

Origine de la fluorine du district d'El Hammam (NE Maroc central) : critères d'analyse pétro-géochimique

Rachid EL MOURAOUAH¹, Ahmed RACHID^{1*}, Sina Romaric SON¹, Tahar RACHID²,
Mohamed SOUYAH² et Mohamed MOUHAJIR²

¹ *Université Hassan 1er, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie Appliquée,
BP 577, Settat, Maroc*

² *Managem - Samine, BP 14, Meknès, Maroc*

* Correspondance, courriel : ahmed.rachid@uhp.ac.ma

Résumé

Le district d'El hammam est situé au Maroc central à environ 65 km au sud-ouest de la ville de Meknès et fait partie de la province de Khemisset. Le gisement de fluorine est situé dans un synclinal viséen supérieur caractérisé par les formations schisto-gréseuses, conglomératiques et calcitiques. Les principaux filons de fluorine sont encaissés au voisinage de grand accident de direction NE-SW. La faille d'El Hammam (FEH) est le métallotecte principal du district. La FEH contrôle la minéralisation sur l'axe Gisement centre-Moufrès qui sont deux secteurs en cours d'exploitation dont l'encaissant en majorité est calcitique. Dans ces deux secteurs, la fluorine se présente sous une texture bréchique et rubanée. Les deux autres secteurs d'études Achemache-Tlatezma comportent uniquement des minéralisations en fluorine rubanée. L'étude pétrographique a permis de mettre en évidence deux origines de la fluorine : la première liée à une assimilation d'un fluide alcalin et magmatique c'est-à-dire un fluide mixte et la seconde liée à un granite en profondeur. Partant de cela, les études géochimiques ont confirmé ces résultats pétrographiques avec plus de précision en différenciant les différents types de source. En effet, la première source est liée au granite d'Oued Beht qui est un leucogranite et la seconde liée au domaine gnéissique. Ainsi, cette étude propose une origine granodioritique de la masse de roche présente en profondeur responsable de la minéralisation de tout le district. Le phénomène de silicification est également lié à ce phénomène d'altération : Plus on s'approche de la source plus l'impact destructif de la silice est faible.

Mots-clés : *district d'El Hammam, fluorine, pétrographie-géochimie, assimilation, fluides alcalins, terres rares, origine mixte, Maroc central.*

Abstract

Origin fluorite district of El Hammam (NE central Morocco) : the petro-geochemical analysis criteria

The district of El Hammam is located in the central Morocco at about 65 Km South-West of the city of Meknes and part of the province of Khemisset. This district fluorite deposit is located in a Syncline upper's Viséan characterized by schisto-sandstone, conglomeratic and calcitic formations. The main veins of fluorite are hosted in the vicinity of large accident of NE-SW direction. The fault of El Hammam (FEH) is the main

metallotect of the district. The FEH control mineralization on axe's of Gisement center and Moufrès, this two sectors operating court whose hosted is calcite. In both sectors fluorite present with a brecciated texture and a banded texture. The two other sectors study Achemache-Tlatezma includes only fluorite mineralization bande. Through this global geological context, Petrographic study allowed to highlight two origins of fluorite : the first related to the assimilation of an alkaline fluid and magma that is to say, a mixed fluid and the second related a deep granite. From this, geochemical studies have confirmed these results petrographic more accurately differentiating between different types of source. In fact the first source is linked to the Oued Beht granite which is a leucogranite and the second related typical gneiss source. Thus, this study proposes a granodiorite origin of this rock mass at depth responsible for the mineralization of the whole district. Thus this study proposes an origin granodiorite of the mass of this rock in responsible for depth of mineralization of the district. The phenomenon of silicification is also linked to the phenomenon of alteration : The closer you get to the source, the lower the destructive impact of silica.

Keywords : *district of El Hammam, fluorite, petrography-geochemistry, assimilation, alkaline fluid, rare earths, mixed origin, central Morocco.*

1. Introduction

La minéralisation de fluorine d'El Hammam a été mise en place dans des formations paléozoïques métamorphisées pendant la phase majeure de l'orogénèse hercynienne. Cette minéralisation, par sa diversité texturale et sa distribution dans le district d'El Hammam, [1] pose problème sur la source et les processus de concentration de la fluorine. Notre objectif est de répondre à cette problématique en combinant entre une analyse pétrographique et une analyse géochimique. D'après [2], la minéralisation fluorifère d'El Hammam a été attribué à un fluide hydrothermal sursaturé en sel péri-granitique (230 - 240 Ma) riche en terres rares dont la température de mise en place est de 120°C à 200°C. En se basant sur les analyses géochimiques, [3] indiquent l'importance de connaître la zone source qui alimente la fluorine en terre rare et qui contrôle les coefficients de partage des terres rares et le rapport de fractionnement LREE / HREE (pour recherche future). La datation absolue des feldspaths-k donne un âge de 205 ± 1 Ma de la minéralisation d'El Hammam. Il suggère alors que la mise en place se fut pendant le développement des bassins du Trias-Jurassique et les basaltes de plateaux continentaux du Moyen Atlas mésetien marocain.

Des travaux récents donnent de nouveaux aperçus sur la source de cette minéralisation. Selon [4], l'écart entre la chondrite normalisée du modèle REY de la fluorine d'El Hammam de toutes roches de l'intrusion granitique ainsi que les données des inclusions fluides, indiquent une déconnexion entre la minéralisation fluorine-barytine et ce magmatisme felsique. En effet, les mesures microthermométriques suggèrent que les fluides minéralisés étaient riches en $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-KCl-MgCl}_2$ donc des saumures salines (> 20 % en poids de NaCl) et à une température d'environ 100 ($\pm 20^\circ\text{C}$). L'hypersalinité en Na-Ca-Mg-Ba dans les compositions des fluides suggèrent la source sédimentaire de la minéralisation en fluorine du district, soutenant un modèle épigénétique par un système de mise en place hydrothermal-évaporitique. La méthodologie adoptée, pour mettre en évidence l'origine double de la fluorine, combine une étude de terrain (cartographie, échantillonnage, description de la minéralisation de fluorine sur terrain, description carotte de sondage) et des études en laboratoire (pétrographie, $\hat{\text{I}}\text{CP-MS}$, Géochimie).

2. Localisation et contexte géologique

Le Maroc Central, s'érige au NE du Plateau Central, il regorge des minéralisations variées. La mine d'El Hammam se situe au NE de l'anticlinorium de Khouribga-Oulmes du Maroc central (*Figure 1*).

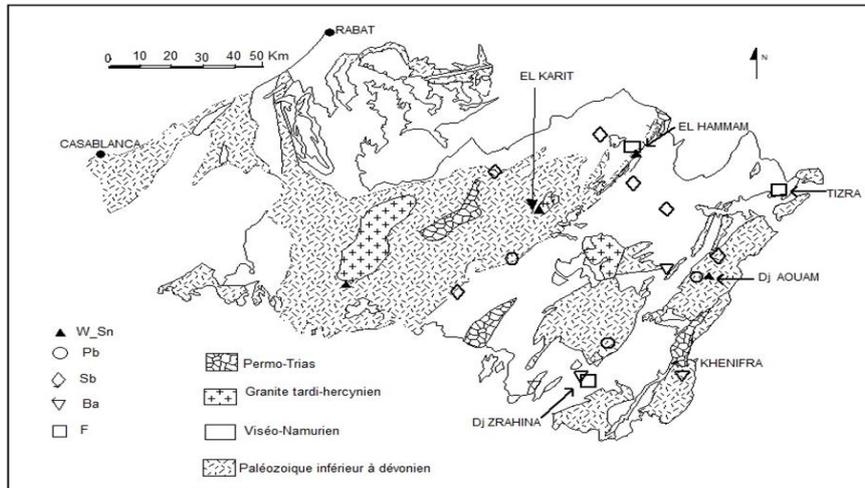
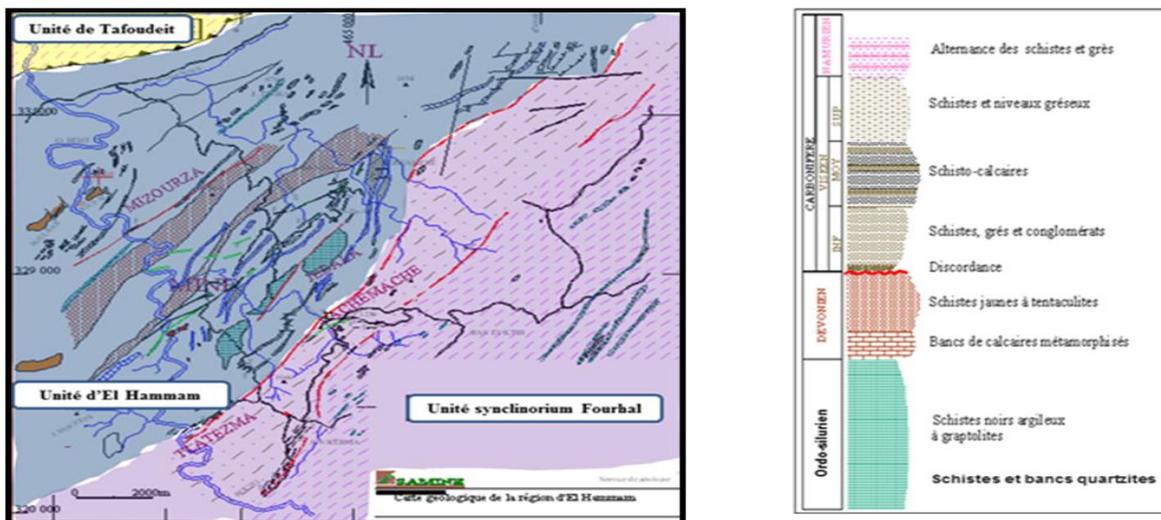


Figure 1 : Esquisse géologique et principaux gisements W-Sn, Pb-Zn, Sb, Ba et F du Maroc central

Le gisement est encaissé dans un synclinal viséen supérieur caractérisé par les formations schisto-gréseuses, conglomératiques et calcitiques recoupées par des intrusions magmatiques ainsi que par le granite d'El Hammam qui affleure au SW du district au niveau de l'Oued Beht et qui laisse une empreinte de métamorphisme de contact de grande ampleur. Le magmatisme de la région d'El Hammam est d'âge paléozoïque, avec trois épisodes magmatiques dont un magmatisme basique et deux magmatismes acides. Les terrains du district d'El Hammam principalement du Viséen supérieur, sont affectés par deux types de métamorphisme : un métamorphisme régional de faible degré (épizonal) et un métamorphisme thermique (de contact). Sur le plan tectonique, la faille d'El Hammam est le métallotecte principal et représente l'axe Gisement centre-Moufrès de directions NE-SW. D'autres axes tels que l'axe Mizourza, l'axe Achemache-Tlitezma sont également des métallotectes de la minéralisation du district d'El Hammam (*Figure 2*).



A : Carte géologique de la région d'El Hammam (Document interne du service géologique de SAMINE)

B : Log stratigraphique du district d'El Hammam

Figure 2 : Carte géologique du district d'EL Hammam et Log stratigraphique synthétique

3. Description minéralogique et localisation des secteurs étudiés

Le district comprend 4 secteurs en activité : le Gisement centre, Moufrès, Tlatezma et Achemache. La description de la fluorine des secteurs en activité indique deux types de texture : une texture bréchique située uniquement sur l'axe Gisement centre-Moufrès et une texture rubanée présente sur tout le district. La description de la minéralisation des secteurs étudiés montrent certaines caractéristiques importantes résumées comme suit :

- ✓ Le phénomène d'ankéritisation se présente généralement dans les derniers dépôts de toutes les générations de dépôt ;
- ✓ Le quartz et la pyrrhotite sont les minéralisations qui s'étendent sur tous les secteurs d'étude ;
- ✓ La silicification est accentuée sur l'axe Tlatezma-Achemache qui est dépourvue de calcite ;
- ✓ La calcite est abondante sur l'axe Gisement centre Moufrès et comporte une silicification moins accentuée que l'axe Tlatezma-Achemache ;
- ✓ Les brèches hydrauliques ne sont présentes que sur l'axe Gisement centre - Moufrès ;
- ✓ La fluorine rubanée se trouve dans tous les secteurs d'études.

