

## **Etudes pétrographique et minéralogique des minéralisations sulfurées polymétalliques des formations viséennes de la faille des Jbala: Nature et origine de la minéralisation (District El Hammam, Maroc Central)**

### **[ Petrographic and mineralogical studies of the polymetallic sulphide mineralization of the Visean formations of the Jbala fault: Nature and origin of mineralization (El Hammam District, Central Morocco) ]**

*Lotfi Fouad<sup>1</sup> and Aissa Mohamed<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Faculté polydisciplinaire Taroudant, Université Ibn Zohr, Exploration et Gestion des Ressources Naturelles et Environnementale: EGERNE Hay El Mohammadi (Lastah), BP. 99, 271, CP. 83000 Taroudant, Morocco

<sup>2</sup>Faculté des sciences Meknès, Université Moulay Ismail, Morocco

---

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In the district of El Hammam and precisely in the sector of Ticht Ouguas and along the fault of Jbala, which materializes in this place the abnormal contact between the anticlinorium of Khouribga-Oulmès and the synclinorium of Fourhal-Telt, the presence sulphides disseminated in the sediments, the discovery of a major gravimetric anomaly in these sectors and above all the recognition and description, for the first time, of volcanic pillow lavas (pillow lavas), prompted the undertaking of prospecting for sulphide deposits. In this sense, two cored boreholes (SCJB1, SCJB2) of a few hundred m were implanted in the valley of the Boutoukret wadi upstream of the mine, almost on the route of the Jbala fault.

The region of the Jbala fault has experienced multiple geological events, which can be summarized in two major stages. The first stage corresponds to Visean turbiditic sedimentation in an active context of synsedimentary tectonics, followed by a second stage which corresponds to a major deformation with a NE-SW structure (post-Visean event) materialized by the functioning of the inherited fault, a tourmalinization (introduction of boron probably in relation to a thermal flux of deep origin (placement of the Achemèche granite), shear under conditions of brittle deformation, and finally a placement of sulphides.

The petrographic and mineralogical study of a certain number of samples from these drillings supplemented with those of surface made it possible to recognize petrographic facies (1) of the sedimentary rocks corresponding to an alternation of limestone benches, sandstones and dark pelites having undergone slight metamorphism hardly exceeding the degree of greenschist, (2) igneous rocks: diorites, dolerites and pillow lavas probably similar to a keratophyre, and (3) sulphides present along the entire length of the boreholes. Depending on the arrangement and lithological nature of the formations that host these sulphides, several types have been distinguished: either disseminated (essentially pyrite and pyrrhotite) or in fine laminae predominantly pyritic, or polymetallic (pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite and especially sphalerite) associated with carbonate levels, more or less skarnified and later in fissures parallel with the sulphides of the fluorite veins.

**KEYWORDS:** Central Morocco, Jbala Fault, sulphides, skarns.

**RESUME:** Dans le district d'El Hammam et précisément dans le secteur de Ticht Ouguas et le long de la faille des Jbala, qui matérialise à cet endroit le contact anormal entre l'anticlinorium de Khouribga-Oulmès et le synclinorium de Fourhal-Telt, la présence de sulfures disséminées dans les sédiments, la mise en évidence d'une importante anomalie gravimétrique dans ces secteurs et surtout la reconnaissance et la description, pour la première fois, de laves volcaniques en coussins (pillow lavas), ont incité à entreprendre des travaux de prospections à la recherche d'amas sulfurés. Dans ce sens, deux sondages carottés

(SCJB1, SCJB2) de quelques centaines de m ont été implantés dans le vallon de l'oued Boutoukret en amont de la mine, quasiment sur le tracé de la faille des Jbala.

La région de la faille des Jbala a connu de multiples événements géologiques, qui peuvent être résumés en deux grands stades. Le premier stade correspond à une sédimentation turbiditique viséenne dans un contexte actif de tectonique synsédimentaire, suivi par un second stade qui correspond à une déformation majeure avec une structure NE-SW (événement post-viséen) matérialisé par le fonctionnement de la faille héritée, une tourmalinisation (introduction du bore en relation probablement avec un flux thermique d'origine profonde (mise en place du granite d'Achemèche), un cisaillement dans des conditions de déformations cassantes, et en fin une mise en place des sulfures.

L'étude pétrographique et minéralogique d'un certain nombre d'échantillons provenant de ces sondages complétée à ceux de surface a permis de reconnaître des faciès pétrographiques (1) des roches sédimentaires correspondant à une alternance de bancs calcaires, grès et de pélites sombres ayant subi un léger métamorphisme ne dépassant guère le degré du schiste vert, (2) des roches magmatiques: diorites, dolérites et pillow lavas vraisemblablement similaire à un kératophyre, et (3) des sulfures présents sur toute la longueur des sondages. Selon l'agencement et la nature lithologique des formations qui encaissent ces sulfures, plusieurs types ont été distingués: soit disséminées (essentiellement pyrite et pyrrotite) ou en lamines fines à dominance pyriteuse, soit polymétallique (pyrite, pyrrotite, chalcopryrite et surtout à sphalérite) associés à des niveaux carbonatés, plus ou moins skarnifiés et tardivement en fissures parallèlement avec les sulfures des filons de fluorine.

**MOTS-CLEFS:** Maroc central, Faille des Jbala, sulfures, skarns.

## 1 INTRODUCTION

Le Maroc, pays minier par excellence, est un puzzle de domaines géologiques très différents, façonnés par plusieurs orogènes dont au moins trois successifs: Panafricaine, Hercynienne et Alpine. Il a montré à tous les temps un grand intérêt par ses nombreux gisements et concentrations minérales d'âge et de types variés. Ce pays situé au nord du continent africain (fig. 1), a produit une diversité de ressources minérales et ne cesse d'alimenter le marché mondiale (phosphates, plomb, zinc, cuivre, or, argent, cobalt, manganèse, fluorine, barytine etc.). Certaines minéralisations sont en nette relation avec des phases géodynamiques particulières liées à des provinces et époques métallogéniques bien distinctes à savoir les minéralisations des domaines éburnéens et panafricains de l'Anti-Atlas (Co-Cr (Bou Azzer), Au-Cu (Bleida), Au, Ag (Tiouit et Imiter), les minéralisations polymétalliques volcanogènes (VMS) hercyniennes à Cu, Pb, Zn, Fe des Jebilet –Guemassa (Hajjar, Kettara, Draa Sfar, Koudiat Aïcha, Laachach...

La partie septentrionale de la méseta marocaine comporte un certain nombre de gisements et/ou indices minéralisés en Sn, W, Pb, Zn, Ag, Sb, F... Ils sont spatialement associés aux massifs granitiques hercyniens. L'activité magmatique du socle Nord-mésétien est caractérisée par la mise en place à l'Ouest et au centre d'importantes intrusions granitiques: *Zaër*, *Ment*, *Oulmès*, de plusieurs pointements de moindre importance: *Moulay Bouazza*, *Aouam*, *Oued Beht* et de massifs, encore à l'état hypothétique, comme le granite enfoui d'*Achemèche* (El Hammam). Cette activité magmatique a engendré directement ou indirectement, la mise en place d'une minéralisation assez variée localement d'importance économique dont on peut en citer:

- Les minéralisations stanno-wolframifères d'Oulmès, de Zaër et d'El Hammam,
- La minéralisation plombo-zincifère de Jbel Aouam,
- La minéralisation fluorée du district d'El Hammam

Au début des années 90, les géologues de Reminex, basés à la mine d'El Hammam ont lancé un programme d'exploration visant à mettre en évidence l'existence ou non de concentration des sulfures en quantité économiquement exploitable. Ce programme a été lancé en s'appuyant sur trois principaux arguments:

- o Une anomalie magnétique

La première confirmation au sol de l'anomalie magnétique a été effectuée en 1992 par la compagnie géophysique de SAGAX S.A, à l'aide des techniques de "VLF" et "MAG" au sol. Cette étude a été commandée par REMINEX S.A, dont l'attention s'est portée sur les terrains d'âge paléozoïque hercyniens, suite à la découverte en 1984 de l'important gisement de *Hajar* situé dans la région de Marrakech. La présence de chapeau de fer et l'abondance de géodes et d'oxyde de fer, quartz géodique, quartz vert brun riche en chlorite renfermant de la galène et de la sphalérite, a conduit à sonder au voisinage de l'Oued Boutoukret un ensemble de forages afin d'accéder aux formations géologiques composant cette zone et qui n'affleure pas en surface.

- Découverte de volcanisme intraplaque (pillow lavas)

Les travaux de recherches géologiques entrepris au secteur d'Achemèche (Ticht Ougas) située au NNE de notre site étude à environ 4 Km [1], ont signalé la présence de laves intraplaques interstratifiées au sein de la série du viséen supérieur supracalcaire. La forme en coussin de ces laves est très évidente. L'horizon est constitué de l'empilement de ces coussins décimétriques à métriques. Les bords de chaque coussin sont figés (faciès de trempe microgrenue), et le cœur montre des fractures radiales.

- Contexte géologique analogue à celui de Hajar (VMS–Jebilet Guemassa)

Le gisement de Hajar, est un gisement polymétallique important à Pb-Zn-Cu (sphalérite, chalcopryrite, galène, pyrrhotite). Sa découverte est à la base d'une étude aéromagnétique effectuée en 1968, suivie par la confirmation de ces anomalies au sol. Le gisement de Hajar est un amas sulfuré de type VMS (Volcanic Massive Sulfide), associé à un volcanisme bimodal [2]. C'est suite à cette découverte et dans ce sens qu'une étude plus approfondie des anomalies magnétiques du Maroc Central des terrains paléozoïques de la série viséenne, dont celle du secteur de la faille des Jbala, a été décidée.

La problématique et le contexte de notre étude se trouvaient donc posés à la suite des arguments énumérés. Existait-il de véritables minéralisations sulfurées dans la zone de la faille des Jbala?, et la présence de chapeau de fer en grande extension sur le terrain pourrait-il refléter l'image et l'indication d'un amas sulfuré similaire en profondeur?

Pour répondre à ces questions, des sondages carottés ont été réalisés par Reminex, dont nous avons empruntés les échantillons étudiés et analysés. Cette étude a porté essentiellement sur des méthodes d'études classiques basées essentiellement sur l'observation macroscopique tenant compte de la lithologie et de la nature des roches, complétant l'acquisition de données de terrains (sédimentologie; magmatisme; cartographie détaillée; établissement de coupes: log stratigraphiques de sondage...), aussi bien en transmission qu'en réflexion tenant compte de la composition et de la structure des roches (pétrographie) et des concentrations minéralisées en sulfures (métallographie). Les roches encaissantes ont été analysées chimiquement pour leur contenance en éléments majeurs et traces.

Les résultats permettront de déterminer les caractéristiques et l'agencement et l'ordre de mise en place des sulfures au sein des roches encaissantes. Ceci pourrait apporter une réflexion pétrogénétique permettant de comprendre et d'expliquer les particularités du secteur de la faille des Jbala à petite échelle et à grand échelle au niveau du district d'El Hammam par rapport aux autres gisements du Maroc Central, notamment les modalités de développement des minéralisations sulfurées.

## 2 CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU MAROC CENTRAL

### 2.1 CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU MAROC CENTRAL

La Méséta marocaine constitue la chaîne hercynienne du Maroc septentrional. Sa partie occidentale englobe trois massifs principaux qui sont du sud au Nord: *les Jebilettes, les Rhamnas et le Maroc central* ou le *massif hercynien central* (fig. 1). Ce dernier présente à sa partie Ouest une étroite zone de continuité avec les Rhamnas, qui sont séparés par les bassins célèbres des phosphates. Il occupe la zone septentrionale de la méséta marocaine où les terrains s'étagent depuis le précambrien jusqu'aux faciès conglomératiques rouges du permien. La couverture de ce socle hercynien est formée soit de calcaires d'âge mésozoïque du Moyen Atlas, soit de formations mésozoïques et cénozoïques du plateau où se situent les grands gisements de phosphate.

Le Maroc central représente une mégafenêtre de terrains paléozoïques recouverts en discordance majeure par des terrains d'âge plus récent allant des formations triasico-liasiques, tertiaires, jusqu'aux terrains quaternaires (fig. 1).

Les affleurements du précambrien n'apparaissent que de façon locale, au niveau de quelques boutonnières (région de Goaida) ou dans les horsts tels que celui de jbel Lahdid. Ces rares affleurements témoignent du plongement vers le NW du carton africain [3].

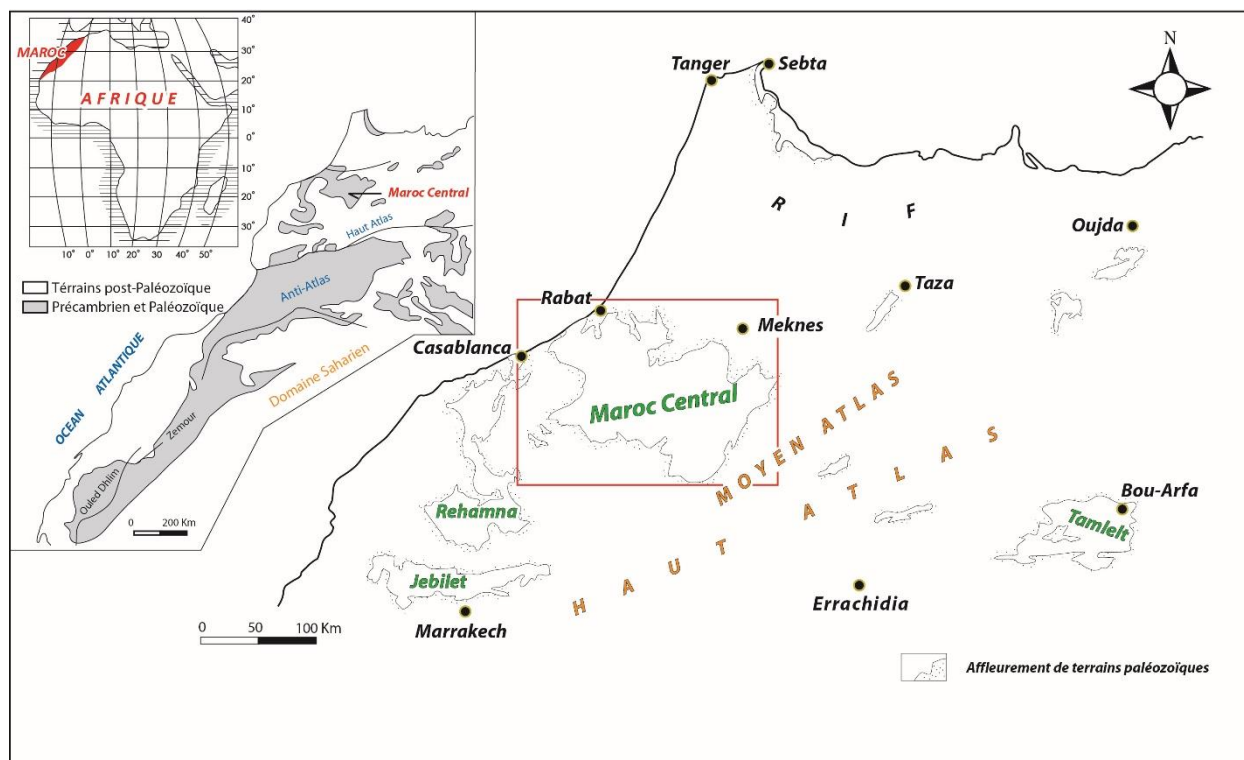


Fig. 1. Situation géographique du Maroc central

## 2.2 SÉRIES STRATIGRAPHIQUES DU MAROC CENTRAL

Le Maroc Central apparaît comme un vaste bombement, constitué par une succession d'anticlinoriums et synclinoriums séparés par des mégafailles qui ont joué en limite de bassins au carbonifères (fig. 2), et en cisaillement lors des compressions tardi-hercyniennes [4].

