



Université Cadi Ayyad

Faculté des Sciences et Techniques Guéliz Marrakech

Rapport de stage de fin d'études

Licence en Sciences et Techniques

Géologie Appliquée aux Ressources Minières

(LST-GARM)



**CARTOGRAPHIE ET PETROGRAPHIE
DE LA ZONE DE MOUFRES –EL HAMMAM
NORD-EST DU MAROC CENTRAL**

Réalisé par : **Sarah MADIKITA & Jonathan PANGU**

Soutenu le 23 juin 2015

Encadrant:

S. Berrada (Fst Marrakech)

P. Sakouvogui (Samine)

Jury:

S. Berrada

M. El Ghorfi

P. Sakouvogui

Année Universitaire: 2014-2015

REMERCIEMENTS

Au terme de ce stage, nous ne saurions commencer la rédaction de ce rapport sans dire humblement et avec toute sincérité un grand Merci à toutes personnes qui nous ont apporté de l'aide de près ou de loin.

Nous remercions premièrement le SEIGNEUR pour tous Ses bienfaits ; lui sans qui tout ceci n'aurait pas été possible. Nous lui sommes reconnaissants pour la santé, la vie, et la patience aussi qu'il nous a donné tout au long de ce travail. Merci Seigneur pour tes bontés et tes grâces que tu me manifestes depuis toujours.

Nos remerciements vont à l'endroit de l'ensemble du corps professoral de la faculté des sciences et techniques.

Nous adressons un merci particulier à tout le personnel de la société anonyme minières SAMINE-MANAGEM plus particulièrement à Mr Souiah, qui dans sa grande générosité a bien voulu nous accorder notre chance au sein de son équipe.

Nous remercions aussi Mr Pokpa Sakouvogui, géologue à la SAMINE qui par sa disponibilité et son amabilité, a su nous guider et nous encourager tout au long de notre séjour dans l'entreprise. Nos remerciements vont aussi à l'endroit de l'ensemble de l'équipe du service géologie qui se sont révélés des collègues et des alliés de confiance.

Nous tenons enfin, à remercier nos professeurs encadrant Mme Samia Berrada et Mr Abdelatif Saidi pour leur soutien et leur pensées positives à notre égard, ainsi qu'aux différents membres du Jury qui nous ferons l'honneur d'évaluer la contribution de notre travail.

Nous associons à ces remerciements toutes les personnes qui ont marqué notre vie, et tous ceux qui de près ou de loin, continue de nous épauler et de nous soutenir dans nos labeurs quotidiens.

A tous, nous vous réitérons nos sincères remerciements pour votre aide, votre sollicitude et votre sympathie.

Liste des figures

Figure 1 : Cartes géologiques générales du Maroc Central hercynien et du district D'El Hammam (Sonnet1981).....	
Figure 2 : Localisation géographique du massif central dans la meseta occidentale, et du district d'El Hammam sur la carte structurale du massif hercynien central (Nerci, 2006).....	
Figure 3 : Carte géologique du district d'El hammam.....	
Figure 4 : Les domaines structuraux du Maroc (Hoepffner et al.,2005).....	
Figure 5: Localisation du Maroc Central dans la carte des principales zones structurales du Nord de la meseta (Hoepffner et al., 2005).....	
Figure 6: Carte structural de la Meseta nord-occidentale (Walliser et al. 1995).....	
Figure 7 : Modèle d'ouverture des bassins viséens de la Meseta occidentale (El Kamel & El Hassani, 2006).....	
Figure 8:Log stratigraphique du district d'El Hammam (Service géologique SAMINE).....	
Figure 9: Coupe schématique des affleurements du district d'El Hammam (Lummen, 1979).....	
Figure 10 : Cornéennes de Moufrès.....	
Figure 11 : Calcaire dévonien à tentaculite (à gauche), à droite relations stratification litage métamorphique (à droite) dans les calcaires dévoniens.....	
Figure 12 : granite affleurant au lit d'oued beht (à gauche), Veinule quartz et mispickel recoupant le granite à droite.....	
Figure 13:cornéenne à cordiérite et andalousite (en haut).....	
Figure 14 : Méthode utilisée.....	
Figure 15: Zone accidentée.....	
Figure 16 : Figure du « fond » de la galerie montrant la position de MFS8 et MFS9.....	
Figure 17 : Carte présentant la zone cartée.....	
Figure 18 : Coupe transversale 1.....	
Figure 19 : Coupe transversale 2.....	
Figure 21 : Levé géologique se la taille TM02.....	
Figure 22 : Trait de coupe réalisée au niveau des tailles.....	
Figure 23 : Coupe transversale passant par la TM01 et TM02 au niveau de CM2 et CM3.....	

Liste des tableaux

Tableau 1: Synthèse structurale des travaux réalisés dans le Maroc Central.....	
Tableau 2: Principaux caractères comparés des granites du Maroc Central (Aissa, 1997).....	
Tableau 3 : Caractéristiques structurales du district d'El Hammam.....	

Sommaire

I.	INTRODUCTION GENERALE	3
I.1.	Introduction.....	3
I.2.	Présentation de l'organisme d'accueil : SAMINE.	5
II.	CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU SECTEUR D' EL HAMMAM	6
II.1.	CADRE GEOGRAPHIQUE	6
II 1.1.	Situation géographique	6
II.2.	CADRE GEOLOGIQUE.....	8
II.2.1.	Contexte structural.....	8
II.2.2.	Le Maroc Central	9
II.2.3.	Lithostratigraphie.....	10
II.2.4.	Evolution structurale	11
II.2.5.	Les granites du Maroc Central.....	13
II.3.	Le district minier d'El Hammam	13
II.3.1.	Contexte géologique local	13
III.	GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE DE MOUFRES	17
III.1.	Lithostratigraphie	17
III.1.1.	Les formations ordoviciennes.....	17
III.1.2.	Viséen moyen	18
III.1.3.	Dévonien.....	18
III.2.	MAGMATISME	18
III.2.1.	Magmatisme acide	18
III.2.2.	Magmatisme basique	19
IV.	PETROGRAPHIE DES FACIES de MOUFRES	20
V.	CARTOGRAPHIE DE LA ZONE DE MOUFRES.....	26
V.1.	INTRODUCTION	26
V.2.	METHODOLOGIE	26
V.2.1.	Cartographie de surface	26
V.3.	SYNTHESE	28
V.3.1.	Cartographie de surface	28
V.3.2.	Cartographie de fond	31
VI.	MINERALISATIONS.....	33
VII.	CONCLUSION	34

Listes des Figures

Figure 1 : Cartes géologiques générales du Maroc Central hercynien et du district d'El Hammam (Sonnet, 1981)	4
Figure 2 : Carte de situation de la mine d'El Hammam (extrait de la carte topographique au 1/50000 de Meknès).....	6
Figure 3: Localisation géographique du massif central dans la meseta occidentale, et du district d'El Hammam sur la carte structurale du massif hercynien central (Nerci, 2006)	7
Figure 4: Carte géologique du district d'El hammam (Cheilletz et al, 2010).....	8
Figure 5: Localisation du Maroc Central dans la carte des principales zones structurales du Nord de la meseta (Hoepffner et al., 2005).	10
Figure 6: Carte structurale de la Meseta nord-occidentale (Walliser et al. 1995).....	12
Figure 7 : Log stratigraphique du district d'El Hammam (Service géologique SAMINE)	15
Figure 8: Coupe schématique des affleurements du district d'El Hammam (Lummen, 1979)	15
Figure 9: Cornéennes de Moufrès 1 : Schiste tacheté affleurant à l'oued beht, 2 : Structure à Brèche de tourmaline recoupant les formations ordoviciennes, 3 : Veine de quartz et mispickel recoupant une barre quartzitique.....	18
Figure 10: Calcaire dévonien à tentaculite (à gauche), à droite les relations stratification/litage métamorphique (à droite) dans les calcaires dévoniens	18
Figure 11: Granite et roches encaissantes du secteur de Moufrès.....	19
Figure 12: : Cornéenne à cordiérite et andalousite.....	19
Figure 13: Coupe longitudinale des travaux miniers dans le secteur de Moufrès montrant la position de MFS8 et MFS9.....	21
Figure 14: Différents faciès microgranitiques	22
Figure 15: Schistes et Calcaires	22
Figure 16: Différents faciès de roches encaissantes de la minéralisation.....	23
Figure 17: Structures présentes dans les cornéennes.....	24
Figure 18 : Différentes structures rencontrée au niveau de la TM02	25
Figure 19: Méthodes utilisées	27
Figure 20: Carte au 1/1000 du secteur de moufrès	29
Figure 21: Coupe transversale 1.....	30
Figure 22 : Coupe transversale 2	30
Figure 23: Levé géologique de la Taille TM01	31
Figure 24: Levé géologique se la taille TM02, avec teneurs de fluorine	32
Figure 25 : Figure montrant le trait de coupe réalisé au niveau des tailles TM01 et TM02	32
Figure 26 : Coupe transversale passant par la TM01 et TM02 au niveau de CM2 et CM3	33

Liste des tableaux

Tableau 1: Synthèse structurale des travaux réalisés dans le Maroc Central.....	11
Tableau 2 : Principaux caractères comparés des granites du Maroc Central (Aissa, 1997).....	13
Tableau 3 : Caractéristiques structurales du district d'El Hammam	15

I. INTRODUCTION GENERALE

I.1. Introduction

Au Maroc, la Fluorine est exploitée dans une filiale du groupe MANAGEM, SAMINE. La Société Anonyme d'entreprises minières, SAMINE est une filiale de MANAGEM. Elle exploite, depuis janvier 1974, le gisement de la fluorine (CaF_2) de la région d'EL HAMMAM, située à 56 kilomètres au sud-ouest de Meknès et à 83 kilomètres au sud-est du Khémisset. La SAMINE assure à la fois l'extraction et le traitement du minerai. Sa capacité de production moyenne est de 100000 tonnes de concentré par an.

Utilisée dans l'ornementation, comme fondant en sidérurgie, dans la fabrication de fibre de verre et du verre d'opale ainsi que d'acide fluorhydrique permettant l'obtention de l'Aluminium métal et connaissant ainsi une demande croissante sur le marché, la fluorine est un minéral qui revêt un caractère économique majeur.

La mine d'El Hammam est composée de deux axes séparés par l'oued Beht qui est l'affluent principal de la région. Du NE au SW, on note :

La colline de Bergamou Gouiada, la colline K-Est, la colline NE(k), la colline K séparée de la colline J par l'oued Boutoukret et l'oued Beht qui sépare la colline J de la colline Moufrès ; ou se trouve notre secteur d'étude.

Sur l'autre axe, on a la colline Tlatezma et celle d'Achemach (Fig. 1)

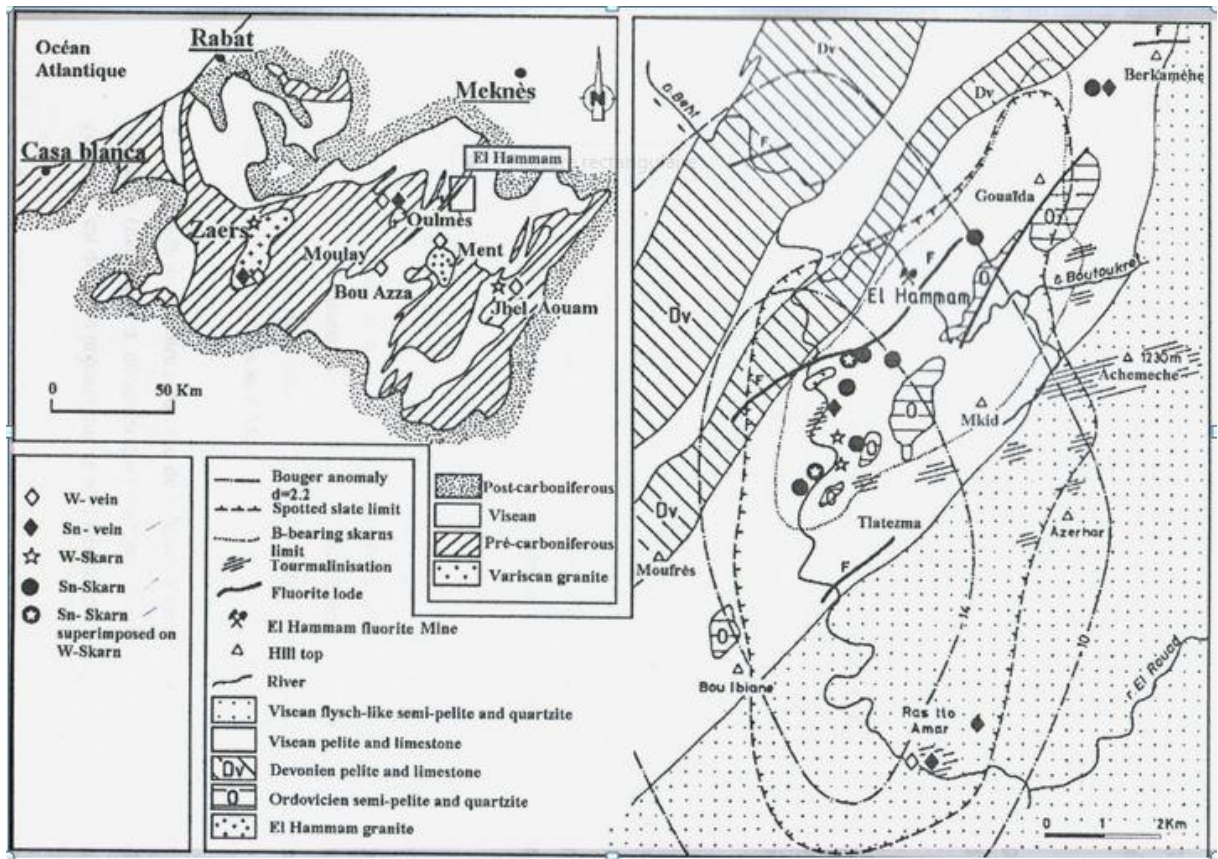


Figure 1 : Cartes géologiques générales du Maroc Central hercynien et du district d'El Hammam (Sonnet, 1981)

Au niveau de l'axe Moufrès... la minéralisation se présente sous forme bréchique tandis que sur celui de Tlatzma et Achemach la minéralisation est rubanée

Notre travail s'inscrit dans une optique de prospection c'est à dire la Cartographie et l'étude pétrographique macroscopique et microscopique et la découverte de filon minéralisateur porteur de fluorine.

Cette expérience est menée pour renforcer notre formation théorique et scientifique acquises à la Faculté des Sciences et techniques Guéliz de Marrakech.

En vue d'une bonne réalisation notre travail sera délimité comme suit :

1. Effectuer la cartographie du secteur Moufrès de la région d'El Hammam
2. Lever des coupes géologiques du secteur d'étude
3. Déterminer les différents types de faciès rencontrés et les échantillonner
4. Effectuer une étude pétrographique macroscopique et microscopique des différents faciès rencontrés
5. Comparer le secteur Moufrès à la région d'El Hammam entière (Géologie, structurale, pétrologie,...)

I.2. Présentation de l'organisme d'accueil : SAMINE.