L'étude sur la source de la minéralisation s'étend sur tout le district. Les différents secteurs d'études sont localisés via la carte géologique du district d'El Hammam (*Figure 3*).

4. Méthodologie

Une centaine d'échantillons sont prélevés sur tout le district (*Figures 4, 5*). Des sondages carottés ont également servi de base d'échantillonnage.

- ✓ L'étude pétrographique est effectuée sur des échantillons très variés notamment le granite près de l'Oued Beht en profondeur (fluorine dans le granite et vice versa) et la fluorine-encaissant de tout le district d'El Hammam ;
- ✓ L'étude géochimique a été choisie pour compléter et confirmer les interprétations pétrographiques. Les terres rares nous permettent de nous renseigner sur l'origine du fluide hydrothermal qui a pour résultat la cristallisation de la fluorine. Les lanthanides ont été les éléments analysés. L'échantillonnage s'est effectué par secteur et dans chaque secteur par type de texture.

24 échantillons ont été sélectionnés pour les analyses chimiques. L'appareillage utilisé pour analyser les échantillons est Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry abrégé ICP-MS.

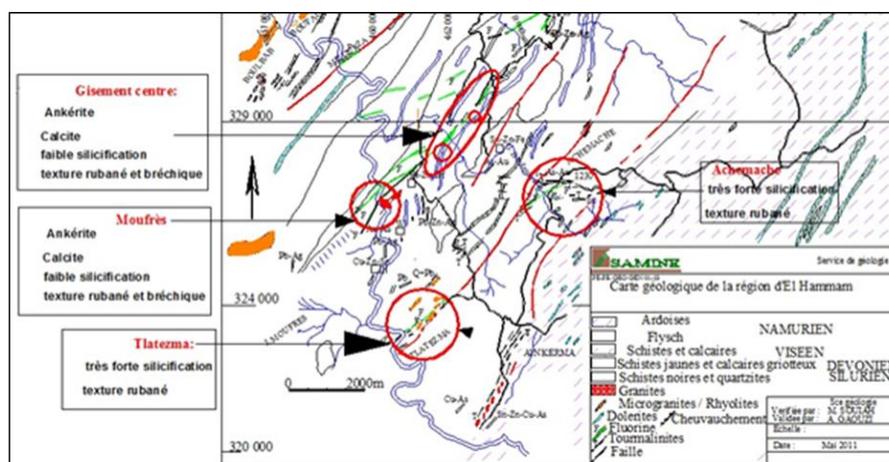


Figure 3 : Localisation et caractéristiques des secteurs d'étude

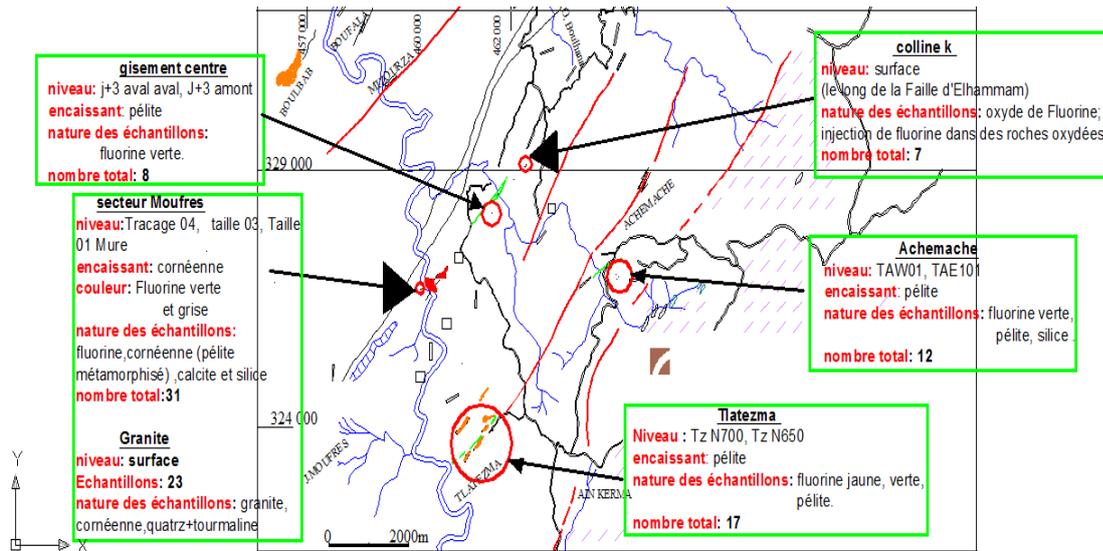


Figure 4 : Localisation et dénombrement des échantillons dans les quatre secteurs d'étude

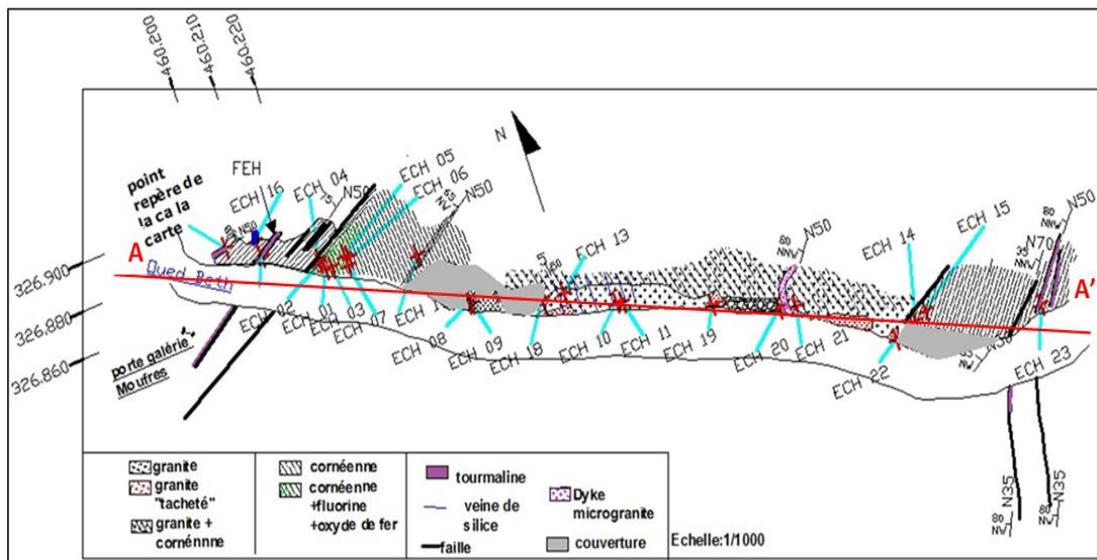


Figure 5 : Localisation des échantillons du granite

5. Résultats

5-1. Étude pétrographique

Plusieurs lames minces sont réalisées sur les différents échantillons prélevés, dont les informations les plus remarquables sont issues des sondages réalisés respectivement à Moufres et au Gisement centre (colline K).

5-1-1. Moufres

Le sondage carotté montre à la base, la présence de fluorine qui recoupe le granite de l'Oued Beht en profondeur (Figure 6).

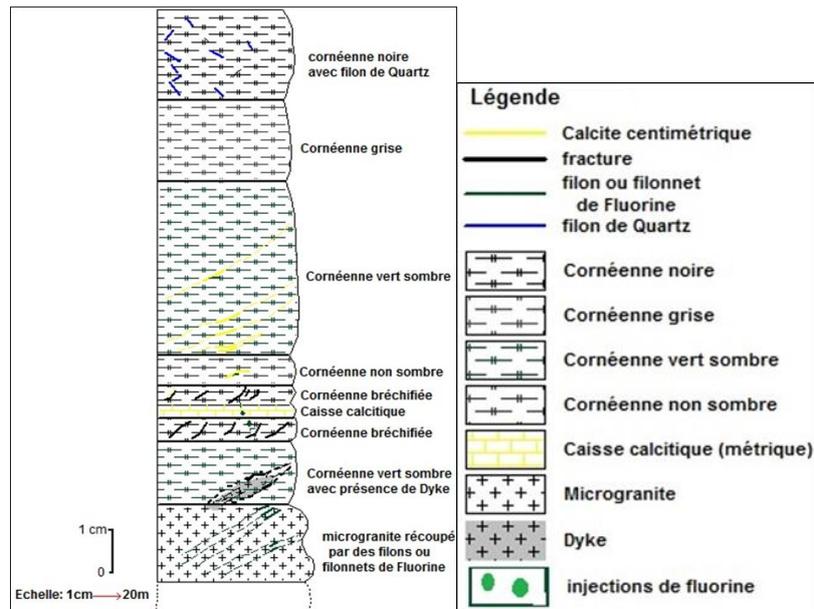


Figure 6 : Log stratigraphique synthétique du sondage de Moufrès

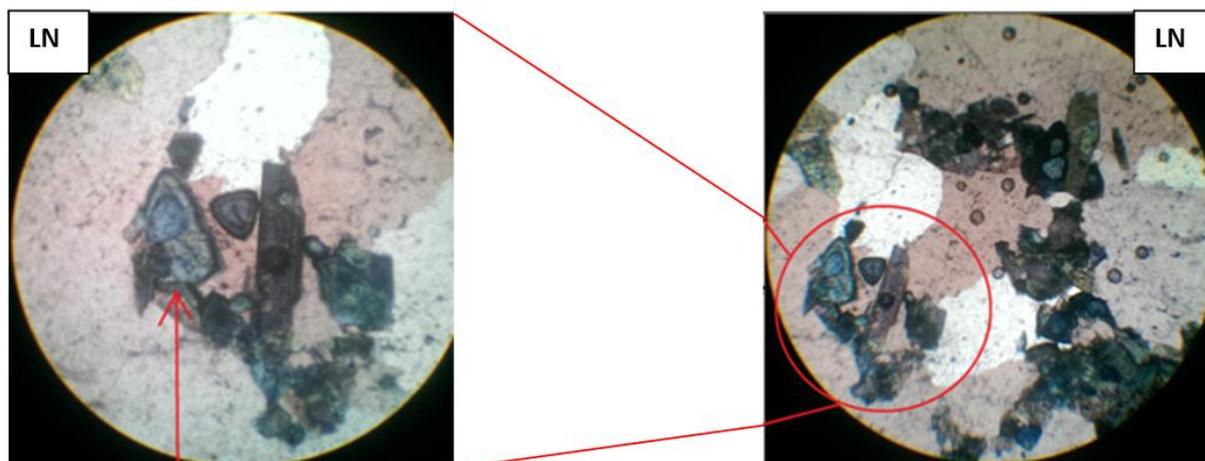
Le granite d'Oued. Beht est très riche en informations importantes vu sa proximité du secteur minéralisé (**Figure 7**). Ainsi, de la surface vers la profondeur les géomatériaux liés à l'origine de la fluorine sont présentés comme suit :

- Le granite Oued Beht montre une texture grenue porphyrique qui englobe une sorte de matrice argileuse appelée le manteau d'arlequin. Le quartz présentant des microfractures ainsi que son extinction ondulante ou nuageuse indique l'effet d'une tectonique intense. La biotite parfois englobée par le quartz est très altérée (oxydation). La composition minéralogique générale est formée de : Quartz, Chlorite, Muscovite, Biotite, Orthose, l'Arfvedsonite, l'Aegyrine et la Cordiérite. Cette composition minéralogique montre deux paragenèses qui plaident en faveur de 2 types de granites : le granite à cordiérite (très altérée) et le granite normal déjà révélés par [5] ;
- En profondeur la description du sondage a débuté à partir de la côte 234.5 m.

