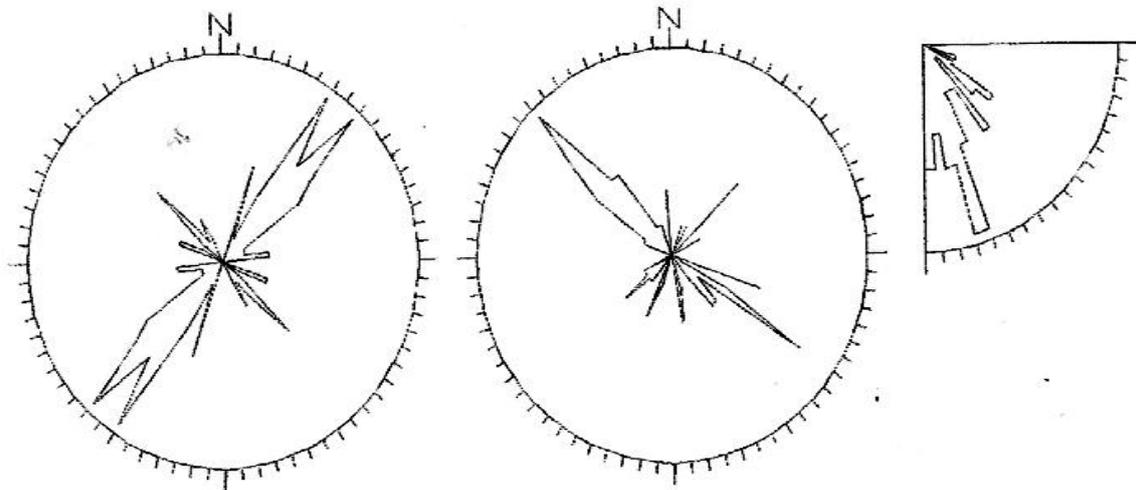


Figure 31 : Rosaces de la fracturation

D'après l'analyse stéréogramme on a obtenu le résultat suivant :

- Les directions majeures N35-N45
- Les directions mineures N125
- Pendage moyenne 70°-75°

les fractures à direction N35-N45 qui ont données la minéralisation, sont plus anciennes que les fracturations N120-N130 qui décalent la minéralisation avec un jeu dextre.

