

Contrôle structural des minéralisations filoniennes à fluorine du district d'El Hammam (Maroc central) et implication pour l'exploration régionale

Structural control of the fluorite vein mineralization of El Hammam district (central Morocco) and implication for regional exploration

**Brahim BAAMAR^{1*}, Lakhlifi BADRA¹, Abdelaziz GAOUZI², Maamar BENYOUNES³
& Mohamed SOUIAH²**

1. Université Moulay Ismaïl, Faculté des Sciences, Département de Géologie. BP11201 Zitoune, 50 000 Meknès.

* (baamar.grm@gmail.com)

2. Société SAMINE, MANAGEM-GROUP, BP14, 50000 Meknès.

3. Groupe MANAGEM, Twin center, Tour A, BP 5199, Casablanca.

Résumé. Le gisement de fluorine d'El Hammam s'inscrit dans un encaissant paléozoïque du Maroc central. Son développement en vue de son extension, impose l'établissement d'un modèle structural. Ainsi, les levés structuraux effectués permettent de distinguer trois types de structures à fluorine: les premières, orientées N40E, sont portées par les failles majeures; les secondes, développées entre ces précédentes, ont des directions moyennes N55E à N60E et N70E à N75E ; elles correspondent respectivement à des fractures de type Riedels (SR1 et SR2). D'autres structures moins fréquentes, orientées E-W, correspondent à des fentes de tension. Les failles majeures attestent des mouvements suivants : (a) inverse, accompagnant la phase de plissement hercynienne majeure (raccourcissement NW-SE); (b) dextre normal en contexte transtensif sous une contrainte régionale ENE-WSW et (c) normal en régime extensif par relâchement des contraintes et/ ou un changement de régime. En conséquence, les dépôts successifs de la minéralisation fluorifère se trouvent contrôlés par ces événements tectoniques. En effet, la phase de décrochement dextre normal est à l'origine d'une bréchification (B1) de l'encaissant (schistes et carbonates) favorisant ainsi la mise en place de la calcite spathique. Puis, une seconde bréchification hydraulique (B2) de la calcite accompagnée par la mise en place de la fluorine verte (économique). La réouverture de ces structures permet le dépôt d'une seconde fluorine rubanée (violette ou blanche) localement économique. Le continuum d'une telle extension favorise la mise en place d'une minéralisation tardive à sulfures (galène, pyrrhotite, chalcopirite, sphalérite, pyrite), quartz et calcédoine. Il est à noter que la silicification tardive est à l'origine de la corrosion d'une partie de la fluorine et ce selon les sites d'exploitation. Des failles tardives N130E à N140E (qualifiées Fy in situ) post minéralisation ont été notées. L'ensemble failles majeures et structures à fluorine constitue un méga-couloir cisaillant (NE-SW) d'environ 8km de largeur et de plus de 10km de longueur. Un tel contexte offre des perspectives d'extension et ouvre des possibilités d'exploration régionale de la fluorine. Par ailleurs, il incite à une valorisation du potentiel en sulfures et oxydes d'étain exprimés dans ce district.

Mots clés : El Hammam, Maroc central, fluorine, contrôle structural, cisaillement, transtension/extension.

Abstract. The deposit of El Hammam fluorite is located in the Palaeozoic basement of the central Morocco. The deposit extension development requires the establishment of its structural model. Structural surveys have permitted to distinguish three types of fluorite structures: the first oriented N40E is carried by the major faults; the second developed between the previous have N55E to N60E and N70E to N75E as mean directions, they correspond respectively to Riedels fractures (SR1 and SR2); the third type, less frequent, is E-W trend tension gash. Structural analysis of major faults provide a cinematic expressed by (a) reverse faults during the hercynian major folding phase (shortening NW-SE); (b) a normal dextral motion related to transtensive setting under a regional ENE-WSW shortening and (c) evolved to normal motion under extensive regime linked both to relaxation or a regime change. Therefore, fluorite mineralizations successively deposited are mainly controlled by these tectonic events according to the following chronology: (i) the transtensional event is responsible for host-rock brecciation (B1) and the spate calcite crystallization; (ii) a second hydraulic brecciation (B2) of the calcite is accompanied by the placing of the economic green fluorite; (iii) during a re-opening of previous structures, the banded fluorite (purple or white) locally economic took place. The continuum of extension event gives rise to a late sulphides mineralization (galena, pyrrhotite, chalcopirite, sphalerite, and pyrite), quartz and chalcedony. It should be noted that the late silicification has corroded a part of the fluorite according to the

exploitation sites. Late faults N130E to N140E (designated Fy in situ) post mineralization were noted. The set of these structures defines a mega-shear zone over (NE-SW) about 8 km of width and more than 10 km of length. Such results offer perspectives of extension and open possibilities for regional fluorite exploration. Otherwise, they also incite to the valorization of the potential in sulphides and tin oxides expressed in this district.

Keywords: El Hammam, central Morocco, fluorite, structural control, shear zone, transtensional/extensional.

Abridged English version

Introduction

The mining district of El Hammam is located in the NE edge of the hercynian central Morocco, about 65 km to the SW of Meknes city. It contains several mineralizations, where fluorite veins are the main objective of the current work. Historically, Barthoux (1923) is the first who discovered the fluorite ore in this district. Currently, this deposit is operated by SAMINE-MANAGEMENT GROUP. The mining long-term imposes the search for the extension of this deposit. The purpose of the structural investigations aims to constrain a model that illustrating the structural control of the fluorite mineralization. It will be used as guide for regional exploration. In this regard, the main vein of the center deposit has been described by Jebrak (1984) of the strike type associated to the El Hammam major fault. In order to fulfill the main objective, we applied the following methodological approaches:

- detailed mapping of the district (1:2000-scale), supported by a cross sections;
- structural analysis (surface and mining levels) of mineralized structures;
- exploitation of the data gained from drill core and preexisting mining surveys;
- a synthesis of results and correlative interpretation are established.

Structural analysis of the fluorite veins

Locally, the detailed mapping shows the existence of numerous kilometric-faults that correspond to NE-SW trend shear-zones (Jebrak 1984, Ben Abbou 1990, Tahiri 1991, Rahho 1996, Izart *et al.* 2001): El Hammam, North Moufrès, Mizourza, Jbala, Tlatezma-Achmach and Bouljaj-Achmach faults. These major 40E-trend strike-slips prove successive reverse, transtensif and extensional movements.

Detailed mapping of all mineralized structures allowed distinguishing two main veins swarms which are surrounding the "Gisement centre" and "Tlatezma-Achmach zone" (Fig. 8).

- Gisement centre veins swarm

The veins swarm extends over 8Km length between "Moufrès" and "Bergamou" (Figures 2 and 8). The fluorite veins are developed along the N40E trending major faults (FEH, North Moufrès and Popote) and as their main branching out (Fig. 9). Morphologically, the main branching out structures form sigmoidal lenses with average trending to N55E

and variable dipping from 75° to 85° NW. They have an average width of 2m which can reach 10m in the opening zone. However, this one reduces to 1m within narrow zones. Such morphology allows characterizing these structures as "belly and knot" type (Robert 1976). Moreover, the sigmoidal lenses geometry, with "Z" shape, is defined by a central axe direction of N60E and extremities oriented N45E and changed to N30E toward F2 faults (Fig. 10). In addition, these lenticular structures correspond to pull-apart system delimited by F2 faults. The later structure, dipping 70° to NW, shows two types of striaes (rake values: 30°NE and 70°NE) suggesting a first normal right-lateral movement and a later extensional one. The whole mineralized structures, in the cross-section (Colline J; Fig. 11), are located generally at the El Hammam fault footwall where we distinguish the "Filon Principal (F.P)" 75° to 80° dip and its parallel satellite veins. The mineralized lenses are delimited by the F2 faults.

Secondary N90E oriented structures have two scales: some are of pluri-decamic extension and metrics width ("Bergamou"; Fig. 9) composed of relay sigmoidal lenses, could be interpreted in pull-apart system; however, they are in direction of general shortening; the others are centimetric tension-gash in echelon shape along N40E direction and hosted preferentially in Visean limestones ("Collines J and K").

Consequently, these branched structures corresponding to pull-apart system (Riedel fractures) related to the major strike-slip (FEH, Nord Moufrès and Popote). In addition, the mineralized structures of the "gisement centre" are intercepted by the faults (called locally "Fy"), oriented N130E to N140E, 60 to 70°SW dipping which characterized by a normal sinistral low offset. They are filled essentially by geodic quartz and ankerite.

- Tlatezma-Achmach veins swarm

This veins swarm is located in the South-Eastern edge of El Hammam district, about 7 km far away from the mining center (Figures 2 and 8). The mineralized veins correspond to relay structures associated to the Tlatezma-Achmach N40E trend shear-zone (Fig. 12). In these mineralized veins we distinguish three major directions:

- the main branched structures trending N55E with a dip of 70° to 85°NW and a variable width from 0.2 to 2m. These structures are composed of sigmoidal lenses, characterized by a central part with N55E to N60E direction and N45E orientation in its

extremities. They are corresponding to pull-apart system limited by F2 faults. The later, with 65° to 70° NW dipping, show a normal dextral movement proved by bend and striaes with rake value of 25° to NE. They define generally silicified narrow zones with metric to decametric extension (10 to 20m). Vertically, the mineralized lenses draw also a pull-apart system bordered by F2 faults. The lenses width reaches its maximum when their dipping is higher (80°-85° NW). These structures are dissected, with sinistral movement, by the "Fy" faults oriented N130E to N140E and dipping 65°SW;

- the secondary N70E to N75E structures corresponding to a usually parallel secondary ramifications (satellite veins) with subvertical dipping. The mineralized lenses relatively silicified have a variable width (0.2 to 1.5 m) and are delimited by F2 faults which are oriented N30E to N45E;

- the thirdly structures, oriented N90E, correspond to a tension-gash. They are less developed and present a limited (decametric) extension.

Thus, the averages angular values calculated from different mineralized structures are very close of that theoretical model of Riedel shear structures (Robert 1976, Ramsay 1980, Vialon *et al.* 1991). Moreover, they suggest an ENE-WSW regional shortening responsible for their development.

Textural characteristics

The textural analysis shows that the fluorite veins are a result of four main stages (Fig. 17):

- Early stage marked by massive sulphides (pyrrhotite); which are present in inclusion in calcite;

- *Stage 1* whose transtensive movement is responsible of a brecciation (B1) of the host-rock (schist and limestone), thus promoting the placement of spate calcite;

- *Stage 2* characterized by a hydraulic brecciated texture (B2) where the calcite is cemented by green fluorite (economic type). The fluorite structures are corresponding to pull-apart system under transtensional motion of the major faults;

- *Stage 3* marked by a banded mineralization texture essentially developed in the vein center and rarely in its border. The vein filling consists of purple or white fluorite, sulphides (galena, pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite, sphalerite) and quartz. According to the tectonic control, this mineralization type is related to an extensional setting;

- *Stage 4* defined by mineralogical association of iron-carbonates, siliceous and pyrite phases mainly associated with chalcedony. This late silicification is characterizing the southern part of the district (Achmach) and partially or completely replaced the fluorite according to the mining levels. This ore deposition phase was contemporaneous with the re-opening of the previous structures (continuum of extension).

The fluorite structures of El Hammam district appear to be relatively unaffected by the supergene alteration, except for a few iron oxides. Consequently, these successive deposits are located in accordance with the structural evolution of this district.

Conclusion

The results carried out by the present study proved that the fluorite district of El Hammam consists in a large shear-zone (8km in average) with a regional extension composed by different major faults. These major (N40E-trend) strike-slips prove a successive movement as following: previous reverse, transtensional and extensional.

Fluorite structures associated with those strike-slips are developed partially along the majors faults (D) and are mainly Riedel types (SR1, SR2 and T). They correspond to lenticular structures opened in a pull-apart system delimited by F2 faults. The whole structural configuration is coherent with a regional shear system developed under an ENE-WSW late hercynian regional stress, which evolved to an extensional event. Different mineralization stages (carbonates, fluorites, sulphides and silica) are in direct relation with the structural evolution of this shear-zone. The late ore deposit which took place within an extensive regime (in continuum) predicts a late hercynian age (upper Permian) to early Triassic (Atlantic rifting).

In the whole, the model defined here give rise a perspectives for regional exploration: existence of mega-shear zone over 8 Km large; possibility to research other mineralized Riedel structures; valuation of areas still little or no explored. In addition to fluorite, this shear-zone carries a potential in sulphides and tin oxide which must also be valued.