La Société Anonyme d'entreprises minières SAMINE filiale de MANAGEM exploite, depuis janvier 1974, le gisement de la fluorine (CaF_2) de la région d'EL-HAMMAM, situé à 56 kilomètres au sud-ouest de Meknès et à 83 kilomètres au sud-est du Khémisset. La SAMINE assure à la fois l'extraction et le traitement du minerai. Sa capacité de production moyenne est de 100000 tonnes de concentré par an.

L'existence de la fluorine a été signalé par J.Barthoux dès 1923, toutefois les premiers travaux de recherche connus dans la région visaient le plomb (1931) et révélaient un possible intérêt économique des minéralisations fluorifères. En 1941, des travaux d'exploitation furent entrepris par les frère Dubois dans le secteur de Bergamou, et ont permis l'extraction de 750 tonnes de fluorine. L'extension de ces travaux ont permis alors la découverte d'un champ fluorifère important dans le secteur d'El hammam et de Gouiada.

De 1951 à 1954, les travaux effectués par la société Ugine ont permis la production de 3.500 tonnes de concentré de fluorine métallurgique destinée exclusivement à des clients Allemands. Ensuite, plusieurs partenaires se succèdent pour valoriser et exploiter le gisement fluorifère d'El Hammam. Actuellement l'exploitation est faite par SAMINE du MANAGEM.

En 2007, le Démarrage BERGAMOU a vu le jour suivi par le projet d'Achemache en 2008.

Utilisation du Fluorine

La fluorine constitue en valeur la deuxième production du Maroc central, après le plomb-zinc-argent, grâce au district important d'El Hammam (CMT). Deux indices à fluorine dominante sont connus dans le prolongement Sud-ouest du district d'El Hammam : l'un, a été découvert entre Oulmès et Aglmous, à Bou Khelkhal : il s'agit d'une fissure centimétrique, l'autre est situé au Nord de l'hôtel des Thermes, dans le granite d'Oulmès : il présenterait une association à fluorine et galène (AGADR, 1981).

On peut distinguer deux types de fluorine :

- La première de qualité acide, si elle est très pure chimiquement et titre plus de 97.5%. Sa composition chimique est :

CaF_2 : 98% min, SiO_2 : 1% max, CaCO_3 : 2% max, BaSO_4 : 1% max en plus des impuretés dont les teneurs doivent être faibles en : S, P, Zn, Sn, Al_2O_3 , Fe_2O_3 .

- La deuxième de qualité métallurgique à teneur plus faible en CaF_2 (80 à 90%).

Sa composition chimique : CaF_2 : 85%, SiO_2 : 6% max, S: 0,3 % max, Pb, Zn, Cu: traces

La fluorine est utilisée dans de nombreux domaines industriels dont les principaux sont :

La chimie industrielle pour la fabrication de l'acide fluorhydrique et les dérivés fluorés.
La métallurgie comme fondant pour les laitiers et l'industrie céramique.

II. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'EL HAMMAM

II.1. CADRE GEOGRAPHIQUE

II 1.1. Situation géographique

Le district d'El Hammam (Fig.2 et 3) est situé dans la partie septentrionale de la meseta occidentale, plus précisément au Nord orientale du Maroc Central, à environ 45 Km au NE du village d'Oulmès et 65 Km au SW de Meknès. Il est aussi accessible en passant par la piste carrossable d'Agourai.

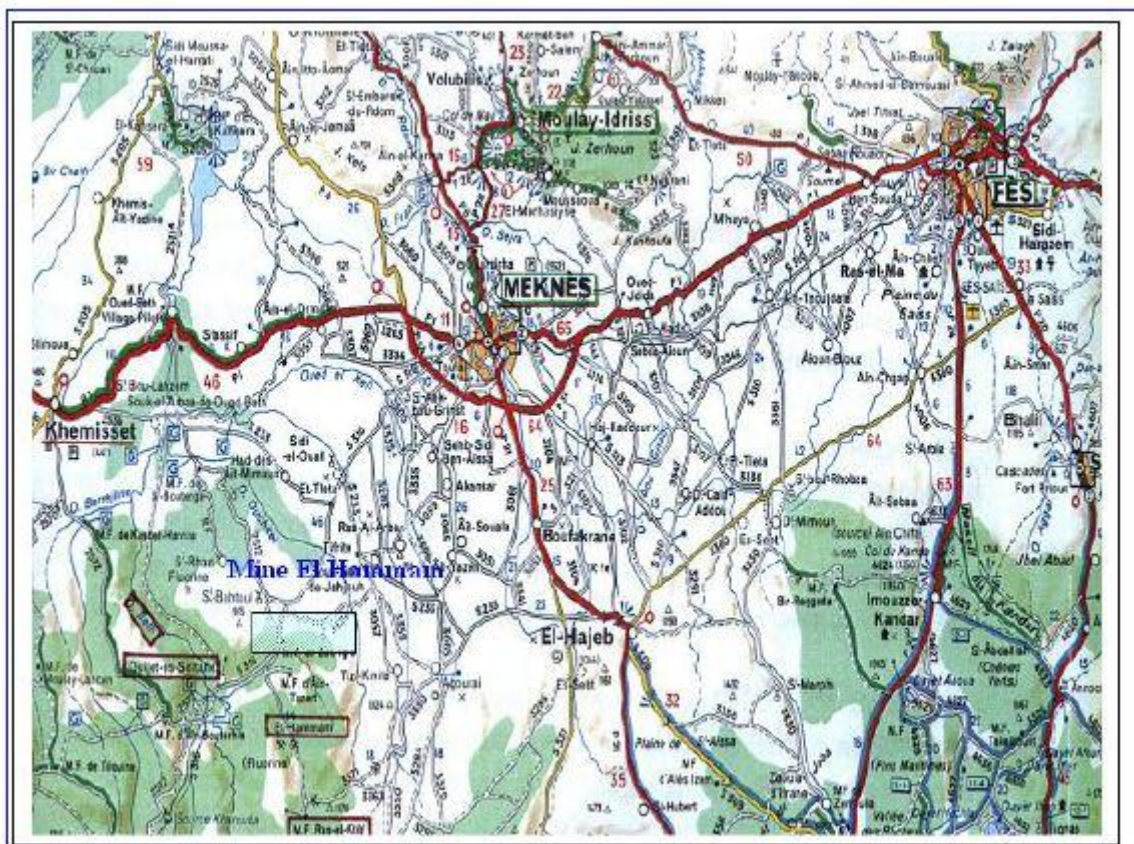


Figure 2 : Carte de situation de la mine d'El Hammam (extrait de la carte topographique au 1/50000 de Meknès)

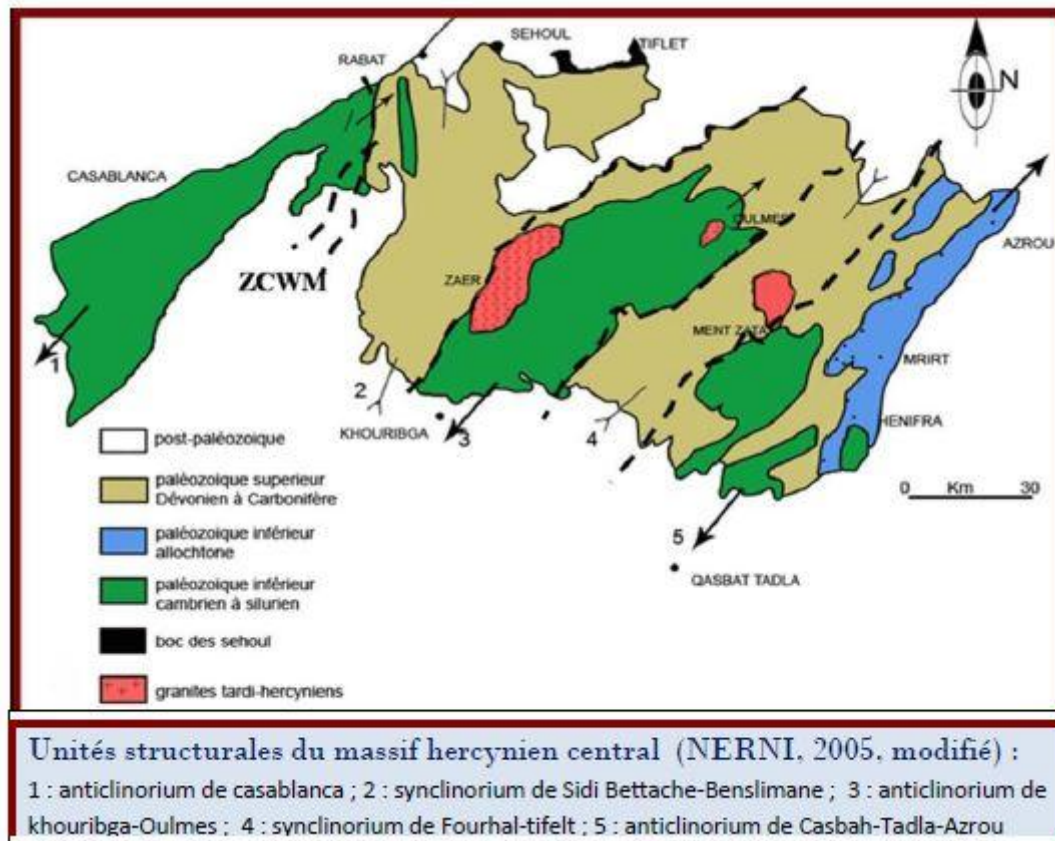


Figure 3: Localisation géographique du massif central dans la meseta occidentale, et du district d'El Hammam sur la carte structurale du massif hercynien central (Nerci, 2006)

Le secteur de Moufrès est situé à 2Km au SW du centre minier d'Elhammam, Il correspond à la partie sud-ouest de synclinorium de Gouiada(Fig.3).

Ce secteur est accessible par une route carrossable dans la colline J en passant par le petit village de Sidi Elhammam, il est formé de terrains schisteux, turbiditiques, silteux et argileux d'âge Ordovicien à viséen en passant par le Silurien et le Dévonien (Fig.4) Le secteur est une zone montagneuse forestière connue par un relief très accidenté.

La couverture végétale peu dense (la flore dominante est des arbustes et arbres de genévrier) est en état de dégradation.

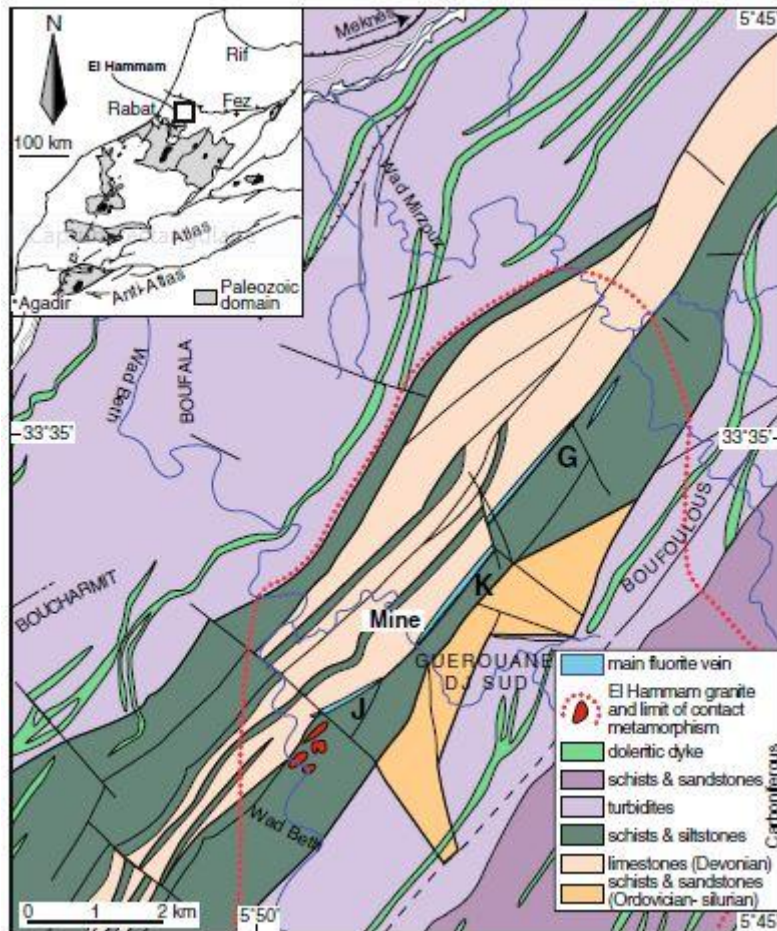


Figure 4: Carte géologique du district d'El hammam (Cheilletz et al, 2010)

II.2. CADRE GEOLOGIQUE

II.2.1. Contexte structural

Le Maroc a enregistré trois cycles orogéniques, responsables de sa structuration en trois grands domaines structuraux : Le domaine Rifain : c'est le domaine le plus septentrional. Il est caractérisé par des empreintes de l'orogénèse hercynienne et alpine responsables de la formation des nappes méso-cénozoïques charriées vers le Sud et le SW.

Le domaine Atlasique et Mésétien : englobe le Haut Atlas et le Moyen Atlas. Michard (1976), Pique et Michard (1981), ont démontré que ce domaine est structuré en domaines Mésétien et Atlasique.

Le domaine Mésétien : est formé de terrains paléozoïques plissés métamorphisés au cours de l'orogénèse hercynienne et peu déformés par des mouvements alpins. On distingue (Hoepffner et al., 2005, figure1) :

La meseta occidentale -où se trouve notre secteur d'étude - est un vaste plateau situé à l'Ouest des chaînes atlasiques, caractérisé par un plissement majeur post-viséen supérieur. Elle est formée par trois massifs paléozoïques allant du cambrien au carbonifère (Maroc Central, Rehamna, et Jbilet) où les événements métamorphiques sont concentrés (Michard et al., 2010). L'effet de l'orogénèse hercynienne est marqué dans cette zone par une déformation des terrains paléozoïques accompagnée d'un métamorphisme régional épizonal à mézozonal, ainsi qu'à la mise en place des granitoïdes syn. à tardi-tectoniques.

La meseta orientale, caractérisée par un plissement majeur précoce d'âge dévonien supérieur, avec développement d'une activité magmatique au viséen supérieur de type orogénique à caractères calco-alcalins.

Les chaînes atlasiques : sont des chaînes de types intracontinentales (Mattauer et al., 1977 ; Proust et al., 1977) formées au tertiaire, dont les formations méso-cénozoïques sont affectées par l'orogénèse atlasique. Le Haut Atlas est subdivisé en quatre secteurs morpho-structuraux à savoir : Le Haut Atlas occidental, le massif ancien, le Haut Atlas central, et le Haut Atlas oriental.