A la côte 234.5 - 235.5m, un matériel nouveau apparaît : il s'agit d'une roche de composition différente insérée au sein des cornéennes ; c'est un Dyke. L'analyse microscopique révèle la présence de :

- Plagioclase altéré ;
- Quartz ;
- très peu d'Orthose ;
- Tourmaline ;
- des nodules riches en Chlorites et de Micas dures ;
- l'Arfvedsonite ;
- l'Aegyrine.

Ainsi, ce groupement de minéraux sombre tout au long de la fracture est en réalité composé de Tourmaline (**Photo 1**), d'Arfvedsonite et d'Aegyrine. Ce qui souligne l'enrichissement du liquide granitique en fluides. C'est l'explication pétrographique de présence des deux paragenèses précitées.



Section basale de Tourmaline de couleur bleu et zonée (Echelle : diamètre 2mm)

Lame 108 très riche en Tourmaline ; les sections basales sont représentées par la couleur bleu zonée (Echelle : diamètre 3mm)

Photo 1 : Tourmaline en section basale

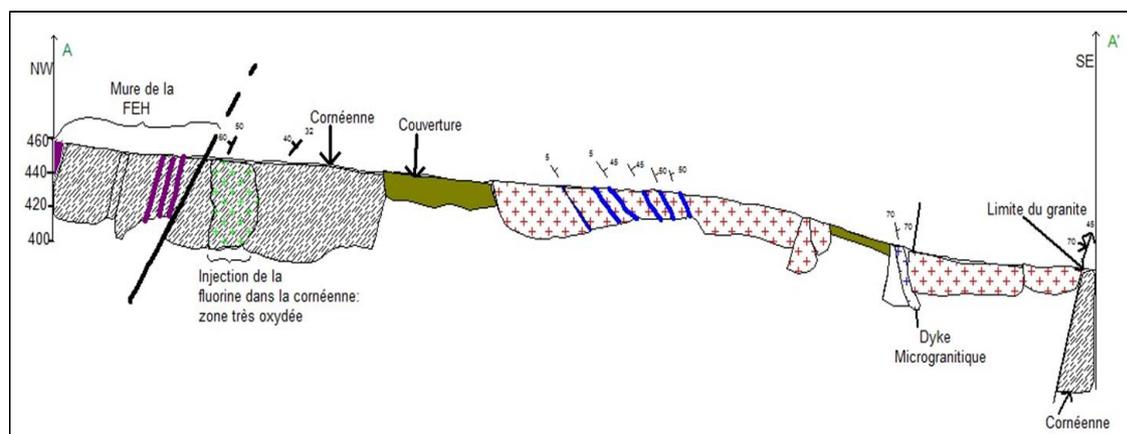


Figure 7 : Coupe AA' de la figure 6 ; relation entre le granite et la FEH

- Plus en profondeur, entre la côte 251,1 à 252,4 m, on note une structure métrique contenant la minéralisation fluorifère bien individualisée séparément du matériel granitique.

L'analyse microscopique axée sur deux lames bien sélectionnées indique plusieurs informations. Ainsi :

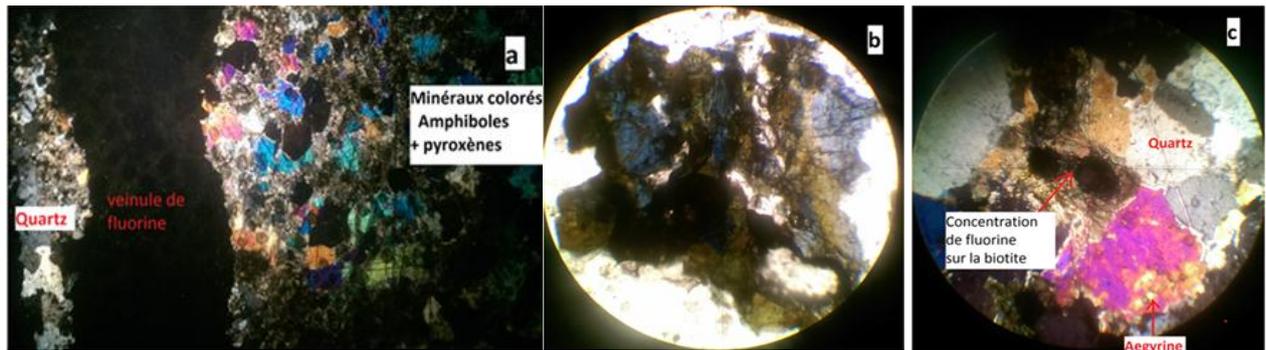
- la lame 107 bis est composée de :
 - Quartz (très peu) ;
 - Fluorine, métaux ;
 - Tourmaline, biotite ;
 - l'Aegyrine ;
 - l'Arfvedsonite ;
 - nodules de chlorite et de micas durs.

Cette lame contient une veinule de fluorine qui traverse le corps magmatique (*Photo 2-a*). La tourmaline montre des teintes gris-bleu à vert jaune (*Photo 2-b*) et la biotite a des teintes rose brun (*Photo 3-c*). Au sein de certaines biotites se trouve des concentrations de fluorine (*Photo 3*). L'Aegyrine en phénocristaux

(Photo 4) est moins abondante que l'Arfvedsonite. Les nodules de mica durs et chlorite forment plus ou moins la matrice de la lame.

- La lame 107, située proche de la lame 107 bis, comporte la même composition minéralogique, où s'ajoute du Sphène, l'Augite titanifère **(Photo 4-b)** et l'Astrophyllite très bien cristallisée. Au sein de l'Astrophyllite se trouve des concentrations de fluorine **(Photo 4-a)**.

Pour une meilleure explication de cette association minéralogique, il serait fort recommandé de suivre l'évolution, et l'aspect des minéraux en fonction de la profondeur : essentiellement l'Arfvedsonite, l'Aegyrine, la Tourmaline, le Sphène, l'Augite titanifère et l'Astrophyllite.



Vue générale de la lame mince 107*
(largeur 6 cm)

Phénocrystal de tourmaline
(Tourmaline de couleur gris bleu
et Tourmaline de couleur jaune
vert) (diamètre 3 mm)

(diamètre 3 mm)

Photo 2 : Certaines caractéristiques de la lame 107* ; a = vue générale de la lame 107* ; b = phénocrystal d'une tourmaline gris-bleu et jaune vert ; b = fluorine au sein d'une biotite rosâtre.

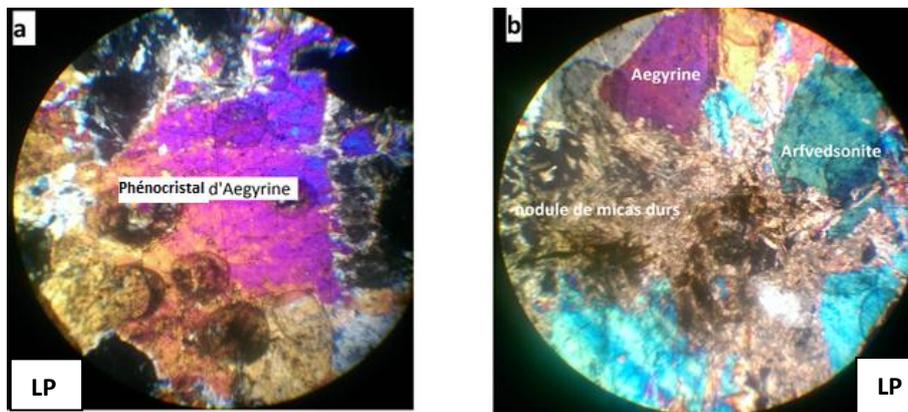


Photo 3 : Certaines caractéristiques de la lame 107* ; a = phénocrystal d'aegyrine, b = association minéralogique (Echelle : diamètre 3 mm)

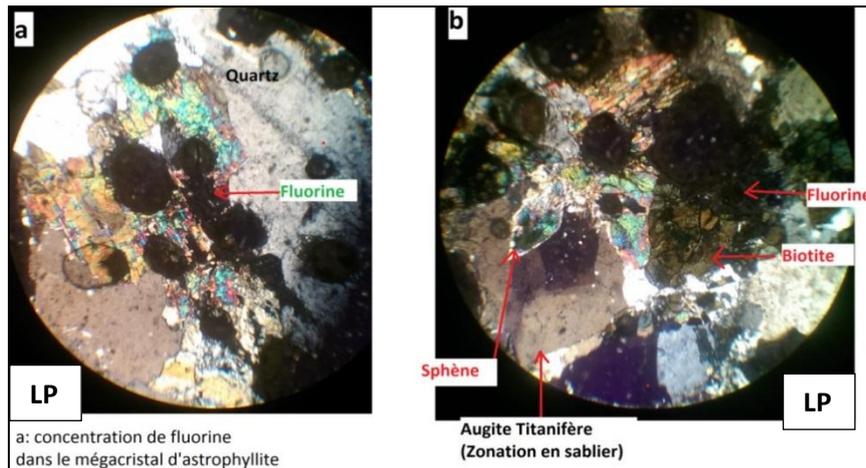
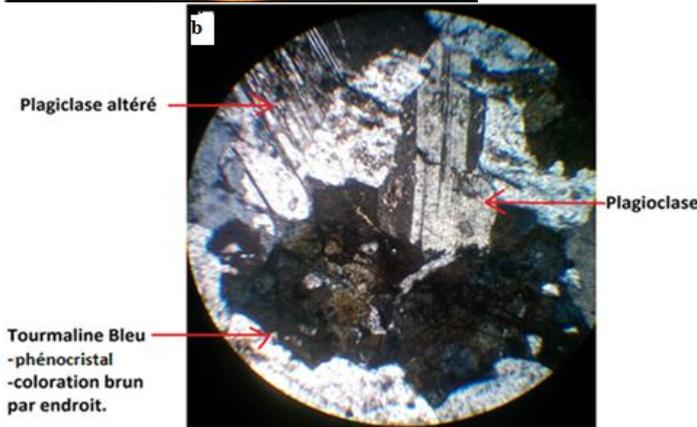
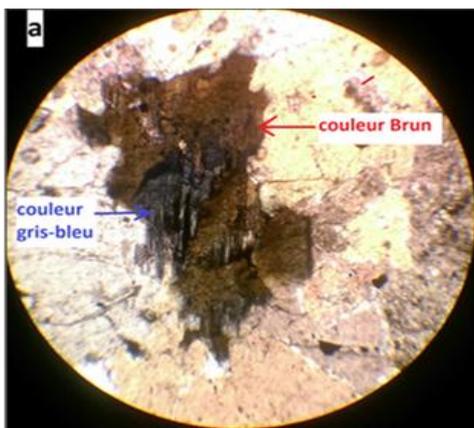


Photo 4 : Certaines caractéristiques de la lame 107 ; a = *Astrophyllite* ; b = association minéralogique (Echelle : diamètre 3 mm)

- Plus en profondeur encore (259,5 m) on note la présence de nodules de minéraux sombres tout au long des carottes granitiques.



L'observation microscopique de la lame 105 effectuée à ce niveau, montre que ces minéraux sombres sont des ferromagnésiens à savoir :

- l'Arfvedsonite ;
- l'Aegyrine ;
- Biotite à côté de la tourmaline.

A côté des minéraux ferromagnésiens, il y a présence de :

- l'Orthose ;
- le Quartz ;
- les Plagioclases altérés.

Les Plagioclases (automorphes et en phénocristaux) sont plus abondants que la Biotite. On distingue plusieurs associations minéralogiques :

- Tourmaline brun et gris-bleu (*Photo 5-a*)
- Tourmaline bleu + plagioclases (*Photo 5-b*)

Photo 5 : Certaines caractéristiques de la lame 105 ; a=*Tourmaline* ; b=*phénocrystal d'une tourmaline gris-bleu et brun* (Echelle diamètre 3 mm)

Plus profondément, à la cote 276 m le dernier échantillon récolté à Moufrès ; sur lequel les lames ont été réalisées. A ce niveau ce trouve un leucogranite (**Photo 6**). Macroscopiquement, le seul ferromagnésien visible est la Tourmaline.