Durant le paléozoïque inférieur, se sont déposés des sédiments de plate-forme sur un socle précambrien mal connu, formant une épaisse série cambro-ordovicienne. Cette dernière montre, à sa base, des calcaires parfois associés à des roches volcano-détritiques, puis des schistes et des quartzites formant les principaux affleurements des anticlinoriums de bled Zayane, et de l'anticlinorium Khouribga-Oulmès. Au silurien une vaste transgression glacio-eustatique a donné des dépôts de schistes noirs à graptolites très similaires à ceux connus en Europe.

Les symptômes précurseurs de l'orogénèse hercynienne ne font leur apparition qu'au paléozoïque moyen, notamment, au dévonien inférieur, provoquant des subsidences différentielles et des dépôts de carbonates récifaux sur des rides [5]. La phase bretonne se manifeste entre le fammien et le viséen supérieur par la formation de grands plis déversés vers l'Est et développant une schistosité de flux.

Au viséen supérieur, il y a eu une transgression générale qui a donné une épaisse série pélitique. Celle-ci comporte à la base des conglomérats et des calcaires. Elle passe progressivement à des flyschs viséo-namuriens d'extension considérable.

Un volcanisme acido-basique, associé à cette sédimentation dans les Jebilettes, est pressenti également au Maroc Central. La deuxième phase majeure de plissement dite namuro-westphalienne (phase asturienne) a eu lieu avant le dépôt du westphalien supérieur. Elle est accompagnée de chevauchements, de schistosité et d'un métamorphisme épizonal. Le relâchement des contraintes compressives est sans doute à l'origine de la mise en place des microdiorites et de l'ensemble des stocks granitiques calco-alcalins du Maroc central exprimés aux environs de 290 MA [6].

Le stéphano-autunien est caractérisé par une activité volcanique différenciée, associée à des molasses conservées dans des bassins de bordure du Maroc Central [7]. De grands décrochements morcellent l'ensemble du domaine varisque sur lequel repose en discordance le trias argilo-détritique à grands épanchements basaltiques (ouverture de l'atlantique).

### 2.3 APERÇU STRUCTURAL DU MAROC CENTRAL

Le Maroc Central constitue une portion de la chaîne hercynienne présentant la particularité de ne pas avoir été perturbé par les mouvements alpins. La déformation hercynienne a structuré le Maroc central en plusieurs unités anticlinoriales et synclinoriales de direction générale NE-SW, séparées par de mégafailles [8]; [9]; [10]; [11]; [12], dont celle de Smaala-Oulmès. L'ensemble Nord-Mesétien, défini précédemment est composé de cinq grandes zones structurales [10]. Elles sont caractérisées par un ensemble de plis de très grandes ampleurs et de mégafailles ayant joué en limite de bassin au carbonifère et en cisaillement lors des compressions tardi-hercyniennes (fig. 2). Elles sont de l'Ouest à l'Est:

- Le môle côtier ou anticlinorium de Casablanca à matériel cambro-ordovicien est marqué par une déformation de faible intensité matérialisée par des plis ouverts et un métamorphisme épizonal;
- La zone synclinale occidentale de Ben-slimane et celle de Sidi Bettach, est constitué de flyschs dévono-dinantiens séparées par la zone de l'oued Cherrat à matériel siluro-dévonien. La partie Nord de cette zone synclinale est limitée par l'anticlinorium de Rabat-Tiflet de direction E-W ([13];
- Plus à l'Est, se trouve l'anticlinorium de Kouribga - Oulmès, séparé du synclinorium de Fourhal-Telt par l'accident majeure de Smaala-Oulmès, est occupé dans sa grande partie sud-ouest, par des terrains cambro-ordoviens lesquels sont structurés en une succession d'anticlinaux et marqué par l'intrusion des massifs granitiques de Zær et d'Oulmès, plus les apophyses acides d'El Hammam ;
- Le synclinorium de fourhal-Telt est occupé par des flyschs viséo-namuriens, percée par l'intrusion granitique du Ment [13]; [10];
- A l'extrémité orientale, la zone de kasba Tadla-Azrou, en pays des Zayane appelé aussi zone de nappes, est constitué d'anticlinaux formés de terrains cambro-ordoviens et de formations viséennes allochtones [14]; [12]. Cette zone connaît l'affleurement de minuscules stocks granitiques intrusifs de Jbel Aouam [15]; [16]; [17].

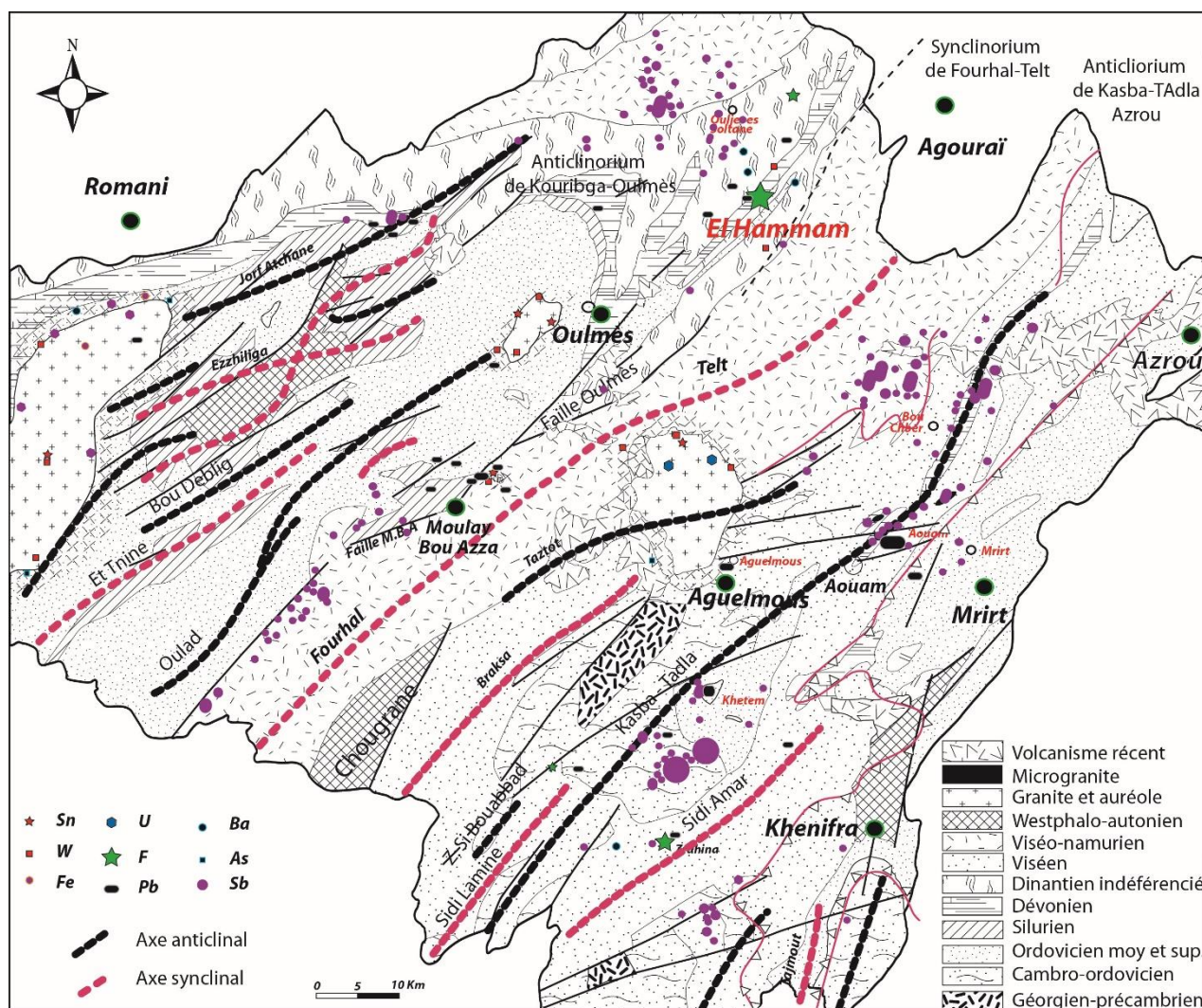


Fig. 2. Carte géologique, structurale et gîtologique du Maroc Central

## 2.4 ESQUISSE GÏTOLOGIQUE DU MAROC CENTRAL

Le Maroc Central constitue une vieille région minière du Maroc, Saadi (1975) [18] signale que les exploitations de plomb argentifère du Jbel Aouam ont fonctionné dès le X<sup>ème</sup> siècle. Plus récemment le Maroc Central a fournit essentiellement du plomb et du zinc, de l'étain-tungstène, du fer, du manganèse, de l'antimoine, et ces dernières années de la fluorine et de la barytine (fig. 2).

- L'étain et le tungstène sont très présents dans le Maroc Central, qui constitue une véritable province à étain et tungstène puisque ces deux minerais sont toujours rencontrés auprès de plusieurs massifs de granites du Maroc Central, en particulier au sud du granite d'Oulmès. La mine d'El karit a fermé en 1973, après avoir produit 650 tonnes de concentré de cassitérite SnO<sub>2</sub>;
- Le plomb-zinc-argent a néanmoins constitué la principale production en valeur du Maroc central: le district filonien du Jbel Aouam est l'un des producteurs de Pb-Ag du Maroc, avec 12 à 15000 tonnes de Pb Métallique produit par an. D'autres filons sont également connus, en particulier ceux de Moulay Bou Azza ;
- La fluorine constitue en valeur la deuxième production du Maroc Central, grâce à l'important district d'El Hammam. Les autres indices sont beaucoup moins importants sous forme d'indices fissuraux centimétriques ;

- L'antimoine est lui aussi abondant, sous forme de très nombreux filons ou imprégnations dans les calcaires du viséen [19]; ([20]; [21]. Les quelques 25000 tonnes produites par le Maroc Central proviennent surtout du district de Timekhdoudine (Champ de kef en Sour) et celui de Tourtit-Masser Amane-Ich Ou Mellal et Bou Igouda ;
- La barytine fait l'objet d'exploitations artisanales depuis longtemps. Les gîtes sont de deux types, tantôt des filons de socle, associés à la fluorine, du Pb-Zn, de l'antimoine, tantôt d'importantes imprégnations dans les carbonates de la base de transgression viséenne, telle celles de guertila, Bou Oussel, et Aberki ;
- le fer provient de trois gîtes, Ait Amar, Tiflet et Boulhaiut. Seul le premier a eu une certaine importance puisque 4 millions de tonnes de minerais à 46% ont été produits entre 1937-1955. Cette production a été extraite d'un niveau oolithique de l'ordovicien ;
- La production du manganèse est très limitée: 400 tonnes ont été produites à partir des dolomies manganisifères du Boulbab, près de la ville de Mrirt.

### 3 CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE REGIONAL: DISTRICT MINIER EL HAMMAM

#### 3.1 HISTORIQUE ET TRAVAUX ANTÉRIEURS

Le district d'El Hammam, plus connu dans la littérature sous le nom de L'Achemèche, avait attiré l'attention des prospecteurs géologues par la présence de plusieurs roches magmatiques (microgranites, dolérites, rhyolites), et par l'existence d'un granite enfoui peu profond signalé par des apophyses affleurantes sur le lit de l'Oued Beht.

L'existence de la fluorine dans le secteur est signalée par J. Barthoux dès 1932 [22], toutefois les travaux de recherches connus dans la région visaient le Plomb, et révélait un possible intérêt économique des minéralisations fluorifères.

Vers 1930, H. Termier lève la première carte géologique du Maroc Central. Il attribue tout le secteur à des terrains viséens, et montre la présence de nombreuses barres carbonatées de directions NE-SW, parfois métamorphosées, et de filons de dolérites et de microgranites [8].

Après la deuxième guerre mondiale, une première exploitation artisanale est entreprise par les frères Dubois. Ils avaient extrait 750 tonnes de fluorine métallurgique du filon Berkamène. Des travaux préliminaires de J. Agard et PH. Morin [23] montrent en 1951 la présence d'un métamorphisme de contact. Frehring (1954) [24] et Gaudefroy (1954) [25] se sont intéressés à la prospection de ces minéralisations et à l'étude minéralogique des indices borées. En 1965, Kosakevitch [19] étudiait la succession paragenétique du filon principal, tandis que Gogney et Agard précisaient la cartographie de la zone minéralisée. Une première synthèse géologique de tous ces travaux a été présentée par Agard en 1966 [3]. Cette synthèse a permis de lancer une importante campagne de recherche et de prospection après une première exploitation avortée (1963-1964), ayant produit 16000 tonnes de fluorine. A l'issue de celle menée par El Maghraoui [26], l'exploitation des filons fluorés par la société SAMINE-ONA a redémarré en 1974. Pendant cette période exploratoire, des travaux complémentaires ont permis de préciser certains éléments structuraux du site [27], avec estimation à partir de l'étude des inclusions fluides les conditions thermobarométriques et la nature chimique du fluide ayant entraîné la précipitation de la fluorine [28].

#### 3.2 DONNEES GEOGRAPHIQUES ET CLIMATIQUES DU DISTRICT EL HAMMAM

Le district d'El Hammam est situé au Nord Est du Maroc Central, dans une région montagneuse, à 60 Km environ au Sud Ouest de la ville de Meknès. Il est accessible par deux voies:

- Route goudronnée régionale (R701) reliant Meknès à Oulmès, puis en passant par une route carrossable, d'environ 16km de longueur, reliant le village d'Ouljet Essoltane et la mine d'El Hammam;
- Route carrossable reliant Agourai et la mine d'El Hammam en passant par Achemache.

La région présente une altitude moyenne comprise entre 540 (oued Beht) et 1230m (crête de Jbel Achemache) avec un couvert végétal dense en état de dégradation.

Par sa position, la zone d'El Hammam jouit d'un climat de type méditerranéen à savoir des influences atlantique, méditerranéenne et continentale saharienne. La pluviométrie moyenne ne dépasse pas 700 mm avec des précipitations mal réparties durant l'année (rare de mai à octobre) et très irrégulières d'une année à l'autre. Les températures moyennes annuelles de la région oscillent entre 16 et 19°C. Les températures estivales sont élevées. Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des maxima moyens de 34 à 36 °C et les mois les plus froids s'étalent de décembre à février dont la moyenne des minima est de 0 à 15°C.

La zone d'El Hammam est drainée par l'Oued Beht au sud et ses affluents l'Oued Laktib et l'Oued Boutoukret. Ce dernier correspondant au talweg qui sépare deux collines (J et K), portant les principaux travaux miniers. L'Oued Beht, affluent de la rive gauche de l'Oued Sebou, est un cours d'eau pérenne prend naissance du Moyen Atlas, avec des apports moyens annuels sont de l'ordre de 410 MM<sup>3</sup>. Cet oued représente la seule source d'alimentation en eau destinée à la potabilisation, pour répondre aux besoins de la mine El Hammam en eau potable.