Le domaine Anti-atlasique et Saharien : C'est le domaine le plus méridional. Il est limité au Nord par l'accident sud atlasique, et se prolonge au Sud vers les régions sahariennes. La chaîne anti-atlasique est subdivisée en trois ensembles structuraux (**Anti-Atlas occidental, central et oriental**) (Michard, 1976)

II.2.2. Le Maroc Central

Le Maroc central (Fig.5) est situé dans la partie septentrionale de la Meseta Nord occidentale. Il est limité au Nord par les formations miocènes des nappes pré-rifaines, au SW par les Jbilet et Rehamna, et à l'Est par le causse Moyen Atlasique (Aissa, 1997). On distingue d'après Tahiri & Hoepffner (Fig.5), le Maroc Central occidental, et le Maroc Central oriental où se trouve le gisement de fluorine d'El Hammam qui est notre secteur d'étude. Ces deux zones sont séparées par l'accident des Smâala-Oulmès orienté NE-SW (Cailleux, 1987).

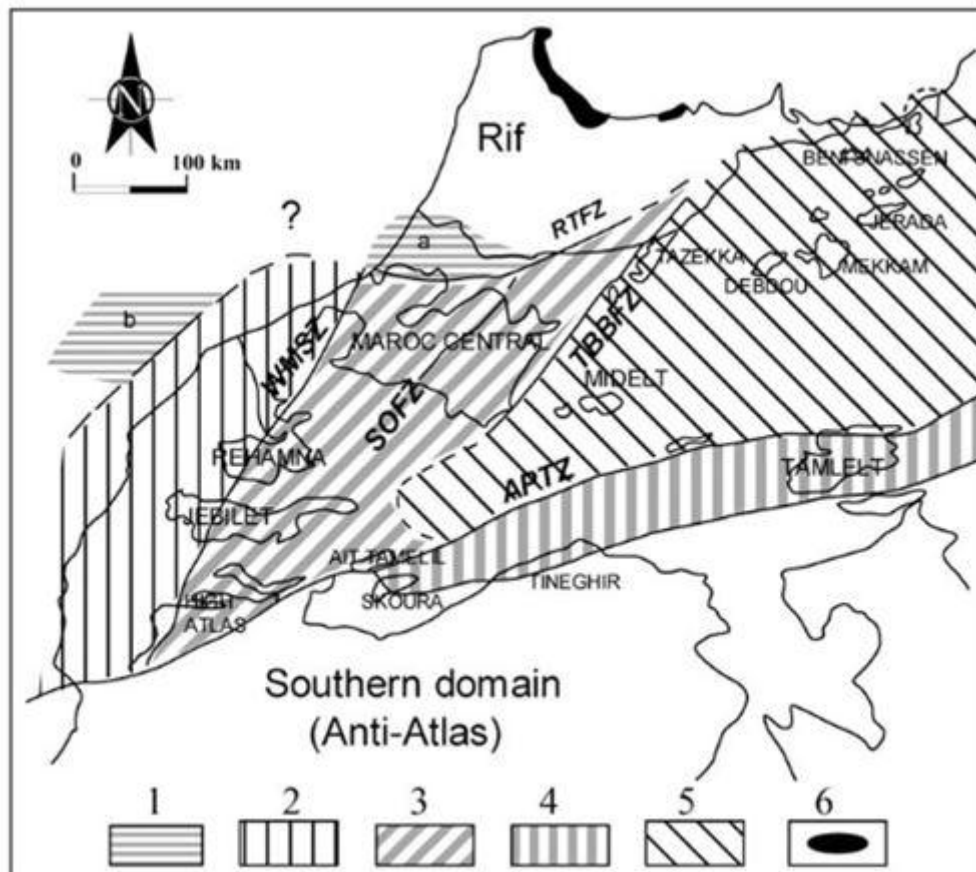


Figure 5: Localisation du Maroc Central dans la carte des principales zones structurales du Nord de la meseta (Hoepffner et al., 2005).

1 : Zone Séhoul (a) et son prolongement à l'Ouest (b) avec les évènements calédoniens. 2: Blocs côtiers: paléozoïque inférieur et moyen faiblement déformé. 3: Meseta Centrale : Paléozoïque inférieur et supérieur avec des bassins forland et pull-apart du Carbonifère, fortement déformés par la phase varisque. 4: Zone Sud: Paléozoïque inférieur et supérieur similaire au domaine de l'Anti-Atlas, faiblement déformé par la phase varisque. 5: Zone orientale: Paléozoïque moyen et inférieur déformé par l'évènement éovarisque. 6: Zone interne de la chaîne rifaine. Limites principales des structures: RTFZ: Zone de faille Rabat-Tiflet, WMSZ: Zone de cisaillement de la meseta occidentale, SOFZ: Zone de faille Smaâla-Oulmès, TBBFZ: Zone de faille Tazekka-Bsabis-Bekrit, ARTZ: Zone de transformation paléozoïque de l'Atlas).

Le Maroc Central fait partie de la chaîne hercynienne. Il est constitué à l'affleurement par des formations paléozoïques sur lesquelles reposent en concordances le Trias et le Jurassique (Nerci, 2006)(Fig.2).

II.2.3. Lithostratigraphie

Les sédiments de plateforme formant une épaisse série cambro-ordovicienne se sont déposés durant le paléozoïque inférieur sur un socle précambrien inconnu. Au Silurien et Viséen supérieur, il y'a eu une transgression ayant engendrée respectivement des dépôts de schistes noirs à graptolites, et une épaisse série pélitique comportant à la base des conglomérats, calcaires et flysch viséo-namuriens (Aissa, 1997).

II.2.4. Evolution structurale

Le massif central est subdivisé en plusieurs unités structurales issues de l'orogénèse hercynienne, et se matérialisant par une succession d'anticlinoriums et de synclinoriums (Termier, 1936) répartis en cinq grandes zones (Michard, 1976), résumées dans le tableau et figure ci-dessous. (Tab.1 et Fig.6)

oulm

Structures régionales	Caractéristiques
Anticlinorium de casablanca	On retrouve dans cette zones, des formations cambro-ordoviennes et des plis de faible intensité.
Synclinorium de Ben-slimane et de Sidi Bettach	Ils sont séparés par la zone de l'Oued Cherrat à matériel siluro-dévonien, et limités au Nord par la zone de Rabat-Tiflet qui est structurée et métamorphisée par l'orogénèse calédonienne (Piqué, 1971 ; El Hassani, 1991)
Anticlinorium de Khouribga-Oulmès	Composé de plis plus ou moins serrés à schistes et quartzites. Il présente deux granites intrusifs, celui d'Oulmès et de Zaer.
Synclinorium de Foughal-Telt	Marqué par la présence de l'intrusion granitique du Ment, et des flyschs néovisiéens (Michard, 1976).
Anticlinorium de Kasba Tadla-Azrou	Constitué de terrains cambro-ordoviens autochtones sous formes d'anticlinaux et de formations allochtones viséennes. Il est caractérisé par des intrusions granitiques de petite taille (Jbel Aouam, etc.)

Tableau 1: Synthèse structurale des travaux réalisés dans le Maroc Central (Rapport stage Oulmekki Aziz, 2014)

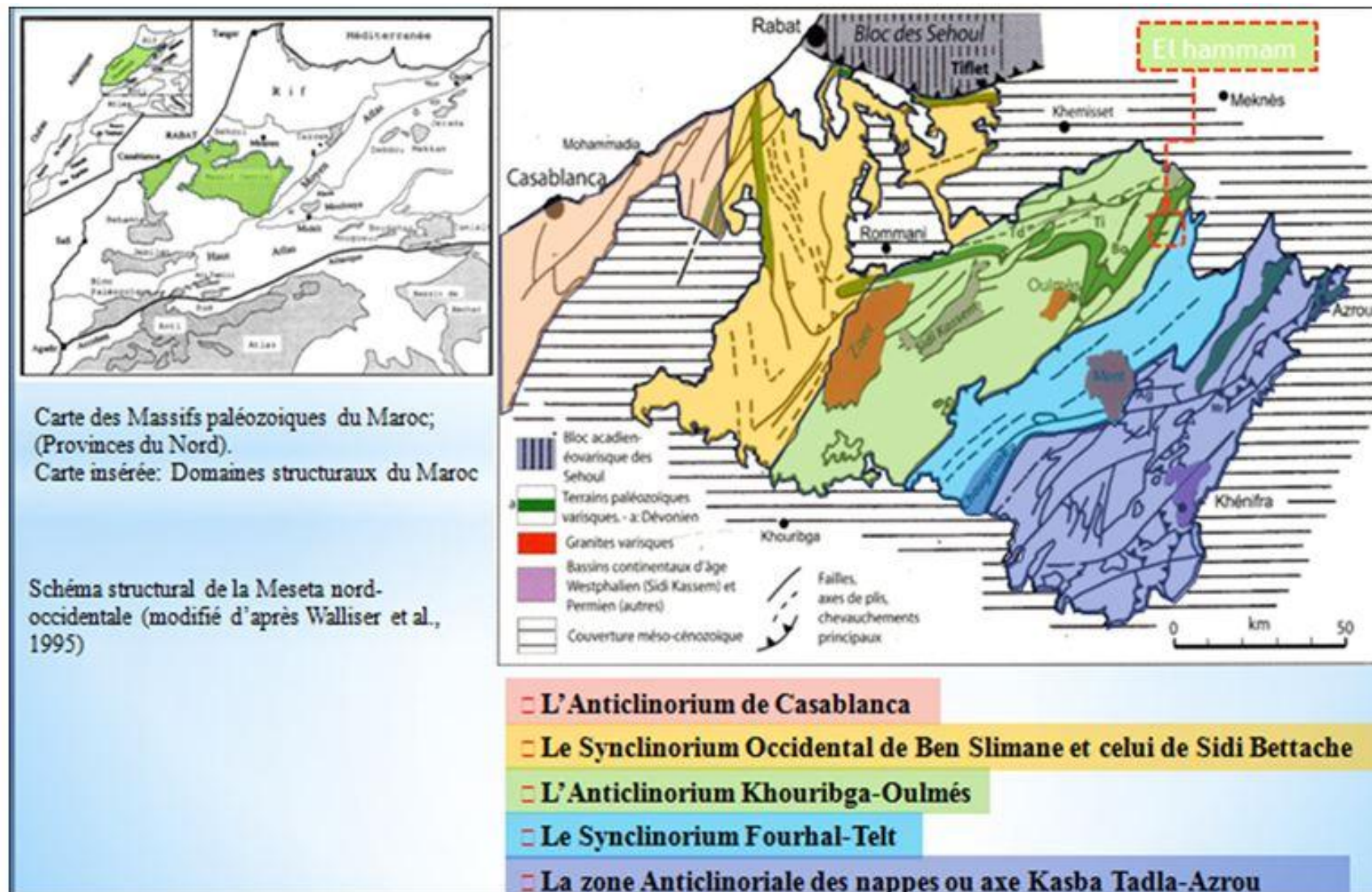


Figure 6: Carte structurale de la Meseta nord-occidentale (Walliser et al. 1995)

D'après El Kamel & El Hassani (2006), l'ouverture des bassins de Sidi Bettache, Ben Slimane, Fourhal-Telt, Tilouine et Azrou-Khénifra est attribuée au fonctionnement dextre de failles N20-40° (Failles de Cherrat, Smaâla-Oulmès, etc.).

II.2.5. Les granites du Maroc Central

Le massif central marocain, principale unité hercynienne de la meseta occidentale, est caractérisé par plusieurs massifs granitiques dont les plus importants sont le granite de Zaërs, suivi de celui de Ment, et enfin le granite d'Oulmès (Aissa, 1997). Tous ces massifs granitiques présentés dans le tableau 2, sont caractérisés par la présence de tungstènes et quelques fois d'étains (Sonnet, 1981).

Massifs granitiques	Types de magmas	Faciès	Âges	Origines	Minéralisations associées
Zaërs	Calco-alcalin	Faciès à deux micas	284 +/- 15Ma (Choubert et al., 1965) 298 +/- 3Ma (Giuliani et sonnet, 1982)	Hybride (crustal et mantellique)	Sn, W
		Faciès à une biotite	303 +/- 13Ma (Mrini, 1992) 301 +/- 8,2 Ma (Giuliani, 1989)		
		Faciès à deux micas ou à muscovite seule	279 +/- 11Ma (Mrini, 1985) 283 +/- 6,2 Ma (Giuliani, 1989)	Essentiellement crustale	
Ment	Calco-alcalin	Faciès à biotite	279 +/- 6Ma (Mrini, 1985 & 1992)	Basi-crustale	Sn, W, As, Mo, ...
		Faciès à deux micas	270 +/- 3Ma (Mrini, 1985 & 1992)	Crustale	
Oulmès	Calco-alcalin	Granite à muscovite d'El Quirit	268 +/- 7Ma (Tisserant, 1977) 271 +/- 7Ma (Mrini, 1985)	Crustale	Sn, W, Be, Li, Mo, As
		Granite à deux micas	271 +/- 7Ma (Tisserant, 1977) 298 +/- 4M (Mrini, 1985)		
Aouam	Calco-alcalin		290Ma (Cheilletz, 1982)	Crustale	Pb, Zn, Ag, Sb, W, As, Fe
Moulay Bouazza	Calco-alcalin		280 +/- 10Ma (Charlot, 1967) 275 +/- 7Ma (Tisseran, 1977)	Crustale	W, Cu, Pb, Zn, As
El Hammam	Calco-alcalin	Faciès fins	243 +/- 7Ma (Jebrak, 1984)	Crustale	Sn, F, As, Cu, Pb, Zn, Fe
		Faciès tachetés			

Tableau 2 : Principaux caractères comparés des granites du Maroc Central (Aissa, 1997)

II.3. Le district minier d'El Hammam

II.3.1. Contexte géologique local

II.3.1.1. Lithostratigraphie

Le gisement de fluorine d'El Hammam est localisé dans la partie Nord du massif central oriental, où affleurent les formations paléozoïques. La région est dominée par des schistes et calcaires du paléozoïque allant du Silurien au Carbonifère où ils ont été plissés (Izart et al., 2001).

L'ensemble de ces terrains qui composent la série se présente en anticlinaux et synclinaux, de direction NE-SW (Agard, 1966). D'après Rahho (1996), on distingue (Fig. 6 et 7):

Ordovicien et Silurien

Les terrains apparaissent sous forme de boutonnières anticlinales dans le secteur d'El Hammam et sont regroupés dans les formations exclusivement détritiques.

Ils sont caractérisés par la présence des schistes noirs, micacés, riches en matières organiques et des bancs de quartzites.

Dévonien

Les terrains du Dévonien sont constitués des schistes jaunes et des petits bancs de calcaire griottes.