Photo 6 : Leucogranite



Photo 6 : Observation microscopique du leucogranite (présence de fluorine)

Contrairement aux lames étudiées précédemment, l'analyse microscopique met en évidence l'absence de ferromagnésien comme l'Aegyrine (clinopyroxène), l'Arfvedsonite (amphibole sodique), et la Biotite.

- La composition minéralogique de la lame 110 (**Photo 6**) correspondante comprend :
- Le Quartz ;
- Les Plagioclases, la Chlorite et micas durs en très faible représentation ;
- La fluorine.

Les gros cristaux de quartz sont moins ondulants, les phénocristaux de plagioclase sont très peu altérés à partir du cœur du minéral. En général, on note une très faible altération. Ce qui est plus marquant c'est la présence de fluorine cristallisée entre les grains de quartz.

5-1-2. Gisement centre «colline K»

Le sondage du gisement centre est situé plus précisément au niveau de la colline K Est entre la colline «J» et le gisement de Bergamou allongeant la FEH, où se trouvent deux corps minéralisés filoniens qui sont contrôlés par la FEH de direction NE-SW à jeu dextre. Ces filons sont à remplissage de fluorine et surtout de calcite dont l'épaisseur de la caisse peut atteindre dix mètres. L'essentielle de la minéralisation exploitée au site «K Est» est liée à des structures sigmoïdales satellites sur la FEH surtout dans son compartiment Sud. Un sondage d'exploration dans cette zone a marqué la présence d'un corps magmatique à la profondeur de 125,8 à 139,2 m. Vu sa proximité de la FEH (repéré de 167 à 169,4 m du sondage) il est important alors de comprendre le rôle joué par le corps magmatique dans la mise en place de la fluorine. Macroscopiquement ce dyke présente une texture variable des bordures vers le cœur. Elle se présente sous forme de petits grains de Quartz dans une matrice finement cristallisée plus ou moins sombre. L'analyse microscopique révèle la composition minéralogique suivante : Quartz, Plagioclase, Arfvedsonite, Aegyrine, Muscovite. Les Plagioclases sont en phénocristaux dans la lame, très altérée et de teinte jaunâtre du premier ordre : Ce sont des cristaux d'anorthites. La roche contient environ 25 % d'anorthite (**Photo 7**). Il y a aussi présence de plagioclase zoné. L'Arfvedsonite et l'Aegyrine se représentent sous forme de nodule. Cette roche montre une texture microgrenue. Elle est semblable à la composition d'une microdiorite métamorphisée. L'étude géochimique pourra mieux nous renseigner sur sa classification.

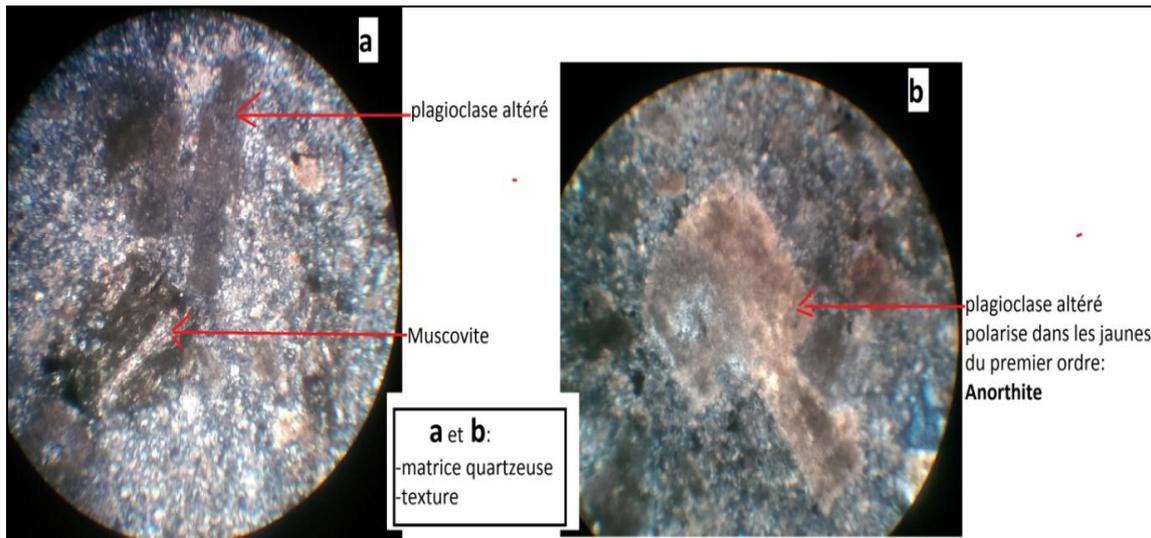


Photo 7 : Lame 120; a = muscovite + plagioclase b = anorthite

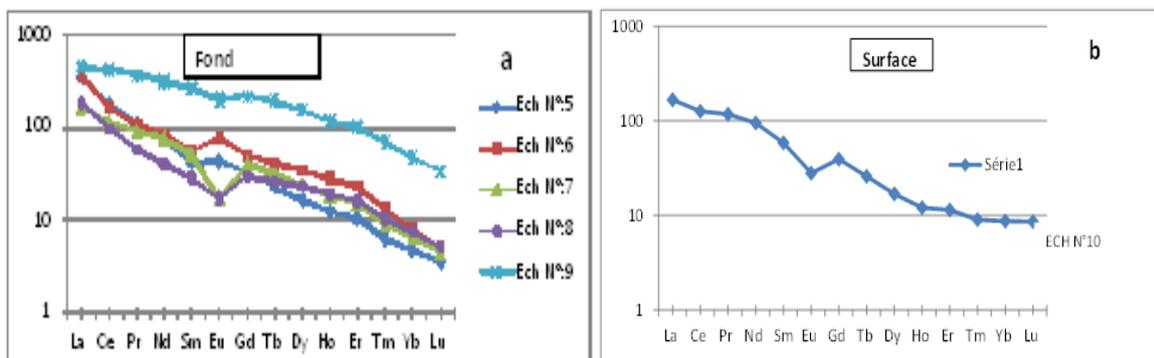
À la lumière des constatations et résultats de l'analyse pétrographie dans les principaux gisements du district El Hammam; une sélection d'un certain nombre d'échantillons (24 échantillons) bien ciblés pour les soumettre à des analyses géochimiques afin de mesurer les retombées sur la mise en évidence des processus et mécanismes structuro-magmatiques conduisant à la genèse de la fluorine exploitable

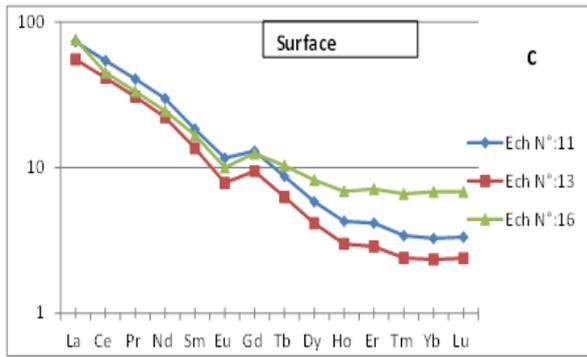
5-2. Étude géochimique

Les 24 échantillons analysés pour doser les terres rares sont répartis entre les 4 gisements. L'analyse est portée principalement sur les lanthanides. Les résultats obtenus sont représentés par secteur afin de mieux visualiser les principales anomalies. Les résultats des éléments chimiques de notre étude sont représentés comme suit :

- des échantillons de granite, de fluorine, de l'encaissant le tout normalisé aux chondrites ;
- La représentation La Vs Sm, Tb Vs Yb et Tb Vs Lu.

Les représentations graphiques sont présentées en lot afin de faciliter leurs interprétations.





a. Courbes normalisées par rapport aux chondrites de la fluorine à Moufrès prélevée au fond : Ech 7 et 8 sont prélevés au traçage 04 niveau plus bas que celle de la taille 03 où sont prélevés Ech 5 et 6.

b. Courbe normalisée par rapport aux chondrites de la tourmaline prélevée en surface sur la Faille d'El Hammam ;

c. Courbes normalisées par rapport aux chondrites du granite Oued Beth : Ech N°11 et N°13 sont prélevés en surface tandis qu'Ech N°16 prélevé à une profondeur de 263 mètres provient d'un sondage (SCM)

Figure 8 : Courbes Normalisées de Moufrès

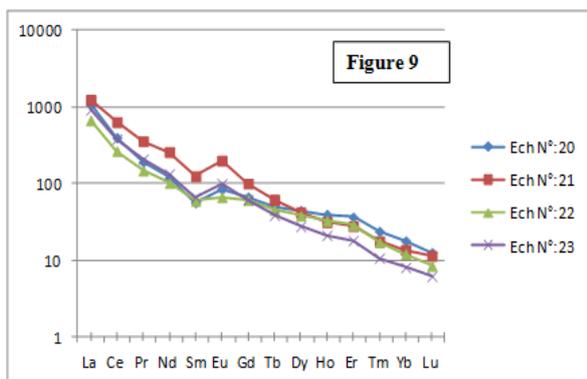


Figure 9 : Courbes normalisées par rapport aux chondrites de la fluorine au gisement centre : Ech N°1, N°2 et N°15 sont pris au niveau de la colline j ; Ech N°3 et N°4 sont des échantillons de surface de la colline k

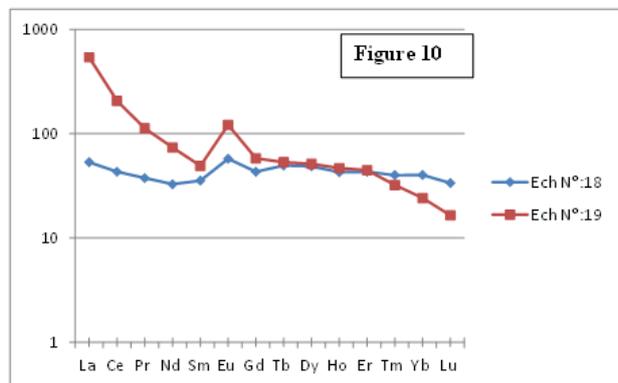


Figure 10 : Courbes normalisées par rapport aux chondrites de la fluorine de Tlätzma (échantillons au fond)

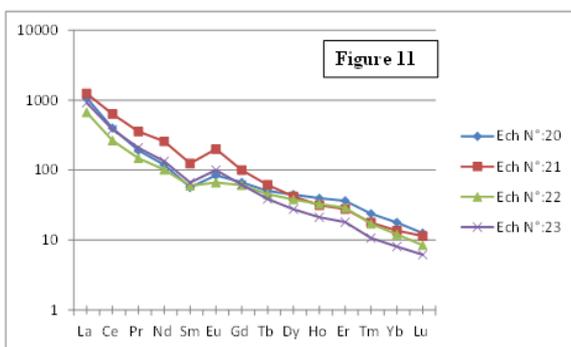


Figure 11 : Courbes normalisées par rapport aux chondrites de la fluorine à Achemache (Echantillons au fond)

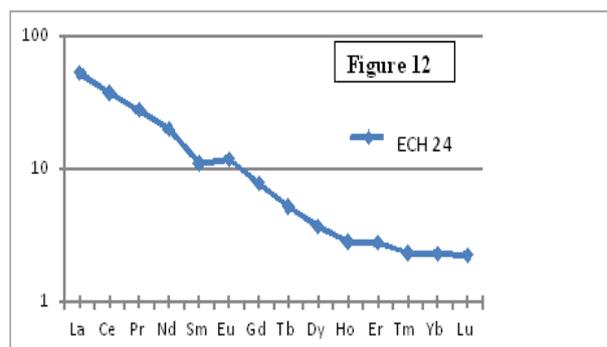


Figure 12 : Courbes normalisées par rapport aux chondrites du «corps magmatique» (sondage gisement centre : K EST)