INTRODUCTION

Historique

Le district d'El Hammam à fluorine est situé dans la partie NE du Maroc central (Fig. 1B ; coordonnées du centre minier: 5° 48' 33,64" - 33° 33' 23,02"/ WGS84) à 65 Km au SW de la ville de Meknès. Ce gisement est exploité par la société SAMINE-MANAGEM dont la production annuelle est

d'environ 76Mt/an (MANAGEM 2011) ce qui le place au 8^{ème} rang mondial (SCF 2016). Dans ce district, plusieurs minéralisations sont connues : (1) celles (Sn, W, B) associées aux skarns (Sonnet 1981, Aissa 1997) ; (2) des sulfures (Pb, Zn, Cu, Fe) et des oxydes d'étain (cassitérite) filoniens (Mahjoubi *et al.* 2016) et (3) les minéralisations filoniennes à fluorine en cours d'exploitation. Dans ce travail nous nous intéressons particulièrement à ces dernières en vue de

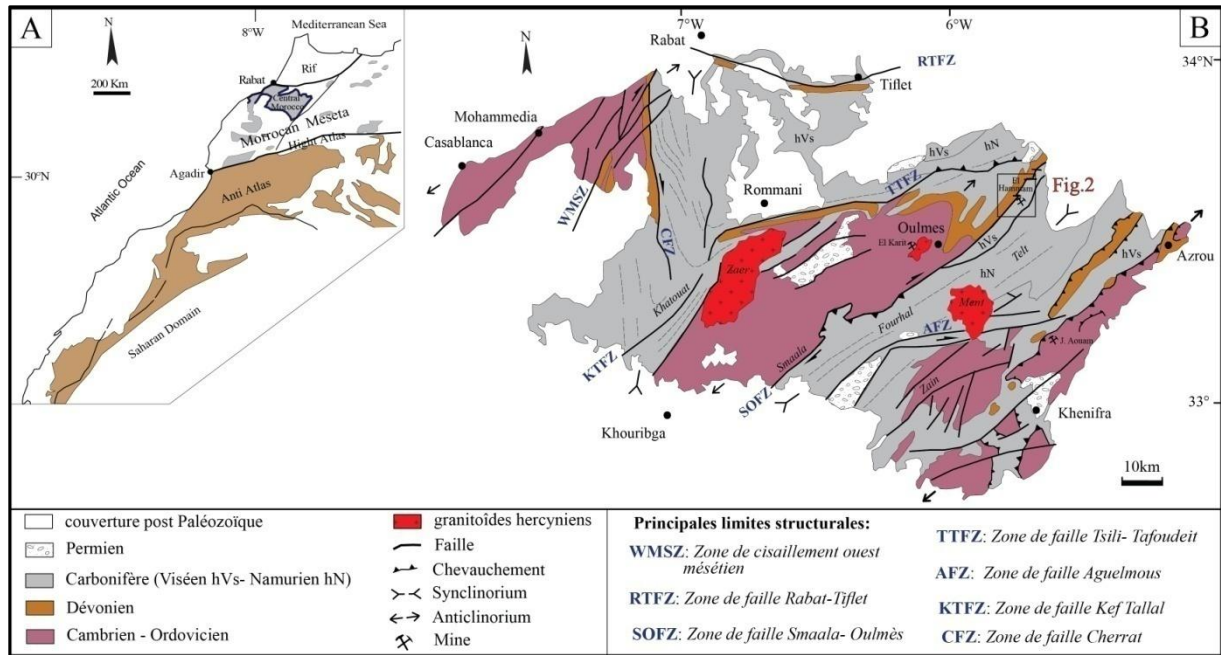


Figure 1. A : carte des domaines structuraux du Maroc, avec localisation du Maroc central. B: principales unités structurales (Michard 1976, Fadli *et al.* 1991).

Figure 1. A: Map of the structural domains of Morocco, and location of central Morocco. B: main structural units (Michard 1976, Fadli *et al.* 1991).

définir un modèle structural couvrant l'ensemble du district et d'en déduire des guides d'exploration régionale. A ce titre, le filon principal du gisement centre a été décrit par Jebrak (1984) comme étant de type en décrochement associé à la faille majeure d'El Hammam.

Historiquement, la découverte de la fluorine dans le district d'El Hammam revient à Barthoux dès 1923 (in Agard 1966). La première exploitation, artisanale, a été effectuée par les frères Dubois en 1947. Par la suite, l'extension des travaux de recherche et de production par la Société Ugine de 1951 à 1954 a permis la découverte du champ fluorifère couvrant les secteurs d'El Hammam et de Gouaïda (Fig. 2). La société SAMINE a été créée en 1962 par deux partenaires: le Bureau de Recherches et de Participations Minières (BRPM) et Continental Ore Corporation-Samine. En 1974, la société SAMINE-ONA a commencé la production de la fluorine chimique avec une capacité de 60 Mt/an. Actuellement, le district minier est constitué de plusieurs sites: le Gisement centre, ses extensions NE (Bergamou-Gouaïda) et SW (Moufrès), le gisement de Tlätzma et celui d'Achmach; le secteur de Mizourza est en cours de développement (Fig. 2).

Ainsi, en vue de rechercher les éventuelles extensions de la minéralisation, nous avons mené une étude structurale élargie dans le secteur d'El Hammam. L'approche méthodologique adoptée est basée sur:

(1) la cartographie détaillée du district (1/2000, simplifiée dans la figure 2) appuyée par des coupes géologiques sériées;

(2) l'analyse structurale à l'échelle des champs filoniens et des structures minéralisées (surface et galeries);

(3) l'exploitation des données de sondages carottés et des levés miniers existants (souvent inédits);

(4) une interprétation corrélatrice (surface vs galeries), en vue de définir le modèle structural contrôlant le mode de mise en place de la minéralisation fluorifère.

Contexte géologique régional

Le massif central hercynien, correspond à la zone septentrionale de la Meseta occidentale (Fig. 1-A). Il est constitué d'un substratum néoproterozoïque, d'affleurement réduit et local, représenté par des laves acides et intermédiaires (rhyolites et andésites) et des granites (Tahiri *et al.* 2010); d'un socle paléozoïque (Cambrien au Permien) et d'une couverture méso-cénozoïque. Les formations du Cambrien sont composées par des carbonates de plate-forme et des sédiments volcano-détritiques. L'Ordovicien est représenté par des dépôts détritiques (schistes, grès et quartzites) dans un environnement de type plate-forme marine peu profonde (Hamoumi 1988). Le Silurien est caractérisé par une transgression glacio-eustatique donnant des pélites noires à graptolites et des carbonates. Le Dévonien (inférieur et moyen) est marqué par des dépôts argileux et carbonatés récifaux (Termier 1936, Piqué & Michard 1981, Faik 1988, Habibi 1988, Bouabdelli 1989, El Hassani 1990, Fadli 1990, Tahiri 1991, Lazreq 1983, Cattaneo *et al.* 1993, Zahraoui 1994).

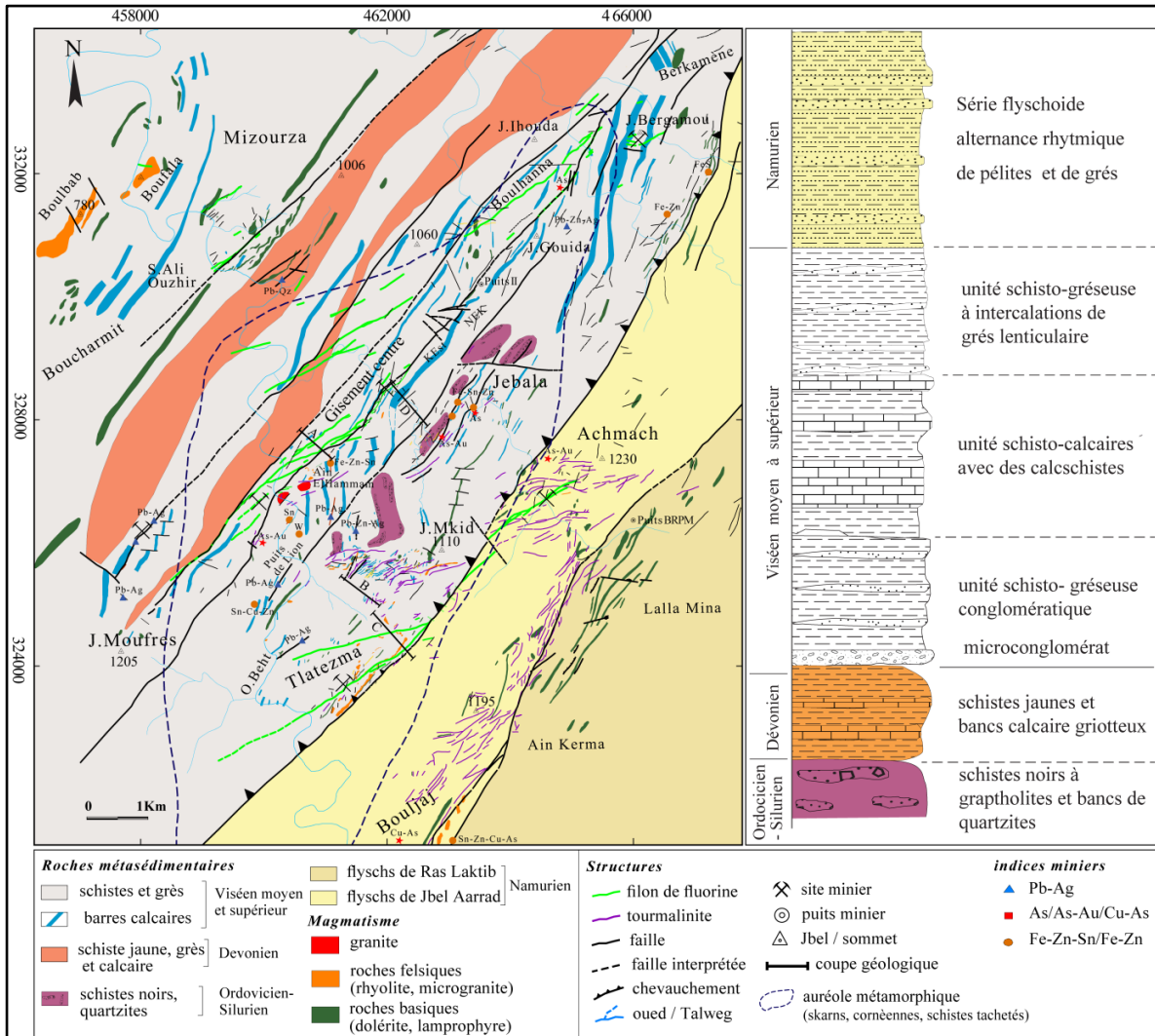


Figure 2. Carte géologique du district d'El Hammam (Agard 1966, Baoutoul 1991, Zouhir 1993, modifiée et complétée) et sa colonne stratigraphique synthétique.

Figure 2. Geological map of El Hammam district (Agard 1966, Baoutoul 1991, Zouhir 1993, modified and completed) and its synthetic stratigraphic column.

La déformation éovarisque (dévono-dinantienne) est responsable de la formation des bassins (Sidi Bettache et Azrou-Khénifra) d'abord en pull-apart contrôlés par des décrochements bordiers NNE-SSW à NE-SW puis de type avant-pays contrôlés par des systèmes de plis et chevauchements vers l'WNW (Tahiri & Hoepffner 1987, Lakhloufi 1988, Bouabdelli 1989, Piqué & Michard 1989, El Hassani 1990, Fadli 1990, Izart *et al.* 2001, Ben Abbou *et al.* 2001, Berkhli & Vachard 2002, Hoepffner *et al.* 2005). La sédimentation carbonifère est représentée surtout par les dépôts du Viséen et du Namurien. Le Viséen est constitué dans le Maroc central d'une épaisse série détritico-carbonatée (Termier 1936, Allary *et al.* 1972, Faik 1988, Habibi 1988, Bouabdelli 1989, Ben Abbou 1990, Piqué 1994, Izart *et al.* 2001, Berkhli & Vachard 2002), montrant des conglomérats, des schistes et des calcaires suivis par des formations grésopélitiques. Le Namurien est

essentiellement composé de flyschs (Ben Abbou 1990, Izart *et al.* 2001). A ces dépôts viséens et namuriens est associé un magmatisme caractérisé par des laves et des intrusions basiques (basaltes, dolérites, gabbros) (Termier 1936, Sonnet 1981, Jebrak 1984, Kharbouch 1994, Ben Abbou *et al.* 2001, Roddaz *et al.* 2002, Ntarmouchant 2003). Ce magmatisme présente, généralement, une affinité alcaline transitionnelle à tholéitique (Kharbouch 1994) et localement (NE de la région du Fourhal) une tendance calco-alcaline (Roddaz *et al.* 2002).

Les dépôts du Permien inférieur (Autunien) sont représentés par des conglomérats, des grès, des siltites et des cinérites dans des bassins intracontinentaux; un important volcanisme calco-alcalin (trachytes, andésites et rhyolites) leur est associé (Cailleux 1985, Zouine 1986, El Wartiti 1990, Remmal *et al.* 1999a, Izart *et al.* 2001, Saidi *et al.* 2002, Saidi 2005).

La couverture post-paléozoïque débute par les formations triasiques représentées par des conglomérats de base, des grès, des argilites rouges et des basaltes doléritiques (Cogney & Faugères 1975, Ettouhami 1992, Hoepffner *et al.* 2005, Mahmoudi & Bertrand 2007). Ces derniers sont datés de 201.7 ± 2 à 197.8 ± 0.7 Ma (Mahmoudi & Bertrand 2007). Les dépôts du Crétacé supérieur, développés plutôt au sud du massif, sont représentés par des marnes et des calcaires (Michard 1976). A la fin du Crétacé supérieur et à l'Eocène, se forment les couches phosphatées (Plateau des Phosphates).

La déformation hercynienne majeure (Westphalien supérieur- Stéphanien), datée entre 300Ma et 290Ma (Huon *et al.* 1987), qui répond d'une compression NW-SE, a structuré le massif central en unités anticlinoriales et synclinoriales, orientées NE-SW (Termier 1936, Michard 1976, Piqué & Michard 1981, Bouabdelli 1989, Tahiri 1994). Celles-ci sont séparées par de méga-failles dont celle de Smaala-Oulmès (ZFSO), laquelle se prolonge depuis les Smaala au sud (Cailleux 1985, Oubbih 1991, Tahiri & Hoepffner 1987) jusqu'au-delà du district d'El Hammam au nord (Agard 1966, Jebrak 1984, Ben Abbou 1990, Izart *et al.* 2001) (Fig. 1-B). Ces unités structurales montrent des plis synschisteux, déversés généralement vers le SE et localement vers le NW auxquels sont associés des chevauchements et des charriages (Tahiri 1994). Dans ce domaine mésétien, les plutons granitiques syn à tardi tectoniques (Giuliani 1989, Dahmani 1985, Lagarde 1985, Diot 1989, Gasquet 1996), sont calco-alcalins et pour la plupart peralumineux (Mrini *et al.* 1992, Boushaba & Cailleux 1992, Amenzou 1997).

CONTEXTE GEOLOGIQUE DU DISTRICT D'EL HAMMAM

Nos levés cartographiques dans le district d'El Hammam appuyés par la compilation des données minières (cartes, coupes, levés miniers) et les travaux antérieurs sus-cités ont permis d'une part de compléter la carte géologique du district (1/25000; simplifiée dans la figure 1) et d'autre part d'élucider des faits structuraux.