Carbonifère

Il est constitué par des terrains viséens qui renferment la quasi-totalité des minéralisations en fluorine et qui se sont déposés en discordance angulaire sur les formations ordovicienne. On distingue:

- Une série inférieure au calcaire renfermant des schistes gréseux, et des conglomérats
- Une série schisto-calcaire formée de schistes à plusieurs barres calcaires skarnifiées.
- Une série supérieure au calcaire composée de schistes verts en dalles, de schistes gris et de petits bancs de grès

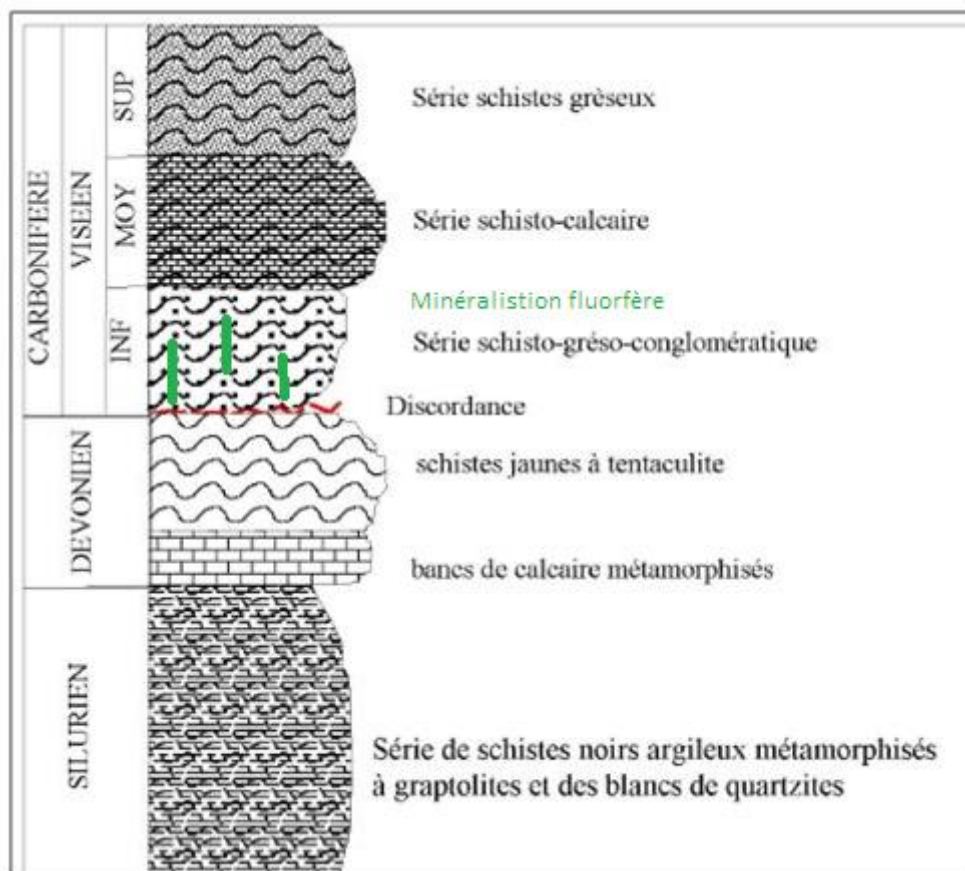


Figure 7 : Log stratigraphique du district d'El Hammam (Service géologique SAMINE)



Figure 8: Coupe schématique des affleurements du district d'El Hammam (Lummen, 1979)

II.3.1.2. Cadre structural

Le district d'El Hammam est situé à l'extrémité NE de l'anticlinorium de Khouribga-Oulmès. Les terrains de ce dernier, comme ceux du reste du Maroc Central, ont été structurés par les différentes phases de l'orogénèse hercynienne, sous forme de déformation souple (Lummen, 1979 ; Rahho, 1996) et cassante (Jebrak, 1984 ; Rahho, 1996), résumées dans le tableau 3

Structurations du district d'El Hammam	
Déformations souples (Lummen, 1979)	Déformations cassantes (Rahho, 1996)
Anticlinal de Bou Lhanna , composé de formations dévoniennes.	Réseau de failles de direction NE-SW, appelées failles d'El Hammam et de Jbala.
Synclinal de Jbel Gouaida , renfermant les filons de fluorine	Failles de direction ENE-WSW associées à des structures à tourmalinite
Anticlinal des quartzites , caractérisé par des schistes noirs et quartzites du Silurien	Failles de direction NNW-SSE à pendage subvertical, porteuse de la minéralisation à plomb.
Synclinal de J. Berkamène , présentant des replis anticlinaux.	Failles subverticales de direction E-W, avec des structures à tourmalinite et fluorine

Tableau 3 : Caractéristiques structurales du district d'El Hammam

II.3.1.3. Magmatisme

Le district d'El Hammam est le siège d'une importante activité magmatique d'âge paléozoïque (Ben Yahia, 1988). Il est marqué par la présence:

- Des roches basiques qui sont représentées essentiellement par des coulées, des dykes, et des sills de dolérites (Sonnet, 1982). Ces roches sont encaissées dans les terrains du Viséen moyen-supérieur (Rahho, 1996), et sont de nature tholéitique à affinité calco-alcaline (Kharbouche, 1994)

- Des roches acides telles que des microgranites d'âge Westphalien et le granite d'El Hammam d'âge Permien supérieur (Jebrak, 1984) et de nature monzogranitique (Agard, 1966; Rahho, 1996) qui se sont mises en place dans un encaissant schisteux, grauwackeux et calcaire. Cette association spatiale du magmatisme basique et acide n'est pas propre à la région d'El Hammam. En effet, d'après Nerci (2006), elle se retrouve également dans d'autres endroits du Maroc central (Tighza) et massifs représentant le prolongement vers le sud des unités hercyniennes de la Meseta occidentale (massif des Jbilet, près de Marrakech).

II.3.1.4. Métamorphisme

Les terrains du district d'El Hammam, principalement du Viséen supérieur, sont affectés par deux types de métamorphisme (Agard, 1966):

- **Un métamorphisme régional de faible degré (épizonal)** qui a produit des roches faiblement transformées (phyllades et quartzo-phyllades), et dont l'association paragénétique issue de ce métamorphisme est le quartz, muscovite, biotite et chlorite

- **Un métamorphisme de contact** lié à la mise en place du granite d'El Hammam. Il est caractérisé par l'apparition des taches (andalousite et cordiérite) dans les métapélites donnant développement des schistes tachetés et des cornéennes dans les carbonates.

Il est aussi important de noter qu'à El Hammam, l'amphibolitisation intense de certaines dolérites est le résultat du métamorphisme de contact (Sonnet, 1981; Aissa, 1997). Les dolérites seraient donc antérieures à la mise en place du granite dans le district (Nerci, 2006).

II.3.1.5. Minéralisations du district d'El Hammam

Dans le district d'El Hammam, plusieurs phases minérales sont connues, à savoir (Aissa, 1997):

- Les minéralisations liées à une activité métasomatique responsable de la formation des skarns.

- Les minéralisations sulfurées à pyrrhotine, chalcopyrite, galène etc.

- Les minéralisations filoniennes à fluorine, contrôlées par la faille d'El Hammam, et attribuées à un événement hydrothermal mésothermal associé à une intrusion granitique (Jebrak et al, 1988 ; Chbihi&Gmira, 1998).

L'analyse par ICP-MS de deux échantillons de calcites, et trois échantillons de fluorines issus de la mine souterraine de différents chantiers par Cheilletz et al (2010), montre les résultats suivants:

- La calcite renferme des teneurs importantes en terres rares (environ 1.400ppm)

- La fluorine présente aussi une teneur en terres rares comprise entre 580 et 740ppm.

III. GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE DE MOUFRES

III.1. Lithostratigraphie

Par rapport à la région d'El Hammam, le secteur Moufrès est constitué uniquement des formations ordoviciennes, dévoniennes ainsi que celles du viséen moyen.

La carte géologique établie montre une grande variété des faciès lithologique correspond à des termes lithologiques :

III.1.1. Les formations ordoviciennes

Ce sont des alternances de schistes et des bancs quartzitiques silicifiées, sous forme des boutonnières, en discordance angulaire avec les formations schisto-calcaires de viséen moyen. Ces formations sont identiques à celles de gisement centre affleurant à la route carrossable de Tlatezma. La schistosité S_0 est parallèle avec la S_1 , ses formations sont déversé vers le SE (pendage apparent 55° vers le NW), elles sont recoupées par des filonnets de tourmaline (en dissémination par endroits) et ceux de quartz et mispickel (Fig.9.3). Ses formations sont affectées par des couloirs de cisaillement NE-SW et encaissant le granite de oued beht.

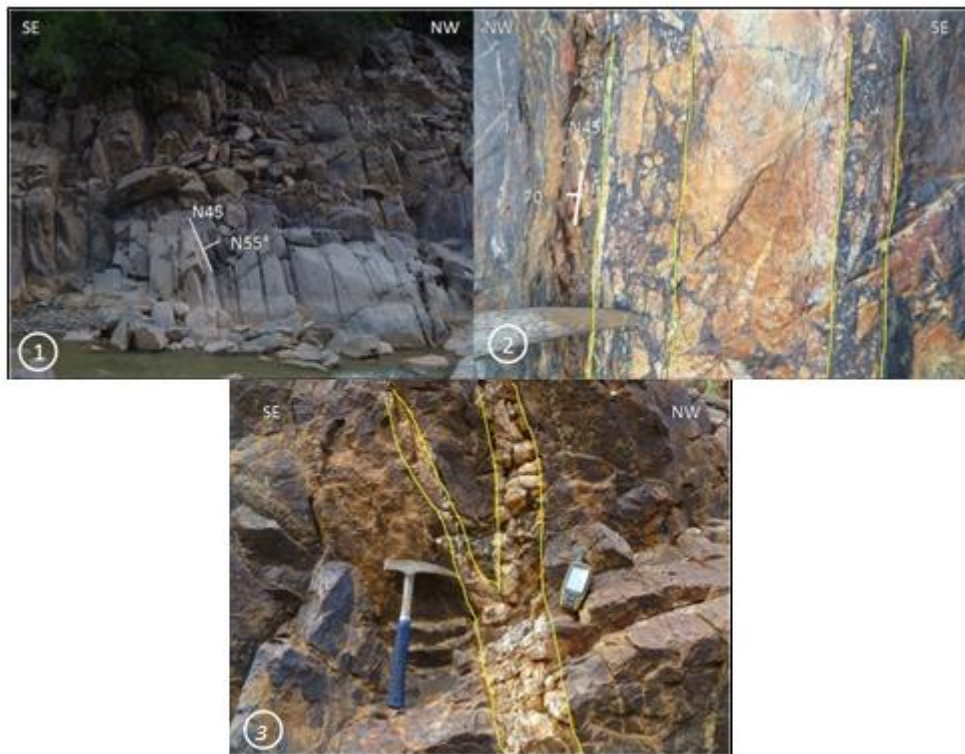


Figure 9: Cornéennes de Moufrès1 : Schiste tacheté affleurant à l'oued beht, 2 : Structure à Brèche de tourmaline recoupant les formations ordoviciennes, 3 : Veine de quartz et mispickel recoupant une barre quartzitique.

III.1.2. Viséen moyen

Il est constitué par une série schisto-calcaire, oriente suivant une direction NNE-SSW et déversé à l'Est, il est en contact anormal avec les formations dévoniennes, les barres calcaire sont moins développées en extension en comparaison avec celles du gisement centre, elles ont des épaisseurs métriques à décimétriques, massives au centre des lentilles et sub-massive dans les périphéries (intercalations schisto-calcaire). L'influence du métamorphisme a été traduite dans les niveaux carbonatés en cornéenne silico-calcitique et les niveaux pélitiques en cornéenne tacheté à andalousite.

III.1.3. Dévonien

La barre calcaire du dévonien qui est en contact anormal avec les formations viséennes, cette barre calcaire de grande extension NE-SW qui constitue le flanc sud de l'anticlinal du boulhanna, correspond à des calcaire similaires du faciès griotte du dévonien de Maroc central. (Fig.10)

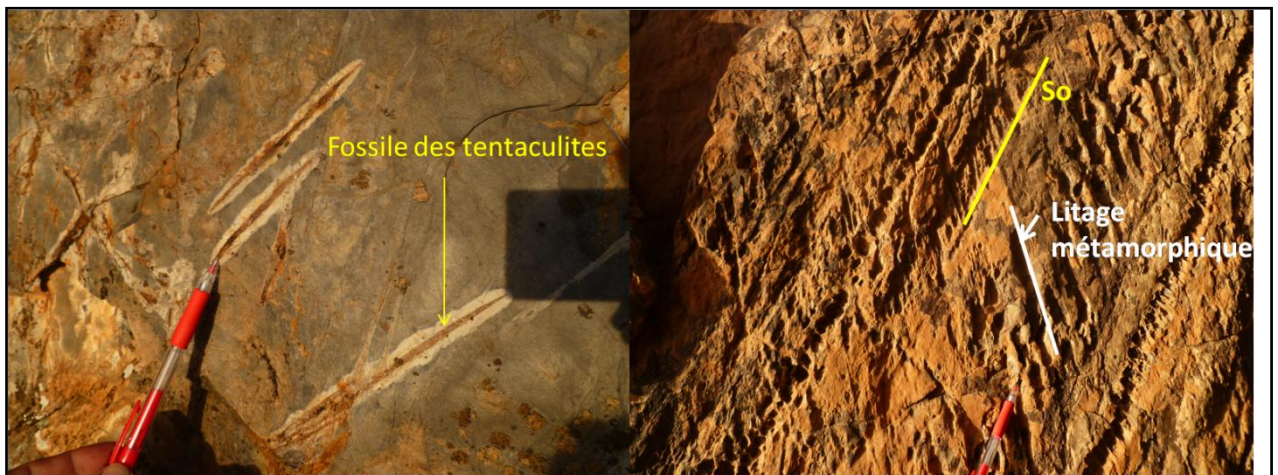


Figure 10: Calcaire dévonien à tentaculite (à gauche), à droite les relations stratification/litage métamorphique (à droite) dans les calcaires dévoniens

III.2. MAGMATISME

III.2.1. Magmatisme acide

Les formations ordoviciennes sont intrudées par un magmatisme acide (granite d'oued Beht), c'est un granite altéré, fracturé (fractures N45) et diaclasé, à filons de quartz, tourmaline, veine de mispickel (parfois arsenic natif), l'intrusion dessinant un relief de forme ovale orienté NE-SW. (Fig.11)

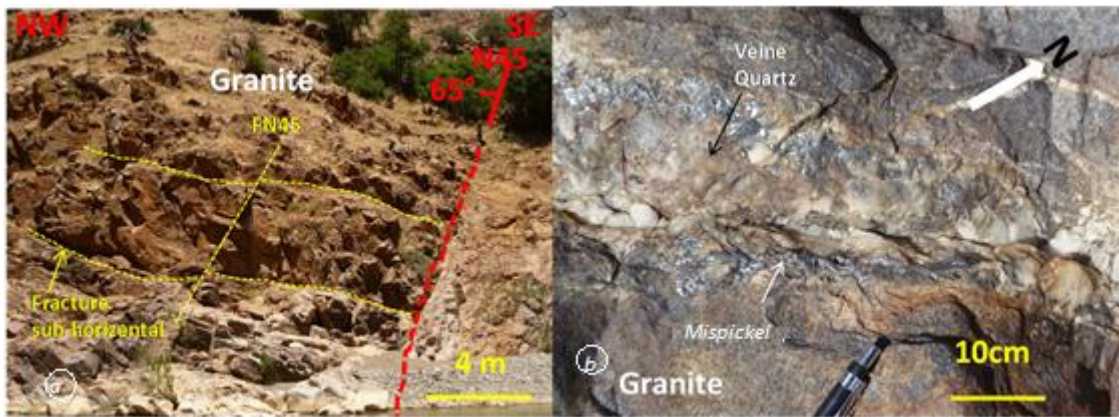


Figure 11: Granite et roches encaissantes du secteur de Moufrès

a : granite affleurant au lit d'oued beht, b : Veinule quartz et mispickel recoupant le granite.