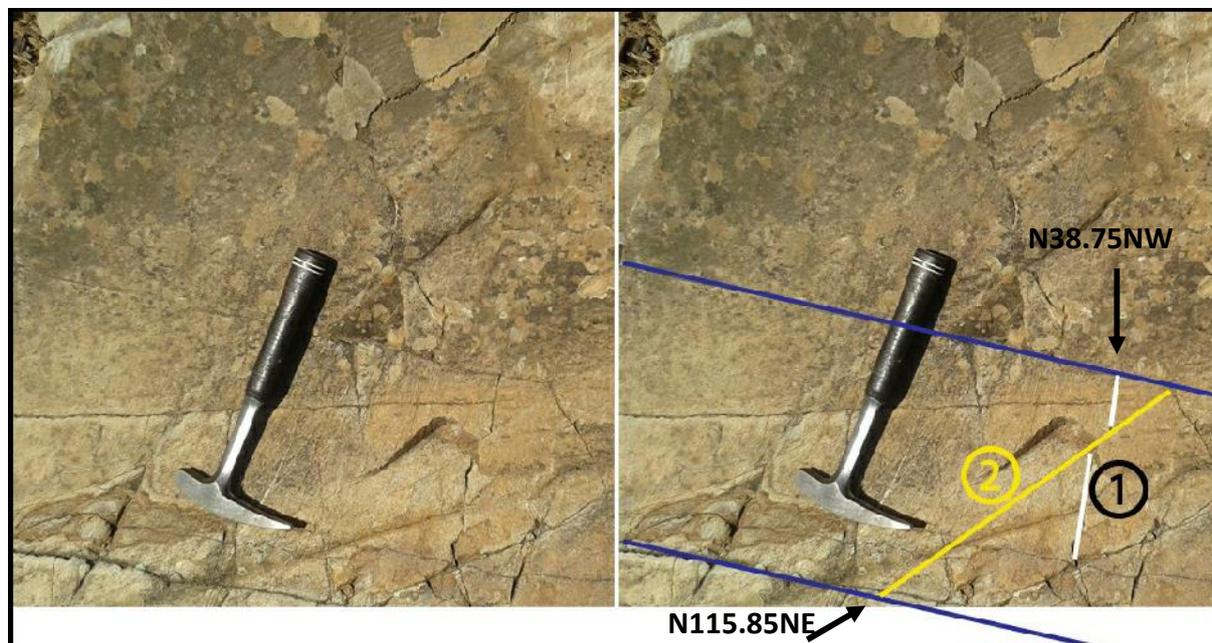


Figure 32 : plan de faille montrant la chronologie des failles

CONCLUSION

L'étude que nous avons menée durant notre stage à la mine d'El Hammam nous a permis de donner les conclusions suivantes :

- la faille d'El Hammam divise notre zone sous forme de compartiment. Ces compartiments sont occupés par des séries de schistes d'âge viséen et calcaires de Dévonien.
- la description des sondages carottés nous a permis de vérifier que la minéralisation de CaF₂ est toujours associée à la calcite mais on peut trouver la calcite sans présence de la CaF₂.
- les fracturations de direction NE-SW sont les plus abondantes elles suivent la direction de la faille d'El Hammam.
- les champs de contrainte qu'on a obtenu sont : NE-SW, E-W, NW-SE et qui sont responsables de deux type de fracturation.
- les fracturations à direction N35-45 qui ont données la minéralisation, sont plus anciennes que les fracturations à N120-N130, qui décalent la minéralisation avec un jeu dextre.

BIBLIOGRAPHIE

- AGARD, J. (1966).** *Données nouvelles sur le district fluorifère d'El Hammam-Berkamène (Maroc central)*. S.E.G.M, n°843, 25p. , Rabat, inédit.
- AISSA, M. (1997).** *Etudes des interactions fluides minéraux des skarns à Sn, W, B d'El Hammam (Maroc Central) : Facteurs physico-chimiques contrôlant le développement du stade stannifère*. Thèse d'état, Univ. My Ismail, Meknès, Maroc. 348p.
- BEN YAHIA, S. (1988).** *Etude microthermique des inclusions fluides des skarns d'El Hammam (Maroc Central)*. Mémoire de maîtrise en géologie. Univ. Cath. Louvain, 137p.
- EI HASSANI, A. (1991).** *La zone Rabat-Tiflet : bordure nord de la chaîne caledonohercynienne du Maroc*. Bull. Inst. Sci, Rabat n° 15.
- JEBRAK, M. (1984).** *Contribution à l'histoire naturelle des filons (F, Ba) du domaine varisque*. Unpub. Ph. D. Thesis, France, Univ. Orleans, 470P.
- KEMMOU, D. (2006).** *Les terres rares dans le gisement d'El Hammam*. Mémoire de DESA, Univ. My Ismail Meknès.
- LOTFI, F. (2002).** *Etudes pétrographiques et minéralogiques des minéralisations sulfurées des formations viséennes de la faille de Jbala (district d'El Hammam, Maroc central)*.
- MICHARD, A. (1976).** *Eléments de géologie marocaine*. Notes et Mém. Sev. Géol. Maroc, 252, 408p.
- OUALI, H. (2001).** *Paléovolcanisme cambrien de la meseta marocaine : caractéristiques géochimiques et implication géodynamique*. Thèse d'Etat, Université My Ismail Meknès.
- PIQUE, A. (1979).** *Evolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne : La meseta marocaine Nord occidental*. Sci. Géol. Mém. Strasbourg.
- RAHHOU, 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 minéralisées*. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Mohamed V. Rabat, 219p.
- REMMAL, T. ; CHRAIBI, I. (1995).** *Genèse et mise en place des microgranites du district d'El Hammam en relation avec la magmatogenèse acide tardi-hercynienne*. Rapport interne SAMINE, 54p.