Formations géologiques

Les principales formations paléozoïques (souvent réduites par la tectonique) du district d'El Hammam sont : les schistes micro-conglomératiques et les quartzites ordoviciens (Ashgill); les schistes noirs à graptolites du Silurien (Gothlandien) (Agard 1966, Ben Abbou 1990, Izart *et al.* 2001); les schistes jaunes à tentaculites associés à des bancs gréseux et des calcaires griotteux du Dévonien (moyen à supérieur) par comparaison avec la formation type de Moulay el Hassan (Cogney 1964, Tahiri & Lazraq 1988, Izart *et al.* 2001) et les formations viséennes composées de trois unités (Agard 1966, Rahho 1996):

l'unité inférieure schisto-gréso-conglomératique, l'unité médiane schisto-calcaire et l'unité supérieure schisto-gréseuse. La série carbonifère s'achève par les flyschs du Namurien (Agard, 1966, Ben Abbou 1990, Zouhir 1993, Rahho 1996, Izart *et al.* 2001) (Fig. 2). Par ailleurs, le district d'El Hammam est le siège d'un magmatisme d'une part basique exprimé par des sills et des dykes (lamprophyres d'âge 277 ± 4 et dolérites) (Agard 1966, Jebrak 1984, Remmal *et al.* 1997, Izart *et al.* 2001) et d'autre part acide: granite calco-alcalin (apophyses d'oued Beht datées de 243 ± 7 Ma ; Jebrak 1984), microgranites et rhyolites (Remmal *et al.* 1999b).

Les terrains du district d'El Hammam sont affectés par un métamorphisme régional épizonal, et de contact (skarns, cornéennes et schistes tachtés) en rapport avec un éventuel pluton masqué dont les apophyses d'oued Beht seraient les témoins (Agard 1966, Sonnet 1981, Aissa 1997).

Cadre structural

Le district d'El Hammam s'inscrit dans une zone de dislocation correspondant à la faille majeure de Smaala-Oulmès (NE-SW) d'extension pluri-kilométrique (Fig.1-B). Cet accident se termine vers le NE par plusieurs rameaux de même direction et montre des ramifications NNE-SSW (Cailleux 1974 et 1985, Tahiri & Hoepffner 1987, Tahiri 1994, Izart *et al.* 2001). Ce système de failles est tronqué, plus au nord, par l'accident chevauchant de Tafoudeit mettant en contact les formations namuriennes et les terrains viséens du district d'El Hammam (Sebbag 1970, Ben Abbou 1990, Izart *et al.* 2001).

Déformation ductile

A l'échelle du district, le serrage régional hercynien (post Namurien- anté Permien ; Huon *et al.* 1987) a structuré les terrains en une succession d'anticlinaux et synclinaux hectométriques synschisteux, déversés vers le SE ; toutefois, localement, quelques plis métriques montrent un plan axial à pendage SE (Fig. 5) rappelant les structures à vergence NW des phases antérieures (Cailleux 1985, Ben Abbou *et al.* 2001, Baudin *et al.* 2001, Hoepffner *et al.* 2005). Dans l'ensemble, les structures plissées sont affectés par des failles décrochantes NE-SW (Agard 1966, Jebrak 1984, Rahho 1996, Izart *et al.* 2001) auxquelles sont associés des plis en chevron, des kink-bands et une schistosité de crénulation.

Les coupes géologiques, sériées, relevées entre le Gisement centre et l'axe de Tlatazma-Achmach montrent globalement une série monoclinale à pendage moyen de 60° à 70° vers le NW (Figures 2 et 3). Toutefois, on y trouve des plis métriques à décamétriques (en fonction de la lithologie), de type flanc long (40°) -flanc court (80°) notamment dans les calcaires viséens. Ces plis sont plus serrés dans les flyschs du Namurien où l'on note des plans de type S01. Ils sont accompagnés par des failles notamment dans les zones des charnières des niveaux

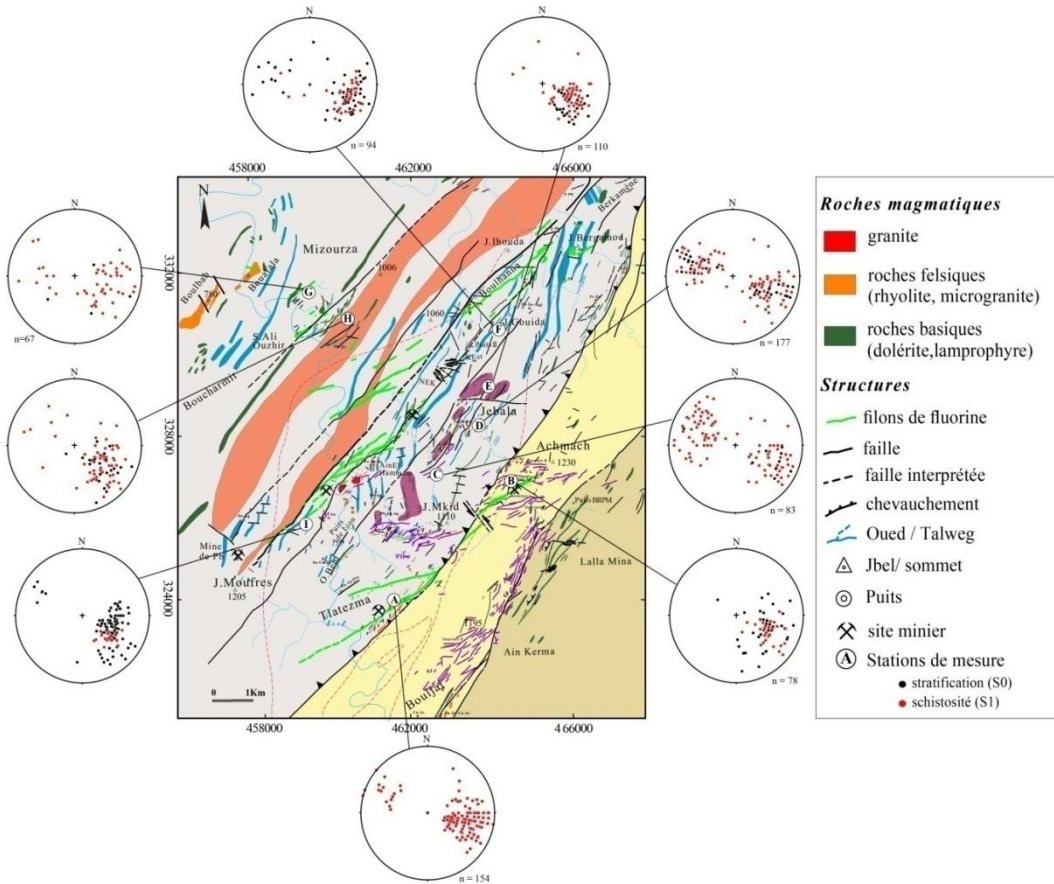
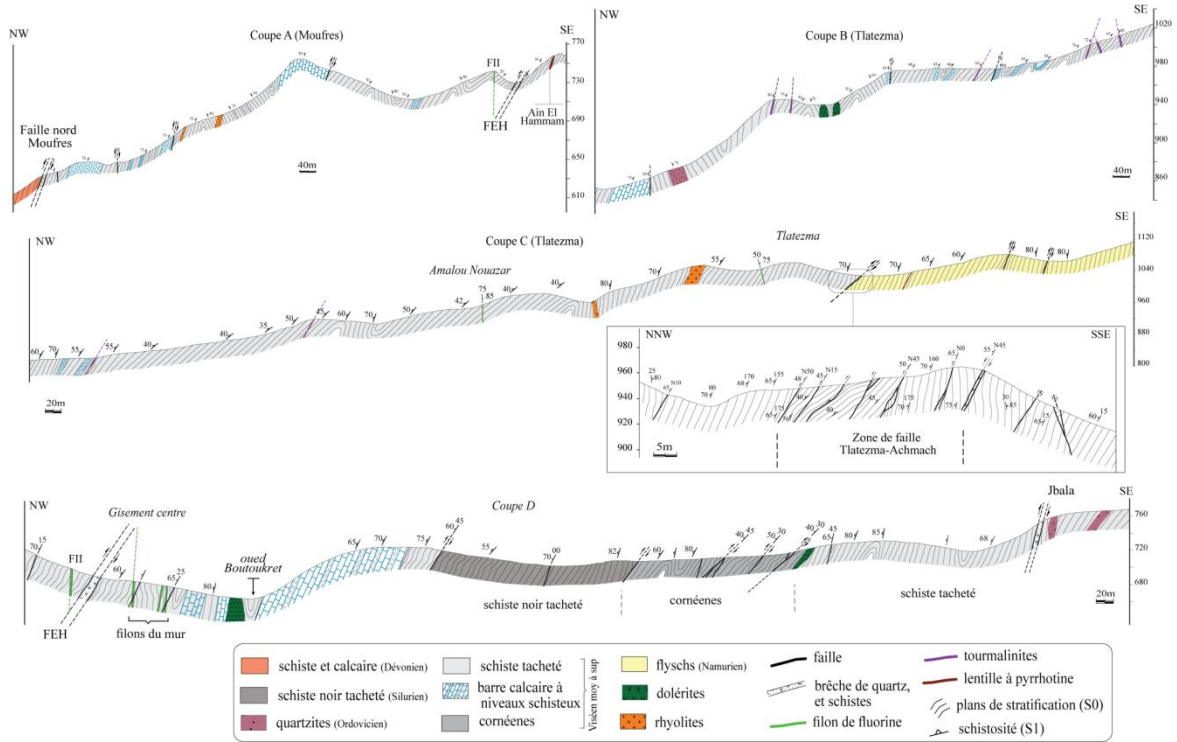


Figure 4. Stéréogrammes des pôles de la stratification S0 et de la schistosité S1 (Canevas de Wulff ; hémisphère inférieure).
 Figure 4. Stereoplots show the poles of bedding S0 and schistosity S1 (lower hemisphere).

lithologiques compétents. La schistosité principale, de type plan axial, est de direction moyenne N30 avec un pendage de 70° vers le NW (Fig. 4). Par ailleurs, des perturbations de directions de la schistosité (N00, N160 et N80) ainsi que de son pendage, apparaissent au voisinage des zones de failles décrochantes.

Tectonique cassante

A l'échelle du district, la cartographie détaillée au 1/2000 a permis de noter l'existence d'un ensemble de failles kilométriques correspondant à des cisaillements NE-SW (Jebrak 1984, Rahho 1996). Ce sont celles d'El Hammam, Nord Moufrès, Mizourza, Jbala, Tlatezma-Achmach et Bouljej-Achmach (Figures 2 et 8). En dehors de ces principaux accidents, d'autres failles d'extension réduite ont été révélées dont les principales familles sont les suivantes:

- NW-SE à jeux senestre et dextre ; elles sont à l'origine, probablement, des torsions cartographiques des barres calcaires viséennes (Ain El Hammam et Berkamène; Fig. 2) ;
- E-W, à jeu dextre, développées principalement à Jbala, Moufrès et Jbel Mkid ; elles sont matérialisées par des brèches à quartz et tourmaline, affleurant largement dans la partie SE du district (Achmach, Tlatezma);
- N-S et NNE-SSW à galène et calcite, relevées au sud d'Ain El Hammam ainsi qu'à Moufrès (ancienne mine de plomb).

Ci-dessous, nous donnons une description détaillée des principales failles décrochantes (NE-SW) correspondant aux principaux champs filoniens.

La Faille d'El Hammam (FEH)

Elle est de direction moyenne N40 avec un pendage de 60° à 70° vers le NW et présente cartographiquement une allure irrégulière par changement de direction, localement (NNE-SSW), notamment autour du pointement granitique d'oued Beht (Fig. 2). Dans le détail, la FEH est composée de plusieurs failles parallèles, de directions N35 à N45, définissant ainsi un couloir de cisaillement de 2 à 20m de largeur (Fig. 5-A). Son premier jeu déterminé est inverse à vergence SE en rapport avec la phase de plissement majeure (Fig. 5-A). Par ailleurs, des crochons de faille et des stries à pitch de 30° NE, attestent de son rejeu décrochant en dextre normal (Fig. 5-B, C et D).

La Faille de Jbala

Cet accident correspond à la principale zone de cisaillement (NE-SW) située au SE de la faille d'El Hammam (Agard 1966, Zouhir 1993, Benharref 1994). Vers sa partie médiane, au lieu dit Jbala, elle est associée à deux failles parallèles d'extension kilométrique (Figures 2 et 8). L'ensemble définit ainsi un couloir de cisaillement de direction moyenne N40 avec un pendage de 50° à 60° NW. Ce couloir peut

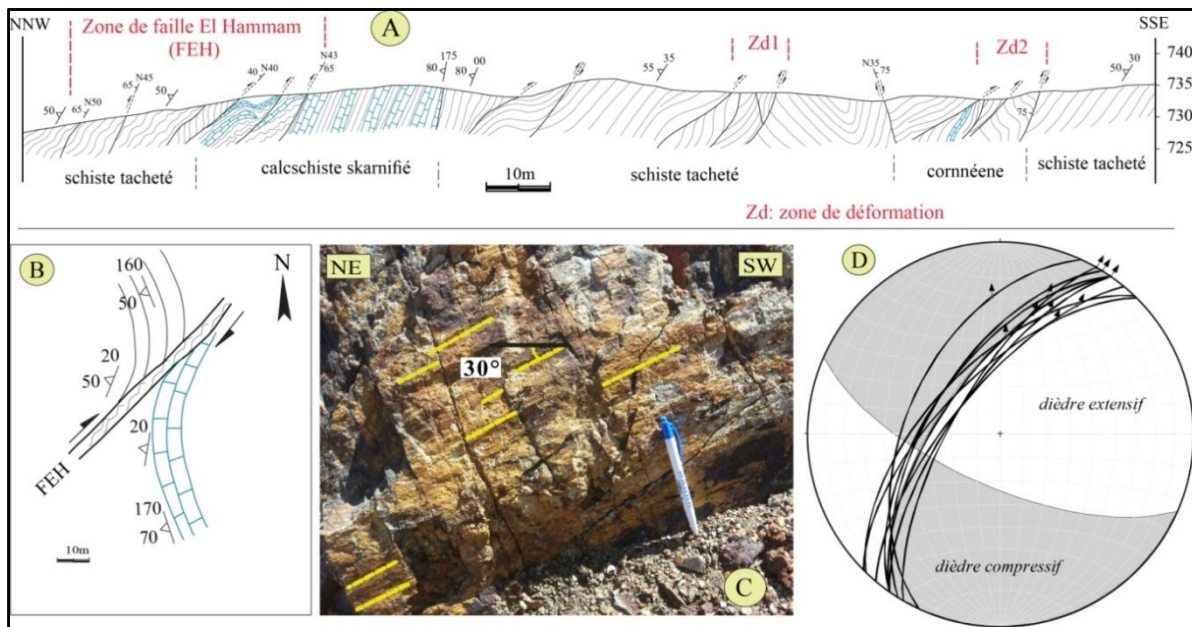


Figure 5. (A) coupe géologique à travers le couloir de la faille d'El Hammam (FEH) montrant le style de déformation et les zones de fracturation intense (failles satellites). (B et C) Crochons et stries montrant le jeu dextre de la FEH. (D) Stéréogramme des plans de failles et de leurs stries associées (domaines en compression et extension, méthode de dièdres droits).