Il est encaissé par des cornéennes à cordiérite et andalousite, ces dernières dessinant une pellicule noirâtre par sa dissémination en pyrrhotite entourant l'apophyse granitique.(Fig.12)

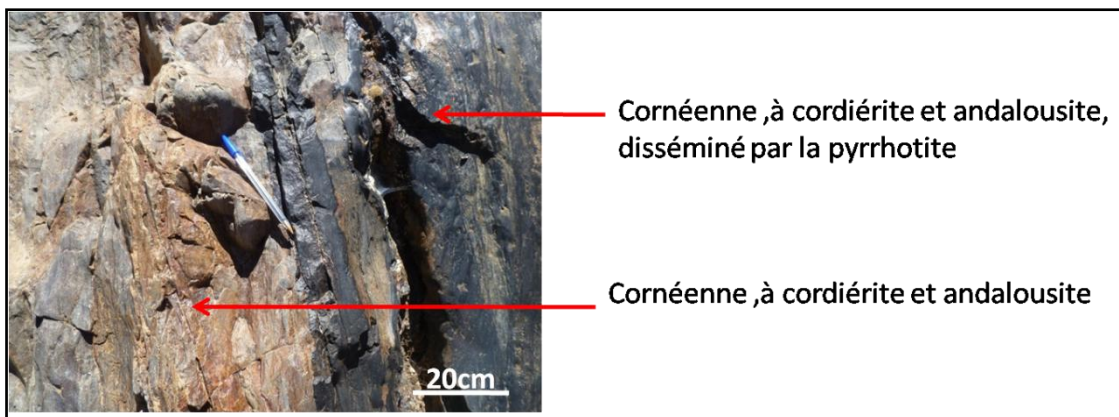


Figure 12: : Cornéenne à cordiérite et andalousite

III.2.2. Magmatisme basique

Il s'agit dans cette région d'un lamprophyre correspond à une roche basique qui affleure en dyke d'orientation NE-SW dans la rive d'oued beht à 350 m de l'entrée de la galerie de recherche, c'est une roche très sombre, aphanitique, il est recoupé par un dyke rhyolitique de direction ENE WSW.

IV. PETROGRAPHIE DES FACIES de MOUFRES

Les différents faciès rencontrés et qui sont affleurants à la surface sont :

a. Le microgranite d'Oulmès : une roche leucocrate à texture microgrenue (Fig. 14. a₁). Par endroit, il présente des tâches noirâtres (Fig. 14. b₁) c'est pourquoi deux échantillons y ont été prélevés ; l'un sur la partie saines du granite (MFS1 Orientation : N50) et l'autre sur celle qui présentait des tâches (MFS2 Orientation : N55). L'observation microscopique (Fig. 14. a₂, b₂) montre de la biotite chloritisée, de la muscovite, des feldspaths séricitisés pour la plupart et du quartz. Aucune différence, d'un point de microscopique n'est remarquée entre les différents faciès granitique.

b. Les cornéennes : ce sont des roches en contact du granite (Fig. 16. a₁), présentant des cassures conchoïdales leur donnant un aspect de corne. Elles sont de couleur rouge à noirâtre et plus claire sur cassures fraîches. Un échantillon y a été prélevés (MFS4 Orientation : N110) il présente d'un point de vu microscopique (Fig. 16. a₂), une mésostase de feldspaths et à micas recoupés par des micro filons de quartz et différents oxydes et sulfures.

Les cornéennes présentes de nombreuses structures : structures à tourmaline (Fig. 17. b), à fluorine (Fig. 17. c), des couloirs béchiques (Fig. 17. a). Elles présentent en outre, non loin de l'affleurement de l'apophyse micro granitique, un filon de roches volcaniques micro grenues (Fig. 14. c₁) présentant une texture beaucoup plus fine que celle du micro granite d'Oulmès, présentant une pegmatite à tourmaline (Fig. 14. d₁). Un échantillon y a été prélevés (MFS3) et l'analyse microscopique (Fig. 14. c₂) montre que ce microgranite évolue vers un granite de part l'évolution de la taille des cristaux.

c. Les Schistes :

- chloroschistes : de couleur noirâtre, ce sont des pélites métamorphique. Sur le terrain, elles sont en contact directe avec la "barre calcaire" et sont recouvert par la végétation (échantillon MSF6, Fig. 15. a₁). une observation microscopique montre des micros filons d'oxydes de fer parallèle et parfois sécant à la schistosité (Fig. 15. a₂). Marque la limite du métamorphisme de contact.
- Schistes tachetés : ressemble macroscopiquement aux coréennes (Fig. 16. b₁) mais une observation microscopique révèle qu'on est en présence de schistes tachetés : schiste à cordiérite et andalousite (Fig. 16. b₂).

d. Le skarn : appelé dans la mine "barre calcaire" mais étant en réalité un calcaire métasomaté de couleur jaunâtre en surface et noire sur cassure fraîche (Fig. 15. b₁). Une observation microscopique (Fig. 15. b₂) montre qu'il est composé de calcites recristallisées traversée par des filons de calcite associés à de la fluorine. Par endroit on retrouve des calcshistes qui sont des roches formées par des alternations de schistes et calcaires métasomatiques.

Dans l'objectif de voir la continuité verticale des différents faciès de la mine, deux échantillons ont été pris dans le fond. Il s'agit de MFS8 et MFS9 pris respectivement aux côtes 450 m 375m (Fig. 13).

MFS8 est un schiste à andalousite (Fig. 16. c₁ et Fig. 16. c₂) et MFS9 (Fig. 16. d₁ et Fig. 16. d₂) est un schiste présentant une texture œillet à lentilles de quartz et feldspath englobés par micas (muscovite et biotite)

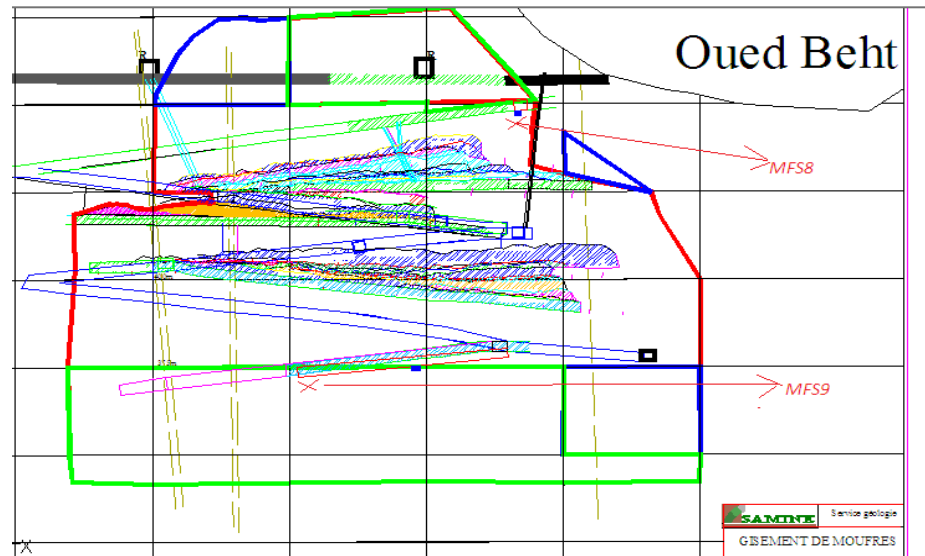

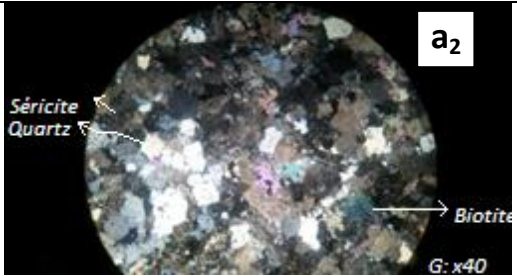




Figure 13: Coupe longitudinale des travaux miniers dans le secteur de Moufrès montrant la position de MFS8 et MFS9

MSF10 est un schiste (Fig. 16. e₁) présent dans un couloir de cisaillement, pris d'un sondage carotté SCJ55-54/1SE/-55 (c'est-à-dire sondage carotté dans la colline J 55 caisse suivant un angle de -55°. Il montre d'un point microscopique (Fig. 16. e₂) des filons de quartz, sulfures et oxyde de fer traversant une roche encaissante composée de biotite, chlorite. C'est une roche très déformée à texture bréchique.

L'échantillonnage a été bien orienté et géolocalisé.

Nom des échantillons	Image macroscopique	Image microscopique
MFS1 : micro granite sain		
MFS2 : micro granite tachetés		

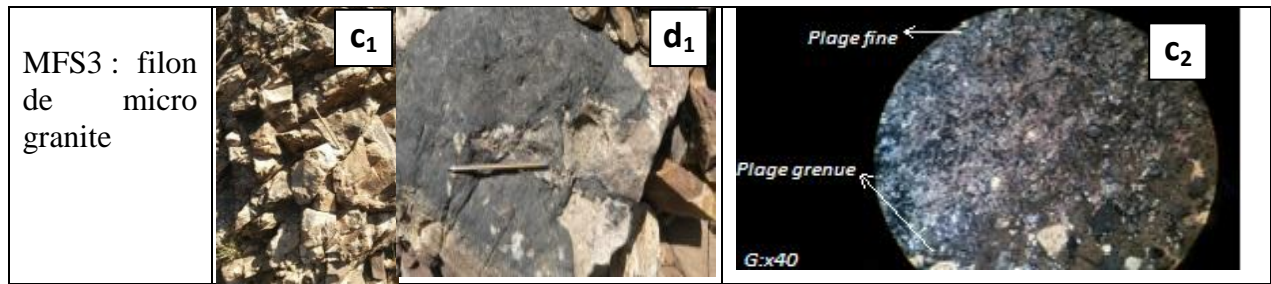


Figure 14: Différents faciès microgranitiques

a₁ : Image macroscopique du microgranite sans tâche à l’affleurement a₂ : Photo microscopique (LP) montrant homogène montrant de la chlorite, quartz et feldspath + séricite.

b₁ : Image macroscopique microgranite tacheté ; b₂ : Photo microscopique (LP) montrant l’altération de feldspath en séricite

c₁ : Microgranite au contact des cornéennes c₂ : Photo microscopique (LP) montrant un microgranite évoluant vers un granite

d₁ : Pegmatite à tourmaline fibroradiée






Nom des échantillons	Image macroscopique	Image microscopique
MFS6		
MFS7		 

Figure 15: Schistes et Calcaires

a₁ : Schiste ; a₂ : Photo microscopique montrant un chloritoschiste recoupé par des minéralisations d’oxyde de fer parallèle à la schistosité b₁ : Skarns b₂ : Photo microscopique (LP) montrant carbonates recristallisés recoupés par un filon de calcite et fluorine b₃ : Photo microscopique en LN montrant des carbonates recristallisés recoupés par un filon de calcite et fluorine


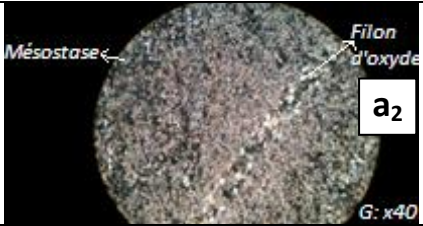

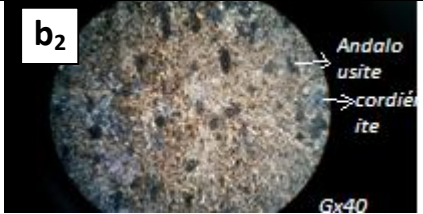

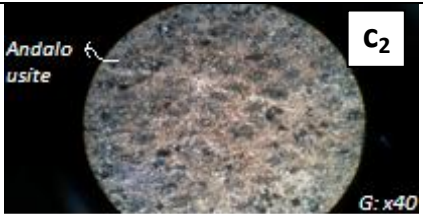

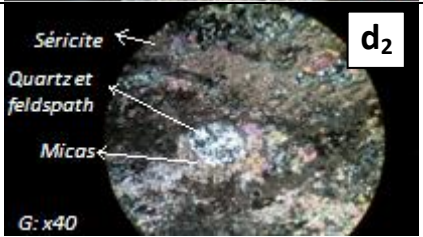


Nom des échantillons	Image macroscopique	Image microscopique
MFS4	 a₁	 a₂ Mésostase ← Filon d'oxyde G: x40
MFS5	 b₁	 b₂ Andalousite → cordiérite G: x40
MFS8	 c₁	 c₂ Andalousite ← G: x40
MSF9	 d₁	 d₂ Séricite ← Quartz et feldspath ← Micas ← G: x40
MFS10	 e₁	 e₂ filon de quartz → encaissant ← G: x40

Figure 16: Différents faciès de roches encaissantes de la minéralisation

a₁ : cornéennes en contact avec le granite a₂ : Photo microscopique (LP) montrant un filon d'oxyde (fer) et quartz recoupant une mésostase à muscovite, séricite et biotite

b₁ : Schiste à cordiérite et andalousite (LN) b₂ : Photo microscopique (LP) montrant des cristaux de cordiérite et d'andalousite.

c₁ : Image macroscopique d'un schiste à andalousite c₂ : Photo microscopique (LP) montrant des cristaux d'andalousite

d₁ : Image macroscopique d'un schiste à texture œillet d₂ : Photo microscopique (LP) montrant une texture œillet (micas englobant le quartz et les opaques)

e₁ : Schiste e₂ : présence de filon de quartz, biotite chloritisée, opaques (sulfures et oxyde) : c'est une roche très déformée avec présence de texture bréchique.

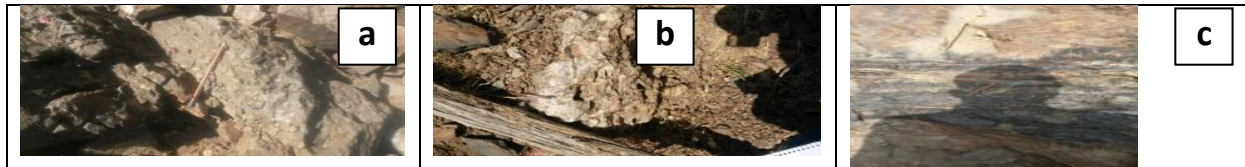


Figure 17: Structures présentes dans les cornéennes

a : couloir bréchié c : structure à tourmaline b : Filon de fluorine et calcite

On notera que la minéralisation est mieux exprimée au niveau du fond dans la mine. C'est ainsi que nous avons réalisé 2 levés géologiques : l'un au niveau de la taille moufrès 01 et l'autre au niveau de la taille moufrès 02.

Le levé géologique de la TM01, situé à une côte de 442m et sur une échelle 1/200 présente plusieurs types de minéraux, à savoir :

La calcite qui se présente sous forme massive et parfois bréchié, regorgeant par moment des traces de fluorine, de silice, d'ankérite...

La présence de la silice peut probablement être expliquée par une pseudomorphose de la fluorine par la silice et la calcite en présence du fer forme de l'ankérite mais en trace.