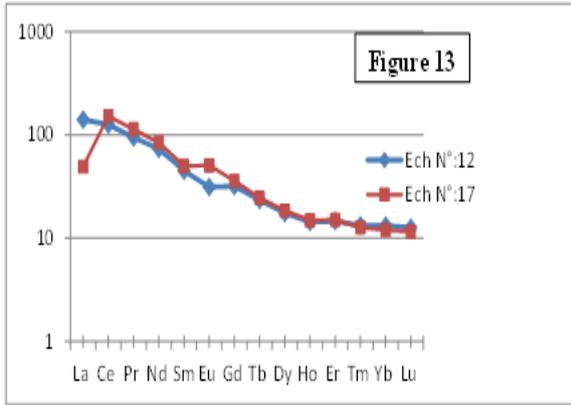


Figure 13 : Courbes normalisées par rapport aux chondrites de l'encaissant : Ech N°12 est une cornéenne proche du granite en surface ; Ech N°17 est un schiste encaissant de la fluorine à Tlatezma

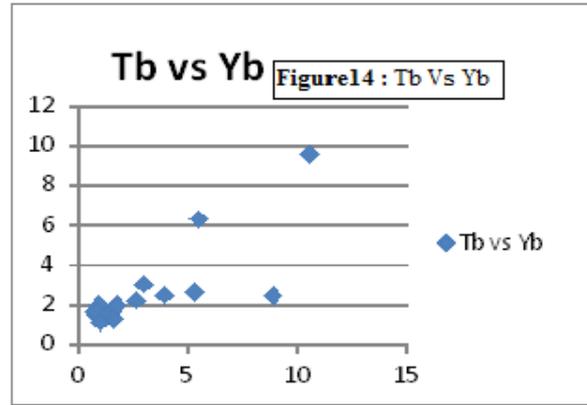


Figure 14 : Tb Vs Yb pour tous les échantillons de Fluorine

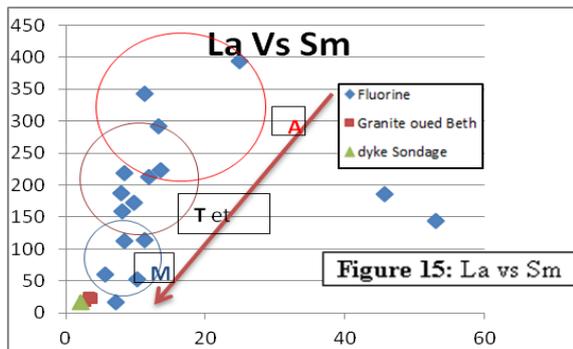


Figure15 : La Vs Sm ; A= Achemache, T=Tlatezma, GC= Gisement centre, Moufrès

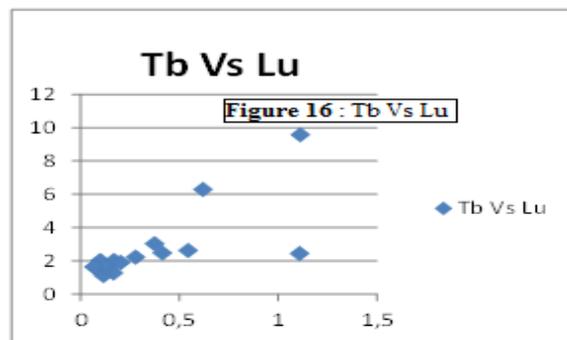


Figure 16 : Tb Vs Lu pour tous les échantillons de fluorines

Tableau 1 : Résultat global de terres rares analysées dans les différents échantillons

Type d'échantillons	TR (ppm)	45Sc	89Y	139La	140Ce	141Pr	146Nd	147S	153Eu	157Gd	159Tb	163Dy	165Ho	166Er	169T	172Yb	175Lu	232Th
	Désignation																	
Fluorine verte foncée	Ech N° : 1	0,58	196,30	223,50	209,00	18,35	70,86	13,53	6,21	17,57	2,02	9,93	1,73	3,73	0,26	0,96	0,10	0,04
fluorine verte claire	Ech N° : 2	0,45	205,20	159,50	125,60	10,09	38,58	8,14	5,46	12,81	1,64	8,82	1,59	3,40	0,23	0,79	0,07	0,02
Oxyde de fluorine	Ech N° : 3	1,98	132,40	186,00	379,00	37,25	190,00	45,68	25,91	45,83	6,29	29,52	4,62	10,69	1,07	5,51	0,62	1,28
Oxyde de fluorine	Ech N° : 4	0,91	107,10	188,00	172,60	12,83	44,74	7,91	10,52	11,58	1,48	7,70	1,36	2,93	0,22	0,86	0,09	0,85
Fluorine verte foncée	Ech N° : 5	1,78	56,61	111,80	146,30	13,18	46,80	8,34	3,30	9,05	1,12	5,47	0,93	2,22	0,21	1,02	0,12	1,39
Fluorine verte foncée	Ech N° : 6	0,40	149,00	114,40	135,10	13,11	51,32	11,26	5,79	13,39	2,02	11,45	2,11	5,00	0,44	1,77	0,17	0,05
Fluorine verte claire	Ech N° : 7	0,41	89,79	52,38	95,36	10,89	46,30	10,25	1,31	10,80	1,52	7,88	1,38	3,29	0,31	1,42	0,14	0,07
Fluorine grise sombre	Ech N° : 8	0,44	157,40	59,41	79,78	7,01	25,32	5,71	1,28	7,87	1,28	7,61	1,42	3,48	0,34	1,67	0,17	0,05
Calcite	Ech N° : 9	0,42	246,30	144,60	345,20	44,96	196,20	53,08	15,19	58,89	9,58	51,61	8,92	21,78	2,30	10,55	1,11	0,13
Ferromagnésiens	Ech N° : 10	4,32	22,26	53,33	103,60	14,21	58,37	11,70	2,13	10,50	1,27	5,58	0,91	2,46	0,30	1,92	0,28	4,30
Granite normal	Ech N° : 11	5,13	8,27	23,39	44,53	4,91	18,34	3,68	0,89	3,46	0,43	1,92	0,32	0,90	0,11	0,72	0,11	12,31
Cornéenne (granite)	Ech N° : 12	12,73	25,18	44,83	103,80	11,43	45,05	9,02	2,39	8,54	1,16	5,79	1,09	3,17	0,44	2,92	0,42	13,38
Granite tacheté	Ech N° : 13	3,27	5,56	17,70	33,90	3,72	13,65	2,72	0,60	2,52	0,31	1,37	0,23	0,62	0,08	0,52	0,08	9,03
Granite tacheté	Ech N° : 14	3,56	5,72	18,21	34,69	3,79	14,08	2,80	0,61	2,66	0,32	1,40	0,24	0,64	0,08	0,54	0,08	9,16
Fluorine verte claire	Ech N° : 15	0,38	171,50	218,60	171,90	12,99	45,19	8,46	6,55	12,83	1,66	8,97	1,61	3,49	0,24	0,84	0,07	0,10
Granitoïde sondage	Ech N° : 16	2,47	19,97	24,16	36,92	4,04	15,07	3,34	0,76	3,34	0,51	2,71	0,52	1,54	0,22	1,51	0,22	15,84
Schiste	Ech N° : 17	12,70	26,31	15,71	124,60	13,76	52,01	10,03	3,87	9,61	1,22	6,11	1,13	3,25	0,42	2,66	0,38	13,01
Fluorine jaune	Ech N° : 18	4,24	250,10	17,01	35,43	4,54	20,14	7,10	4,38	11,51	2,44	16,06	3,22	9,32	1,32	8,88	1,11	1,40
Fluorine verte claire	Ech N° : 19	0,40	307,70	172,10	169,30	13,61	45,31	9,79	9,21	15,48	2,62	16,94	3,53	9,63	1,06	5,33	0,54	0,05
Fluorine verte claire	Ech N° : 20	0,34	291,20	342,90	326,30	23,15	73,09	11,27	6,39	17,79	2,48	14,68	2,98	7,86	0,78	3,94	0,41	0,06
Fluorine verte foncée	Ech N° : 21	0,60	117,40	394,60	519,10	43,12	157,80	24,86	15,17	26,69	3,03	13,86	2,37	5,98	0,58	3,01	0,38	0,50
Fluorine verte foncée	Ech N° : 22	0,34	276,10	213,00	216,60	17,86	62,07	11,90	5,04	16,27	2,23	12,56	2,47	6,20	0,56	2,66	0,28	0,07
Fluorine verte claire	Ech N° : 23	0,86	131,90	292,70	311,60	25,14	82,13	13,22	7,60	16,47	1,90	9,08	1,60	3,88	0,35	1,78	0,20	0,93
Corps magmatique	Ech N° : 24	2,70	5,48	16,82	30,40	3,32	12,22	2,19	0,90	2,08	0,26	1,21	0,21	0,60	0,08	0,51	0,07	4,83

6. Discussion

Les résultats obtenus permettent de mener une discussion sur les deux volets indissociables suivant : la pétrographie et la géochimie.

6-1. Pétrographie

Les indices pétrographiques mis en évidence permettent de distinguer deux types de fluorine dans le district :

- un dépôt de fluorine en présence de ferromagnésien dans son environnement ;
- un dépôt mis en place présentant une altération hydrothermale moins intense.

La paragenèse à Arfvedsonite, Aegyrine, Augite titanifère et Sphène (minéraux caractéristiques d'un milieu alcalin voir hyper alcalin) permet de déduire qu'il s'agit de la composition d'une syénite. Mais, il est commode de préciser que la formation des minéraux qui viennent d'être cités en présence de quartz stable témoigne seulement de la teneur élevée des solutions en alcalins, mais ne prétend pas être une preuve du caractère alcalin du granite ; ce qui laisse penser à un phénomène d'enrichissement en alcalins aboutissant à la néoformation de cette paragenèse. Nous avons donc l'intervention d'un fluide alcalin extérieur à la formation granitique provoquant son altération. A côté vient s'ajouter deux autres minéraux pouvant jouer le rôle d'indice soulignant ce phénomène : il s'agit alors de la Tourmaline et de la Biotite déstabilisée. Les travaux de [6], «sur l'incorporation de la fluorine dans la tourmaline et son influence dans le contrôle interne et externe de son environnement» montrent que les quantités variables de F en tourmaline sont des indicateurs utiles des conditions chimiques environnementales locales et peuvent contribuer à limiter ces conditions. Ainsi, ils ont établi trois types de Tourmaline en fonction de leurs richesses en fluor (**Figure 17**) :

- Génération-1 : Tourmaline conservée comme enclaves xénomorphes bleu foncé à l'intérieur de la fibre ;
- Génération-2 : Tourmaline gris-bleu, remplace partiellement Génération-1 Tourmaline, et devient progressivement plus Na et F-enrichi, ayant des compositions qui varient de schorl à elbaite ;
- Génération-3 : Tourmaline jaune-vert, remplace partiellement les deux précédentes générations de Tourmaline, et à une composition de "fluor-elbaite".