Figure 5. (A) Cross-section through the El Hammam Fault corridor "FEH" showing deformation style and intense fracturing zones (satellite faults). (B and C) Bends and striae showing the Right lateral motion of El Hammam fault. (D) Stereoplote of the fault planes and their associated striae (compressionnal and extensional domains by dihedral P-T method).

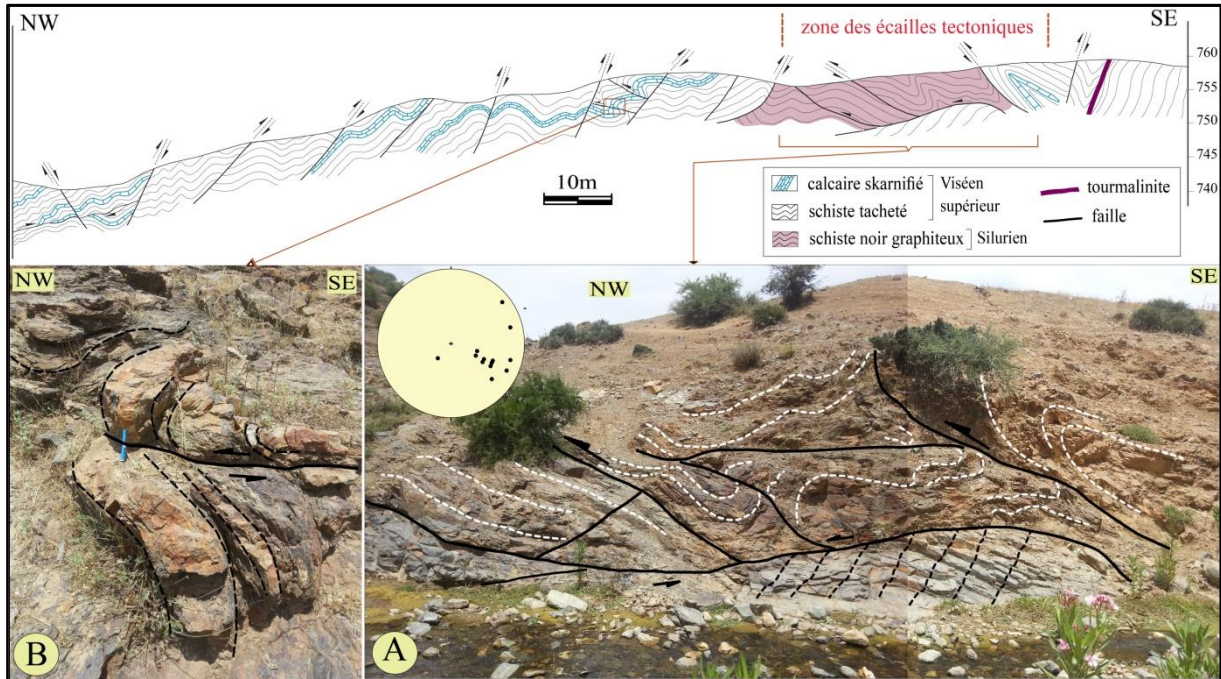


Figure 6. Coupe de détail dans le couloir de cisaillement de Jbala. (A) structure en palier-rampe associée à la zone des écaïles, avec projection des pôles des axes de plis P2. (B) Crochons de faille montrant une vergence NW.

Figure 6. Detailed cross-section of Jbala shear zone. (A) Flat-ramp tectonic structure associated to the thrust slices zone, with poles projection of folds "P2" axis. (B) Fault bends showing a NW vergence.

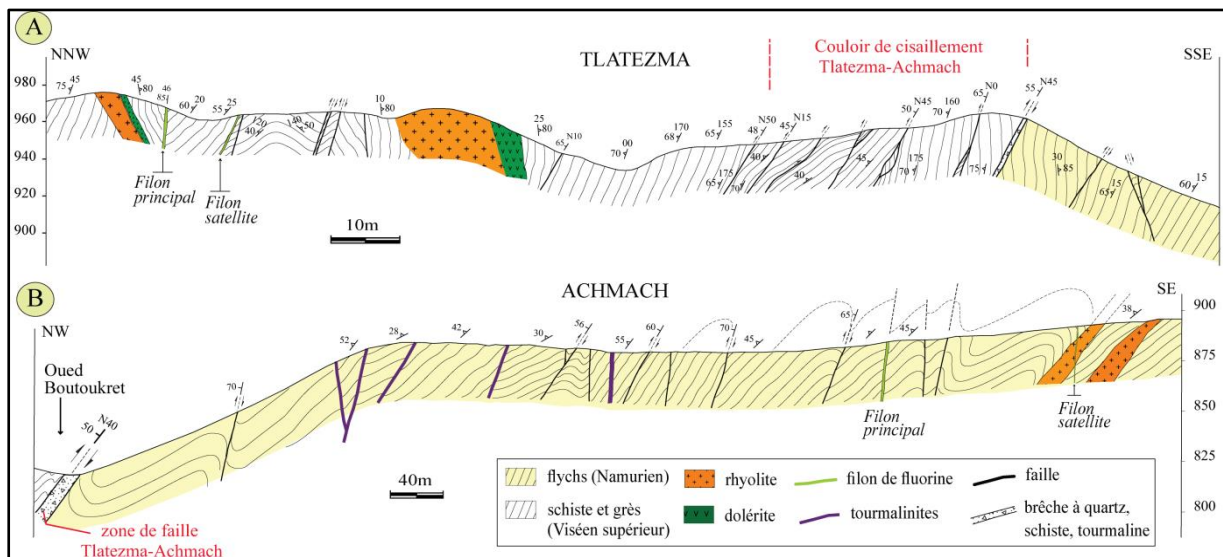


Figure 7. Coupes géologiques détaillées à travers l'accident majeur de Tlatezma-Achmach (A et B) montrant une structuration générale marquée par des plis faillés, des zones de fracturation intense à failles multiples (couloirs), des structures subverticales à tourmaline et à fluorine.

Figure 7. Detailed cross-sections through the Tlatezma-Achmach major accident (A and B), showing general structuring marked by faulted folds, intense fracturing zones with multiple faults (corridors), tourmalines and fluorite subvertical structures.

atteindre localement une largeur moyenne de 100m. A l'intérieur duquel on distingue (x:463320-y:328160; Fig. 6) :

- Une partie plissée et charriée vers le NW, où les schistes noirs graphiteux (probablement d'âge

silurien) forment un empilement d'écaïles tectoniques délimitées à la base par des failles plates (Fig. 6-B) ; le tout rappelant le style de déformation de type « plis et charriage dans un système en palier-rampe », avec un déplacement tangentiel vers le NW

(Fig. 6-A et B). Une telle structuration à vergence NW marquée par des plis et des chevauchements antithétiques a été identifiée par Ben Abbou *et al.* (2001). 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 (Baudin *et al.* 2001, Hoepffner *et al.* 2005). Cailleux (1985) rapporte ce changement de vergence plutôt au pendage des failles majeures profondes.

- Une partie montrant des plis faillés, déversés vers le SE (Fig. 6). Ces failles ont une direction N30 à N50. Dans cette zone, les calcaires (dévonien et / ou viséens) intercalés dans les schistes sont boudinés et skarnifiés. Ces structures à vergence SE sont liées (plutôt) au serrage hercynien majeur (Westphalien-Stéphanien ; Huon *et al.* 1987). En effet, Razin *et al.* (2001) distinguent l'existence de deux phases soulignées par la discordance des structures à vergence SE (Westphalien-Stéphanien) sur celles à vergence NW.

La Faille de Tlatezma-Achmach

La zone de cisaillement Tlatezma-Achmach, de direction moyenne N40 et de pendage de 55° à 65° vers le NW, met en contact anormal la série grésopélique viséenne et la série flyschöide namurienne (Figures 2 et 8). Dans le détail, cette zone est composée principalement par un ensemble de failles de direction moyenne N45 et de pendage variable (50° à 70° NW) (Fig. 7-A et B). Ces failles montrent un jeu précoce inverse (Fig. 7A et B). Des crochons du plan S01 et des veines à quartz plus tourmaline en pull-apart indiquent un rejeu dextre normal.

Ainsi, structurellement et cartographiquement, l'ensemble des accidents majeurs décrochant du district d'El Hammam constitue un méga-couloir de cisaillement régional de direction moyenne N40E d'environ 8km de largeur. Ces décrochements se caractérisent par un premier jeu inverse et un rejeu tardi-hercynien dextre normal en régime transtensif. Une telle dynamique a été proposée au Permien supérieur (El Wartiti 1990, Ait Brahim & Tahiri 1996, Saidi *et al.* 2002).

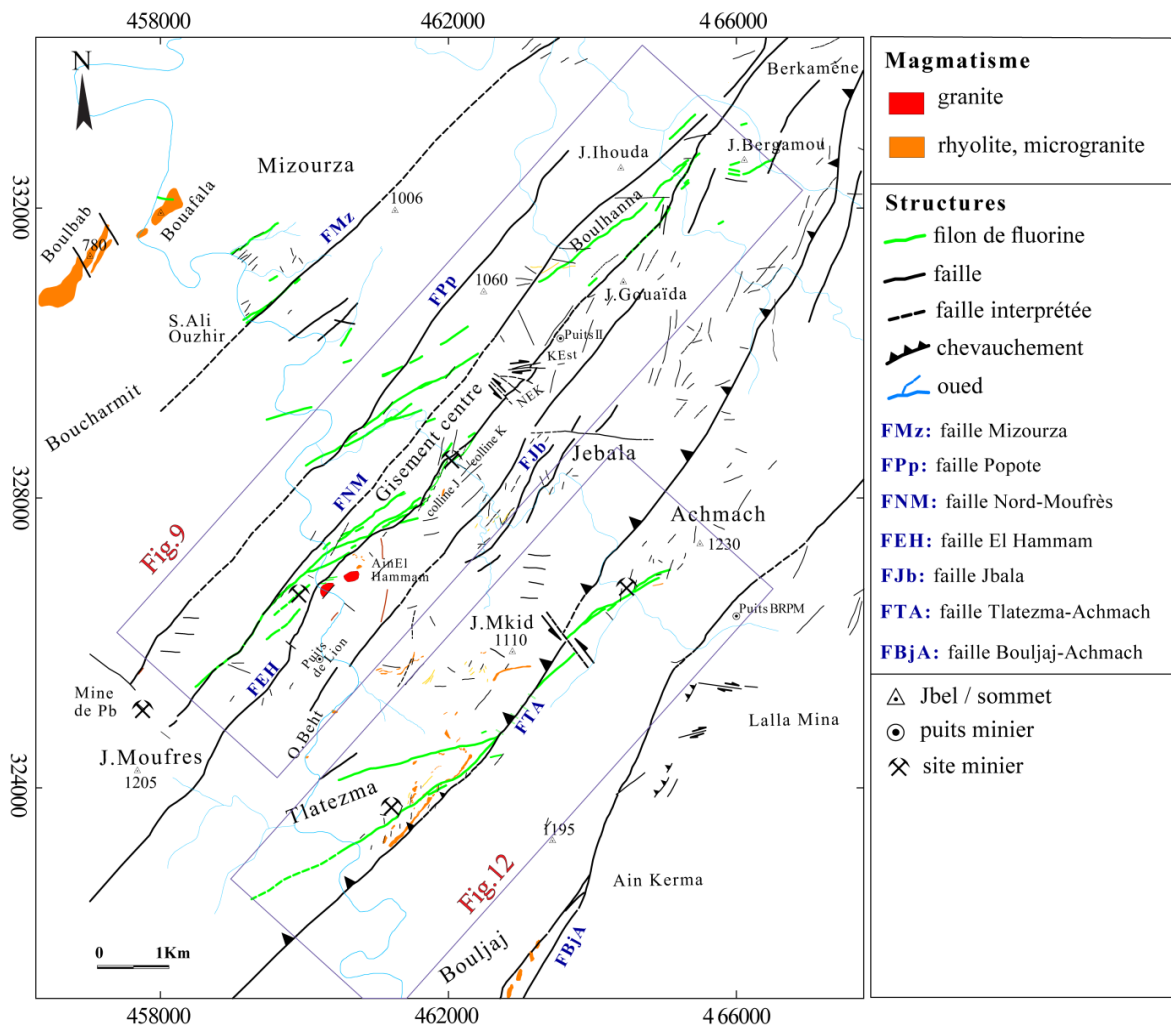


Figure 8. Carte des filons de fluorine du district d'El Hammam.

Figure 8. Map of the El Hammam district fluorite veins.

ANALYSE STRUCTURALE DES FILONS DE FLUORINE

Les levés cartographiques détaillés (1/2000) de l'ensemble des structures minéralisées à l'échelle du district (Fig. 8) permettent de distinguer deux principaux champs filoniens, à savoir celui autour du Gisement centre et celui de Tlatzma-Achmach. Un troisième champ, peu développé correspond à la zone

de Mizourza au NW (Fig. 2). Ci-dessous nous décrivons les deux premiers.

Le champ filonien du Gisement centre

Ce champ s'étend sur 8 Km de longueur en direction NE-SW entre les sites de Moufres et de Bergamou (Fig. 8). Les filons minéralisés sont développés soit le long de failles majeures de direction N40 (FEH, Nord Moufres et Popote), soit en ramifications entre ces dernières (Fig. 9).