### 3.3 SÉRIE STRATIGRAPHIQUE

Les terrains qui composent la série stratigraphique du district d'El Hammam, donnent des âges qui vont du silurien au namurien probable (fig. 3). Leur étude est rendue difficile par le métamorphisme qui les affecte, néanmoins la reconnaissance de séries bien définies reste possible.

- **Silurien:** Schistes noirs argileux à graptolites, présentant localement un aspect plus ou moins gréseux et micacés. Cette formation renferme des bancs de quartzite blanc de puissance variable (de 1 à 10m). Elle a été décrite pour la première fois par J.Agard en 1966 [3] ;
- **Dévonien:** Schistes jaunes à tentacules et trilobites, associés à des petits bancs gréseux, mais surtout à des schistes à nodules calcaires aplatis constituant de véritables bancs de plusieurs mètres d'épaisseurs. Ce faciès ressemble très fortement au faciès griottes caractéristique du dévonien dans d'autres localités du Maroc ;
- **Viséen supérieur:** Les formations du viséen supérieur constituent, et de loin, la majeure partie des terrains représentés dans la région d'El Hammam. Elles se présentent toujours en discordance sur les terrains sous-jacents du silurien et du dévonien. La série viséenne, qui abrite l'ensemble des minéralisations de ce district, est classiquement divisée en trois termes :
  - *Série de base:* composée de schistes gréseux, de microconglomérats et de conglomérats plus ou moins fins. Ces derniers sont bien visibles à l'Ouest du synclinal de la mine à mi-hauteur de la colline qui surplombe le sentier de l'Oued Boutoukret aval, sur les flancs de la route qui va vers Meknès juste après le col en remontant de la mine, à Lalla Mimouna et au J. Moufrès ;
  - *Série schisto-calcaire:* formée de schistes à plusieurs barres calcaires d'épaisseurs variables (métriques à décamétrique) formant l'ossature des principaux reliefs de la région. C'est dans ces niveaux que se sont développés les skarns par métasomatose ;
  - *Série supérieure* aux calcaires composée de schistes verts en dalles, de schistes gris ardoisiers et de petits bancs de grès à épaisseur décimétrique.

L'ensemble de ces formations viséennes est interprété sur le plan paléogéographique comme une série continue, débutant par des faciès détritiques, puis de plateforme carbonatée de type interne, et s'achevant par des sédiments péliques de talus. Il s'agit donc du comblement d'un sillon à subsidence rapide d'une activité tectonique continue [29].

Il convient de noter que les terrains du viséen se sont déposés en discordance, cartographique ou angulaire, par l'intermédiaire du conglomérat sur les formations du silurien et du dévonien.

### 3.4 APERÇU STRUCTURAL

Les terrains du district d'El Hammam, comme ceux du reste du Maroc Central, ont été structurés par les différentes phases de l'orogénèse hercynienne. Tandis que seuls les effets de phases post-viséennes sont bien visibles à El Hammam (fig. 3). Deux types de déformations ont été distingués:

- Déformations souples

Le district d'El Hammam correspond à la terminaison Nord Orientale de l'anticlinorium Khouribga-Oumès avec le synclinorium de Fourhal-Telt. Sa structure est liée au fonctionnement de l'accident Smâala. Le district montre globalement la même évolution géologique que le reste du Maroc Central.



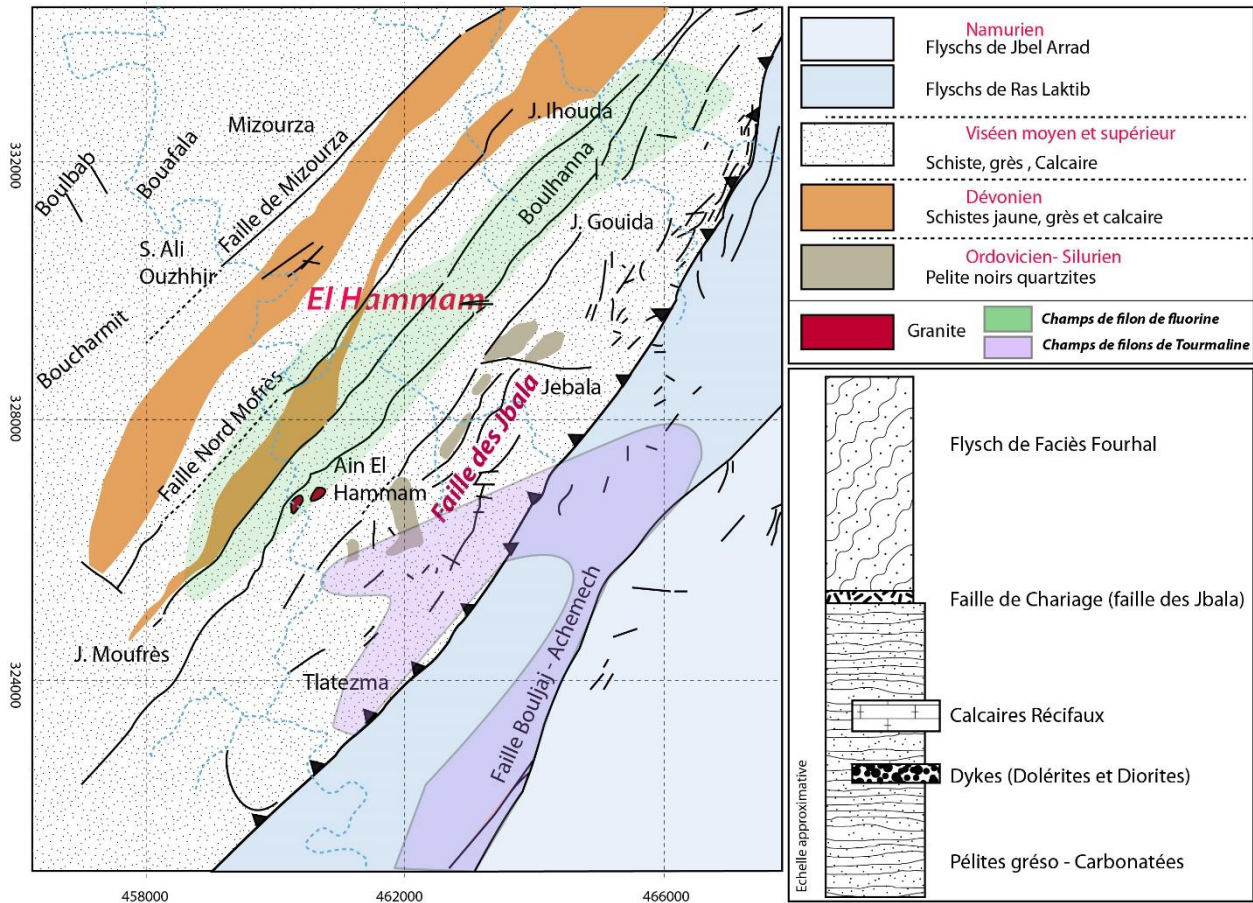


Fig. 3. Carte géologique du district d'El Hammam simplifiée (Agard, 1966, modifiée), et log synthétique de la faille des Jbala

Les terrains du viséen supérieur ont affecté par des plissements importants liés à une phase de compression NE-SW, ayant organisé les terrains d'El Hammam en plusieurs unités structurales de directions générales NE-SW. Ainsi, dans le périmètre immédiat de la mine, une succession d'anticlinaux et synclinaux avec des plis isoclinaux et synschisteux ont été mis en évidence.

- L'anticlinal de Bou Lhanna: se prolonge très loin vers le NE, jusqu'au plateau de Meknès et au SW jusqu'au J. Moufrès. Il est composé de formations dévoniennes comportant une barre de calcaire métamorphique qui forme une arrête tranchant le paysage à l'Ouest du col de la mine ;
- Le synclinal de la mine ou de Jbel Gouaïda: Unité importante du fait qu'elle renferme la quasi-totalité des filons de fluorine, mais également les affleurements de skarns, de sulfures et de granites d'El Hammam dans sa partie SW. Cette unité se pince vraisemblablement vers le Nord de J. Gouaïda où elle est recoupée par la faille d'El Hammam dont le réseau de fractures est emprunté par la minéralisation fluorifère ;
- L'anticlinal des quartzites siluriens: à structures complexe, il se prolonge au SE de J. Moufrès ou des schistes noirs et des quartzites du silurien sont bien visibles en taches, au cœur de la série de base du Viséen sup ;
- Le synclinal de J. Berkamène: allant de J. Kifane au Nord jusqu'à Tlatezma au sud. C'est un synclinal très ouvert présentant des replis anticlinaux donnant une importante épaisseur apparente à la série viséenne. Il comporte le puissant dyke de dolérite de Jbel Mkid, les microgranites à tourmaline de Tlatezma, Lalla Mimouna et de Sidi Lahcen.

Ces grandes structures sont localement reprises par une phase engendrant des plis à plans axiaux subméridiens (N-S à N140) et inclinaison subvertical.

Ces plis développent une schistosité de crénelation, pouvant parfois être très pénétrative. Ce type de déformation serait lié à un régime de cisaillement dextre, comme l'attestent le déversement des plis, la forme sigmoïde de la schistosité principale et l'association systématique des plis aux zones de cisaillement [30].

○ Déformation cassante

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

- Des failles de direction ENE-WSW aux quelles sont associées les grandes structures à tourmalinites du J.Achemèche. Ces failles montrent un jeu subhorizontal dextre ;
- Des failles de directions NE-SW, correspondent à la direction de la faille d'El Hammam, la faille des Jbala et des filons de calcites à fluorine. C'est une direction qui règle la majorité des structures du district dont les jeux sont complexes ;
- Des failles NNW-SSE à N-S: Elles ont un pendage subverticale et des jeux senestres et sont porteuses d'une minéralisation plombifère à gangue calcique ;
- Des filons à fluorine on peut y reconnaître une direction ESE-WSW complètement sécante sur la direction principale NE-SW ;
- Enfin des failles subverticales de direction E-W à jeu normal ou inverse.

### 3.5 MÉTAMORPHISME ET MAGMATISME

○ Métamorphisme

Les terrains du district d'El Hammam sont affectés par deux types de métamorphismes: L'un régional de faible degré (épizonal), que l'on retrouve dans toutes les formations du Maroc Central Hercynien, et l'autre thermique, à portée local dit de contact. Ce dernier coïncide avec une anomalie gravimétrique négative. Elle est interprétée comme étant le résultat de la mise en place de granite enfoui d'Achemèche. L'absence des affleurements du granite et la méconnaissance de sa géométrie incitent à mieux cerner l'auréole de métamorphose. Cette étude permettra de mieux localiser la source thermique et donc la position du granite à l'origine du métamorphisme.

- *Le métamorphisme régional* a produit une variété de roches faiblement transformées. Il s'agit de phyllads, de quartzo-phyllads et métagreywackes. Les associations paragenétiques issues du métamorphisme régional sont à quartz-muscovite - biotite et à chlorite. Ces associations minérales indiquent qu'il s'agit d'un métamorphisme épizonal de type schiste vert
- *Le métamorphisme de contact* est marqué par l'apparition de taches (Andalousite et cordiérite) dans les schistes et une disparition progressive du débit schisteux. Sur le plan pétrographique, il est caractérisé par le développement de schistes tachetés et de cornéennes (fig. 7e). L'estimation des conditions de pression et de température, a été réalisée en considérant le faciès le plus chaud, déterminé dans les pélites d'El Hammam. L'association quartz + feldspath K + muscovite + cordiérite et la courbe de sillimanite en tant que limite supérieure, mais étant donné que la sillimanite n'est pas observé dans ces roches, les conditions sont évaluées à  $T < 600$  °C et  $P < 2$  Kb (Sonnet, 1981). Ces valeurs sont approximatives. L'étude des inclusions fluides piégées dans les skarns a permis de mieux préciser les conditions thermobarométriques [32]

○ Magmatisme

La présence de schistes tachetés et de filons de tourmalines dans le secteur de l'Achemèche, ont été signalés dès 1936 par Termier [8] qui a conclu à l'existence d'un batholite enfoui, nommé depuis: granite de l'Achemèche. Agard et Morin [23] et Agard [3] ont affirmé la présence de ce granite, basé sur l'étude préliminaire de roches métamorphiques et de filons à tourmaline.

Cette affirmation a été confortée par la découverte en 1965 par Agard et Goney au fond de l'Oued Beht de l'apophyse du granite fin d'El Hammam et par l'existence d'une anomalie gravimétrique négative mise en évidence par les méthodes géophysiques à l'endroit de l'auréole métamorphique.

Les roches magmatiques connues de ce district d'El Hammam, offrent un éventail, tant sur la composition chimique des roches, tant sur leurs distributions. A la lumière de ces deux paramètres précités, une subdivision de ces corps magmatiques a été faite:

- Granite d'El Hammam ou de l'Oued Beht

Quatre faciès magmatiques ont été identifiés en affleurement dans cette apophyse granitique [31]:

- Granite à grain fin,
- Granite tacheté,
- Granite greisé,
- Granite à biotite
- Microgranite et rhyolites à taches de tourmalines
- Magmatisme basique
- Dolérites,
- Microdiorites,
- Sills interstratifiés

### 3.6 MINÉRALISATION DU DISTRICT

Dans le district d'El Hammam, plusieurs phases de minéralisations sont connues. D'abord des minéralisations précoces liées à une activité métasomatique responsable de la formation des skarns, ensuite des minéralisations filoniennes à sulfure et enfin les minéralisations filoniennes à fluorine et sulfures.

Les minéralisations associées aux skarns ont fait l'objet d'une remarquable étude minéralogique et géochimique réalisée par Sonnet [31] et Aissa [32].

Les skarns d'El Hammam se développent sur des roches sédimentaires et métamorphiques initialement hétérogènes et finement stratifiées. Ils sont contenus principalement dans une enveloppe délimitée par l'auréole de métamorphisme de contact. Ces skarns comportent d'importantes quantités de minéraux d'étain et de tungstène.

#### 3.6.1 LES SKARNS MINÉRALISÉS

- Les skarns à Tungstène

Correspondent à des pyroxénites vertes grenues quasiment monominérales et qui se mettent en place sous forme de lentilles plus ou moins conformes au litage de la roche remplacée. Le pyroxène montre une composition constante au sein du même skarn. Selon la nature du substrat remplacé, plusieurs modes d'agencement ont été distingués:

- Dans les cornéennes rubanées à pyroxène–quartz–plagioclases, le développement du skarn se fait avec une transition nette et tranchée, ou sur une zone diffuse de quelques centimètres, c'est le cas du skarn de l'oued Beht amont ;
- Dans les wollastonites, le front de développement de pyroxène à schéelite est bien individualisé (skarns de Tlatezma), rive Ouest ;
- Dans les schistes noirs, la pyroxénite à schéelite se retrouve dans la partie interne d'une colonne métasomatique montrant un échange Fe/Mg dans la composition des skarns de la piste de l'oued Beht.
- Les skarns à étain

De dimensions très variables, les skarns stannifères se développent sur des extensions plus importantes que les précédents. Les minéraux d'étain qui sont essentiellement des silicates (Malayaite ( $\text{CaSnSiO}_5$ ), Grenat stannifère ( $\text{Ca}_3\text{SnFeSi}_3\text{O}_{12}$ ), Axinite [ $\text{Ca}_2(\text{Fe, Mn, Mg})\text{Si}_4\text{O}_{12}\text{BO}_3(\text{OH})$ ], forment des grenatites vertes ou des pyroxènes sombres (fig. 7b). Ils se forment sur un substrat comportant soit des bancs de carbonates transformés en wollastonites, soit des cornéennes à pyroxène, quartz et plagioclase, dépourvues de wollastonites. La transformation métasomatique de ces deux variétés de substrats conduit à la formation d'une colonne à plusieurs zones: zone externe à pyroxénite fine à hédenbergite-malayaite, une zone intermédiaire à andradite stannifère-malayaite avec ou sans wollastonite résiduelle et zone interne de pyroxénite grossière à hédenbergite manganésifère - malayaite. Cette dernière zone se présente en poches et n'est pas constamment présente.