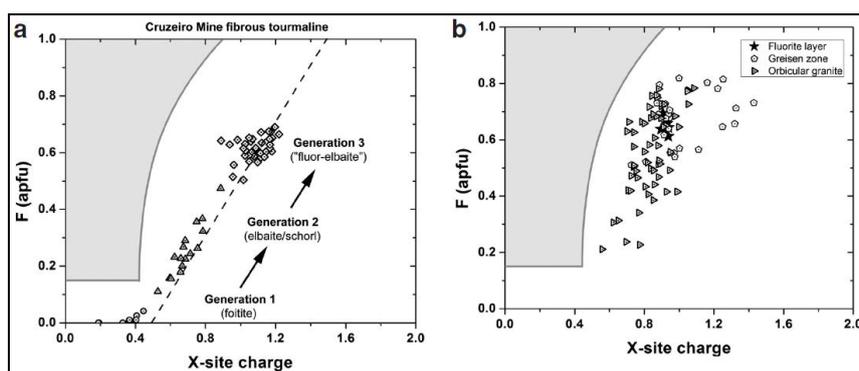
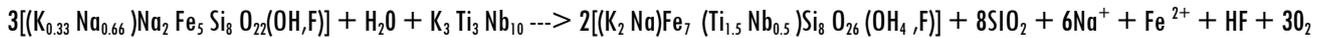


Figure 17 : Incorporation du fluor sur le site X de la Tourmaline [5]

Ainsi, en comparant les différents types de Tourmaline, il apparaît clairement que la Tourmaline du granite Oued Beht est de type «elbaite / Schorl» à «fluor-elbaite». La hausse de la teneur en F a un lien avec la croissance de la tourmaline dans un environnement d'activité accrue de F dans les fluides de fractionnement. De même pour la Biotite, [7] indique dans ces travaux que les facies les plus roses sont les plus riches en micas fluoré. Alors tous les indices sont réunis pour dire que le premier type de fluorine

provient d'un fluide magmatique riche en fluor car les minéraux comme la Biotite sont des minéraux primaires. Cela est même vérifié par la cristallisation de la fluorine au sein des biotites. En plus de la Biotite s'ajoute un minéral très rare qui nous donne une information importante : c'est l'Astrophyllite qui est un minéral accessoire des roches alcalines. Il se met en place pendant la métasomatose. Son mode de formation pour un milieu riche en Ti-Nb est résumé par [8] :



Cette réaction nécessite la présence d'un fluide extérieur qui n'est pas riche en fluor mais cristallise dans un milieu riche en fluor. Elle tire son fluor de l'Arfvedsonite qui elle-même l'a hérité du granite. Raison pour laquelle l'étude d'inclusion fluide, des travaux antérieurs [3], de la fluorine met en évidence la forte salinité. Le deuxième type de fluorine n'a pas été atteint par cette altération issue d'un fluide extérieur alcalin. Cette fluorine provient probablement d'une autre phase d'altération météorites d'un corps magmatique en profondeur. Donc l'étude pétrographique, confirme que la fluorine peut être liée à deux origines (événement) : La première issue de fluide mixte d'origine magmatique riche en fluor et d'origine météorite riche en élément alcalin. La seconde origine provient d'un phénomène hydrothermal dont on ignore la source à partir des études pétrographique. A cet effet, l'étude géochimique vient renforcer et compléter les résultats pétrographiques.

6-2. Géochimie

La disposition des Dykes doléritiques NE-SW (**Figure 18**) permet de supposer qu'elle pourrait intervenir en matière d'enrichissement en terre rare de la fluorine. Leurs teneurs en terre rare donnent également des indices importants. [9] ont effectué un travail pétrographique et géochimique sur ces dolérites. Les résultats géochimiques excluent les dolérites du processus de mise en place de la fluorine. Les terres rares sont très faibles voir absents dans certains échantillons.

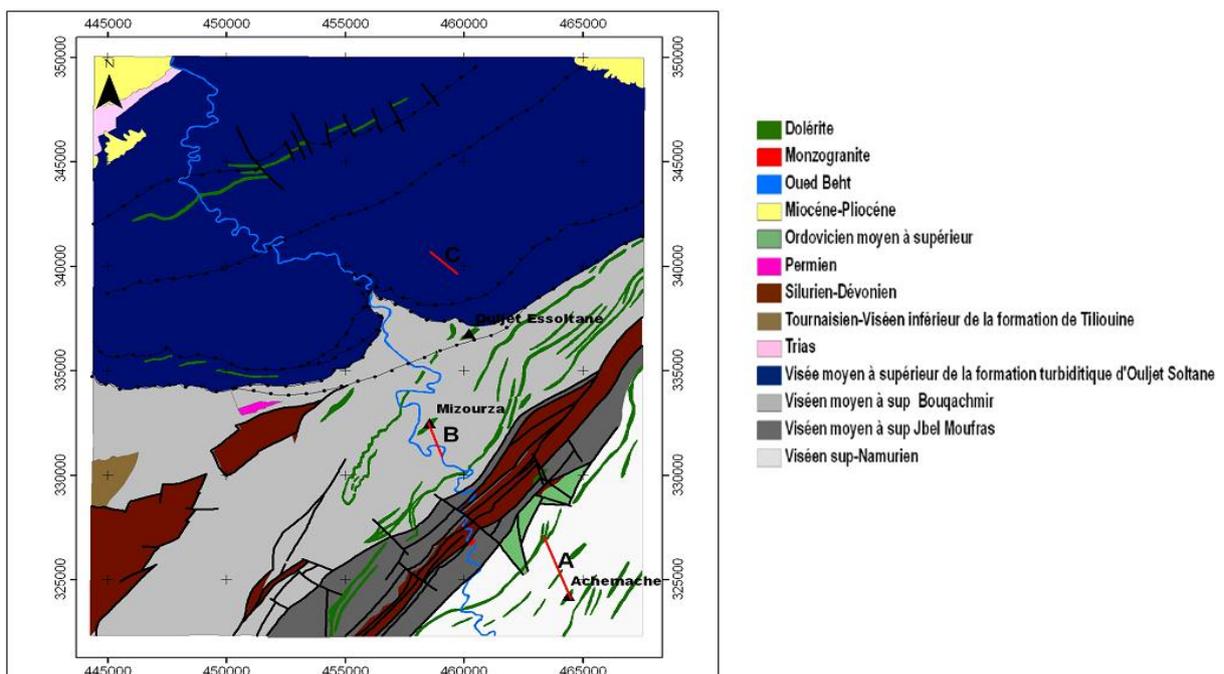


Figure 18 : Carte géologique des régions d'El Hammam et Ouljet Essoltan [9]

Tableau 2 : Eléments terres rares dans les dolérites [8]

Ech	MZ7	ELH17	ELH29	ELH30	ELH31	M72	OS 11	ELH	ELH 25
localité	ELH	ELH	ELH	ELH	ELH	ELH	OS	ELH	ELH
La	14	15	15	10	4	3	-	-	-
Ce	38	25	29	14	< 1	496	-	-	-
Nd	29	27	27	21	12	23	-	-	-
Sm	23	12	13	20	11	13			
Eu	3	3	3	3	2	1	-	-	-
Gd	16	14	8	12	5	8	-	-	-
Er	48	54	39	36	29	0.0033	-	-	-
Yb	5	5	5	5	5	1			
Lu	3	3	3	2	3	1	-	-	-

L'interprétation sur la base des analyses concerne donc relation fluide-roche source et fluide encaissant.

6-2-1. Dynamique de dépôt de la minéralisation de fluorine

Selon les travaux de [10] la fluorine est considérée comme un amplificateur linéaire, les terres rares pourraient donc caractériser la dynamique du milieu de dépôt par rapport à la solution mère. En effet deux grands milieux de cristallisation ont été définis : un milieu ouvert et un milieu clos.

- la cristallisation en milieu ouvert stipule que la composition de la solution reste constante et les teneurs en terres rares sont quasi-identiques sur toutes les fluorines ;
- la cristallisation en milieu clos est caractérisée par des teneurs plus faibles que les fluorines initiales avec un appauvrissement relatif en terres lourdes.

Après l'analyse des résultats (**Tableau 2**), la fluorine peut être liée à une cristallisation en milieu clos sauf l'échantillon 18 qui s'est déposé suivant un système ouvert. L'échantillon 18 correspond à une fluorine jaune de Tlatazma. Sa présence est très rare à l'échelle de district. Elle est aperçue dans les géodes de quartz au centre des filons de fluorine verte. Elle est donc postérieure à la fluorine qui s'est déposé dans un milieu clos. A noter également une variation légère des terres rares dans différents échantillons de la fluorine surtout remarquable avec le Lanthanium (La) et le Cérium (Ce) avec des proportions plus élevées excepté l'échantillon 18 : il y a donc apport de solution nouvelle ou d'éléments nouveaux. Un appauvrissement en lanthanides et surtout en terres rares lourdes est bien visible (**Tableau 2**). Cet appauvrissement dû à la cristallisation de la fluorine qui indique que la source est un réservoir fini excepté l'échantillon 18. Ce dernier souligne des concentrations en éléments plus ou moins constantes : il s'agit d'un réservoir infini donc d'une source qui alimente continuellement en fluide minéralisateur. Le fluide de la fluorine dispose donc des proportions équitables des éléments et cristallise en conservant cette signature géochimique de son milieu d'origine. En synthèse, la minéralisation économiquement exploitable du district en majorité de couleur verte s'est déposée selon la dynamique suivante :

- Milieu de cristallisation en système clos ;
- Apport de solutions nouvelles ou d'éléments nouveaux ;
- Caractérisation de la source : réservoir fini.

La fluorine grise présente les mêmes caractéristiques que la fluorine verte. Alors que, la fluorine jaune se caractérise comme suit :

- Milieu de cristallisation en Système ouvert ;

- Apport constant de solution ou du fluide minéralisé ;
- Caractérisation de la source : réservoir infini.

6-2-2. Interprétation des anomalies en Europium

La corrélation entre Cérium (Ce) et Europium (Eu), [11] peut renseigner sur ces anomalies en Eu visibles sur les graphes réalisés. Une anomalie positive en Eu indique un milieu oxydant et une anomalie négative témoigne d'un milieu réducteur. Une anomalie négative en Eu signifie qu'il se trouvait sous la forme divalente dans la solution. Sous cette forme divalente, il peut être adsorbé par certains minéraux de la gangue tels que les feldspaths et plagioclases d'où son appauvrissement relatif dans la fluorine. La corrélation entre Eu et le Ce (**Figure 19**) indique que le milieu de dépôt a subi une oxydation ou une réduction. Dans le cas où il n'y a pas de corrélation (**Figure 19**) les anomalies en Eu proviennent donc de la roche source.

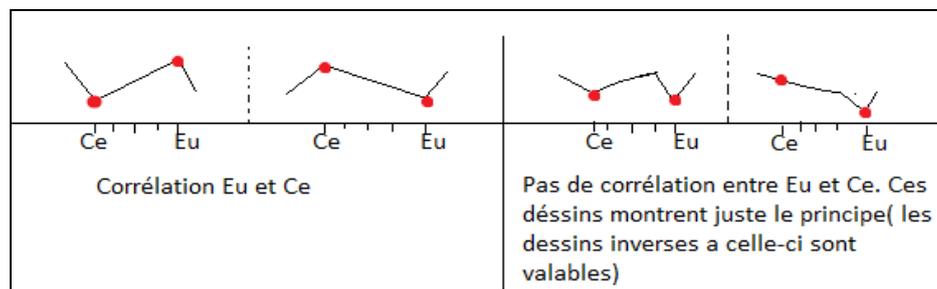


Figure 19 : Corrélations du Cérium et l'Europium

Dans notre cas, tous les graphes des fluorines obtenues par normalisation aux chondrites ne montrent aucune corrélation entre Eu et Ce. Ainsi, l'analyse des graphes indiquent donc que la modification réside dans la roche source d'alimentation en terre rare. Ainsi, La minéralisation de fluorine du district d'El Hammam n'a pas subi un changement compte tenu du milieu oxydant ou réducteur de son milieu de dépôt mais plutôt elle conserve une caractéristique importante de la roche source : la variation d'Europium.