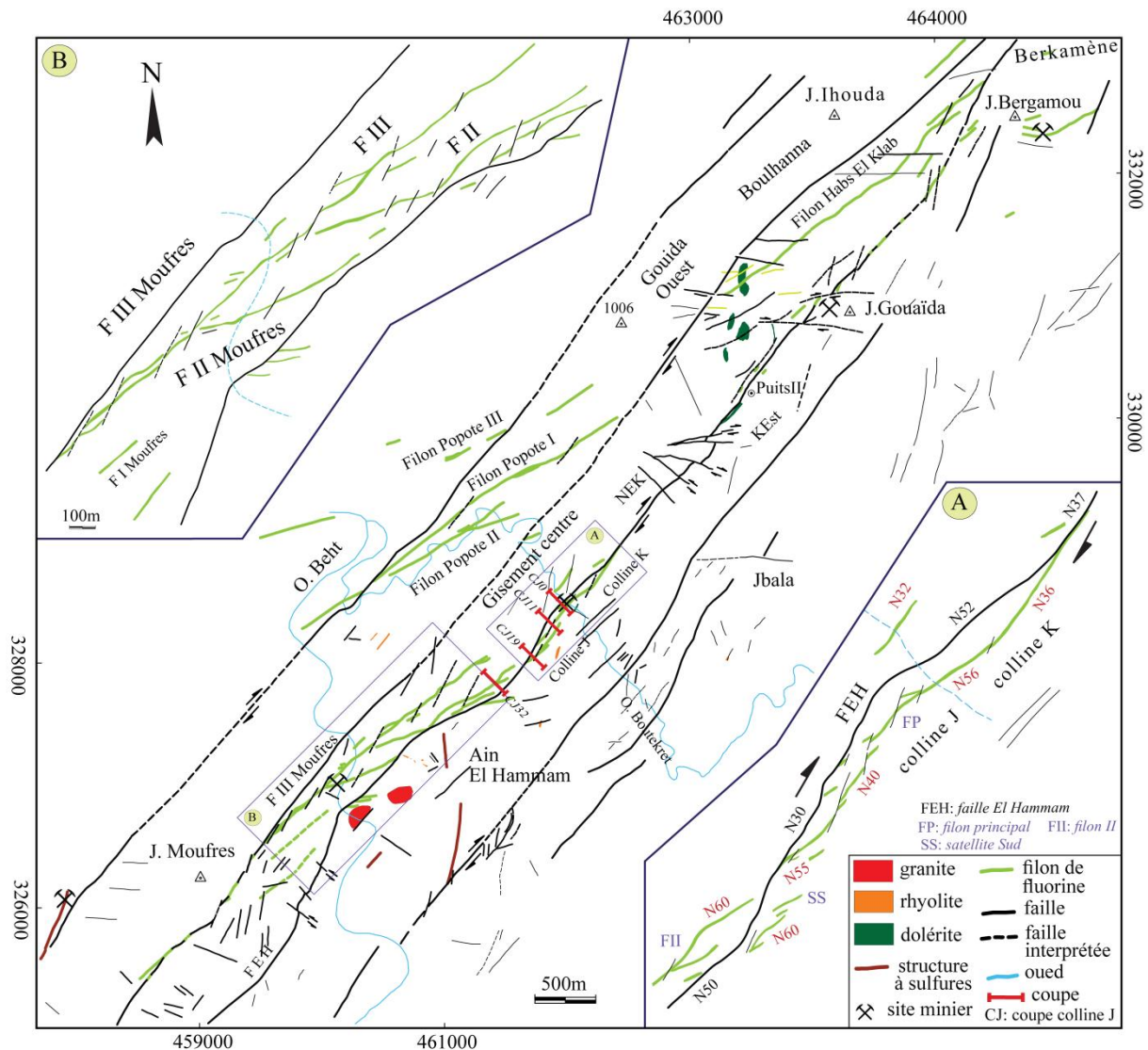


Figure 9. Carte du champ filonien du Gisement centre.
 Figure 9. Map of Gisement centre veins swarm.

Du point de vue morphologie, les principales structures de ramification forment des lentilles sigmoïdales de direction moyenne N55, de pendage variable 75° à 85°NW et d'extension 70 à 100m. Leur puissance moyenne est de l'ordre de 2m, pouvant atteindre 10m au niveau des zones d'ouverture et se réduire à 1m dans les zones de terminaison amincies (serrées). Une telle morphologie permet donc de caractériser ces

structures du type « ventre et nœud » (Robert 1976): succession de lentilles minéralisées et de zones de serrées en plan et en coupe.

Par ailleurs, les levés miniers des galeries (en plan), des différents niveaux d'exploitation montrent que la géométrie sigmoïdale de ces lentilles, en forme de Z, se définit par un axe central de direction N60 et des extrémités orientées N45 devenant N30 au droit des failles dites in situ F2. Ainsi, ces structures

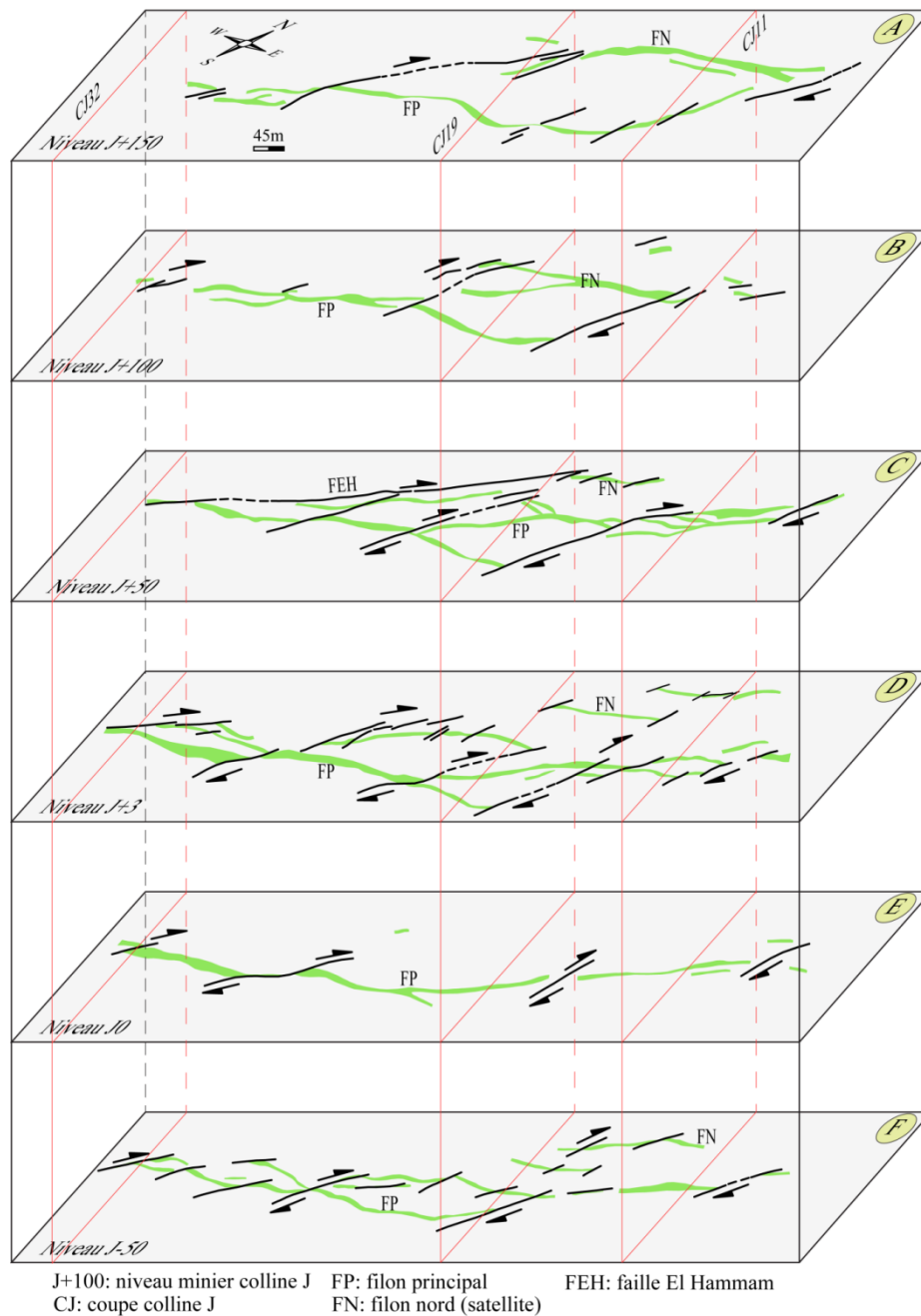


Figure 10. Projection des levés miniers du fond de la colline J (Gisement centre).

Figure 10. Projection of mining surveys bottom of the "Colline J" (Gisement centre).

lenticulaires correspondant à des ouvertures en pull-apart délimitées par les failles F2 (Fig. 10). Ces dernières se rattachent aux failles majeures (Fig. 10-C) et ont un pendage moyen de 70° NW. Elles montrent deux types de stries (pitches 30° et 70° NE) témoignant d'un double jeu d'abord en dextre normal, puis en extension.

En coupe (Colline J; Fig. 11), l'ensemble des structures minéralisées sont situées généralement au mur de la faille d'El Hammam dont on distingue un filon principal (FP) de pendage 75 à 80° et des filons satellites parallèles à ce premier. Les lentilles

minéralisées sont interceptées entre les failles F2, celles-ci étant parallèles à la FEH.

Les structures secondaires orientées N90, se présentent en deux échelles: les unes sont d'extension pluri-décamétrique et de puissance métrique (filons des frères Dubois à Bergamou; Figures 8 et 9), composées de lentilles sigmoïdales en relais pourraient être interprétées en pull-apart; toutefois, elles s'inscrivent dans la direction du raccourcissement général; les autres sont des fentes centimétriques, échelonnées suivant la direction N40 et développées préférentiellement dans les calcaires viséens (collines J et K).

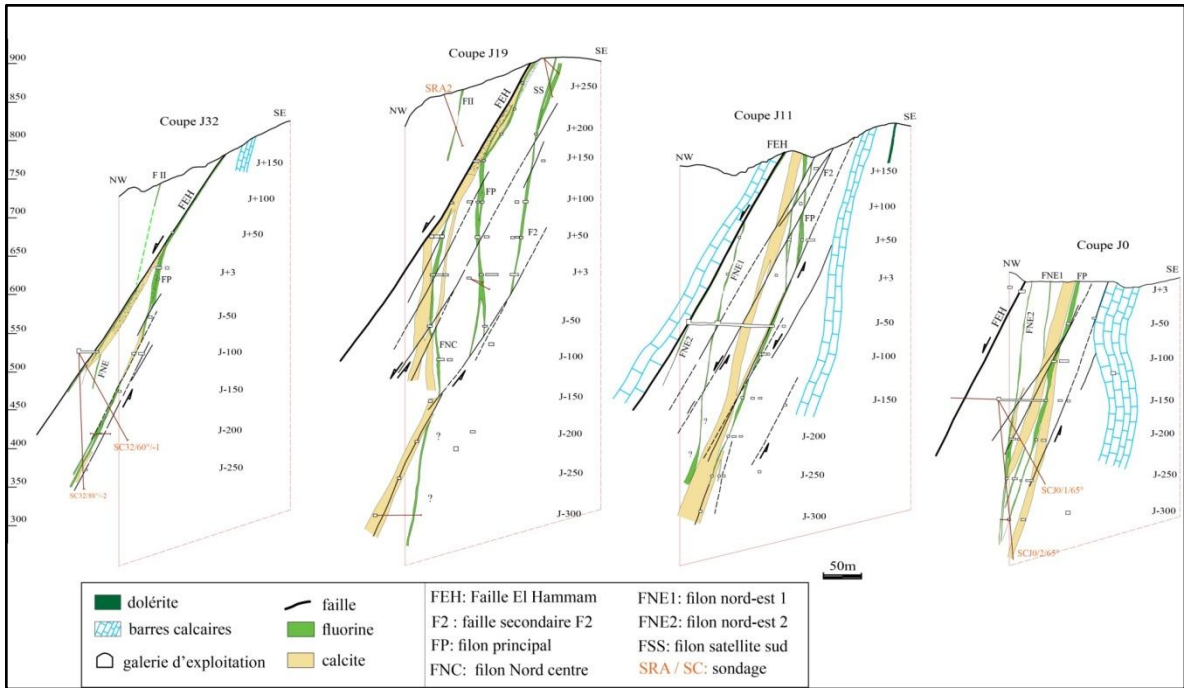


Figure 11. Coupes transversales (CT) des filons de la colline J (localisation in figures 9 et 10).
 Figure 11. Transversal sections cross through the ore veins of "Colline J" (position in figures 9 and 10).

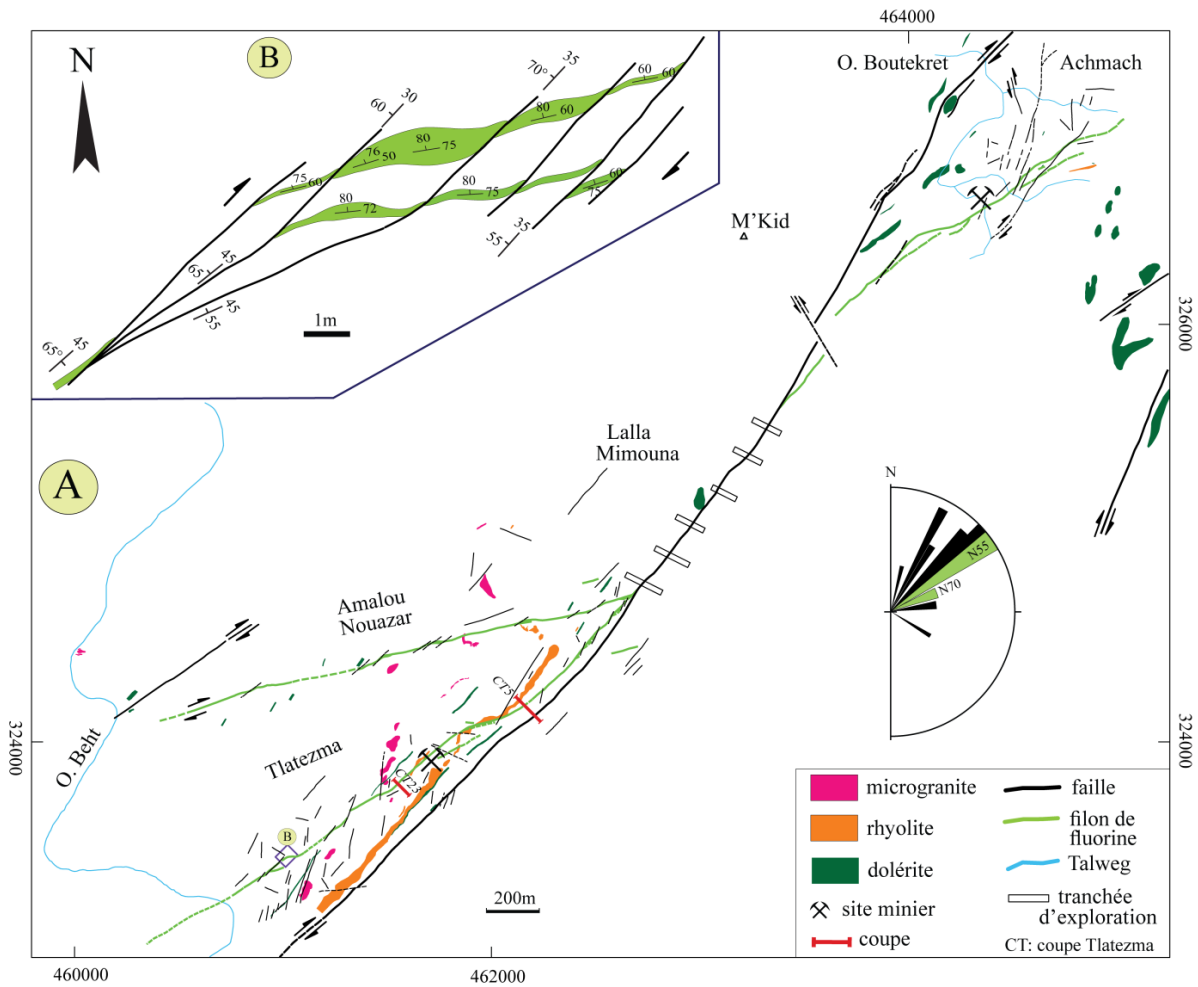


Figure 12. (A) Carte simplifiée du champ filonien de Tlatzma-Achmach. (B) levé détaillé du filon de Tlatzma.
 Figure 12. (A) Simplified map of Tlatzma-Achmach veins swarm. (B) Detailed survey of Tlatzma vein.