- Les skarns borifères

Ils sont essentiellement à axinite et datolite, rarement à tourmaline. Les skarns borifères se développent sur tout substrat à composition chimique favorable (wollastonite, cornéenne, grenatite, dolérite...) dont leur développement se fait de manière irrégulière, en poches, veines, placage, mais rarement en bancs (skarns à datolite remplaçant les bancs riches en wollastonite).

Selon Sonnet [31], chacun de ces types de skarns s'est mis en place indépendamment des autres et possède des caractères propres à sa formation.

### **3.6.2 LES MINÉRALISATIONS SULFURÉES**

Sur la base des études antérieures, on a distingué plusieurs générations de minéralisations sulfurées:

- Une paragenèse à pyrrhotine, pyrite, löllingite, sphalérite, et la chalcopryrite. Les minéraux sont soit en dissémination dans l'encaissant métamorphique soit concentrés dans certains niveaux en laminations stratiformes dans les formations métamorphiques. Cette paragenèse plus ou moins complète a été retrouvée même en dehors de l'aurole du métamorphisme de contact ;
- Une paragenèse à arsénopyrite, bismuth, chalcopryrite, sphalérite, galène, pouvant renfermer de l'or quand elle est associée aux skarns tungstifères, et à pyrrhotite, bismuth, schééelite et fluorine quand elle se met en place dans les skarns à tungstène ;
- Une paragenèse composée principalement d'arsénopyrite, bismuth en veines dans le granite et les schistes avoisinants. De l'or natif (grains de 10 µm environ), et de la bismuthinite ont été observés dans ces filonnets [31] et des teneurs de 12 ppm d'Au ont été dosées en analysant la roche totale de ces veines ;
- D'autres sulfures sont liés à des phases d'altérations tardives: silification et carbonatation..., et qu'on peut considérer analogues à ceux qui accompagnent la fluorine filonienne. Ces sulfures sont essentiellement à pyrite, chalcopryrite, sphalérite, et galène.

Dans le district d'El Hammam, on ne peut pas parler des minéralisations sulfurées sans évoquer la lentille de pyrrhotine d'Aïn El Hammam, d'une longueur de 50 m environ et une puissance de 1.5 m, et longe une barre calcaire transformée en skarn stannifère dit skarn d'Aïn El Hammam.

### **3.6.3 LA MINÉRALISATION FLUORIFÈRE**

La mine d'El Hammam a produit jusqu'à présent près une dizaine Mt de fluorine pure à 99 % dont le produit est exporté vers de nombreux clients à travers le monde. Mais en dehors de la fluorine aucun indice des autres minéralisations n'a fait à nos jours l'objet d'une exploitation minière néanmoins des gisements en cours de développement tel que celui d'étain d'Achameche.

Deux variétés de filons peuvent être distinguées en fonction de leurs tailles et de leur remplissage en calcite: des filons larges, d'une puissance pouvant dépasser 10 m, et riche en calcite (filon principal et filons de la popote) et des filons de petite taille à faible teneur en calcite (moins de 5%), localisés un peu partout dans le périmètre du district (Tlatezma, Berkamène, Moufrès...). Les filons de fluorine montrent un remplissage à calcite, fluorine suivit d'un stade tardif à sulfures et quartz. Ils se mettent en place postérieurement aux minéralisations précédentes qu'ils recoupent de manière franche, soit dans l'encaissant schisteux et sont orientés NE-SW, soit dans les formations carbonatées avec une direction E-W soit encore dans les microgranites à l'Ouest du district.

Plusieurs auteurs ont travaillé sur le district afin d'établir un ordre chronologique de la précipitation et de la mise en place de la minéralisation fluorifère [28]; [29]; [33]:

- i. Le dépôt de la calcite I vers 200 °C
- ii. Précipitation de la fluorine et d'une deuxième génération de calcite à des températures qui s'étalent entre 200 et 120°C, avec un mode à 170°C. Cette variation progressive de température a été observée aussi bien à l'échelle du minéral qu'à l'échelle des affleurements régionaux, ce qui est l'indicateur d'un dépôt continu dans le temps. Ces minéraux ont précipité à partir d'un fluide sursaturé en sels
- iii. La formation des minéraux tardifs, en particulier le quartz, s'est fait à une température inférieure à 100°C

## 4 CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE LOCAL DE LA FAILLE DES JBALA

### 4.1 HISTORIQUE ET INTERET DE LA PROSPECTION MINIERE DU SECTEUR

La prospection du secteur a débuté en 1964 par une compagnie aéroportée qui a couvert tout le secteur du district d'El Hammam. Elle a mis en évidence quatre anomalies magnétiques de superficie importante à savoir:

- Une anomalie à l'Est, au Sud-Est et Sud de Ouljet-es-Soltane,
- Une anomalie au Nord de Moufrès,
- Une anomalie au Sud-Est de Tlatezma,
- et une anomalie couvrant les terrains NNE de l'Achemèche.

Une première superposition de ces anomalies avec la géologie de la région d'El Hammam a été réalisée. L'analyse des résultats a mis en évidence une assez importante localisée au NNE du massif de l'Achemèche qui correspond aux terrains de Ticht Ougas. La première confirmation au sol de l'anomalie magnétique a été effectuée en 1992 par la compagnie de SAGAX.SA, à l'aide des techniques de "VLF" et "MAG" au sol. Cette étude a été commandée dont l'attention s'est portée sur des terrains d'âge paléozoïque hercynien, suite à la découverte en 1984 de l'important gisement de Hajar situé dans la région de Marrakech. C'est dans cette optique qu'une étude plus approfondie des anomalies magnétiques du Maroc Central, dont celle du secteur de la faille des Jbala, a été décidée.

Un ensemble de petites anomalies de dimensions plus réduites que les premières ont été mises en évidence, y compris celle de la faille des Jbala. Sur le terrain, l'examen de cette zone a montré la présence de chapeaux de fer facilement reconnaissable à l'affleurement par leur teinte rougeâtre dû à l'altération des sulfures de fer. Ces derniers minéraux spécialement les sulfures et les sulfosels se forment sous des conditions réductrices ( $fO_2$  basse) et sous des conditions de pression et de température plus hautes que celles de l'atmosphère. A l'exposition aux conditions de surface, ils subissent l'effet de l'altération et l'érosion, et ils sont attaqués chimiquement, et forment de nouveaux composés, tels que les oxydes et les hydroxydes de fer (La limonite, La goéтите). Localement, on a identifié des carbonates de cuivre en faible proportion, type malachite.

### 4.2 CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU SECTEUR DE LA FAILLE DES JBALA

Le site de la faille des Jbala est situé à l'Est de la mine d'El Hammam (fluorine), à une distance d'environ 1,5 Km. Les terrains de la faille des jbala ont été attribués au viséen supérieur (fig. 3). La faille des Jbala s'étale sur quelques kilomètres, montrant une direction NE-SW avec un déversement vers le SE, parallèle, à l'ensemble des failles de côté Est de la mine (Fig. 3). Elle constitue une zone de contact anormale entre deux grandes unités structurales importantes dans l'histoire tectonique de la région:

- L'anticlinorium de Khoribga-Oulmès à l'Ouest,
- Le synclinorium de Fourhal-Telt-Ment à l'Est

Un nombre important d'accidents cisailants, affectent les terrains paléozoïques du district. Les plus répandus sont de loin les accidents cisailant NE-SW tel que la faille d'El Hammam, l'accident du filon de la popote, le couloir de cisaillement des Jbala qui continue vers le NE jusqu'à Bergamou, la zone de cisaillement Boujej-Achemèche, et la zone de cisaillement Tlatezma dont la continuité NE serait la zone de cisaillement de Ticht Ougas.

La zone de la faille des Jbala constitue une zone de cisaillement NE-SW dont le couloir peut atteindre, localement, une largeur moyenne de 100m. Une telle structuration à vergence NW marquée par des plis et des chevauchements antithétiques a été identifiée par Ben Abbou et al [34]. Elle résulte de la phase compressive majeure NW-SE de l'orogénèse hercynienne. Ces structures seraient vraisemblablement en rapport avec une phase de déformation antérieure intra-viséenne. Elles sont interprétées comme le résultat de la déformation du fond des bassins viséens [36]; [37].

Les terrains du secteur de la faille des Jbala s'inscrivent dans un domaine de métamorphisme régional n'ayant pas dépassé le degré épizonal, marqué par le développement de schiste vert (250 - 420°C). L'auréole du métamorphisme de contact (6\*13 Km<sup>2</sup>) englobe le site de la faille des jbala, marquée par le développement de schistes tachetés à cordiérite et andalousite. Cette auréole s'est développée suite à la mise en place du granite d'Achemèche, dont une apophyse apparaît au niveau de l'oued Beh.

#### 4.3 PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE DES FACIÈS

Cette section décrit les roches encaissantes du secteur de la faille des Jbala. La détermination de la nature de ces roches a été réalisée à partir d'observations sur le terrain, et au microscope polarisant à partir de l'observation de lames minces et de lames polies échantillonnées le long du sondage réalisé dans les formations de la faille des Jbala.

##### 4.3.1 RAISONS DE L'IMPLANTATION DES SONDAGES

Le problème central de notre étude se trouvait donc posé, suite à deux grands indices:

- Une anomalie magnétique,
- La présence de chapeau de fer (géode et oxyde de fer) (fig. 7a)

Cette abondance de géodes et d'oxydes de fer, quartz géodique, quartz vert brun riche en chlorite renfermant de la galène et de la sphalérite, a conduit à sonder au voisinage de l'Oued Boutoukret un ensemble de forages afin d'accéder aux formations géologiques composant cette localité et qui n'affleurent pas en surface. Dans ce but, deux sondages carottés de la faille des Jbala nommés: SCJB1, SCJB2 (tabl. 1) préliminaires, ont été réalisés (fig. 4).

**Tableau 1. Fiche technique des forages**

N° Sondage	Pendage	Longueur forée	Coordonnées Lambert		
			X	Y	Z
SCJB 1	60° E	206 m	463240,00	328144,15	759,27
SCJB 2	70° E	260 m	403220,26	328155,13	764,65

##### 4.3.2 DESCRIPTION SOMMAIRE DES SONDAGES

Ces forages ont traversé des formations sédimentaires et métamorphiques comportant plusieurs variétés de faciès de roches [38]; [39] (fig. 4). L'examen macroscopique des carottes obtenues, a montré une alternance de trois faciès principaux:

- Grès et pélites sombres (fig. 7c),
- Schistes tachetés à cordiérite et à andalousite,
- Barres calcaires ± skarnifiées

Les formations traversées par les sondages comportent des filonnets minéralisés en sulfures et en cassitérite. Ils sont à gangue quartzreuse et calcitique (fig. 4). Les bancs calcaires sont plus ou moins skarnifiés. Ils ont été recoupés à différentes profondeurs (fig. 4). Compte tenu des inclinaisons des axes des sondages par rapport aux toits de ces bancs qui sont respectivement de 60° et 70°, on peut estimer la puissance de ces bancs entre dix et quinze mètres (fig. 4). Ce qui est assez considérable et donne une idée sur l'extension de ces formations recoupées par sondage et qui n'affleurent pas en surface.

## 5 PETROGRAPHIE ET GEOCHIMIE DES ROCHES ENCAISSANTES

Cette étude est basée sur l'examen de lames minces et de sections polies confectionnées à partir d'une soixantaine d'échantillons pris le long des carottes obtenues des deux forages et ceux de surface (fig. 4). Leur étude a confirmé les différentes lithologies reconnues macroscopiquement. Elle a permis de distinguer deux grands ensembles à savoir les roches sédimentaires et métamorphiques (sondage-surface), et les roches magmatiques.

Les différentes analyses obtenues à partir des deux sondages de la faille des Jbala concernant les pélites et les bancs calcaires plus ou moins skarnifiés qui encaissent la minéralisation sulfurée, ont été reportées dans un tétraèdre  $Al_2O_3$  - CaO -  $K_2O$  +  $Na_2O$  -  $Fe_t$  + MgO ouvert à la base au point occupé par les ferro-magnésiens (fig. 5). Il a permis de distinguer deux grands domaines, l'un proche du sommet  $Al_2O_3$  et correspond à l'encaissant pélitique, et l'autre plus près de la base occupée par les calcoalcalins et les ferromagnésiens, et individualisent le skarn, ce qui coïncide parfaitement avec nos observations macroscopiques et microscopiques.

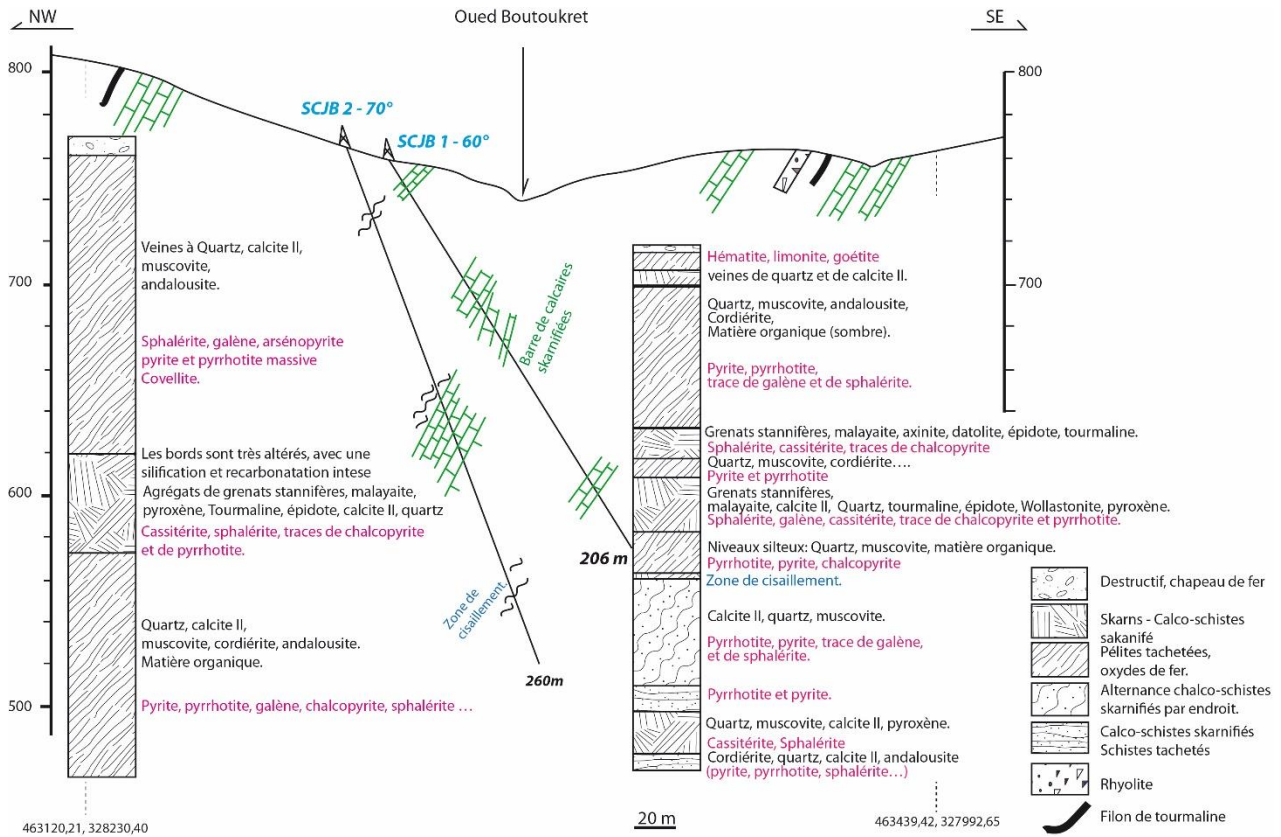


Fig. 4. Coupe et log lithologique des sondages carottés de la faille des Jbala

Sur le plan minéralogique les tendances exprimées par ces diagrammes se traduisent par le passage de roches métamorphiques composées essentiellement de minéraux calciques (carbonates, wollastonite), silico-alumineux (muscovite, andalousite, cordiérite) et alcalins (feldspath potassique, plagioclase) à des roches plus riches en ferromagnésiens (grenats, pyroxène). Les formations traversées par les sondages comportent des filonnets minéralisés en sulfures et en cassitérite. Ils sont à gangue quartzreuse et calcitique.