6-2-3. Interprétation de l'origine de la minéralisation mère

En général deux fluorines qui cristallisent à partir de deux solutions de compositions différentes présenteront une distribution en terres rares différente. Le fluide au cours de sa circulation peut s'enrichir en élément terre rares, ce qui pourrait modifier le taux des éléments mais ceci correspond à l'allure de la roche mère surtout lorsqu'il n'y a pas de modification du milieu (oxydation ou réduction) de dépôt. L'interprétation des graphes est basée sur la comparaison d'un cadre global des différentes distributions semblables des terres rares des roches (**Figure 20**) avant d'émettre des hypothèses à l'échelle des secteurs et du district. La **Figure 20** représente les courbes normalisées aux chondrites des granites calco-alcalin, des gneiss, des leucogranites et des courbes typiques de Biotite, Feldspath potassique et de plagioclase. Dans le secteur de Moufrès, les courbes des échantillons (7, 8) présentent une anomalie négative en Europium (**Figure 8-a**). Ces échantillons sont prélevés à un niveau plus inférieur par rapport aux 2 autres échantillons (échantillons 5, 6) (**Figure 8-a**) dont leur courbe évoquent des anomalies positives. A une différence d'environ 50 mètres (en fonction de la profondeur) on a une répartition différente des teneurs en terre rare dans la fluorine. La fluorine verte (échantillon 7) (**Figure 8-a**), la fluorine grise (échantillon 8) (**Figure 8-a**) ont une signature géochimique semblable à celle du domaine du granite calco alcalin (**Figure 20-a**) tout en se rapprochant du domaine des leucogranites (**Figure 20-a**). Ces échantillons de fluorines (7, 8) se trouvent dans la zone à texture de brèches hydrauliques de Moufrès.

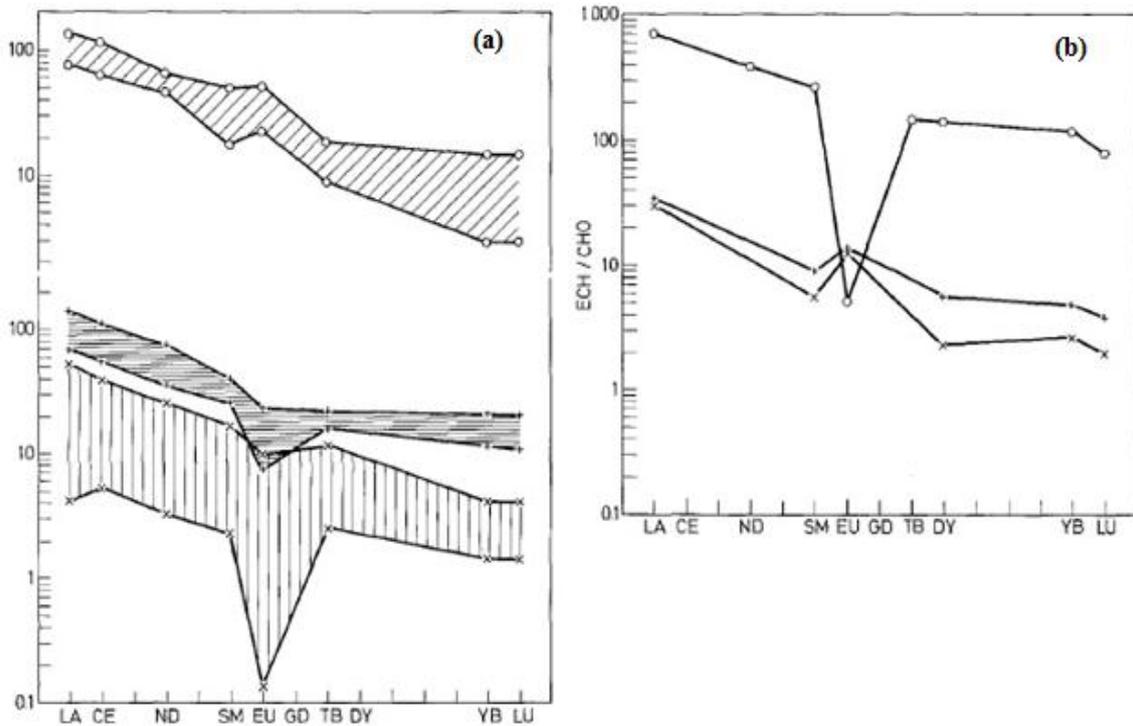


Figure 20 : a) Courbes normalisées par rapport aux chondrites [12]

-  domaine calco-alkalin,
-  domaine des leuco-granites,
-  domaine possible des gneiss,

Toujours à Moufrès, les courbes des échantillons (11, 13, 16) respectivement du granite normal (surface) (Figure 8-c), granite tacheté (surface) (Figure 8-c), et granite (sondage) (Figure 8-c) (échantillons d'une profondeur de 263 m de la surface), sont situées dans le domaine des leucogranites ; elles ont aussi des tendances dans le domaine des granites calco-alkalin. La courbe de l'échantillon 10 (Figure 8-b) qui comporte les ferromagnésiens avec peu de Tourmaline situé sur la FEH, aussi présent dans le granite d'Oued Beht, se trouve entre le domaine des granites calco-alkalin et leucogranites avec une bonne corrélation dans la zone des terres rares lourdes. Ils Viennent probablement de l'altération des leucogranites. Ainsi, une bonne corrélation des différentes courbes de la fluorine et du granite Oued Beht, indique que l'origine de la fluorine des échantillons (7, 8) provient sans doute des leucogranites. A part les échantillons (6, 7, 8) prélevés dans les brèches hydrauliques de Moufrès, tous les autres échantillons de fluorine sont issus d'une texture rubanée. Ces derniers, en plus de l'échantillon N°6 présentent tous une anomalie positive en Eu et se trouvent dans le domaine des gneiss (Figure 20-a) à l'exception de l'échantillon N°18. L'attribution des courbes de fluorine au domaine des gneiss reste toujours perplexé dans le cadre où il faut bien définir la source. La courbe de la Figure 12 (échantillon N°24) reste mieux pour comprendre la minéralisation de fluorine. Cette dernière correspond au domaine des gneiss et plus précisément le niveau le plus bas de ce domaine (Figure 20-a). L'échantillon N°24 est un corps magmatique dont il faut connaître exactement son origine. Pour cela, la comparaison de la distribution des terres rares normalisées aux chondrites des roches mères et des fractions de sable taille associée (Figure 21) reste importante. La Figure 21 montre tout d'abord que les roches très altérées même après avoir perdu certaines propriétés physico-chimiques peuvent nous renseigner sur la roche source grâce à la normalisation à la chondrite des terres rares. Malgré la modification des courbes des terres rares, la roche

mère d'origine après altération peut être déterminée. Ainsi, la comparaison entre les courbes (**Figures 21, 12**) permet de rapprocher l'échantillon N°12 à une granodiorite très altérée (Stream sédiment). Pour préciser et confirmer la source de provenance de ce géomatériau (Stream sédiment), l'étude de la répartition du Scandium (Sc), Thorium (Th) et Lanthanium (La) reste importante. Ainsi, la concentration de ces éléments correspondant aux ratios élémentaires dans les sédiments peut être utile pour la détermination de la provenance. Les différences géochimiques entre les éléments tels que Th et La (indicative d'une source felsique) et Sc et Cr (indicative d'une source mafique) ont été utilisées par plusieurs auteurs [13] afin de distinguer entre les origines : felsiques et mafiques. Ainsi, la projection de l'échantillon 24 confirme qu'il s'agit d'un gneiss (**Figure 22**). Le fait que tous les sédiments (**Figure 23**) pour UC (the upper crust), NASC (North American Shale Composite) et PAAS (Post-Archean Australian Shale) dont les valeurs sont proches indiquent que les éléments La, Th et Sc sont restés immobiles, on peut donc confirmer que l'échantillon 24 est un gneiss granitique d'origine de l'altération d'une granodiorite.

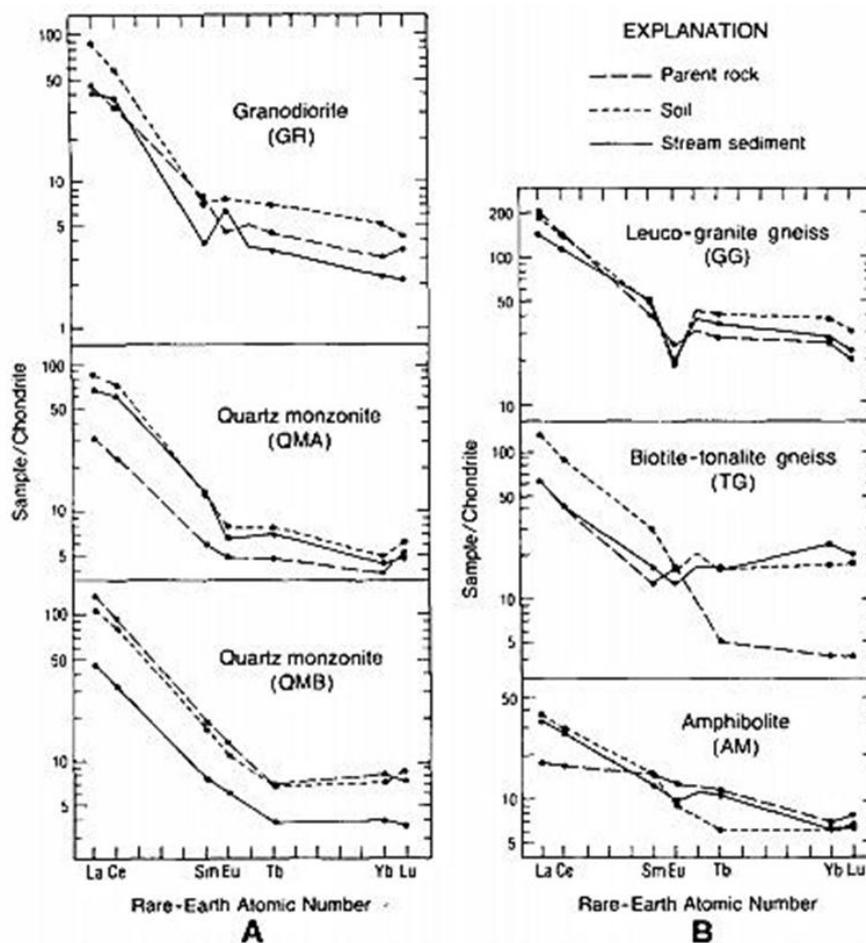


Figure 21 : Modèles de distribution des terres rares dans les roches mères et dans la fraction de sable de taille associée aux sols et aux sédiments des cours d'eau (A) ensembles d'échantillons ignée normalisés aux chondrites; et (B) ensembles d'échantillons métamorphique [14]

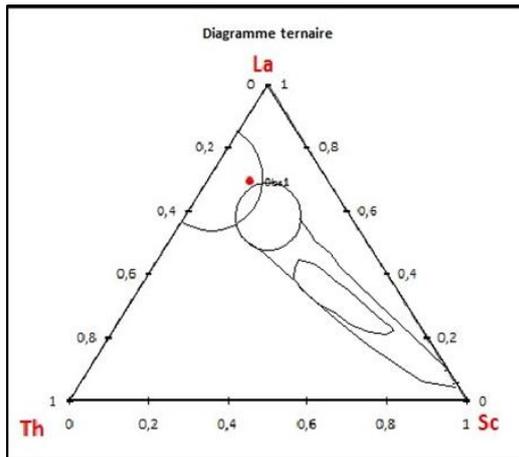


Figure 22 : Projection d'Ech N°24 sur le diagramme ternaire La-Th-Sc

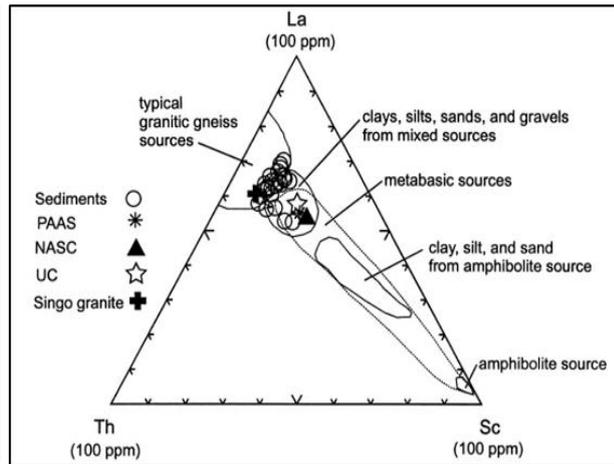


Figure 23 : Diagramme ternaire La-Th-Sc in [13]

Les courbes de la **Figure 8-a** (échantillons 5,6) présentent la même allure que la courbe de l'échantillon 24. Les variations en terres rares de ces courbes sont liées à la profondeur. L'exemple typique est celui du gisement centre où les échantillons (3,4) (**Figure 9**) sur la colline k pris en surface plus précisément sur la FEH et les échantillons (1, 2,15) (**Figure 9**) pris dans les Taille de la colline J. Ainsi, on remarque à travers leurs courbes normalisées aux chondrites correspondantes que l'échantillon 3 se détache des autres courbes et montre un enrichissement en lanthanide sauf en La. Les courbes des échantillons (5, 6) (**Figure 8-a**) dont l'échantillonnage est effectué à des profondeurs faibles par rapport à ceux du gisement centre (échantillons 1, 2, 3, 4, 15) présentent des proportions relativement faible en lanthanide. On note une variation des proportions en lanthanide en fonction de la profondeur. On peut donc aussi conclure que les courbes des échantillons (1, 2, 3, 4, 15, 5, 6, 19, 20 21, 22, 23) qui présentent la même allure que la courbe de l'échantillon 24 ont pour origine l'altération très poussée des granodiorites qui ont donné les gneiss. La fluorine a emprunté la signature géochimique des gneiss d'où son allure. Mais au fur et à mesure que le fluide circule il y a un enrichissement en élément proportionnel à la courbe de base (échantillon 24). Par conséquent, la courbe La Vs Sm (**Figure 14**) montre une parfaite corrélation de la distribution des terres cériques de la fluorine. Lorsque l'on projette les données (La Vs Sm) du granite Oued Beht, les échantillons (7, 8) sont très proches de ce dernier.