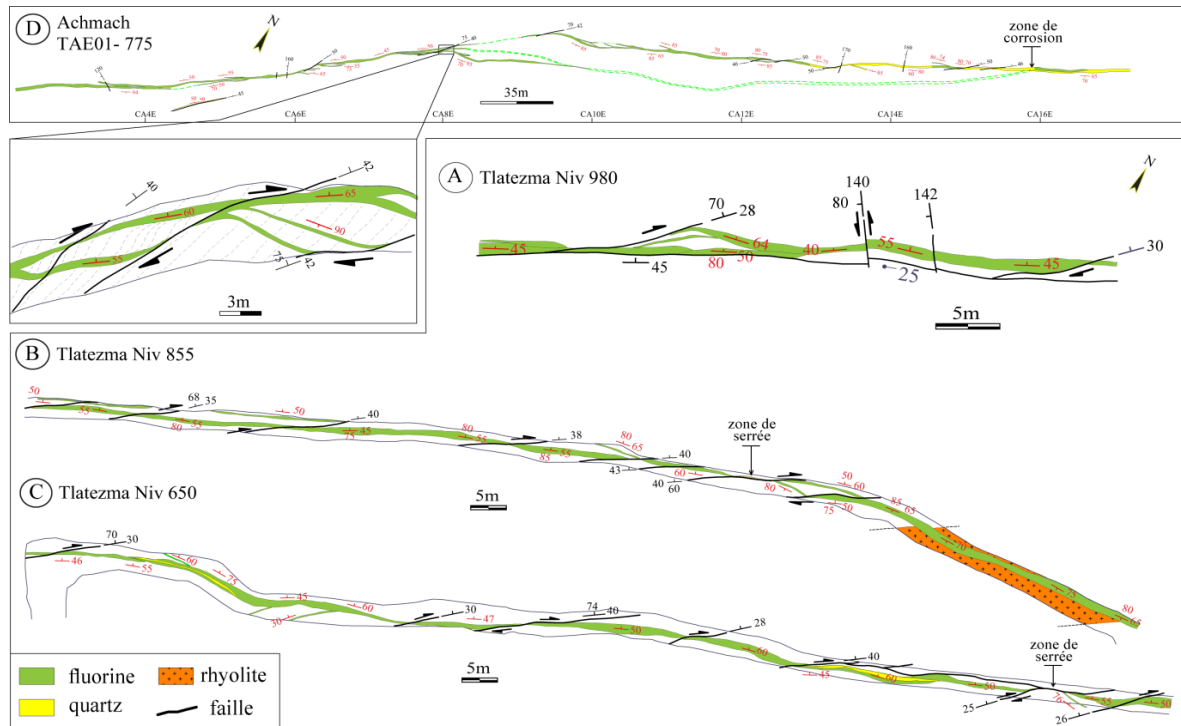


Figure 13. Levés miniers du fond des gisements de Tlatzma et d'Achmach.
 Figure 13. Surveys of mining levels of Tlatzma and Achmach deposits.

Ainsi, l'ensemble de ces structures de ramification (Fig. 9) correspondrait à des relais en pull-apart et des fentes associés à des décrochements majeurs (FEH, Nord Moufrès et Popote).

Par ailleurs, d'autres failles tardives, dites F_y , de direction N130 à N140 et de pendage moyen de 65° à 70° SW recoupent les structures minéralisées du Gisement centre et les décalent en mouvement senestre normal de faible rejet (décimétrique). Leur remplissage est essentiellement à quartz géodique et ankérite.

Le champ filonien de Tlatzma-Achmach

Il est situé dans la partie Est du district. On y distingue trois directions majeures de structures minéralisées (Fig. 12-A) :

- Les structures de ramifications principales orientées N55; elles ont un pendage moyen de 70 à 85° vers le NW et une puissance variable (0,2 à 2m). Ces structures sont composées de lentilles sigmoïdales dont les parties centrales sont orientées N55E à N60E et les extrémités N45 (Fig. 13). Ces lentilles correspondent à des ouvertures en pull-apart, délimitées par des failles de direction N30 de type F2. Ces dernières, de pendage 65° à 70° NW, présentent un jeu dextre normal attesté par des stries à pitch 25°NE et des crochons. Elles définissent des zones de serrage d'extension métrique à décimétrique (10 à 20m), généralement silicifiées (Fig. 13-B et C). En coupe, les lentilles minéralisées dessinent également

des pull-aparts délimités par les F2 (Fig. 14). La puissance des lentilles est maximale lorsque leur pendage est fort (80°- 85°NW). Ces structures sont interceptées et décalées en mouvement senestre par des failles F_y de directions N130 à N140 et de pendage 65° SW.

- Les structures orientées N70 à N75 correspondent à des ramifications secondaires (filons satellites) de pendage moyen 85°N. Les lentilles minéralisées, relativement silicifiées, ont des puissances variables (0,2 à 1,5m) et sont également délimitées par des failles (F2) orientées N30 à N45 (Fig. 12-B).

- Les structures secondaires, orientées N90 et subverticales, correspondraient à des fentes de tension. Elles sont moins développées et présentent une extension plus réduite (décimétrique).

Ainsi, les structures minéralisées du champ filonien Tlatzma-Achmach se définissent également comme des structures de relais ou des fentes de tension associées au couloir de cisaillement Tlatzma-Achmach. Les zones de serrées y sont relativement fréquentes par rapport au Gisement centre, mais de puissance relativement faible.

Analyse des rapports angulaires

L'analyse des relations angulaires entre les différentes structures minéralisées et les décrochements majeurs a permis de distinguer trois types de structures (Fig. 15-A et B ; Tab. 1) : (i) les structures principales (SP) portées directement par les failles majeures, (ii) les structures de relais (SR1,

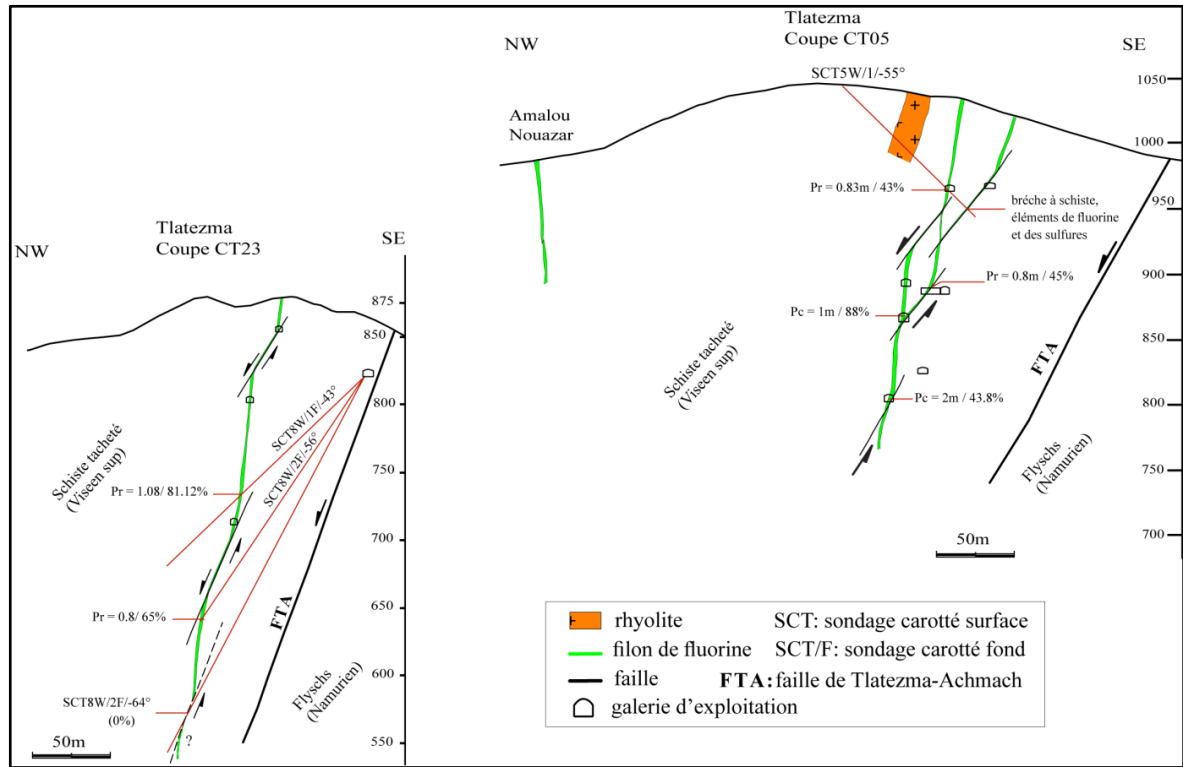


Figure 14. Coupes transversales des filons de Tlatezma (localisation in figure 12).
 Figure 14. Transversal section through the ore veins of Tlatezma (its position in figure 12).

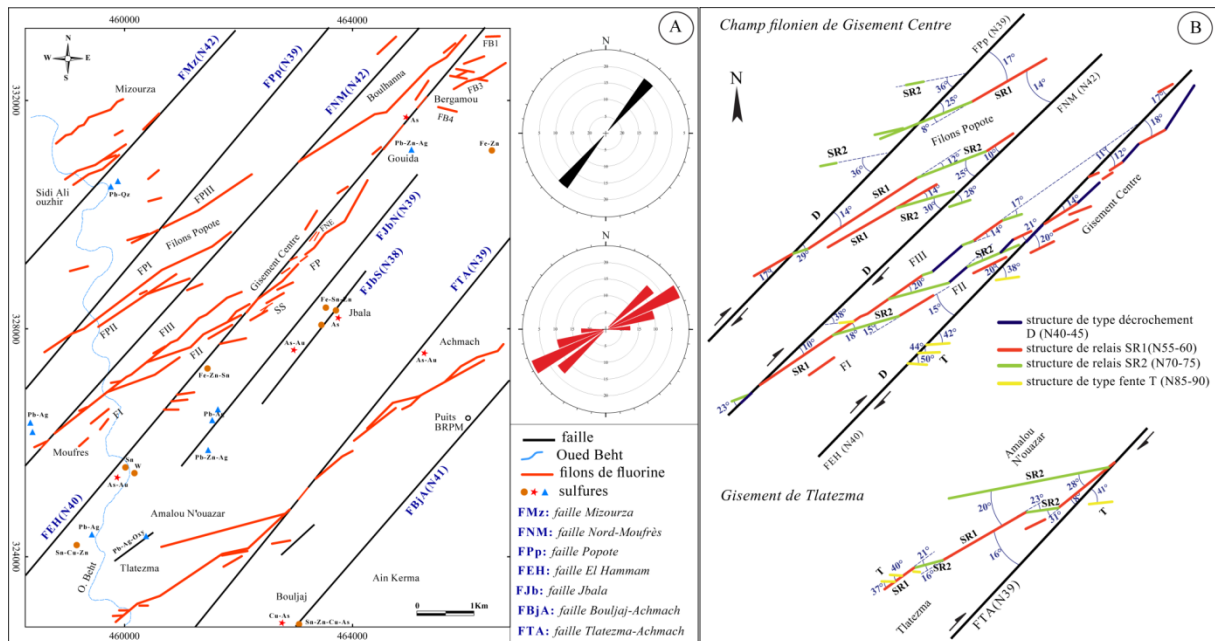


Figure 15. (A) carte des structures minéralisées associées aux failles majeures représentées par leurs directions moyennes. (B) Représentation schématique des relations angulaires.
 Figure 15. (A) Map of mineralized structures associated to the major faults, represented by their average trends. (B) Schematic representation of angular relationships.

SR2) développées entre ces dernières et (iii) des fentes (SF) échelonnées.

Les plus économiques (en puissance) sont celles de type SR1. Ainsi, les valeurs angulaires moyennes définies entre ces structures sont assez proches de

celles du modèle théorique relatif aux structures associées à un couloir de cisaillement (Robert 1976, Ramsay 1980, Vialon *et al.* 1991) (Fig. 16-A et B). Les failles F2 seraient de type P dans un tel modèle.

Tableau 1. (A) Valeurs angulaires entre les structures minéralisées d'El Hammam et (B) valeurs théoriques du modèle de Riedel (Robert 1976, Ramsay 1980, Vialon *et al.* 1991).