Les bancs calcaires sont plus ou moins skarnifiés, Ils ont été recoupés à différentes profondeurs. Compte tenu des inclinaisons des axes des sondages par rapport aux toits de ces bancs qui sont respectivement de 60° et 70°, on peut estimer la puissance de ces bancs entre dix et quinze mètres. Ce qui est assez considérable et donne une idée sur l’extension de ces formations recoupées par sondage et qui n’affleurent pas en surface (fig. 9-10).

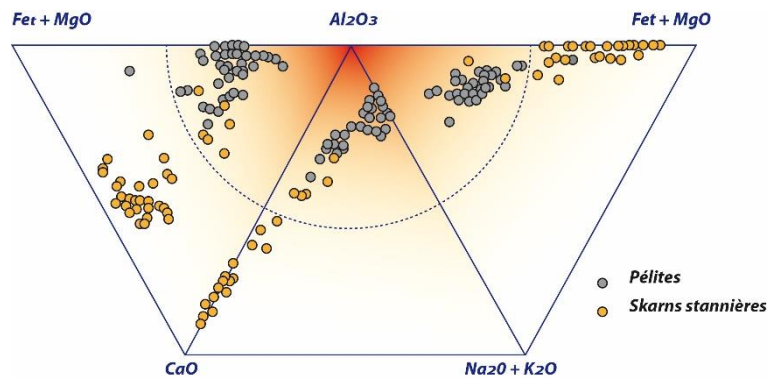


Fig. 5. Composition chimique des skarns et des pélites de la faille des Jbala [32]

## 5.1 ROCHES SÉDIMENTAIRES ET MÉTAMORPHIQUES

### o Faciès sédimentaires des sondages

Les roches sédimentaires ont subi un léger métamorphisme. Ce dernier n'a pas dépassé le stade épizonal, développant le faciès schiste vert. L'ensemble des structures sédimentaires et les arrangements minéralogiques d'origine est resté presque inchangé. Ces formations ont été divisées en trois principales unités:

- *Calcaires récifaux du viséen supérieur*, se présentent sur le terrain, sous forme de grandes barres calcaires. Elles sont composées essentiellement d'un ensemble de bancs calcaires séparés par de fines intercalations schisteuses ;
- *Calcaires, grès et pélites* du viséen moyen et supérieur, présentent une alternance en bandes répétitives ;
- *Calcaire* d'aspect plus fin et présente une cohésion plus forte. Il comporte de nombreux vestiges de fossiles visibles. La taille des bancs calcaires dépasse parfois cinq mètres ;
- *Grès* présent mais en faible proportion en bandes de granulométrie assez fine. Au microscope ces grès sont formés essentiellement de grain de quartz cristallin et de muscovite ;
- *Pélite sombre* à granulométrie très fine affecté par des fractures correspondant à des plans de schistosité. Cette pélite est caractérisée au microscope polarisant par des grains sombres de taille inframicrométriques, dont l'origine peut être attribuée à la présence de la matière organique. Cette pélite est marquée parfois par des passages de grains fins de quartz et de muscovite de petite taille. Ces passages sont peu nombreux, repris par la schistosité et contiennent quelques grains de sulfures tels que la pyrrhotite, la pyrite et la chalcoppyrite en faibles proportions ;
- *Lamines de pélites noires* fréquentes, de dimensions assez petites. Elles se distinguent par leur couleur noire. Elles renferment de la minéralisation sulfurée. La pyrrhotite représente le principal sulfure contenu dans ces lamines noires. Elle se concentre dans des petites veinules allant jusqu'à former de fines lamines.

Ces lithologies coexistent en alternance tout le long du forage. Le pôle pélitique y est majoritaire par rapport aux schistes et aux barres calcaires skarnifiées.

### o Faciès sédimentaires de Fourhal-Telt: flysch du visien supérieur-namurien

Ces flyschs sont formés essentiellement par deux grandes unités lithologiques homogènes, à savoir le grès et les pélites, ainsi que leurs intermédiaires. Des passages microconglomératiques sont intercalés dans les flyschs. Ils n'ont pas été observés dans les sondages mais apparaissent sur le terrain.

- *Grès* est formé essentiellement de grain de quartz et de feldspaths accompagnés de micas blancs (muscovite). Il comporte des intercalations de petits minéraux de pélite. La taille des grains est d'ordre micrométrique ;
- *Pélite* ressemble à celle décrite des sondages, généralement de couleur noire, elle peut montrer une variation de teinte liée à l'abondance d'éléments plus clairs (quartz), elle est d'une granulométrie assez variable, présentant de très fins plans de schistosité (fig. 7d). On y note de très fins passages quartziques micrométriques ;
- *Barres microconglomératiques* constituées, en grande partie, de grains de quartz arrondis accompagnés de feldspaths et micas blancs (muscovite) ;
- *Lamines de pélites noire* similaires à celles décrites précédemment. Ces lamines tranchent nettement sur les pélites, et ne présentent ni quartz ni de feldspath, mais renferment en grande quantité des sulfures à pyrrhotite essentiellement.

## 5.2 ROCHES MAGMATIQUES

L'ensemble des roches magmatiques rencontrées sur le terrain s'est mis en place dans les formations du viséen moyen et supérieur. Certaines de ces roches sont précoces et développent une schistosité (mise en place anté-orogénique), d'autres tardives, et sont exemptes de clivages (mise en place tardi à post-orogénique). Trois types de roches d'origine magmatiques ont été distingués: les pillow lavas, les dolérites, et les diorites.



### 5.2.1 LES PILLOW LAVAS

Les travaux de recherches géologiques entrepris sur le district d'El Hammam depuis Agard (1966), n'ont jamais signalé la présence de laves intraplaques interstratifiées au sein de la série viséenne (fig. 6). Les seules roches hypovolcaniques citées sont les dolérites en dykes ou en sills postérieurs ou antérieurs à la phase majeure. C'est lors de l'étude entreprise sur le secteur NNE d'Achemèche (Ticht Ougas), que Zouhair [2] a découvert l'existence de laves interstratifiées dans la série du viséen supérieur supracalcaire (Tabl. 1).

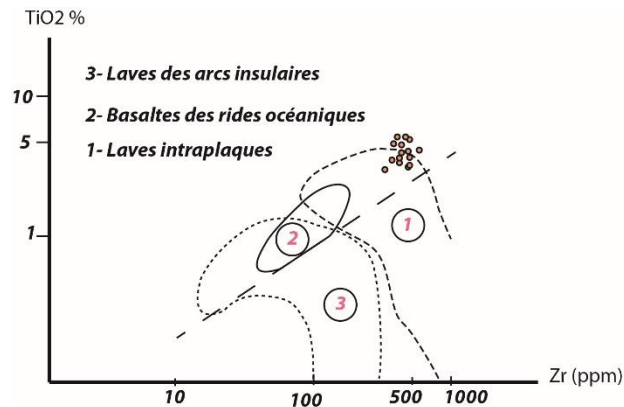


Fig. 6. Projection des analyses des laves de Ticht Ougas sur le diagramme de Pearce (1979)

La forme en coussin de ces laves est très évidente. L'horizon est constitué de l'empilement de ces coussins décimétriques à métriques. Les bords de chaque coussin sont figés (faciès de trempe microgrenue), et le cœur montre des fractures radiales. Entre les coussins peuvent apparaître de fines intercalations sédimentaires de 1-5 centimètres formés essentiellement de pélites et de grains siliceux. On note que ces laves ont été traversées par la schistosité qui déforme notamment les vacuoles.

La lave en coussin se présente sous forme d'une roche verdâtre et poreuse. Elle n'a pas été traversée par les sondages objet de cette étude. En revanche cette formation a été traversée par ceux effectués dans le site de Ticht Ougas située au NNE de notre site étude à environ 4 Km. Les roches composant ces pillow lavas montrent des variations au niveau de leur aspect avec des coussins sans vacuoles, et d'autres plus riches en vacuoles dus probablement au dégazage de la lave.

Les roches constellées de petites vacuoles vides dans les échantillons de surface, montrent des remplissages de ces vacuoles par la calcite et d'autres minéraux dans les échantillons de forage (Tabl. 2). A l'œil nu, on y distingue des minéraux verts, blancs (calcite), et noirs (sulfures et oxydes). Les vacuoles sont sphériques parfois étirées d'ordres millimétriques.

Vue en lames minces, on observe essentiellement un assemblage de cristaux de plagioclases (plus de 90%) de type albite. De petits cristaux de plagioclases forment une matrice dans laquelle on y distingue des plagioclases de plus grande taille. La roche est entièrement transformée, les plagioclases sont en grande partie altérées et commencent à perdre leurs caractéristiques notamment les macles polysynthétiques. La présence de minéraux tardifs dans la masse a été interprétée comme l'effet de l'altération et de recristallisation (chlorite, calcite, sulfures, oxydes). Dans les vacuoles, et autour de la calcite, la chlorite a été observée sous forme des bâtonnets, et des minéraux opaques tel que les oxydes et les sulfures principalement la pyrrhotite et la pyrite, ont été également reconnus.

Ces laves forment un horizon continu de 10 à 15 mètres d'épaisseur et de direction globale N25° à 30°E avec un pendage vers l'Ouest ou le Nord-Ouest. La direction et le pendage sont identiques à ceux de la stratification. On note la présence de failles transverses qui découpent les laves en blocs en les déplaçant de manière relative.

Tableau 2. Teneurs des éléments majeurs et des métaux des pillow lavas du secteur de Ticht Ougas [2]

Teneurs en éléments majeurs des Pillow Lavas du secteur de Ticht Ougas en %												Teneur des métaux des Pillow Lavas en ppm					
Ech.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Cu	Zn	Pb	As	B	W
TOA1	40	26	10	10	6	1,5	0,4	4,9	0,3	0,7	99,8	15	75	4	0	6	0
TOA2	37	12	5	5	34	1,6	0,4	4,9	0,3	0,7	100,9	53	56	3	0	1	0
TOA3	39	15	7	7	25	1,6	0,6	3,6	0,2	0,7	99,7	42	52	0	0	1	0
TOA4	43	20	8	6	15	2,1	0,8	5,5	0,2	0,7	101,3	36	63	5	0	3	0
TOA5	42	16	5	4	25	1,5	0,7	5	0,2	0,5	99,9	32	53	4	0	6	0
TOA6	38	12	5	4	34	1,3	1,2	4,7	0,3	0,7	101,2	38	37	8	69	3	50
TOA7	29	12	4	3	46	0,8	0,5	4	0,2	0,5	100	20	38	3	0	1	0
TOA8	42	14	6	3	29	1,6	0,8	3,4	0,2	0,5	100,5	14	71	3	0	3	19
TOA9	39	18	6	4	25	1,6	1,4	4,8	0,2	0,6	100,6	32	52	17	112	2	48
TOA9 bis	46	21	8	6	12	2,1	0,6	4,3	0,1	0,7	100,8	25	71	11	46	2	14
TOA10	38	16	6	4	30	1,8	0,5	4	0,2	0,6	101,1	27	57	5	49	1	14
TOA10 bis	40	17	5	4	27	1,5	0,9	4	0,2	0,6	100,2	26	60	13	71	3	72
TOA23	42	23	6	8	13	1,7	1,2	4,1	0,2	0,5	99,7	41	47	9	91	6	21
TOA25	47	20	7	5	11	1,4	1,2	5,7	0,3	0,6	99,2	53	53	13	68	21	0
TOA36	40	22	6	9	16	1,5	0,5	3,9	0,1	0,5	99,5	41	58	6	21	1	0

### 5.2.2 LES DOLÉRITES

Les dolérites affleurent sur le terrain sous forme de dykes épais de 1 à 8 mètres. Ces dykes intrudent les roches du viséen supérieur. Ils ont une direction générale NE-SW avec un pendage vers le Nord Ouest. Ces dykes recoupent avec un certain angle variable de 5° à 10° l'ensemble des roches encaissantes. Leur mise en place survient après une fracturation précoce de l'encaissant comme en témoigne les brèches qui les accompagnent.

Ces roches sont parcourues par une schistosité de direction conforme à celle des roches encaissantes. Cette schistosité est la preuve d'une mise en place antérieure à la phase de déformation majeure.

Deux grandes catégories ont été distinguées:

- *Faciès grossier*, de teinte claire, contenant principalement des plagioclases dans une matrice claire. Cette dernière est essentiellement à calcite, trouvée dans des fractures parfois associée à la pyrite. Comme produit d'altération, on observe de la chlorite dans les plans de schistosité.

Les quelques géodes contiennent de la calcite et des minéraux cubiques tel que la pyrite et la magnétite.

- *Faciès très fin*, fortement schistosé. Il contient des microlites de plagioclases dans une pâte verdâtre. Les plagioclases sont orientés parallèlement à la schistosité. La roche contient également de fins cristaux de calcite et localement des petites géodes à calcite. La chlorite est aussi présente dans la schistosité comme produit de remplacement de minéraux altérés.

En lame mince la roche apparaît totalement altérée, mais on arrive à distinguer dans la matrice des fantômes de plagioclases composée de grains de petite taille de chlorite et de séricite. De grands cristaux de plagioclases fortement albitisés sont également présents. Les plagioclases forment l'essentiel de la roche mais sont accompagnés de pyroxène, bien altérés eux aussi en amphiboles.