La fluorine, elle, se présente sous 2 formes :

- D'une part, on a de la fluorine massive
- D'autre part, on a une fluorine bréchié, regorgeant des traces de calcite.

Par endroit, on rencontre de la pyrite et de la pyrrotite en très petite quantité.

On note la présence de deux grandes failles subverticales de direction N130.

Le levé géologique de la TM02, situé à une côte de 406m et sur une échelle 1/200 présente la minéralogie suivante :

La calcite qui se présente sous forme massive, regorgeant par moment des traces de fluorine, de silice, d'ankérite (Fig. 18. 6) ...

On signale la présence des sulfures de fer quasiment au niveau de toute la taille, sous formes de chalcopryrite, pyrite, pyrrotite (Fig. 18. 1, 2 et 5)...

Cette dernière (pyrrotite) présente la particularité d'être sous forme d'enclaves dans la calcite et aussi la fluorine (Fig. 18 3. 3).

La fluorine, elle, se présente sous formes :

Massive (Fig. 18.4), bréchié (Fig. 18. 5), regorgeant des traces de calcite et aussi de la fluorine sous forme d'injection dans la calcite avec des teneurs faible.

L'encaissant reste une cornéenne massive, qui se présente par endroit sous forme d'enclaves dans la calcite.

On souligne la présence de l'ankérite provenant probablement de la réaction de la calcite avec du fer provenant des oxydes.

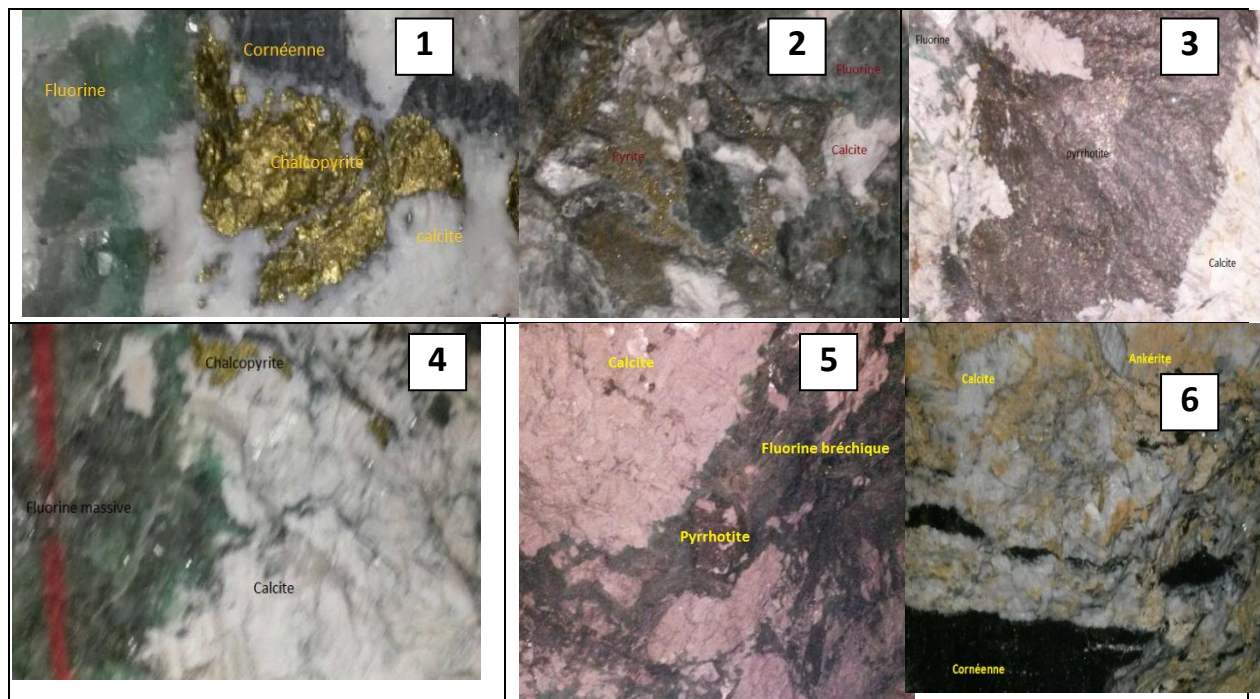


Figure 18 : Différentes structures rencontrée au niveau de la TM02

1 : Photo montrant de la chalcopryrite 2 : Photo montrant de la pyrite 3 : Photo montrant une enclave de pyrrhotite 4 : Photo montrant de la fluorine massive 5 : Photo montrant de la fluorine en texture bréchique 6 : Photo montrant de l'ankérite

V. CARTOGRAPHIE DE LA ZONE DE MOUFRES

V.1. INTRODUCTION

Nous avons cartographié un secteur s'étendant sur une zone d'environ 1 km à partir du granite d'Oulmès qui affleure au niveau de l'oued Beht au niveau de l'entrée de la galerie du secteur d'étude jusqu'à « la barre calcaire » qui est en fait un skarnmétasomatique dans la mine d'ELHAMMAM.

L'objectif d'une cartographie d'un point de vue minier est :

- La mise à jour des anciennes cartes déjà présente au sein de la mine
- Permettre de faire la corrélation entre les structures présente dans le fond et leurs affleurements à la surface et de guider les futurs abattages.

V.2.METHODOLOGIE

V.2.1. Cartographie de surface

V.2.1.1. Procédure utilisée

- Nous avons utilisé pour faire la cartographie de surface deux GPS l'un en degré minute seconde (D°M'S'") et l'autre en coordonnées Lambert comme moyen de géolocalisation.
- A défaut d'utiliser le GPS (dû à des problèmes de logistique), nous avons utilisé la boussole pour orienter notre progression à partir de point géo localisé (point déjà localisé par GPS). Puis à l'aide d'un double mètre, nous avons mesuré notre progression (photo)
- Nous avons pris les mesures des paramètres géologiques (direction et pendage) de chaque faciès rencontré et tous les dix à vingt mètres.
- Nous avons en outre pris les paramètres de chaque structure rencontrée (tourmaline, veinule de quartz, filon de fluorine, ...) ainsi que leurs puissances.
- Nous avons réalisé des cartes d'abord sur papier millimétrés puis après digitalisation sur Autocad 2004, nous avons réalisé des cartes numérique (Figure 20, 21, 22, 23, 24, 25 et 26)
- La détermination des différents faciès s'est faite en se basant sur la pétrographie des différences lithologiques traversées.
- Avec l'aide du fond topographique et des données sur les zones difficile d'accès fournie par le service de géologie de la mine nous avons réalisé deux coupes géologiques (Figures...)



● **Figure 19: Méthodes utilisées**

V.2.1.2. Problèmes rencontrés.

- L'utilisation de GPS différents à créer un décalage entre les données reportés sachant que chaque GPS présente une marge d'erreur qui lui est propre.
- La localisation sans GPS à présenter l'inconvénient de ne pas avoir d'altitude ce qui nous obligé d'avoir recours au fond topographique digitalisé sur Autocad du service géologique.
- Enfin, le contexte géomorphologique de la zone est telle que le terrain de la zone de notre secteur d'étude est très accidenté et certaines zones sont difficiles d'accès. (photo)

V.2.2. Cartographie de fond

Les levés géologique réalisées au niveau des tailles sont des représentations des extensions des structures qu'elles soient minéralisées ou non (en fluorine dans le cas présent).

Pour les réaliser, il suffit de mesurer la puissance de chaque structure, estimer leur teneur et mesurer aussi les différents paramètres c'est-à-dire la direction et le pendage.

Ces mesures et estimations se font tous les cinq mètres depuis le début jusqu'à la taille (zone d'abattage au niveau d'une galerie).

V.3.SYNTHESE

V.3.1. Cartographie de surface

Suite aux descriptions des faciès, nous avons réalisé une carte du secteur de Moufrès au 1/1000 (Fig 20.) et deux coupes transversales aux structures :

- La coupe A-B, orientée NW-SE (figure 18)
- La coupe D- C orientée WNW-ESE (figure 19)

La coupe transversale AB (Fig 18), d'est en ouest :

- les cornéennes au contact du micro granite.
- le microgranite jalonné par quelque veinule de quartz.
- Puis de nouveau des cornéennes contenant des structures à tourmaline, fluorine, un couloir béchique et quelques failles dont la faille d'EL HAMMAM.
- Des schistes recouverts par une couverture pédologique.
- Des calcaires recristallisés et skarns

La coupe D-C recoupe transversalement d'est en ouest :

- Des cornéennes
- La Faille d'EL HAMMAM
- Puis une structures à fluorine appelée dans la mine « filon 3 »