L'échantillon 24 est aussi proche des échantillons (5, 6) : ce qui indique que plus la source de la minéralisation de la fluorine est proche, plus la signature géochimique est fiable. En effet, les échantillons (5, 6) montrent des courbes plus proches de l'échantillon 24 par rapport aux autres courbes de fluorine à anomalie positive (échantillons 7, 8). Ainsi, le milieu de dépôt de fluorine à Achemache, Tlatzma et Gisement centre est respectivement très loin de la source donc de granodiorites dont l'altération intense marque le domaine gneiss granitique. Selon [11], en milieu peu complexant, l'entraînement quantitatif des lanthanides dans la fluorine entraîne une grande variabilité dans les teneurs absolues de chaque élément à l'intérieur même d'un échantillon, ces derniers étant le reflet des variations locales des conditions de dépôt. De ce fait, trois facteurs expliquent la variation de la teneur : la complexation (apport de solution nouvelle), l'altération fluide-encaissant (apport de solution nouvelle) et la profondeur par rapport au milieu de dépôt-la source de la minéralisation. Les corrélations Tb Vs Lu (**Figure 16**) et Tb Vs Yb (**Figure 14**) n'ont pas montré une corrélation parfaite. La fluorine jaune (échantillon 18) (**Figure 10**), quant à elle provient d'une remobilisation vu qu'elle provient d'un réservoir infini. L'échantillon 12 qui est une cornéenne proche du granite montre l'influence de celui-ci sur sa teneur en terres rares. L'échantillon 17 qui est un schiste qui encaisse la minéralisation ne correspond à aucun spectre de terres rares.

6-2-4. Synthèse géochimique

L'ensemble des courbes nous révèlent plusieurs informations sur la distribution en éléments terres rares dans la fluorine :

- la fluorine de texture bréchique (brèches hydrauliques) de couleur verte et grise sombre présente deux origines des terre rares qu'elles contiennent : une source des leucogranites (granite Oued Beht) et une autre des gneiss granitiques. Une mise en place de la fluorine dans un système clos avec apport de solution nouvelle et la présence d'un réservoir fini qu'est le granite (granite Oued Beht et gneiss granitique) ;
- la fluorine verte à texture rubanée (filonien) qui est présente sur tout le district a pour source de ses éléments en Terres rares, le gneiss granitique. Une mise en place de la fluorine dans un système clos avec apport de solution nouvelle et la présence d'un réservoir fini qu'est le gneiss granitique ;
- la fluorine jaune en quantité très infime dans le district contient les éléments en terres rares qui proviennent d'une remobilisation ;
- l'analyse géochimique montre également que ces gneiss granitiques proviennent de l'altération des granodiorites. Ces dernières non aperçus en surface sont situés en profondeur et s'étendent sur tout le district, leur présence est soulignée par la présence en éléments terres rares de son altération contenue dans toute la fluorine du district d'El Hammam ;
- Les terres rares contenues dans la fluorine nous retracent l'origine de la minéralisation. Il y a donc deux origines de la minéralisation de la fluorine ;
- La première est issue d'une activité hydrothermale magmatique car ces courbes indiquent des corrélations avec le granite : l'altération hydrothermale provient d'un fluide tardi-magmatique riche en fluor avec probablement un fluide extérieur riche en éléments alcalins (phénomène d'assimilation de fluides) ;
- La seconde est issue d'une altération hydrothermale. La preuve est que la signature géochimique provient d'un gneiss qui est lui-même le résultat de l'altération des granodiorites. C'est la phase hydrothermale qui a mis en place la majeure partie des minéralisations du district ;
- La fluorine issue de l'altération hydrothermale présente dans les brèches hydrauliques et les textures rubanées indiquent que le fonctionnement des deux activités hydrothermales étaient actif plus ou moins au même moment.

Toutes ces affirmations confirment et complètent l'hypothèse émise dans l'étude pétrographique. Une corrélation des deux études reste importante en termes d'interprétation.

7. Conclusion

Le raisonnement adopté repose à la fois sur une étude pétrographique et géochimique des terres rares normalisés aux chondrites. Notre démarche diffère de la démarche des auteurs antérieurs qui utilise le variogramme Tb / La et Tb / Ca pour définir le type et l'origine du gisement de fluorine. Notre approche s'appuie sur une étude pétrographique et géochimique avec un échantillonnage sur tous les secteurs en activité du district. L'analyse pétrographique nous a permis de formuler deux hypothèses dont : la présence d'un fluide hydrothermal magmatique d'origine du granite Oued Beht. Ce fluide hydrothermal issu d'une assimilation (dont certaines enclaves et xénocristaux en témoignent) fluide alcalin et fluide magmatique. La minéralisation de fluorine de texture rubanée et bréchique trouve son origine dans l'altération hydrothermale d'un corps magmatique profond. Les courbes des terres rares normalisées aux chondrites

sont en corrélations avec l'étude pétrographique. Elles ont confirmé qu'il y a également deux sources de la minéralisation de fluorine. En plus de cela, la géochimie nous a permis d'avoir plus d'information sur le corps magmatique profond qui est présent sur tout le district : il se trouve dans le domaine des gneiss qui est d'origine des granodiorites. La première source de minéralisation d'âge permien a dû être remobilisée avec une certaine réconcentration de fluorine par la deuxième source hydrothermale fort probable d'âge triasique. La délimitation des leucogranites d'Oued Beht par des méthodes géophysiques pourraient aider à trouver des gisements probables de fluorine surtout de texture bréchique. La prospection au SW de Moufrès s'avère porteur de minéralisation à cause de la proximité des leucogranites. La présence d'une masse de granodiorite présent en profondeur ouvre la porte à d'autre recherche pour confirmer avec exactitude toutes ses caractéristiques. Les granodiorites pourraient expliquer d'autres phénomènes métallogénique sur toute l'étendue du district voir du Maroc central.

Références

- [1] - A. RACHID, R. EL MOURAOUAH, F. JIRA, M. SOUYAH, T. RACHID et O. NACIRI, <<Apport de la modélisation 3D par DATAMINE dans le secteur Achemache du district minier El Hammam (NE du Massif Central du Maroc)>>. *Afrique Science*, 12 (6) (2016) 365 - 382
- [2] - M. JEBRAK, "Contribution à l'histoire naturelle des filons (F-Ba) du domaine varisque Français et marocain. Essai de caractérisation structurale et géochimique des filons en extension et en décrochement". Unpublished PhD thesis. Document du Bureau de Recherche Géologique et Minière, 99 (1984) 510 p.
- [3] - A. CHEILLETZ, D. GASQUET, F. FILALI, D. A. ARCHIBALD & M. NESPOLO, <<A late Triassic 40Ar / 39Ar age for the El Hammam high-REE fluorite deposit (Morocco) : mineralization related to the Central Atlantic Magmatic Province>>. CR. Acad. Sc. Nancy, (2010) 223 - 229 p.
- [4] - O. ZEMRI, M. BOUABDELLAH, M. JÉBRAK, A KLÜGEL, M. SADEQUI, A. GAOUZI, L. MAACHA, <<Geology and REE Geochemistry of the El Hammam REE-Rich Fluorite Deposit (Central Meseta, Morocco)>> MINERAL RESOURCES IN A SUSTAINABLE WORLD 13th SGA Biennial Meeting 2015. Proceedings, Vol. 4, (2016) 1679 - 1682
- [5] - PH. SONNET, <<Les skarns à tungstène, étain et bore de la région d'El Hammam, Maroc Central>>, Thèse doctorat d'état Fac.Sci.App. Univ. Catholique de Louvain, (1981) 315 p.
- [6] - DARRELL J. HENRY AND BARBARA L. DUTROW, << the incorporation of fluorine in tourmaline : internal crystallographic controls or external environmental influences>>, *The Canadian Mineralogist*, Vol. 49, (2011) 41 - 56 p.
- [7] - J. TUDURI, <<Processus de formation et relations spatio-temporelles des minéralisations à Or et Argent en contexte volcanique Précambrien (Jbel Saghro, Anti-Atlas, Maroc). Implications sur les relations déformation-magmatisme-volcanisme-hydrothermalisme>>, *Géologie appliquée*. Université d'Orléans, (2005) 428 p.
- [8] - M. ABDEL-FATTAH ABDEL-RAHMAN, <<Mineral chemistry and paragenesis of astrophyllite from Egypt>>, *Mineralogical Magazine*, 56 (1992) 17 - 26 p.
- [9] - A. OULD ELY LEKOURIE, H. OUAZZANI, A. GAOUZI, M. SOUYAH, H. EL Ouardi et A. MAHMOUDI, <<Quelques arguments pétrographiques, géochimiques et structuraux de la mise en place syn-tectonique des dolérites d'El Hammam et Ouljet Essoltane (NE du Massif Central Marocain)>> *Science Lib Editions Mersenne*, Vol. 5, N°131210 (2013) 1-21 p.
- [10] - L. MARCHAND, <<Contribution à l'Etude des lanthanides dans la fluorine>>, Thèse de spécialité, Université d'Orléans, (1976).

- [11] - L. MARCHAND, D. JOSEPH, J. C. TOURAY, M. TREUIL, <<Critères d'analyses géochimiques des gisements de fluorine bases sur l'étude de la distribution des lanthanides - application au gite de Maine (71- Cordesse, France)>>, *Mineral. Deposita (Berl.)*, 11 (1976) 357 - 379
- [12] - C. GRAPPIN et M. TREUIL, <<Le Spectre des Terres Rares de la Fluorine en Tant Que Marqueur des Propriété du Milieu de dépôt et des Interactions Entre Solutions Minéralisantes et Roches Sources>>. *Mineral. Deposita (Berl.)*, 14 (1979) 297 - 309
- [13] - W. A. GEORGE, NYAKAIRU AND CH. KOEBERL, <<Mineralogical and chemical composition and distribution of rare earth elements in clay-rich sediments from central Uganda>>, *Geochemical Journal*, Vol. 35, (2001) 13 to 28 p.
- [14] - L. ROBERT, CULLERS, ABHIJIT BASU and LEE J. SUTTNER, <<geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the tobacco root batholith, Montana, U.S.A>> *Chemical Geology*, 70 (1988) 335 - 348