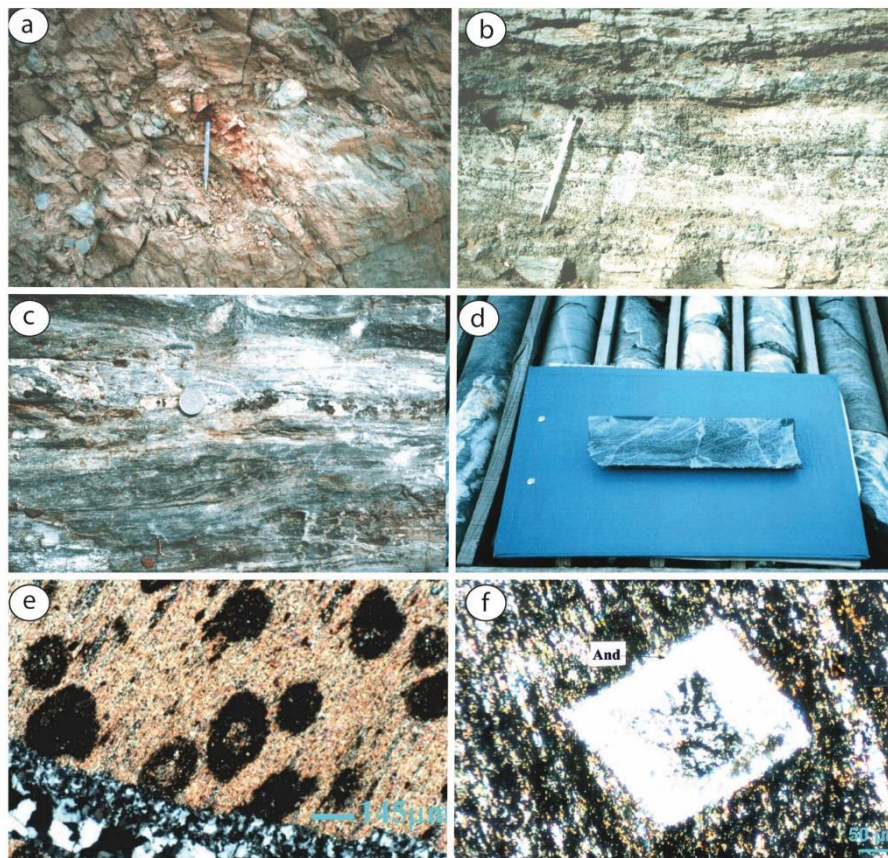
### 5.2.3 LES DIORITES

L'ensemble de ces dykes intrudent les terrains du Viséen moyen et supérieur, ces derniers montrent une légère silification en bordure. Ils ont une épaisseur variable de 10 à 35 mètres.

Ces roches affleurent sous forme de dykes, reconnues par leur couleur verte. Les grains sont très fins. L'altération est reconnaissable par le développement d'une patine rouge à clair.

De point de vue minéralogique, on distingue des cristaux de feldspaths, des chlorites secondaires ainsi que des minéraux bruns non identifiés. On note aussi l'existence de grains d'amphiboles, et un remplissage des fractures par de la calcite, du quartz et des sulfures de type pyrrhotite.

La schistosité, bien développée dans les roches encaissantes, n'affecte pas les diorites: leur mise en place serait postérieure à la phase majeure de l'orogénèse hercynienne.



**Fig. 7.** a) Chapeau de fer essentiellement à oxyde de fer (hématite, goérite, limonite), b) Grenatites vertes localisée au niveau de l'oued Boutoukret: développement du grenat noir (grossulaire) sur les bancs carbonatés, la taille des grenats dépasse le centimètre et parcourue par des filons de quartz et calcite minéralisés surtout en sphalérite, c) Alternance pélite-calcaire marquée par des passages de filons minéralisés en sulfures (Sphalérite et Galène- photo prise au niveau de l'Oued Boutoukret), d) Demi carottes de pélites parcourue par des veines de quartz et calcite minéralisées, e) Schiste tacheté à minéraux de cordérite et oxydes de fer, affecté par des passages des veines de quartz minéralisés en sulfures (LP) f) schistes tachetés à andalousites (LP)

## 6 PARAGENESES MINERALES DE L'ENCAISSANT DES MINERALISATIONS SULFUREES

Elles sont très diverses et fonction des roches encaissantes et de leur nature lithologique:

□ Dans les grès et pélites, la paragenèse minéralogique est essentiellement à :

▪ Quartz dont l'étude des lames minces a montré deux origines :

- Un quartz primaire, correspondant au constituant majeur des roches détritiques. Il forme presque la totalité des grès rencontrés le long des sondages. Il s'agit d'un quartz microcristallin de taille petite (fig. 8) ;
- Le second issu des stades finaux des phénomènes deutériques, suite à la circulation des fluides hydrothermaux. Il forme l'ensemble des veinules observées soit dans les schistes tachetés à muscovite, soit dans les pélites noires (Fig. 6d). Il est dans la majeure partie associé à la calcite. Il présente localement une forme prismatique automorphe à subautomorphe.

Le quartz correspond aussi aux minéraux clairs observés dans les pélites noires.

○ Muscovite et autres minéraux très fins non identifiés

Elle présente aussi deux origines:

- La première est d'origine détritique. Elle constitue l'essentiel des schistes tachetés à muscovite (fig. 6e). Elle est sous forme de petite paillette de taille microscopique. Elle est disposée suivant les plans de schistosité ;

- La seconde est d'origine hydrothermale, marqué par sa grande taille par rapport à celle décrite dans le premier cas. Elle est généralement associée au quartz non affecté par la schistosité.

□ Dans les carbonates et les skarns

▪ Paragenèse I: Wollastonite

Les carbonates comme le reste des formations sédimentaires ont connu plusieurs évènements après leur mise en place. En particulier le métamorphisme et le métasomatisme dont ils ont enregistré les effets en développant les transformations paragenétiques de la transformation du calcaire en wollastonite, à la suite d'un apport substantiel en silice selon la réaction:  $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$ . La wollastonite se met en place donc sur le calcaire en développant un front de remplacement métasomatique. Elle se présente en poche, lentilles métasomatiques, ou amas de cristaux blanchâtres fibreux.

▪ Paragenèse II

○ Grenat stannifère, et Malayaite

Sur le plan minéralogique cette seconde transformation se traduit par l'apparition de grenat de type andradite plus ou moins stannifères ( $\text{Ca}_3\text{FeSnSi}_3\text{O}_{12}$ ), de couleur verdâtre et à aspect zoné. Les bordures de ces grenats étant les zones les plus riches en Sn. Elles sont plus verdâtres [32].

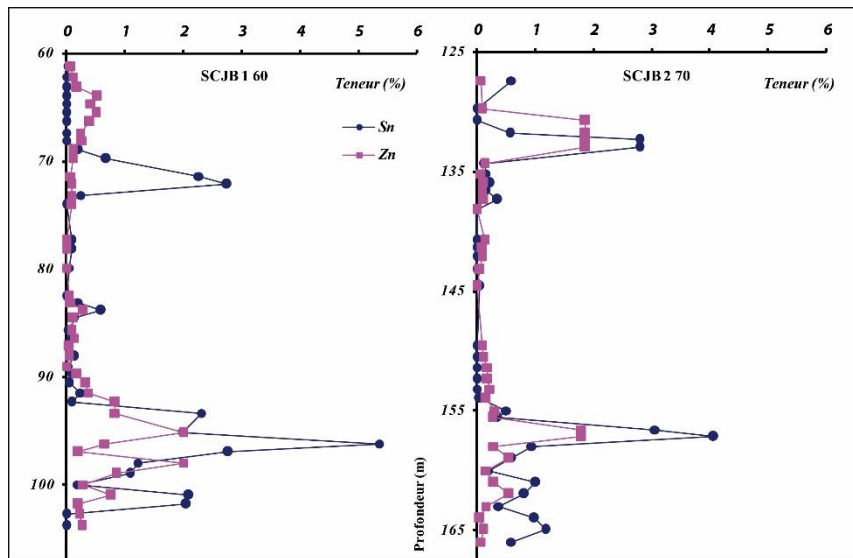
Les grenatites comportent un autre silicate stannifère: la malayaite ( $\text{CaSnSiO}_5$ ), de structure similaire au sphène (fig. 9b). Il constitue avec le grenat stannifère la principale expression minéralogique de la paragenèse stannifère des skarns d'El Hammam.

Les grenats stannifères sont de taille assez importante, ils sont de couleur verte à vert jaunâtre en lumière naturelle (Fig. 9b), et sont anisotropes en lumière polarisée avec une zonalité bien visible et parfois des extinctions par secteurs. Ces grenats ont subi une recarbonatation tardive et un développement intense d'une calcite II.

Au niveau des bancs carbonatés plus ou moins skarnifiés, on observe une association intime de minéraux bruns rougeâtres en plage et de minéraux en amas d'aiguilles très fines correspondant respectivement à la sphalérite et à la cassitérite. La sphalérite est peu ferrifère ( $\leq 7.5\%$  de FeO), alors la cassitérite peut contenir jusqu'à 3% de FeO. L'analyse en roche totale des skarns a donné des teneurs allant jusqu'à 6%  $\text{SnO}_2$ . Cette teneur est assez élevée en Sn est due certainement à la présence de cassitérite. On note que la distribution de la cassitérite et de la sphalérite n'est pas homogène sur toute la hauteur skarnifiée comme le montre le graphique de la figure 8.

Les niveaux les plus riches en ces minéraux sont les bords des bancs carbonatés qui sont souvent les plus altérés, et montent des zones où se développent une recarbonatation et une silification intense.

Cette observation est confirmée par les graphismes de la figure 6, où on voit une nette augmentation parallèle des teneurs en Sn et Zn aux mêmes côtes des deux sondages SCJB 1 et SCJB 2.



**Fig. 8. Variation de la teneur d'étain et de zinc au sein des bancs carbonatés des sondages de la faille des Jbala**

L'observation microscopique des lames minces confectionnées dans ces niveaux montre que la teneur en sphalérite est d'autant plus importante que celle de la cassitérite soit élevée. Ceci pourrait s'expliquer par la déstabilisation des grenats stannifères et aussi de la malayaite, suite aux changements des conditions redox du milieu qui deviennent plus oxydantes, alors que pour le Zn ceci ne peut s'expliquer que par un apport extérieur par les fluides minéralisateurs tardifs.

○ Pyroxène

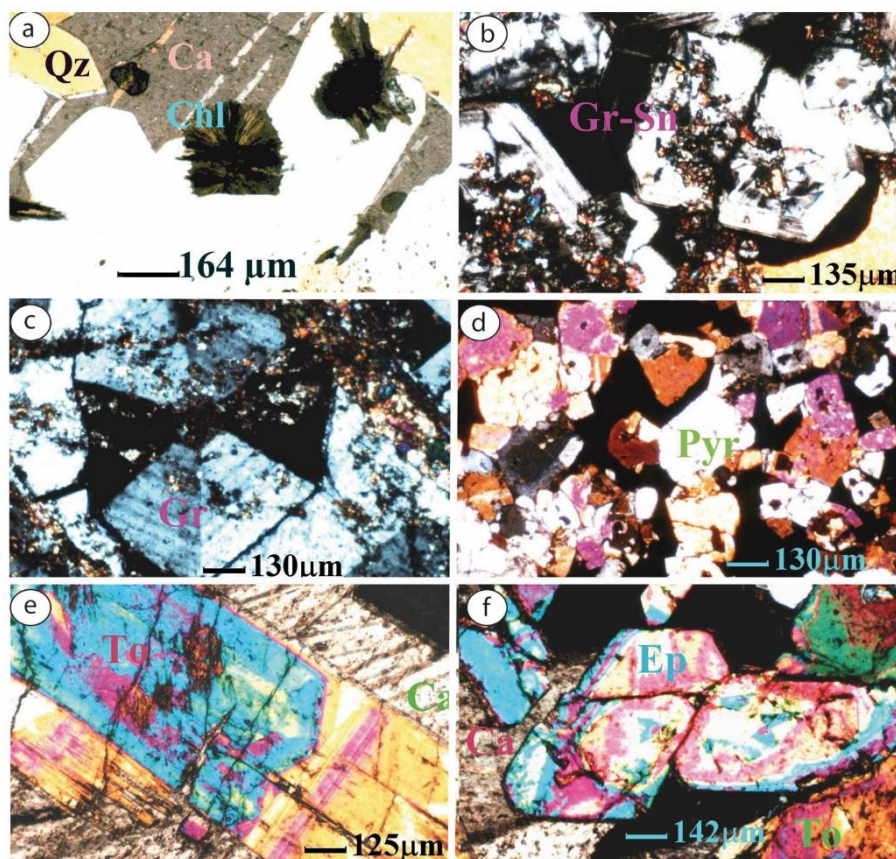
On note également la présence de pyroxène en quantité plus ou moins abondante. Sa présence témoigne de l'impureté du substrat originel transformé.

La circulation des fluides métasomatiques sur un substrat différent des carbonates généralement pélitique (présence de petites alternances pélitiques dans les formations carbonatées) a développé une roche de type pyroxénite. Le pyroxène apparaît net de taille variable. Au microscope polarisant, il montre un double clivage parfait dont les plans forment un angle de 90° (fig. 9d).

▪ Paragenèse III

○ Tourmaline: Elle présente des tailles variables, allant de l'ordre microscopique jusqu'à des tailles millimétriques voir même des dimensions centimétriques au niveau de certains affleurements.

Au microscope, ces tourmalines ont une couleur vert-jaune généralement zonées, avec des couleurs variables de troisième ordre et extinction droite en lumière polarisée (fig. 9e). Il s'agit vraisemblablement de tourmaline assez riche en fer. Généralement cette tourmaline est fracturée. Les fractures sont généralement remplies par de la calcite.



**Fig. 9.** a) Chlorite (chl) de type hydrothermale avec une structure fibro-radiée (LP), quartz (Qz), montre des structures automorphes pyramides, calcite (Ca), b) Agrégats de grenats stannifères à teinte verdâtre caractéristique en lumière naturelle de couleur beige au cœur, et plus verdâtre aux bordures, en lumière polarisée les grenats sont anisotropes. c) Grenat (Gr) à extinction en secteur, en lumière polarisée montre des macles de sablier (LP), d) Agrégats de pyroxènes en lumière polarisée, les plans de clivage apparaissent nets et forment un angle de 90°, e) Tourmaline au sein de la calcite (Ca) (LP), elle présente des teintes de polarisation de 3<sup>ème</sup> ordre, f) Epidote (Ep) fracturée. To: Tourmaline

▪ Paragenèse IV

- *Datolite, Axinite*: Ce sont des minéraux de bores, issue suite au développement d'un stade métasomatique borifère sur tout type de substrat (roches sédimentaires, magmatiques...);
- *Epidote*: Au microscope polarisant, l'épidote identifiée comme étant zoïzite. Elle se présente sous forme de sections arrondies, ayant des teintes de troisième ordre. Leur taille est assez importante, généralement fracturée avec la présence de macle de type sablier (fig. 9f).
- *Chlorite*: Deux types de chlorites ont été distinguées :
  - Une chlorite d'origine hydrothermale. Elle montre une structure fibroradiée, bien marquée. Elle se développe sur les autres minéraux en association avec le quartz et calcite. Ce-ci montre quelle s'est développée lors des stades hydrothermaux finaux ;
  - Une autre chlorite provenant vraisemblablement des roches métamorphiques notamment les schistes qui sont très chloriteuses (fig. 9a).