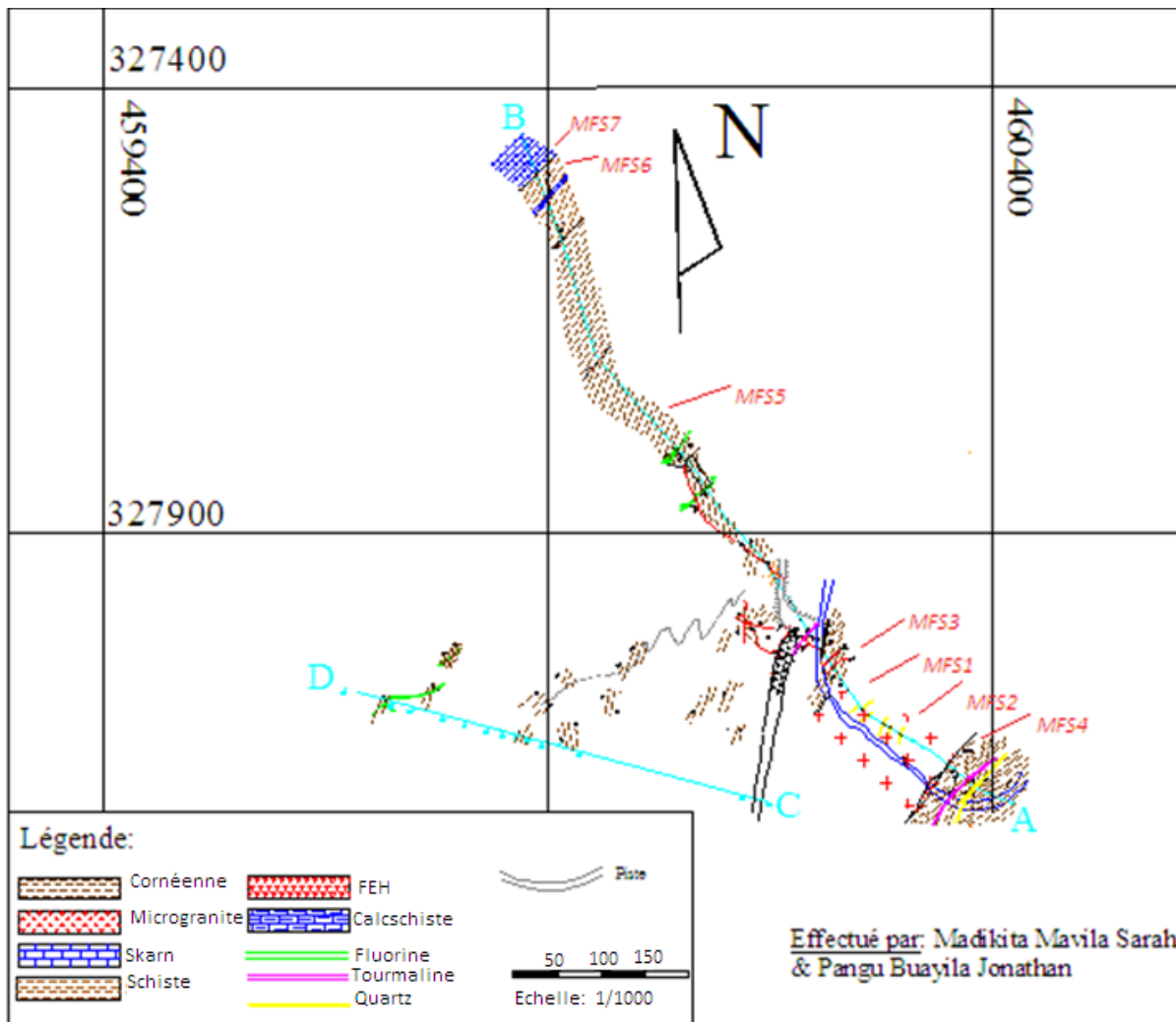


Figure 20: Carte au 1/1000 du secteur de mouffrès

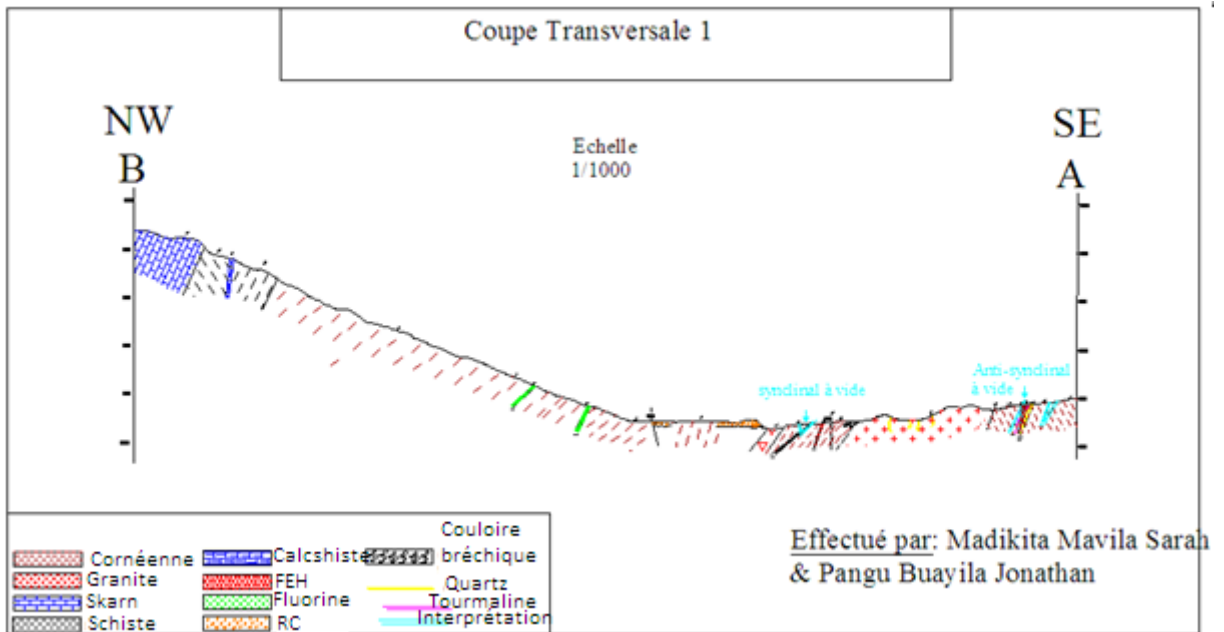


Figure 21: Coupe transversale 1

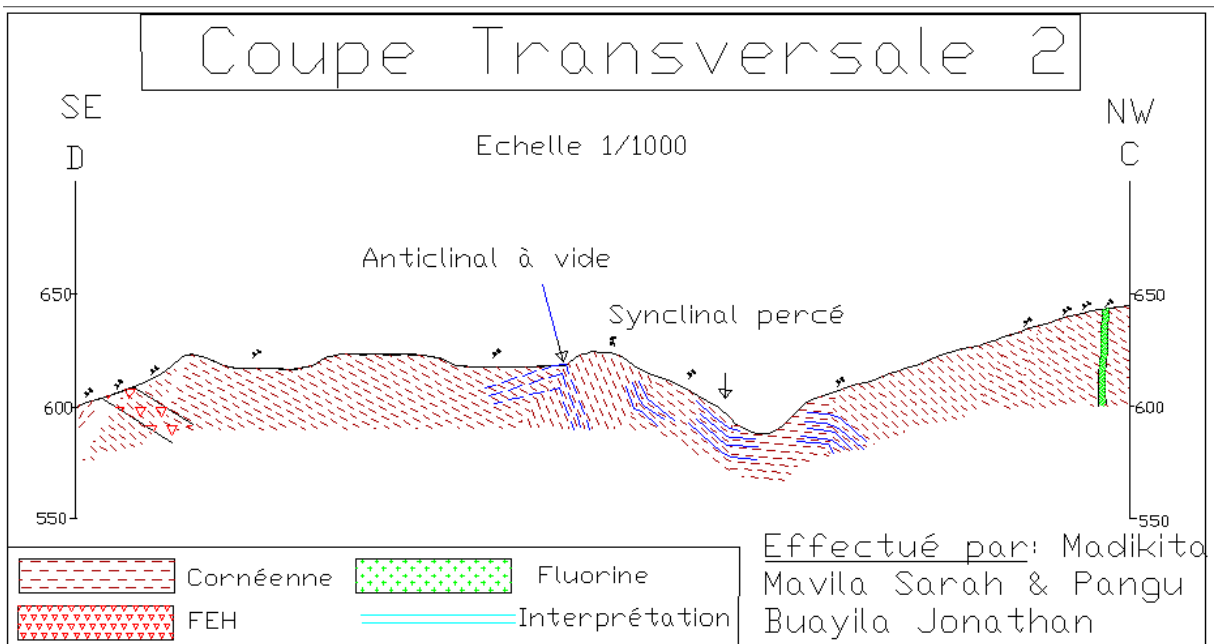


Figure 22 : Coupe transversale 2

V.3.2. Cartographie de fond

La cartographie de fond a été utilisée pour réaliser des levés géologiques de fond au niveau des tailles. Ces levés ont pour but de :

- Voir la continuité de la structure après l'abattage
- Calculer la teneur des réserves de minéralisations
- Et faire des plannings mensuels pour prévoir des prochains abattages

Ces levés géologiques de fond sont donc représentatifs de chaque faciès constituant un secteur, leur teneur, leur paramètres c'est-à-dire direction et pendage ainsi que leur puissance...

Ainsi, nous avons réalisé deux levés géologiques l'un au niveau de la taille moufles 01 (TM01) et l'autre au niveau de la taille moufles 02 (TM02).

➤ Levé géologique de la TM01

Ce levé géologique est situé à une côte de 442 m et a été effectué sur une échelle 1/200 (Fig. 21.)

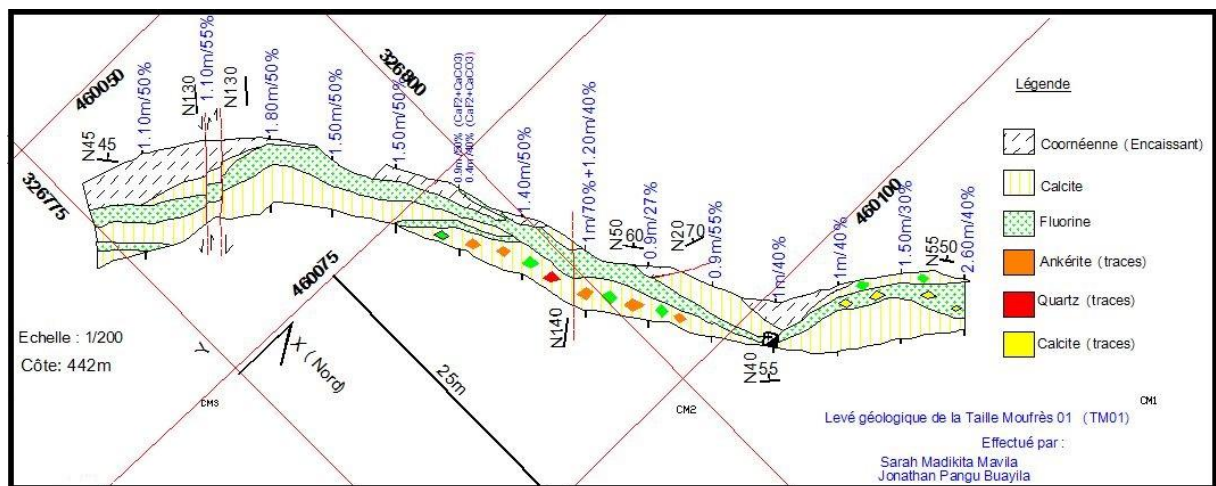


Figure 23: Levé géologique de la Taille TM01

➤ Levé géologique de la TM02

Par contre le levé géologique de la TM02 (Fig. 22) située à une côte de 406 m et sur une échelle 1/200. Cette taille est traversée par trois grande failles : une de direction N135 et 45° de pendage vers le NW et deux failles subverticales de direction N140.

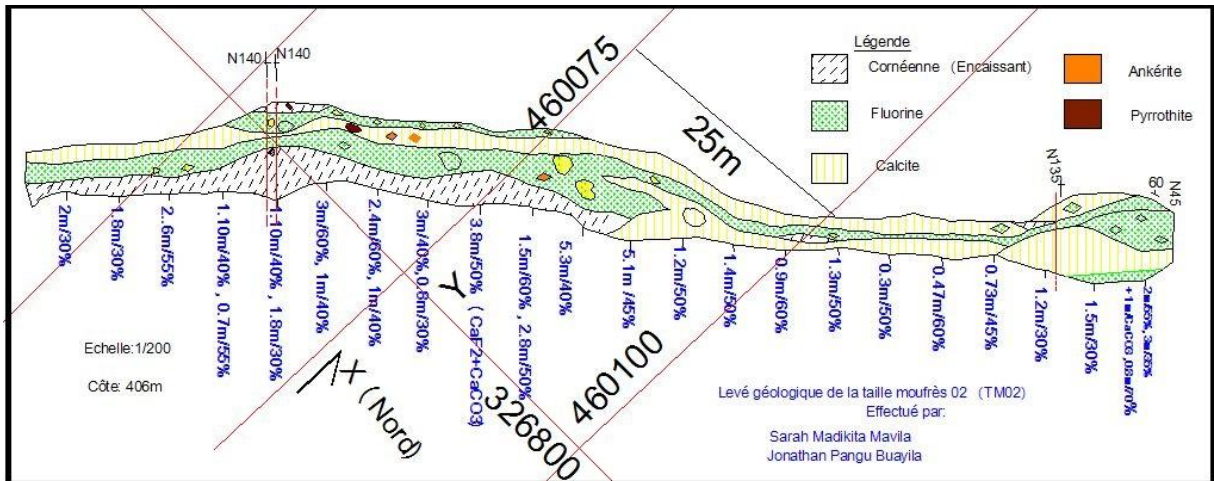


Figure 24: Levé géologique se la taille TM02, avec teneurs de fluorine

➤ **Coupe transversale passant par la TM01 et la TM02**

En général, pour donner une certaine interprétation sur l'extension des différentes structures, on réalise plusieurs coupes transversales au niveau des tailles, à chaque 35m environ.

Les 2 coupes ont été réalisées l'une au niveau de la CM2 et la CM3(Fig.24)

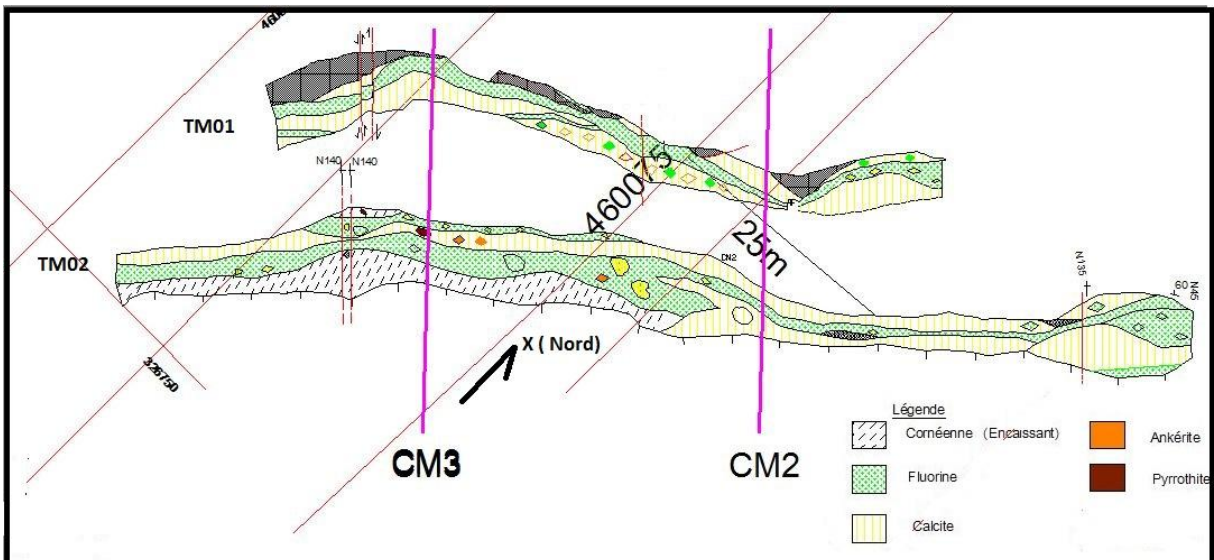


Figure 25 : Figure montrant le trait de coupe réalisé au niveau des tailles TM01 et TM02

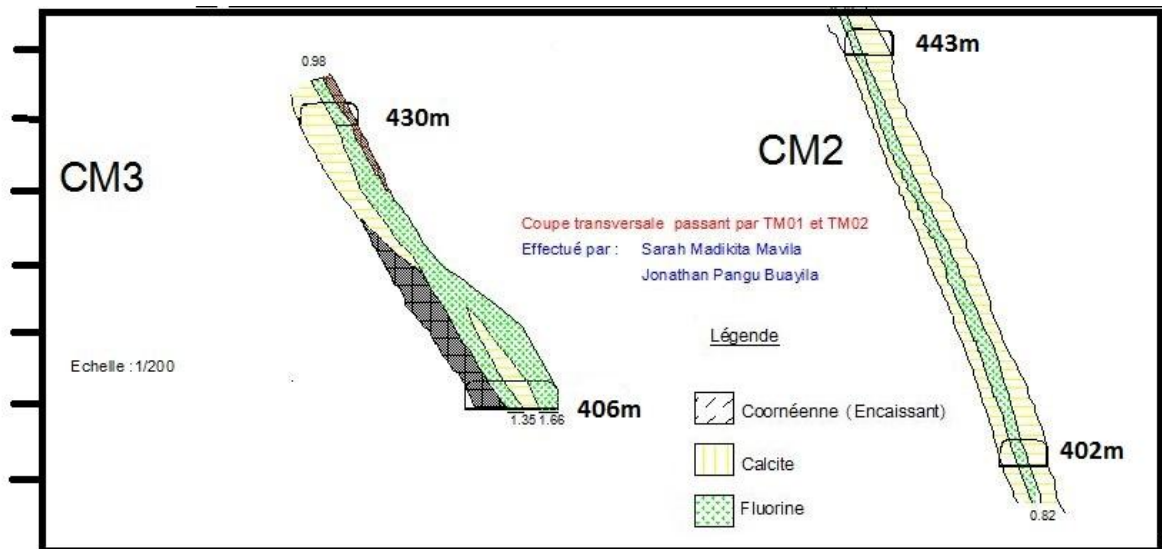


Figure 26 : Coupe transversale passant par la TM01 et TM02 au niveau de CM2 et CM3

VI. MINERALISATIONS

Dans la région d'Elhammam ; La minéralisation semble être d'origine volcanique (Cheilletz et al, 2010), il s'agirait en effet de fluides post magmatiques qui aurait déposé la minéralisation au contact de roches calcaires qui ont été par la même occasion skarnifiée. La minéralisation à fluorine semble donc associée à des traces de minéraux métalliques telle que : la pyrite, la chalcopryrite et la pyrrhotite.

Au niveau de Moufrès, la minéralisation présente les mêmes caractéristiques que dans la région d'El hammam toute entière. La seule différence est qu'au niveau de Moufrès, la minéralisation est beaucoup plus restreinte et se présente généralement sous forme de brèche.

VII. CONCLUSION

Au terme de ce stage, nous pouvons retenir les points suivants :

- L'étude pétrographique montre une certaine zonalité en partant de l'intrusion granitique. Avec les différents faciès rencontrés sont :
 - Au contact du granite, on rencontre des cornéennes
 - Il y'a apparition des minéraux des métamorphismes avec apparition de la cordiérite dans des schistes tachetés.
 - Plus loin on a des chloroschistes qui marquent la fin du métamorphisme de contact.
 - et enfin des calcshistes et des calcaires.
- L'étude cartographique de la zone **de Moufrès** a montré une orientation de structures vers le NW globalement, parfois dévié par des failles verticales à subverticales. Une succession des anticlinaux et synclinaux répandus sur presque toute la région.
- Et enfin la minéralisation de forme filonienne recoupe les roches encaissante, essentiellement les cornéennes, donc postérieure à la mise en place des roches encaissantes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGARD et al., (1966).** Etudes géologiques et métallogéniques de la région minéralisée du Jbel Aouam. Notes & mém. Serv. géol. Maroc, 132, 127p.
- 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.
- Bamoumen & al., (2008).** Evolution tectono-sédimentaire et magmatique des bassins viséen supérieur d'Azrou-Khénifra et des Jebilet orientales (Meseta marocaine). Estudios Geologicos, 64(2). Université Cadi Ayyad, Marrakech, pp 107-122
- Ben Salah., (1989).** Etudes pétrographique, géochimique et structurale des massifs granitiques de Jebilet central. Thèse du 3^e cycle, Université cadi Ayyad, Marrakech, 296p.
- Bouabdelli, M., (1982).** Stratigraphie et évolution structurale du paléozoïque cl' Azrou (NE du Maroc central). Thèse de 3^eme cycle, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 164p.
- Bouabdelli M., (1989).** Tectonique et sédimentation dans un bassin orogénique: Le sillon viséen d'Azrou-Khénifra (Est du massif hercynien central du Maroc). Thèse d'état, Fac. Sei. Univ. Strasbourg, 262p.