Table 1. (A) Angular values between mineralized structures of El Hammam; and (B) theoretical values of Riedel model (Robert 1976, Ramsay 1980, Vialon *et al.* 1991).

A-

	Gisement centre						Tlitezma-Achmach				
	FM	F2	SP	SR1	SR2	SF	FM	F2	SR1	SR2	SF
FM		10°	0	15° (12-18°)	32° (28- 36°)	45° (38-50°)		10°	13° (10-16°)	30 à 35°	46° (41-51°)
F2			10 à 15°	25 à 30°	40 à 45°	60°			25 à 30°	40 à 45°	60°
SP				15° (14-17°)	30°	45° (38-50°)			-	-	-
SR1					15° (12-20°)	30 à 35°				20° (18-23°)	35°
SR2						15 à 20°					15 à 20°

FM : faille majeure (N40)

SP : structure principale (N40)

SR1 : structure de relais d'ordre 1 (N55-N60)

F2 : faille secondaire (N30)

SF : structure type fente (N85-N90)

SR2 : structure de relais d'ordre 2 (N70-N75)

B-

$\Phi_{\text{moy}} = 30^\circ$	σ	D	R	R'	P
σ		$\pi/4 - \phi/2$ 30 à 45°	$\pi/4 - \phi$ 15°	$\pi/4 - \phi/2$ 30°	$\pi/4 + \phi/2$ 60°
D			$\phi/2$ 15°	$\pi/2 - \phi/2$ 75°	$\phi/2$ 15°
R				$\pi/2 - \phi$ 60°	ϕ 30°
R'					$\pi/2$ 90°
P					

RELATION DEFORMATION-MINERALISATION EN FLUORINE

L'analyse texturale (in situ et sur échantillons) montre que les filons de fluorine se sont formés en quatre principaux stades outre le stade supergène peu marqué (Fig. 17):

- Le stade précoce, à sulfures massifs (pyrrhotite), attesté par la présence de celle-ci en inclusion dans la calcite ;

- Le stade (1), dont le mouvement transtensif est à l'origine d'une bréchification (B1) de l'encaissant (schistes et carbonates), favorisant ainsi la mise en place de la calcite spathique (Fig. 18-A et B);

- Le stade (2) se caractérise par une texture bréchique, où la calcite est cimentée par la fluorine verte de type économique (B2) (Fig. 18-C et D). L'ensemble des structures à fluorine correspondant à ce stade sont des lentilles de type pull-apart en rapport avec le jeu transtensif dextre normal des failles majeures;

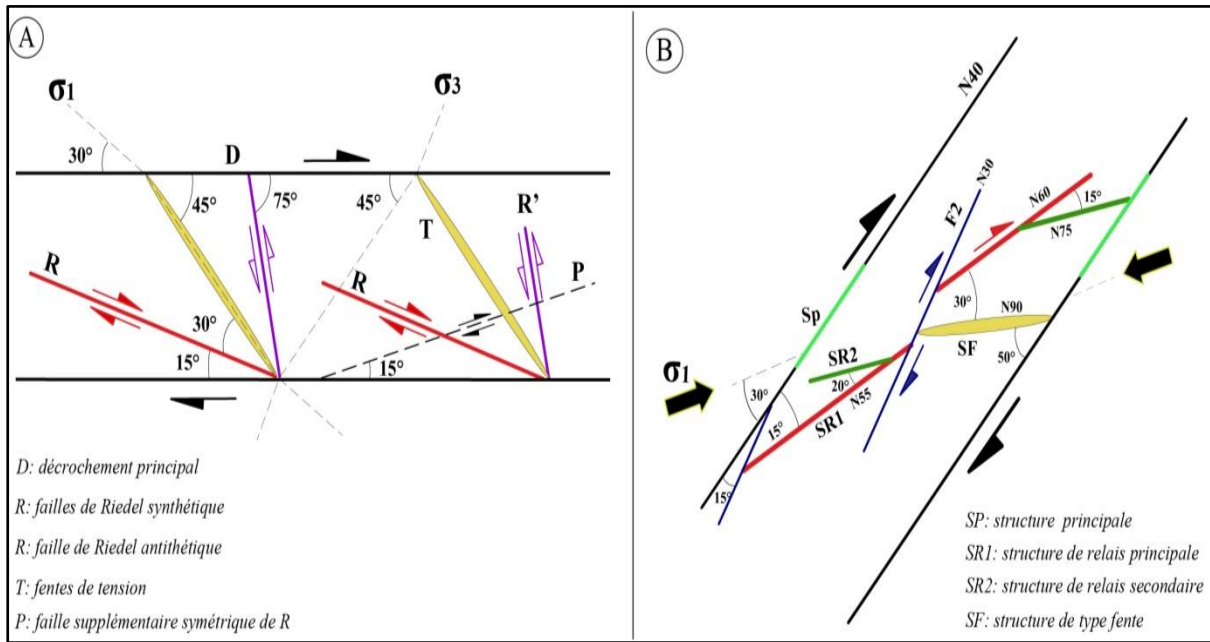


Figure 16. (A) Zone de cisaillement plus les fractures de Riedel qui lui sont associées (Robert 1976, Ramsay 1980, Vialon *et al.* 1991). (B) Modèle géométrique de Riedel des filons d'El Hammam.

Figure 16. (A) Shear zone and their associated Riedel structures (Robert, 1976; Ramsay, 1980; Vialon *et al.* 1991). (B) Riedels geometric model of El Hammam veins.

Minéral	Stade précoce (Fig.18-A et B) (Fig.21-D)	Stade 1 (brèche B1) (Fig.18-A et B)	Stade 2 (brèche B2) (Fig.18-C et D)	Stade 3 (rubanement) (Fig.19)	Stade 4 (collomorphe) (Fig.20)
Pyrrhotine					
Quartz					
Calcite					
Fluorine verte					
Fluorine violette à blanche					
Sulfures					
Galène					
Pyrrhotite					
Pyrite					
Chalcopryrite					
Sphalérite					
Quartz					
Ankérite					
Calcédoine					
Quartz 2 (géodique)					
Pyrite 2 (automorphe)					
Hématite					
Contexte géodynamique		Transtension		Extension (Continuum)	

Figure 17. Associations minérales et stades de dépôt des minéralisations fluorifères.

Figure 17. Mineral associations and fluorite mineralizations deposited stage.

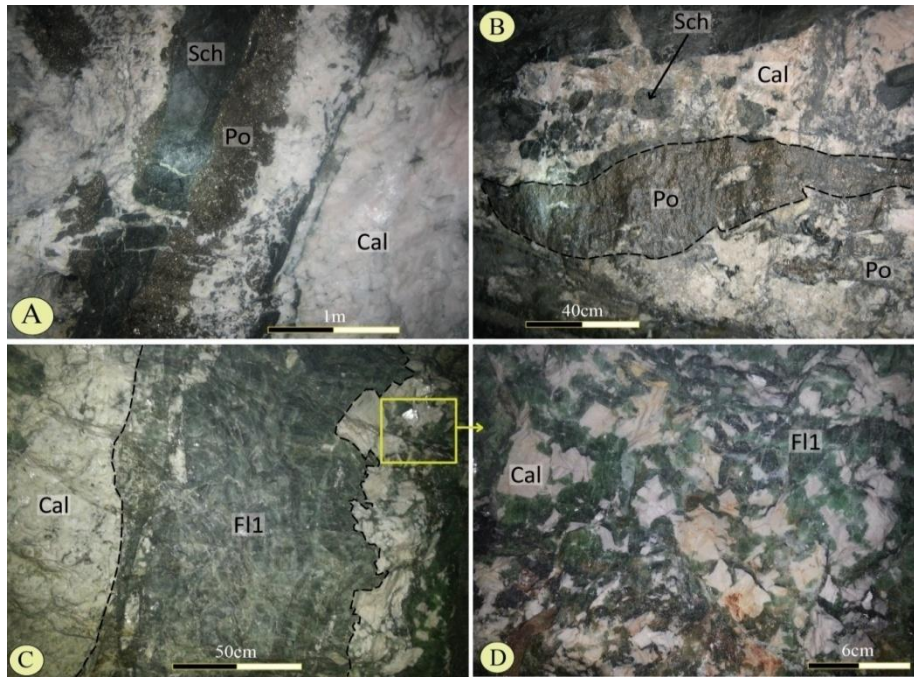


Figure 18. Planches photographiques des brèches minéralisées : (A et B) éléments de schiste (Sch) et de pyrrhotite (Po) cimentés par la calcite spathique (Cal) (B1) ; (C et D) brèche hydraulique (B2) à calcite spathique cimentée par la fluorine verte (FI1).

Figure 18. Photographic plates of brecciated texture of mineralized veins: (A and B) elements of schist and massive pyrrhotite (Po) cemented by spate calcite (Cal) (B1); (C and D) hydraulic breccia (B2) with spate calcite cemented by green fluorite (FI1).

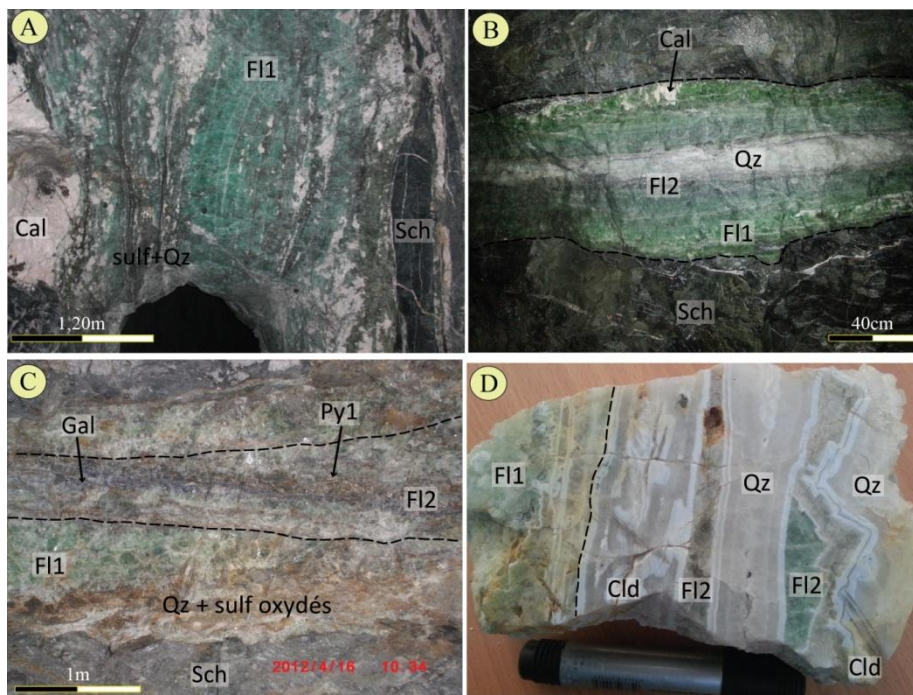


Figure 19. Planches photographiques de la texture rubanée des filons minéralisés : (A) fluorine verte (FI1) rubanée par des veines de sulfures (Sulf) et de quartz (Qz) ; (B) alternance de bandes minérales symétriques à fluorines verte, violette (FI2) et quartz ; (C) veines à galène (Gal), pyrite (Py) et quartz recoupant la caisse à fluorine ; (D) texture rubanée à fluorine violette (FI2) et phases siliceuses répétitives (Quartz et calcédoine (Cld)).

Figure 19. Photographic plates of mineralized veins banded texture: (A) green fluorite (FI1) banded by sulphide (Sulf) and quartz (Qz) veins; (B) symmetrical alternating of mineral bands to green and violet fluorite (FI2) and quartz; (C) fluorite intersected by galena (Gal), pyrite (Py) and quartz veins; (D) banded texture of violet fluorite (FI2) and repetitive siliceous phases (Quartz and Chalcedony (Cld)).

- Le stade (3) est marqué par une texture rubanée où la minéralisation apparaît développée essentiellement au centre des caisses filoniennes plus rarement aux épontes. Le contenu filonien est composé de la fluorine violette ou blanche, de sulfures (galène, pyrrhotine, pyrite, chalcopryrite et sphalérite) et de quartz (Fig. 19-A, B et C). Ce type de minéralisation se met en place dans un contexte structural d'extension;

- Le stade (4) se définit par le développement des carbonates ferrifères et de phases siliceuses et

pyriteuses répétitives (Figures 19-D, 20-A). Ces dernières étant associées principalement à la calcédoine (Fig. 20-C). Cette silicification est nettement plus exprimée au sud de district (gisement d'Achmach) où le quartz et la calcédoine remplacent la fluorine partiellement voire totalement par endroit (Fig. 20-B). Les dépôts minéraux de ce stade s'inscrivent dans la continuité de l'extension déjà amorcée ;

- Le stade supergène très peu exprimé est surtout à oxydes de fer.