▪ Paragenèse V

- *Calcite II*: Elle s'est formée en stade final. Elle est liée à une phase de recarbonatation tardive, se développant notamment sur les grenats. Les cristaux de cette calcite sont de grande taille et présente un clivage parfait. Elle généralement associée à du quartz et des sulfures ;

- Quartz: Son développement est très limité. Il se fait principalement à la fin du processus métasomatique, comme la calcite II ;
- Sulfures et oxyde d'étain: La minéralisation sulfurée constitue dans les formations de ce sondage la dernière expression minéralogique. Les sulfures se développent en association uniforme avec la calcite et le quartz.

La cassitérite ( $\text{SnO}_2$ ) est également présente à côté des sulfures. Elle s'est mise en place grâce à la déstabilisation des grenats stannifères et de la malayaite, suite vraisemblablement à un changement des conditions Redox du milieu qui sont devenues plus oxydante. En lumière polarisée, la cassitérite de forme aciculaire montre une couleur rouge foncé témoignant d'une teneur élevée en fer, comme en témoigne l'analyse chimique de ce minéral qui peut atteindre jusqu'à 3% FeO.

## 7 ETUDE MÉTALLOGRAPHIQUE DES SULFURES

Les sondages ont traversé des concentrations sulfurées non négligeables, associés aux différentes lithologies. Un échantillonnage précis a été effectué dans les niveaux minéralisés de ces deux sondages. On note que la minéralisation sulfurée s'étale sur toute la longueur des sondages.

### 7.1 LOCALISATIONS DES SULFURES

L'étude microscopique révèle une concentration préférentielle des sulfures dans des niveaux particuliers des sondages. Ils se présentent de quatre manières différentes:

- Disséminées dans la masse des roches

Les pélites, les grès et les bandes carbonatées contiennent parfois des grains, des cristaux de sulfures disséminés dans la masse de la roche. Ces zones à minéralisations sulfurées sont décrites comme "passage à forte concentration". Elles sont locales et apparaissent de manière diffuse: les grains sont d'abord de petite taille, mais se concentrent au fur et à mesure jusqu'à atteindre une taille plus importante.

En section polie, on observe deux types de sulfures dans ces niveaux. Il s'agit de la pyrite et de la pyrrhotite.

La pyrrhotite disséminée est très fréquente, on la trouve presque sur toute la longueur du sondage. Elle se présente sous forme de grains uniformes à contour en dentelles, de petite taille, mais parfois peut se concentrer sous de grande plage dépassant l'échelle centimétrique, pouvant atteindre l'échelle métrique (cas de SCFJ2).

La pyrite apparaît souvent en petits cubes bien cristallisés, dont les contours sont soit réguliers, mais parfois en grains à contours déchiquetés.

- Dans des lamines de sulfures minces

Ces lamines représentent des concentrations de sulfures élevées. Elles sont très rares et assez fines ne dépassent pas le millimètre au maximum. Les quelques lamines pures observées sont constituées d'un agglomérat de cubes de pyrite. Les bords de ces cubes ne sont pas parfaitement net, parfois diffus: du centre de la lamine (constitué de pyrite pure) vers les bords, on observe une diminution de la concentration des minéraux sulfurés en faveur des minéraux de la roche hôte.

- Dans des fractures

Les fractures contenant de la pyrrhotite sont très fréquentes. Elles existent tout le long des deux sondages même dans des faciès qui ne contiennent pas de sulfures disséminés dans la masse de la roche. Elles sont fines, en général moins d'un millimètre, et parfois longues de plus d'une dizaine de centimètres. Elles sont constituées de pyrrhotite pure, sans autres sulfures.

- Dans la schistosité

La schistosité contient aussi une bonne part de sulfures. Il s'agit presque uniquement de pyrrhotite, mais par endroit de la pyrite.

Sur les plans de la schistosité, on observe de fines taches rondes de pyrrhotite. Ces "taches" de l'ordre du micromètre de diamètre sont séparées les unes des autres et apparaissent comme de fines lignes parallèles.

## **7.2 PARAGENÈSE SULFURÉE**

L'étude à l'aide du microscope métallographique (en lumière réfléchie), a permis de distinguer une paragenèse sulfurée et une autre oxydée, décrite par ordre d'importance:

- *Pyrrhotite* forme le principal minéral sulfuré. Trouvé le long du sondage. Elle est présente dans des structures tailles allant du micromètre jusqu'aux dimensions métriques (barres pouvant dépasser 2 mètres dans le cas de SCFJ2) (Fig. 10a).

La pyrrhotite montre deux grandes variétés:

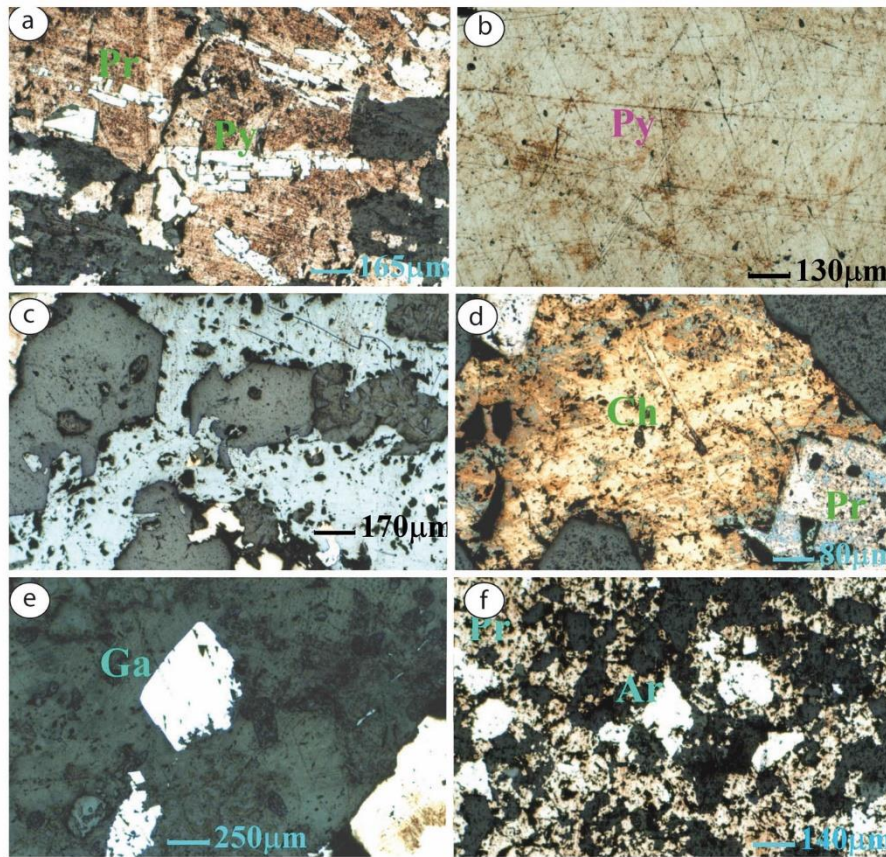
- Soit elle est isolée, et sans inclusions minérales. Généralement elle est de structure uniforme ;
  - Soit elle comporte des inclusions de minéraux sulfurés, tel que l'arsénopyrite reconnaissable à sa structure losangique caractéristique. Elle peut être aussi le siège de développement de la pyrite. Cette dernière présente une structure en petite lamine et par endroit des petits cubes bien cristallisés.
- *Pyrite* constitue le second minéral de point de vue abondance. La pyrite présente aussi deux types de structure :
    - Soit elle est seule, et forme des passages à forte concentration (Fig. 10b) ;
    - Soit elle est associée à d'autres sulfures tel que la pyrrhotite, la sphalérite.
  - *Sphalérite* constitue des petites plages généralement à minéral seul, et par endroit présente des ex-solutions de chalcopryrite. Elle forme le principal minerai sulfuré dans les skarns, montrant une association avec la galène (fig. 10c) ;
  - *Chalcopryrite*, de moins importance que les premiers sulfures décrits (fig. 10d), elle représente un site privilégié pour le développement de la covellite (fig. 10d). Elle forme de petites concentrations au sein de la sphalérite (Fig. 9c) ;
  - Galène est présentée en petite quantité, marquée essentiellement par les arrachements triangulaires caractéristiques de ce minéral (fig. 9e) ;
  - *Arsénopyrite* présent en abondance dans les échantillons de surface, en association généralement avec la pyrrhotite. Il est facilement reconnaissable par sa forme losangique (fig. 9f). Il n'a pas été identifié dans les échantillons des sondages ;
  - Covellite forme le minéral d'altération qui se développe sur la chalcopryrite et même la pyrite et la pyrrhotite, du fait qu'elles contiennent une légère proportion en cuivre (fig. 9d) ;
  - Cassitérite est à signaler sa présence non parce qu'elle fait partie de la paragenèse sulfurée, mais indiquer sa présence à côté des sulfures et généralement au niveau des bancs carbonatés. Elle s'est formée suite à la déstabilisation des grenats stannifères, et surtout de la malayaite.

## **8 NATURE ET ORIGINE DE LA MINÉRALISATION SULFURÉE**

La présence de quartz, de calcite et par endroit de la chlorite sous forme de petits filonnets à structure diverse (stockwerks, amas, lentille), en association avec la minéralisation sulfurée fait penser à l'effet d'un processus hydrothermal, en liaison vraisemblablement avec les différents événements magmatiques et métamorphiques qu'a connu le district.

Il est en général un gîte hydrothermal de type sub-surface associé aux roches environnantes. Les fluides résiduels riches en eau et en éléments métalliques remontent vers la surface en utilisant les fractures, se refroidissent, se liquéfient et deviennent des solutions hydrothermales, celles-ci déposent successivement plusieurs couches de substances minérales, et aussi la convection des fluides libres autour de la source de chaleur, donnant suite à un circuit convectif. Cette mise en place est d'autant plus efficace que la circulation des fluides sera d'autant facilitée par l'existence de drains, suivie par un remplissage tardif des fractures et des cavités d'une part et d'autre part dans les plans de schistosité, pour donner ensuite une concentration de type stockwerks.





**Fig. 10.** a) Pyrite cubique au sein de la pyrrhotite (LR), b) pyrite massive (LR), c) sphalérite renfermant des ex-solutions de chalcopryrite de chalcopryrite, d) Association de chalcopryrite et pyrrhotite avec le développement de la Covellite (LR), e) Galène avec des arrachements triangulaires (LR), f) Arsénopyrite avec sa forme losangique caractéristique du minéral (LR)

La proximité du gisement de la source magmatique et l'apport plus ou moins grand de sédiments détritiques continentaux dans le système est un critère important pour classer les types de gisements. Deux terminologies peuvent être tiré:

- *Les volcaniques exhalatives* qui présentent les gisements proximaux et dont les roches hôtes sont soit ignés soit ignées et sédimentaires ;
- *Les sédimentaire exhalatives* qui présentent les gisements distaux (loin de la roche magmatique source de la chaleur) et dont les roches hôtes sont sédimentaires. Ces dernières contiennent des fractions détritiques majoritaires ou organiques et voir même des carbonates.

## 9 RECONSTITUTION DE L'HISTOIRE GÉOLOGIQUE DU DISTRICT MINIER

### 9.1 AU NIVEAU DU DISTRICT D'EL HAMMAM

On note une activité hydrothermale importante et la mise en place d'une minéralisation conséquente dont le gisement de fluorine actuellement exploité par SAMINE, en est la principale expression.

L'activité hydrothermale comme à El Hammam peut être subdivisée en trois grandes phases:

- Un événement métasomatique qui se manifeste essentiellement par la transformation de calcaire, de schiste-calcaires et de cornéennes en skarns (Sonnet 1981) avec trois épisodes :
  - Episode Tungstifère, (skarns à W),
  - Episode Stannifère, (skarns à Sn),
  - Episode Boré, (skarns à B).

Ces trois phases sont échelonnées dans le temps avec des éventuels recouvrements temporels (Sn, B), et spatial (W-Sn) [32].

- Un événement hydrothermal, caractérisé par une tourmalinisation parfois intense (veines à quartz-tourmaline, tourmalinite) suivie d'une sulfuration (veines à sulfures divers, chalcopyrite, pyrite, pyrrhotite, galène, sphalérite, arsénopyrite...)

Des circulations ont permis le développement d'importantes structures de tourmalines dont l'épaisseur varie de quelque cm à plusieurs mètres avec des extensions parfois kilométriques. On signalera que certaines structures à tourmalines traversent l'apophyse granitique de l'oued Beht.

- Un événement fluorifère constituant la manifestation hydrothermale tardive ayant donné lieu au grand gisement de fluorine d'El Hammam

Malgré l'importance des deux premiers événements, on ne connaît pas jusqu'à nos jours d'importantes concentrations métallifères qui leurs sont associés pouvant faire l'objet d'exploitation minière, et ce ci peut être attribué à deux raisons principales:

- L'extension réduite des structures favorables à des concentrations métallifères économiquement importantes ;
- Le traitement minéralogique des corps minéralisés en Sn, W, (skarns à silicates) est très coûteux et donc non rentable ;
- Le fait que les recherches géologiques étaient principalement focalisées sur les extensions possibles de la minéralisation de fluorine.

## 9.2 AU NIVEAU DE LA FAILLE DES JBALA

La région de la faille des Jbala a connu de multiples événements, qui peuvent être résumés en deux grands stades:

- Sédimentation turbiditique viséenne dans un contexte actif de tectonique synsédimentaire,
- Déformation majeure avec une structure NE-SW (événement post-viséen) :
  - Fonctionnement de la faille héritée,
  - Tourmalinisation (introduction du bore en relation probablement avec un flux thermique d'origine profonde (mise en place du granite d'Achemèche),
  - Cisaillement dans des conditions de déformations cassantes,
  - Mise en place des sulfures.

## 10 DISCUSSION

Le district d'El Hammam est situé dans les premiers contreforts montagneux au Nord Est du Maroc central, à 60 Km environ au SE de la ville de Meknès. Le secteur de la faille des Jbala appartient au district d'El Hammam. Il constitue une zone de contact anormal entre deux grandes unités: l'anticlinorium de Khouribga-Oulmès à l'Ouest et le synclinorium de Fourhal-Telt-Ment à l'Est.

Le district d'El Hammam est composé principalement de terrains du viséen supérieur, qui ont subi deux types de métamorphisme:

- Un *métamorphisme régional* ayant produit une variété de roches faiblement transformées, il s'agit de phyllades, de quartzo-phyllades et métagreywackes

Les associations paragenétiques issues du métamorphisme régional (Quartz + muscovite + biotite + chlorite.), indiquent qu'il s'agit d'un métamorphisme épizonal de type schiste vert.

- Un *métamorphisme de contact*, marqué par l'apparition de taches (Andalousite et cordiérite) dans les schistes et une disparition progressive du débit schisteux. Sur le plan pétrographique il est caractérisé par le développement de schistes tachetés et de cornéennes (fig. 7e), suite à la mise en place du granite de l'Achemèche, dont l'apophyse apparaît au niveau du lit de l'oued Beht

Pour accéder au faciès profond de la faille qui n'affleure pas en surface, deux sondages (SCJB1; SCJB2) ont été effectués par les géologues de REMINEX, implantés dans le vallon de l'Oued de Boutouckret en amont de la mine, quasiment sur le tracé de la faille des Jbala. Ils ont recoupé des barres de calcaires métamorphiques. Compte tenu des inclinaisons des axes de sondages par rapport aux toits de ces barres qui sont respectivement de 60° et 70°, on peut estimer la puissance de ces bancs à quelques centaines de mètres. Ce qui est assez considérable et donne une idée de sur l'extension des formations recoupées.