- Cailleux ., (1985).** Les écailles anté-viséennes d'ezzehilliga. Leur importance dans l'interprétation structurale du Maroc central. C.R. Acad. Sci. Paris II 301 PP497-502
- Chbihi A, Gmira A (1998).** La fluorine au Maroc: cas de la mine d'ElHamam. Chronique Rech Min 531–532:117–126
- Cheilletz., (1982).** Datations par la méthode K-Ar du complexe intrusif et des minéralisations en tungstène du jbel Aouam (Maroc central). CR. Acad. Sc. Paris, t. 295 séries II, p.255-258.
- Cheilletz A., (1984).** Contribution à la géologie du district polymétallique (W-Mo-Cu-Pb-Zn-Ag) du Jbel Aouam, Maroc Central.' Thèse d'état, I.N.P.L, CR.PC, E.N.S.C Nancy, 250p.
- Cheilletz et al., (2010).** A late Triassic $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age for the El Hammam high-REE fluorite deposit (Marocco): mineralization related to the Central Atlantic Magmatic Province. CR. Acad. Sc. Nanci, p.223-229.
- Choubert& al., (1965).** Mesures géochronologiques récentes par la méthode d'ArK du Maroc. Notes Serv. Géol. Maroc, n° 183, p. 53-62.
- El HASSANI, A., (1991).** La zone Rabat-Tiflet : bordure nord de la chaîne calédonno-hercynienne du Maroc. Bull. Inst. Sci, Rabat n° 15.
- El Kamel & El Hassani., (2006).** Etapes de la structuration et de la sédimentation du bassin viséen de Mechraa ben Abdou (Meseta occidentale marocaine). Géodiversitas28 (4). Pp 529-542.

- Gagnon et al., (2003).** Compositional heterogeneity in fluorite and the genesis of fluorite deposits: Insights from LA-ICP-MS Analysis. The Canadian Mineralogist. Vol 41, pp. 365-382.
- Giuliani G., (1982).** Contribution à la géologie du massif granitique des Zaër (Maroc central). Etude des minéralisations à W-Sn-Mo associées. Thèse de 3ème cycle, 1. N. P. L., Nancy, 347 p.
- Hoepffner & al., (2005).** The Moroccan Hercynide, Journal of African Earth Science 43, pp 144-165.
- Izart & al., (2001).** Carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Bouqachmir. Notes et mémoires Serv. Géol. Maroc n° 411. Notice explicative par Izart A, Chèvremont P, Tahiri A, El Boursoumi A, Thiéblemont D (2001). Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc n° 411bis, Rabat
- JEBRAK, M.,(1984).** Contribution à l'histoire naturelle des filons (F, Ba) du domaine varisque. Unpub. Ph. D. Thesis, France, Univ. Orleans, 470P.
- Jébrak & al.,(1988).** Geochemical characteristics and genesis of fluorite deposits in Morocco. Proceedings of the Seventh Quadrennial IAGOD Symposium, Schweizerbart's, Stuttgart, pp 287-295
- LOTFI, F., (2002).** Etudes pétrographiques et minéralogiques des minéralisations sulfurées des formations viséennes de la faille de Jbala (district d'El Hammam, Maroc central).
- Lofti. (2009).** Contexte géologique et minéralisation à sulfure massif (Zn, Pb, Cu) du gisement hercynien de Koudiat Aïcha, Jebilet central, Maroc. Thèse, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 184p.

- Mattauer et al., (1977).** Mécanismes de formation de chaînes intracontinentales, l'ensemble de chaînes atlasiques du Maroc. Bull. Soc. Géol. Fr.,(7),p521-526.
- MICHARD, A., (1976).** Eléments de géologie marocaine. Notes et Mém. Sev. Géol. Maroc, 252, 408p.
- Mrini & al., (1992)** Chronologie Rb/Sr des granitoïdes hercyniens du Maroc: conséquences. Bull Soc Géol Fr 3:281–291
- Nerci., (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
- ORRIS, G.J. and R.I. GRAUCH (2002).** Rare earth element mines, deposits and occurrences, Open-File Report 2002-189, US Geological Survey, Reston, Va, 167p.
- Piqué & al., (1981).** Les zones structurales du Maroc hercynien. Sc. Géol. Bull. Strasbourg 34. p.89-100
- Piqué, A., (1994).** Géologie du Maroc; Les domaines régionaux et leur évolution structurale. Editions Pumag
- 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.
- Raquel, M .,(2013).** Etude de la précipitation de la fluorine en milieu alcalin et application à un procédé en réacteur à lit fluidisé. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Saint Etienne. France, 236p.

- Rudnick RL,**
Fountain DM., (1995). Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Rev Geophys* 33:267–309
- Russo Ph.et**
Tusseau R., (1916). Itinéraire géologique à travers le Maroc central. *C. R. Ac. Paris. T 162*, p. 75.
- Solé & al., (1998).** K-Ar ages in biotites and K-feldspaths from the Catalan Coastal Batholith: evidence of a post Hercynian overprinting. *Eclogae, Géol. Helv.* 91 139-148p
- Sonnet Ph., (1981).** Les skams à tungstène, étain et bore de la région d'El Hammam, Maroc Central, Thèse doctorat d'état Fac.Sci.App. Univ. Catholique de Louvain 315p.
- Tahiri & Hoepffner., (1987).** Importance des mouvements distensifs du Dévonien supérieur en Meseta nord occidentale, plongement oriental de la ride de Zaer. *C.R. Acad. Sci. Paris. t.306, série II*, pp. 223-226.
- TERMIER H.,(1936).** Etude géologique sur le Maroc Central et le Moyen Atlas septentrional. Note et Mém. *Serv. Géol. Maroc*, 33, p. 1566.
- Thomas.B.,(2012).** Histoire thermique et interactions fluides-roches dans l'Est du Bassin de Paris. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Lorraine, France 279p.
- Van Breemen.,(2007).** Reconnaissance U-Pb SHRIM geochronology and Sm-Nd isotope analyses from the Tehery-Wager Bay gneiss domain, western Churchill Province, Nunavut. *Geological Survey of Canada, Current Research 2007-F2* p15.

Verati & al.,(2007).

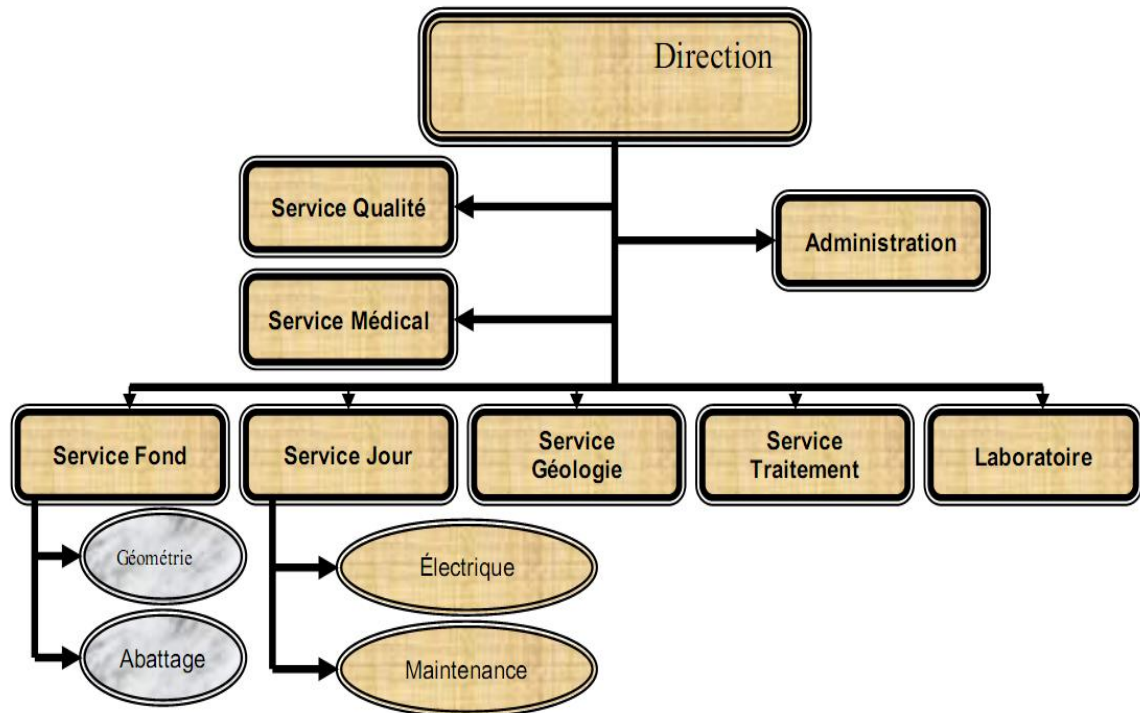
$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and duration of the Central Atlantic Magmatic Province volcanism in Morocco and Portugal and its relation to the Triassic-Jurassic boundary. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 244:308–325

Yajima & Touray.,(1970).

Analyse thermométrique du gisement de fluorine d'El Hammam. *C.R. Acad. Sci. Maroc central*, II 301 PP497-502

Annexes

Organigramme de la SAMINE



Méthode d'exploitation (TMR) :

La méthode utilisée est celle de tranche montante remblayée avec filon rompe. Cette méthode a été imaginée et mise au point par l'exploitation de SAMINE en 2003. Elle consiste à réaliser un plan incliné de 15% dans le filon, sur le remblai au fur et à mesure de l'exploitation.

La mise en œuvre de la méthode sur le gisement passe par trois étapes principales :

- 1^{ère} Etape : Etape préparatoire

Les travaux préparatoires dans le chantier consistent en : Une descenderie de 15% de pente depuis le jour jusqu'au niveau le plus bas de la minéralisation, elle est creusée au fur et à mesure de l'évolution des travaux d'exploitation.

Des travers-bancs horizontaux issues de la descenderie et permettant l'accès aux panneaux d'exploitation, ils sont creusés dans le mur de la minéralisation. Des cheminées de jet pour l'évacuation du minerai et Des cheminées d'aérages.

- 2^{ème} Etape : Traçage ou la préparation des panneaux d'exploitation

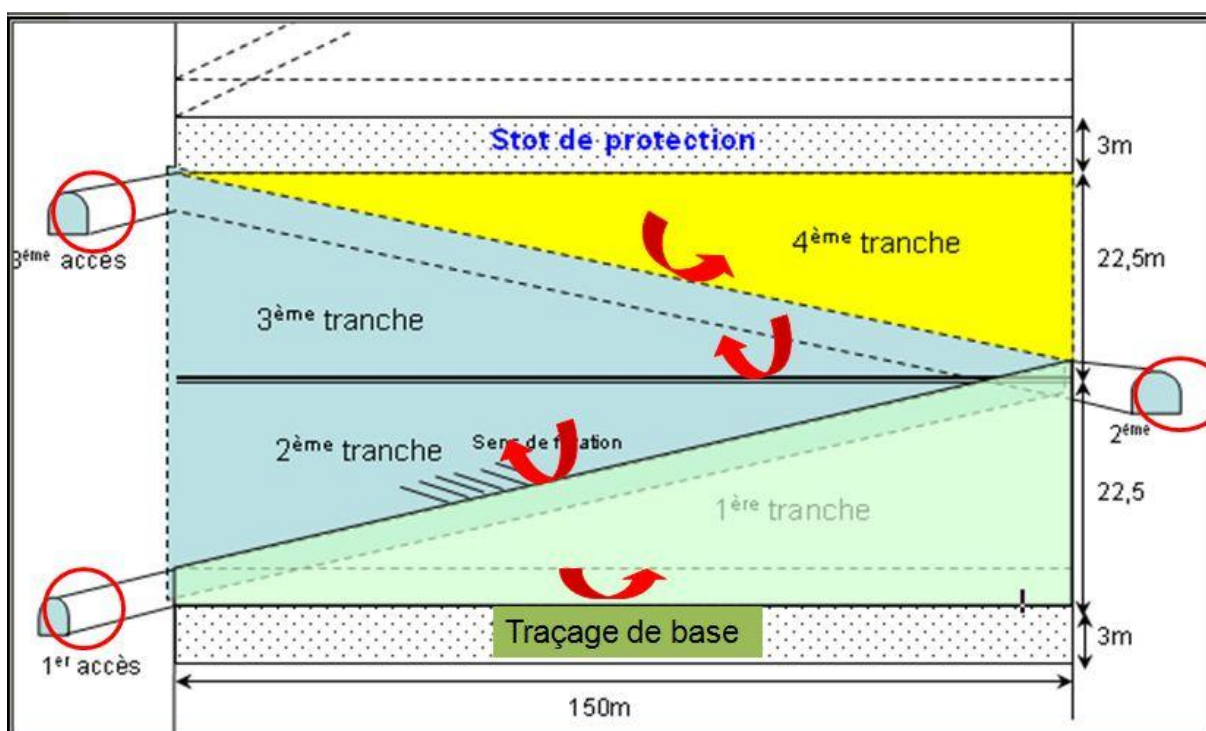
La préparation d'un panneau pour l'exploitation consiste à la réalisation d'un traçage dans la minéralisation appelé traçage de base, on creuse à ses deux extrémités deux cheminées ; la première pour dégager l'air vicié de la taille vers les niveaux amont et la deuxième pour acheminer le stérile servant au remblayage de la taille.

- 3^{ème} Etape : Production

Une fois le traçage de base est réalisé, on commence l'exploitation de l'ensemble des panneaux. L'exploitation se déroule de la manière suivante :

A partir de l'accès 1, on exploite le 1^{er} triangle (tranche), puis on exploite le 2^{ème} triangle à partir de la 2^{ème} TB.

Finalement, la 3^{ème} tranche est exploitée à partir de la 3^{ème} TB.



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 d'un batholite granitique enfoui, affleurant à la surface dans le lit de l'Oued Beth.

Historiques	
1923	Signalisation de l'existence de fluorine dans le district par J.Barthoux
1941	Lancement des premiers travaux dans le secteurs de Bergamou par Dubois
1962	Création de la SAMINE avec une part de 34% de BRPM et 66% de Continental Ore Corporation-Samine
1974	Travaux d'extension de la mine

Tableau 4: Historiques de la mine de fluorine d'El Hammam

Le tableau ci-dessous résume les principaux travaux réalisés dans le district d'El Hammam

Années	Auteurs/Sociétés	Travaux
1936	Termier	Découverte de barres carbonatées métamorphisées de direction NE-SW
1951	Agard et Morin	Mise en évidence du métamorphisme de contact
1954	Frehring	Etude minéralogique des indices borées
1965	Kosakevitch	Etude de la succession paragenétique du filon principal
1965	Agard	Cartographie de la zone minéralisée du filon principal
1970	El Maghraoui	Lancement d'une première campagne de prospection
1970	Yagima et Touray	Estimation des températures et nature du fluide qui a précipité la fluorine à partir d'étude d'inclusions fluides
1974	SAMINE-ONA	Début d'exploitation des filons fluoré
1981	Sonnet	Etude des skarns à tungstène, étain et bore
1996	Rahho	Evolution structural des formations paléozoïques du district
1997	Aissa	Etude des interactions fluides-minéraux des skarns à W, et B
1998	Remmal et al	Etude sur le lamprophyre d'El Hammam
2010	Cheilletz	Etude des terres rares de fluorine et calcite d'El Hammam
2013	Boushaba et al	Etude sur les gîtes de fluorine et cassitérites d'Achmmach

Tableau 5: Principaux travaux antérieurs réalisés dans le gisement d'El Hammam