L'étude pétrographique et minéralogique d'une soixantaine d'échantillon recueillis le long de ces deux sondages a permis de reconnaître les faciès pétrographiques suivants :

- **Des roches sédimentaires** correspondant à une alternance de banc calcaire, grès et de pélites sombres. L'ensemble des roches a subi un léger métamorphisme ne dépassant pas le stade de schiste vert. Les roches carbonatées sont skarnifiées
- **Les carbonates skarnifiés** comportent deux types de minéraux
  - Les premiers formés suite à l'action de fluides métasomatiques sur des bancs calcaires dans des conditions thermobarométriques assez élevées ( $T > 400^\circ$ ). Ils sont formés essentiellement de minéraux stannifères tels que les grenats et la malayaite, de pyroxène, scheelite et de minéraux de bore tel que l'axinite, et datolite. On signale également la présence de minéraux d'épidote
  - Les seconds témoignent d'une circulation de fluides à basse température. Ils sont marqués essentiellement par le développement de la chlorite en structure fibro-radiée, de la calcite bien cristallisée et montrant des plans de clivages parfaitement visibles et de quartz ayant une structure prismatique nette automorphe à subautomorphe. L'ensemble de ces minéraux s'accompagnent de la mise en place des sulfures

- Les roches détritiques

Ils sont formés par une alternance de grès et de pélites noires. Les roches ont subi un léger métamorphisme ne dépassant pas le stade de schiste vert, et correspondent à des schistes à muscovite et par endroit à des schistes tachetés (fig. 7e, d).

Ces roches sont le siège de dépôt d'une minéralisation sulfurée principalement à pyrrhotite, pyrite et rarement à chalcopryrite. Cette minéralisation s'est déposée dans les fractures sous formes de veinules, et en plage le long des plans de schistosité. Elle s'est accompagnée par le dépôt de calcite et de quartz de taille variable.

- **Des roches magmatiques**: diorites et dolérites et pillow lavas. Cette dernière formation se présente sous forme de roche verdâtre et poreuse dont les vacuoles ont été remplies essentiellement de calcite. Au microscope la roche est formée essentiellement à 90% de plagioclase de type albite ayant subi une altération plus ou moins intense. Ces plagioclases ont des tailles assez petites. Par endroit on peut observer des grains de plagioclases dont les contours sont diffus et dont les macles polysynthétiques sont quasiment inexistantes. Cette roche est pétrographiquement très proche d'un kératophyre

Le reste de la roche correspond à un remplissage tardif de vacuoles par de la calcite, chlorite, sulfures, et oxydes.

Les pillow lavas et les dolérites sont plus ou moins affectés par les événements tectono-métamorphiques reconnus dans le district, à l'exception des diorites dont la mise en place semble être plus tardive.

Le long de ces deux sondages, on a recueilli un ensemble d'échantillons, sur lesquels on a confectionné des lames polies destinées à l'observation microscopique. L'étude métallographique a révélé la présence de sulfures et d'oxydes. Les sulfures sont présents le long des deux sondages. Ils sont formés par une paragenèse variée, dont on a reconnu par ordre d'importance: Pyrrhotite (FeS), Pyrite (FeS<sub>2</sub>), Sphalérite (ZnS), Chalcopryrite (CuFeS<sub>2</sub>), Galène (PbS), Arsenopyrite (FeAsS), et comme minéral d'altération la Covellite (CuS). On note également à côté des sulfures, la présence de la cassitérite (SnO<sub>2</sub>). Cette dernière s'est mise en place vraisemblablement suite à la déstabilisation des grenats stannifères et de la malayaite.

Selon l'agencement et la structure des sulfures, on en a distingué plusieurs types:

- Dissémination dans la masse de la roche

La paragenèse est essentiellement à pyrite et à pyrrhotite, présentant une structure en mouches, de petites tailles. Leur concentration devient localement plus importante avant de passer à des niveaux caractérisés par une augmentation de taille des grains.

- En lamines minces

Les sulfures correspondent essentiellement à de petites lamines pyriteuses pouvant former des étendues assez considérables, sans développement de cristaux à contour parfaits.

- En placage et concentration dans la schistosité

La minéralisation se présente sous forme de concentration à dominance de pyrite et de pyrrhotite, montrant parfois une altération en covellite traduisant à la présence de certains minéraux de cuivre.

- Dans les niveaux carbonatés plus ou moins skarnifiés

Les sulfures sont généralement à dominance de pyrite, pyrrhotite, galène, chalcopryrite, surtout à la sphalérite. On note également la présence assez abondante de silicates d'étain, et aussi de l'oxyde d'étain: cassitérite, cette dernière présente habitus particulier en agrégats, d'aiguilles, aciculaires. C'est dans les carbonates qu'a été reconnue la paragenèse la plus complète.

- Dans les fractures

Les minéraux sulfurés observés dans les fractures sont dans leur majorité partie altérés. Ils sont dans la plupart des cas à pyrite et pyrrhotite et rarement à chalcopryrite, avec des altérations en covellite. Ils sont généralement associés au quartz et à la calcite contenant de la sphalérite, et de la fluorine. Ce dernier type de sulfures est franchement tardif par rapport au reste. Il s'est probablement mis en place parallèlement aux sulfures des filons de fluorine du gisement d'El Hammam.

## 11 CONCLUSION

Au vu de ce qui précède, la minéralisation sulfurée reconnue et identifiée dans les deux sondages carottés de la faille des Jbala (SCJB 1, et SCJB 2), bien que diversifiée (pyrrhotite, pyrite, arsénopyrite, sphalérite, galène) et importante par endroit semble être liée à la suite de l'évolution géothermique du district d'El Hammam. Cette évolution qui a débuté par un événement métasomatique puis relayé ensuite par des événements hydrothermaux qui ont permis la mise en place des différentes phases de minéralisations tardives (sulfures et fluorine).

A ce stade de l'étude on ne peut pas penser à associer les minéralisations à une quelconque activité volcanique ni à les qualifier d'amas sulfurés. Une étude géochimique détaillée de ces sulfures permettrait certainement de voir leur affinité par rapport à l'ensemble des types d'amas sulfurés connus mondialement et permet de trancher sur leur signification.

## REFERENCES

- [1] M. Zouhair, M. Rapport inédit. Rapport géologique pour Reminex El Hammam. Etude géologique du secteur NNE achemèche (Ticht Ougas). Essai d'interprétation des anomalies magnétiques (MAG au sol). Conséquences pour la prospection du secteur El Hammam, Maroc, 57p. (Aout, 1993) -.
- [2] M. Zouhair, (Rapport inédit. Rapport géologique pour Reminex El Hammam. Etude pétrographique et géochimique du secteur NNE Achemèche, résultats préliminaires et interprétations. El Hammam, Maroc, 26p. (décembre, 1993).
- [3] J. Agard. Données nouvelles sur le district de fluorine d'El Hammam-Berkamène (Maroc Central). Rapport service d'étude des gîtes minéraux, 843, Rabat. (1966).
- [4] A. Piqué. Evolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne: la méséta marocaine Nord occidentale. Sci. Géol. Mém. Strasbourg, 253p. (1979).
- [5] H. Hollard. L'évolution hercynienne au Maroc. z. dt. Geol. Ges., 129, p. 495-512. (1978).
- [6] Z. Mrini, A., Rafi, J.L, Duthou, et Ph. Vidal. Chronologie Rb-Sr des Granitoïdes hercyniens du Maroc: Conséquences. Bull. Soc. Géol., France, t 163, n°3, série II, pp.671 - 676. (1992).
- [7] Y. Cailleux. Une carte du métomorphisme hercynien dans l'Ouest du Maroc Central: structures thermiques syntectoniques du socle et phénomènes de retard à la cristallisation des illites. Sci. Géol. Bull., 34, 2, p.88-95. (1981).
- [8] H. Termier. Etudes géologiques sur le Maroc Central et le Moyen Atlas Septentrional, Notes et Mém. Serv. Mines et Cartes géol. du Maroc, n° 33. (1936).
- [9] Y. Cailleux. Géologie de la région des Smaâla (Massif central marocain). Thèse de 3ème cycle, Strasbourg, 97p. (1974).
- [10] A. Michard. Eléments de géologie Marocaine. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 252, 408p. (1976).
- [11] A. Piqué, & A. Michard. Les zones structurales du Maroc hercynien. Bulletin de la Société Géologique de France, Strasbourg, 34, 135-146. (1981).
- [12] M. Bouabdelli. Tectonique et sédimentation dans les bassins orogéniques: Le sillon viséen d'Azrou-Khénifra (Est du massif hercynien central). Thèse ès Sciences, Université Louis-Pasteur, Strasbourg, 257p. (1989).
- [13] A. El Hassani. La bordure nord de la chaîne hercynienne du Maroc. Chaîne «calédonienne» des Sehoul et plate-forme nord-mésétienne. Thèse ès-Sciences, Université de Strasbourg, France, 208p. (1990).
- [14] C. Hoepffner La tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc. Thèse, université Louis-Pasteur, Strasbourg, 280 p. 1987.

- [15] K. Nerci Les minéralisations aurifères du district polymétallique de Tighza (Maroc central): un exemple de mise en place perigranitique tardi-hercynienne. Thèse es-Sciences, Université d'Orléans, 302 p. (2006).
- [16] L. Tarrieu. Nouvelles données minéralogiques, géochimiques et géochronologiques sur le gisement polymétallique de Tighza (Maroc Central): Contribution la métallogénie des gisements de métaux de base filoniens en contexte post-collisionnel. Thèse de doctorat, Université de Savoie, France, 240 pp. (2014).
- [17] M. Rossi, L., Tarrieu, A. Cheillett, D. Gasquet, E. Deloule J-L. Paquette, H. Bounajma T. Mantoy, L. Ouazzani, L. Ouchtouban. The Polymetallic (W–Au and Pb–Zn–Ag) Tighza District (Central Morocco): Ages of Magmatic and Hydrothermal Events. Chapter, Mineral Deposits of North Africa, Mineral Resource Reviews, 107-131. (2016).
- [18] A. Saadi. Etat de contrainte et mécanismes d'ouverture et de fermeture des bassins permien de la Meseta marocaine. Apport de la Télédétection à la reconnaissance des faciès et des réseaux de failles. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V, Rabat, 222 p. (2005).
- [19] A. Kosakevitch. Etude minéralogique des minerais d'antimoine au Maroc. Rapport SEGM, Rabat, n° 934, 145p. (1972).
- [20] J.J Perichaud. Les gisements d'Antimoine du Maroc Central. Synthèse gîtologique sur la répartition, la morphologie et la minéralisation des gisements. Rapport B.R.G.M., 81 RDM 024 AO, 75 p., inédit. (1981)-.
- [21] G. Chartry. Gîtologie et métallogénie de l'antimoine du Maroc central. Thèse Université Catholique de Louvain. (1983).
- [22] J. Agard, Ph. H. Morin et Termier. Esquisses d'une histoire géologique de la région de Mrirt (Maroc central). Notes et mém. Serv. Géol., Maroc, n°12, 125, p15-28. (1955).
- [23] A. Agard et PH.H Morin. Les gisements de fluorine du Maroc. Notes et mém. Serv géologique, Maroc. n°83. (1951).
- [24] F. Frehring. Rapport sur la prospection alluvionnaire, Ouljet-Soltane, Maroc central. Rapport inédit, S.E.G.M., n°371, dir. min. géologie, Rabat. 1954).
- [25] C. Gauderfroy. Andradite, datolite, apophyllite, axinite, in description provisoire des espèces minérales. Notes Serv. Géol., Maroc, 26, p.123-125. (1954)-.
- [26] L. El Maghraoui. Gisement de fluorine d'El Hammam. Rapport interne, Samine. (1970).
- [27] J-J. Guionnet. Rapport d'activité inédit. Ecole des mines de Paris, archives Samine, El Hammam. (1971).
- [28] J. Yajima, J.C. Touray. Analyse thermométrique du gisement de fluorine d'El Hammam (Maroc) (d'après des études d'inclusions fluides). Mineralium Deposita, Berlin, 5, 23-28. (1970).
- [29] M. Jébrak. Contribution à l'histoire naturelle des filons F-Ba du domaine varisque: Essai de caractérisation structurale et géochimique des filons en extension et en décrochements. Massifs centraux français et marocains. Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Orléans, 470 p. (1984).
- [30] H. Rahho. Evolution tectono-métamorphique hercynienne du paléozoïque d'El Hammam (Maroc Central Septentrional). Analyse de la fracturation et mécanismes de mise en place des minéralisations. Thèse de 3ème cycle, Université Mohamed V, Rabat, 219p. Ramsay J-G. (1980). Shear zone geometry: a review. Journal of structural Geology, V. 2, 83-99. (1996).
- [31] Ph. M. Sonnet. Les skarns à Sn, W, B de la région d'El Hammam (Maroc Central). Unpub Ph. D. thesis, Belgium, Univ. Cath. Louvain, 512p. (1981).
- [32] M. Aissa. 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'Etat, Univ. My Ismaïl, Meknès, Maroc. 348p. (1997).
- [33] M. Jébrak. (. Les districts à fluorine du Maroc central. Bulletin de BRGM (2), II, 2, pp. 211-221. 1982).
- [34] M. Ben Abbou, J. C. Soula, S. Brusset, M. Roddaz, A. Ntarmouchant, Y. Driouch., F. Christophoul, M. Bouabdelli, C. Majesté-Menjoula, D. Béziat, P. Debat, J. Déramond. Contrôle tectonique de la sédimentation dans le système de bassins d'avant-pays de la Meseta marocaine. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, série Ila 332,703-709. (2001).
- [35] P. Razin, D. Janjou, T. Baudin, A. Bensahal, C. Hoepffner, D. Thiéblemont, P. Chèvremont, R. Benhaouch. Carte géologique du Maroc au 1/50 000, feuille de Sidi Matla EchChems. Mémoire explicatif. Notes et Mémoires Service Géologique Maroc, 412 bis, 70p. (2001).
- [36] R. Benhaouch. Carte géologique du Maroc au 1/50 000, feuille de Sidi Matla Ech Chems. Mémoire explicatif. Notes et Mémoires Service Géologique Maroc, 412 bis, 70p. (2001).
- [37] C. Hoepffner, A. Soulaimani, A. Piqué. The Moroccan Hercynides. Phanerozoic evolution of Africa. Journal of African Earth Sciences, 43, 144-165. (2005).
- [38] F. Lotfi, M. Aissa, Etudes pétrographique et minéralogique des minéralisations sulfurées des formations viséennes de la faille des Jbala. District d'El Hammam, Maroc central. Actes du 16<sup>ème</sup> colloques des bassins sédimentaires marocains 28-29-30 Septembre 2001, Meknès, Maroc. (2001).
- [39] F. Lotfi. Etudes pétrographique et minéralogique des minéralisations sulfurées des formations viséennes de la faille des Jbala (District d'El Hammam, Maroc central). Mémoire de DESA. Faculté des sciences, Université Moulay Ismail. P. 74 (2002).