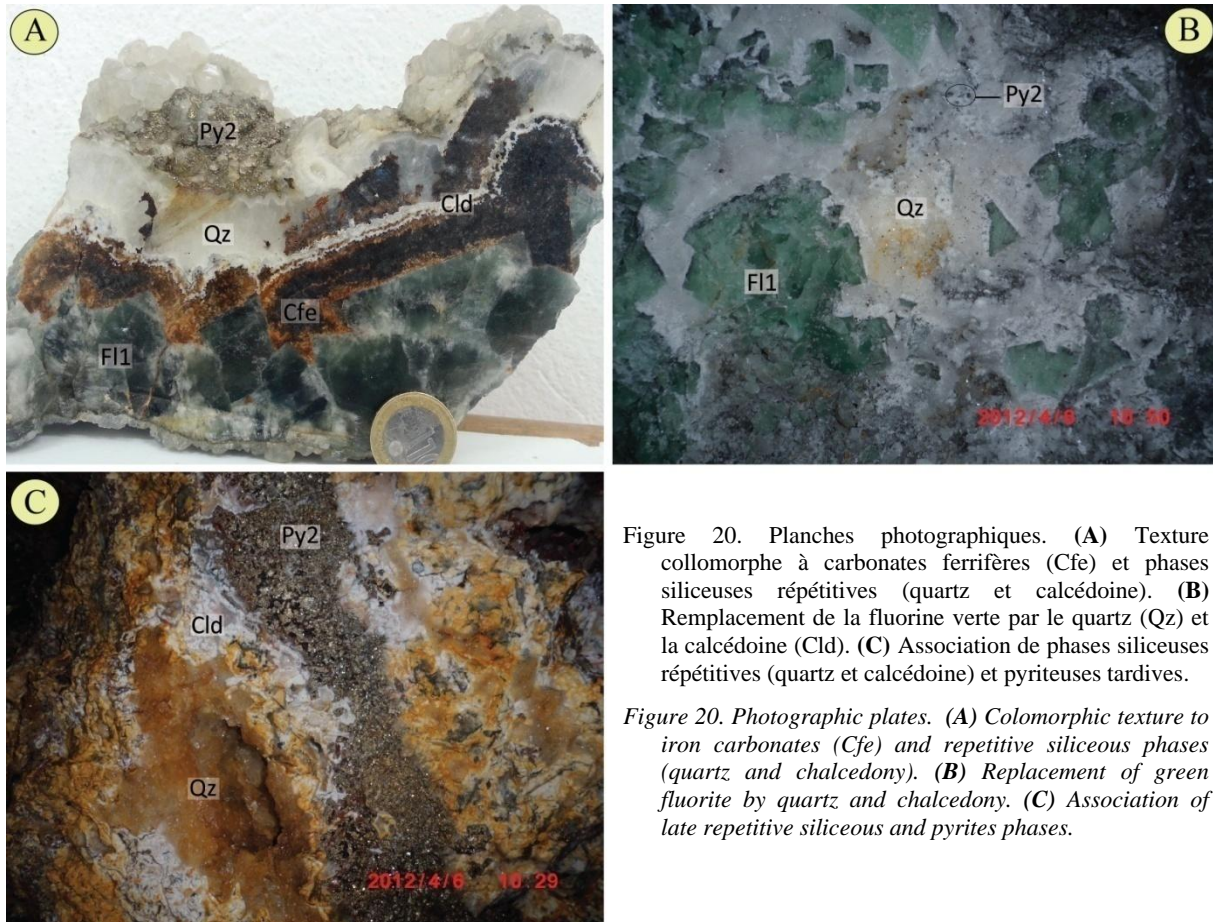


Figure 20. Planches photographiques. (A) Texture collomorphe à carbonates ferrifères (Cfe) et phases siliceuses répétitives (quartz et calcédoine). (B) Remplacement de la fluorine verte par le quartz (Qz) et la calcédoine (Cld). (C) Association de phases siliceuses répétitives (quartz et calcédoine) et pyriteuses tardives.

Figure 20. Photographic plates. (A) Colomorph texture to iron carbonates (Cfe) and repetitive siliceous phases (quartz and chalcedony). (B) Replacement of green fluorite by quartz and chalcedony. (C) Association of late repetitive siliceous and pyrites phases.

Ainsi, ces dépôts successifs se mettent en place conformément à l'évolution structurale de ce district. On en déduit les principaux points suivants :

- L'essentiel du dépôt de la fluorine économique s'est effectué en contexte transtensif. Ce régime est attribué au Permien supérieur par plusieurs auteurs (El Wartiti 1990, Ait Brahim & Tahiri 1996, Saidi *et al.* 2002) ;

- Les dépôts suivants successifs (fluorines violette et/ou blanche, sulfures et silice) attestent d'un certain continuum dans l'ouverture (extension) des structures principales. Une telle extension, marquée par des apports de sulfures et une abondance relative en silice, correspondrait à un relâchement des contraintes en fin de cycle (Mahjoubi *et al.* 2016). La

silicification conséquente a pour effet, localement, la corrosion de la fluorine verte préexistante ;

- Les structures à fluorine du district d'El Hammam sont faiblement affectées par l'altération supergène.

DISCUSSION

Les résultats obtenus montrent que les caractéristiques morphologiques et structurales des filons de fluorine de district d'El Hammam correspondent à des structures (économiques) de type R1 dans un modèle de filons en décrochements définissant un méga-couloir de cisaillement.

Concernant l'origine des fluides et l'âge de la minéralisation fluorifère :

- Yajima et Touray (1970) ont conclu que le dépôt de la minéralisation du gisement centre s'est fait à des

températures entre 200°C et 120°C par un fluide hydrothermal sursaturé en sel et relativement riche en terres rares.

- Jebrak (1984) considère que cette minéralisation s'intègre dans un contexte des minéralisations péri-granitiques. Il lui attribue un âge entre celui du granite (243 ± 7 Ma) et la pénéplanation éocène du haut-pays de Jbel Moufrès.

- Cheillett *et al.* (2010), ont défini un âge plus récent de 205 ± 1 Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) par datation d'un feldspath potassique associé à la fluorine. Ils ont, par ailleurs, révélé des teneurs ponctuelles relativement élevées en terres rares (La, Ce, Y and Eu) dans la fluorine et la calcite. Ils ont conclu que la genèse du gisement de fluorine pourrait être associée au développement du rifting Trias-Jurassique et serait liée à des flux thermiques associés à la mise en place des basaltes de la CAMP.

- Bouabdellah *et al.* (2010) ont proposé des lamprophyres (277 Ma; K/Ar) comme source possible du fluor et des terres rares. Ces derniers seraient lessivés à partir des lamprophyres et mis en circulation par des saumures de bassin (lixiviation). Ceci serait favorisé, selon ces auteurs, par un gradient géothermique élevé dû à l'extension crustale et au magmatisme basaltique concomitant. Récemment, Bouabdellah *et al.* (2016) ont souligné, sur la base des résultats des inclusions fluides et des analyses chimiques de terres rares dans la fluorine et la calcite le rôle important des saumures chaudes (92-176 °C) et très salines (jusqu'à 33% en poids équivalent de NaCl), dérivées du bassin et de l'interaction fluide-roche dans la mise en place de la fluorine d'El Hammam. Ils proposent une relation probable entre la formation du gisement de fluorine d'El Hammam et le rifting Pangean d'une part et l'ouverture de l'Atlantique central d'autre part durant la période Permien-Trias.

Nos résultats montrent d'une part que les dépôts successifs de la fluorine sont en rapport direct avec l'évolution structurale tardi-hercynienne voire le début de la distension triasique (Gonord *et al.* 1980, Laville & Piqué 1991, Ettouhami 1992, Le Roy *et al.* 1997, Izart *et al.* 2001, Ait Brahim *et al.* 2002) et d'autre part qu'ils succèdent aux dépôts des sulfures et des oxydes d'étain (Badra 2014, Mahjoubi *et al.* 2016). Ces conclusions nous permettent de situer la période minéralisante entre le Permien supérieur (régime transtensif, structures post granite oued Beht daté 243Ma) et le début du Trias (extension, datation de la fluorine par Cheillett *et al.* 2010). Naturellement, la précision doit être apportée par la datation directe (en cours) de la fluorine via ses inclusions minérales à base de terres rares (Badra, 2014). La détermination de l'âge précis ne serait donc sans conséquences sur l'orientation du programme d'exploration dans ce district voire à l'échelle du Maroc central. Par ailleurs, rappelons qu'il existe des minéralisations fluorifères dans la couverture méso-cénozoïque dont celles de Tirremi dans le Moyen

Atlas (Touray 1969, Bouchta & El Maghraoui 1975, Jebrak & Benyoub 1980, Bouabdellah *et al.* 2014); Tamazert, Zouiat Sidi Hamza et Aghbala dans le Haut Atlas central; Ait Khoujmane dans le Haut Atlas oriental; Afra (Agard & Elmaleh 1978) et Ouezzane (Lezier 1969, Touray & Sabouraud 1970) dans le domaine rifain.

Par ailleurs, la présence d'éléments de pyrrhotite massive en inclusion dans la calcite spathique, suggérerait l'existence d'un stade à sulfures plus précoce. Celui-ci pourrait être pyro-métasomatique (à l'image de l'amas de pyrrhotite d'Ain El Hammam), ou de type filonien. Dans ce dernier cas, les filons de fluorine d'El Hammam seraient, auparavant, des structures à sulfures. Ainsi, le district d'El Hammam se caractérise par deux principaux épisodes minéralisateurs; un premier à sulfures et oxydes d'étain et un second à fluorine, carbonates et minéraux de silice.

CONCLUSION

Les résultats obtenus, en complément aux travaux de Jebrak (1984), montrent que les minéralisations fluorifères, filoniennes, du district d'El Hammam s'inscrivent dans une large zone de cisaillements (méga-couloir) d'extension régionale (plurikilométrique) et sur environ 8km de largeur (Fig.21-A). Les décrochements majeurs (N40E) auxquels se rattachent les structures minéralisées, économiques, attestent des mouvements respectifs suivants: inverse, transtensif, puis extensif.

Les structures à fluorine associées à ces décrochements sont développées en partie suivant les failles majeures (SP) et correspondent surtout à des structures en relais (SR1, SR2) voire des fentes (SF) dans des couloirs de cisaillement selon le modèle de Riedels (Fig. 21-B et C). Ces structures, lenticulaires, correspondent majoritairement à des ouvertures de type pull-apart délimitées par les failles F2 (Fig. 21-B, C et D).

La configuration structurale d'ensemble est cohérente avec un système de décrochement régional à structures composées en Riedels, développé sous une contrainte tardi-hercynienne ENE-WSW (Permien supérieur). Un tel système se continue par une extension soulignant le relâchement des contraintes voire le début d'une distension triasique.

En conséquence, le modèle ainsi défini ouvre des perspectives d'exploration de la fluorine d'une part à l'échelle du district d'El Hammam lui-même en recherchant d'autres structures de type Riedels notamment dans les zones aveugles, tel qu'au nord de la FEH (secteur de Mizourza) et plus au SW du Gisement centre (rive ouest de oued Beht; Fig. 2) et d'autre part à l'échelle régionale dans cette partie septentrionale du Maroc central. Les structures recherchées peuvent être, éventuellement, détectées par un programme de cartographie détaillée, plus des analyses d'images (télé-détection à haute résolution) et des investigations géophysiques.

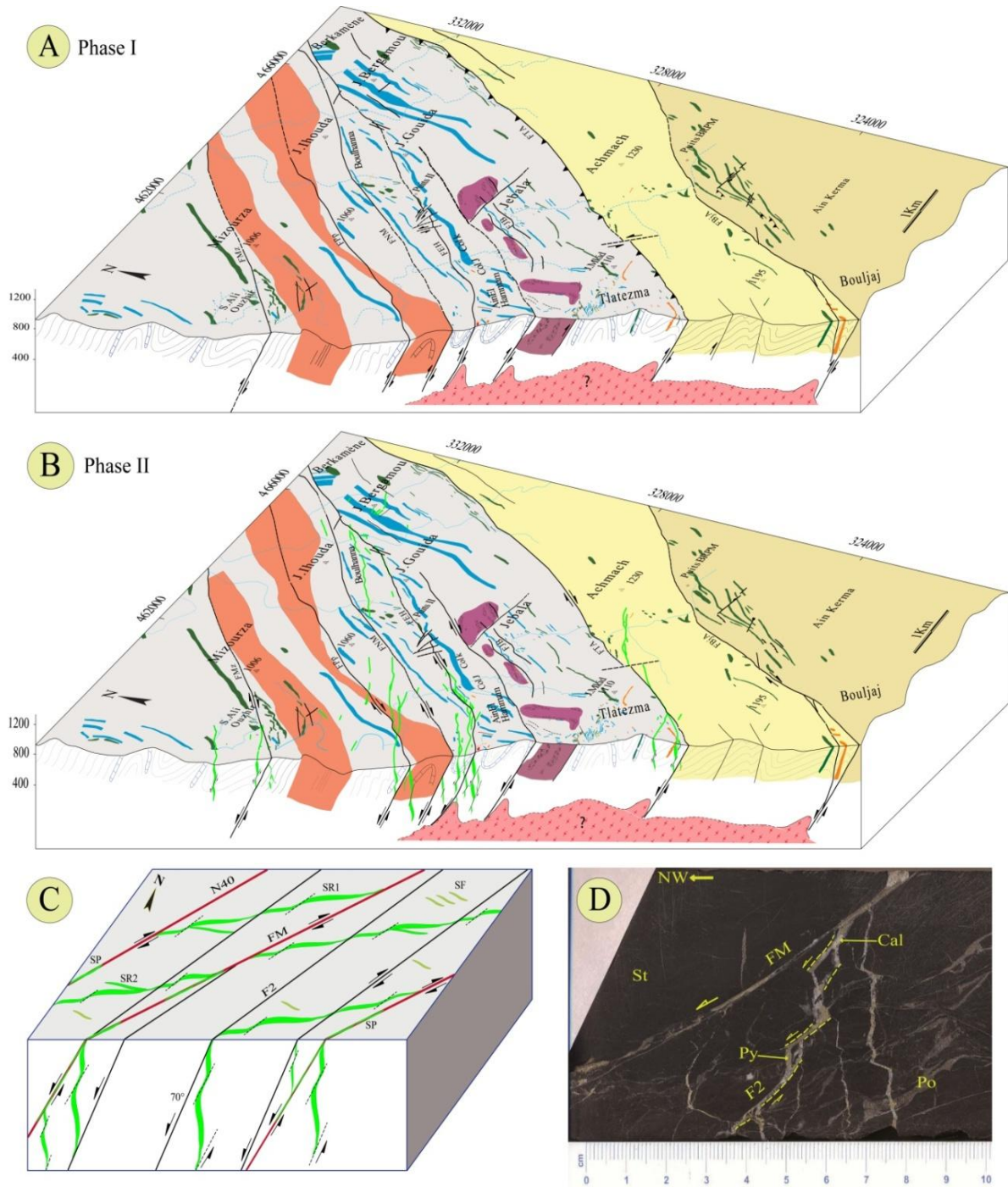


Figure 21. Bloc-diagrammes résumant l'évolution structurale du district d'El Hammam : (A) Phase (I) de serrage hercynien NW-SE (plissement/ failles inverses) ; (B) Phase (II) de développement des filons de fluorine en décrochement (en relais et pull-apart) dans un régime transtensif tardi-hercynien; (C) modèle synthétique illustrant les différentes structures minéralisées et leur morphologie (sans échelle); (D) modèle structural réduit sur échantillon de sondage carotté montrant des veines en pull-apart à calcite (Cal), chalcopyrite et pyrite (Py), recoupant des veines lenticulaires à pyrrhotite (Po) et quartz précoces.

Figure 21. Block-diagrams illustrating the structural evolution of El Hammam district: (A) hercynian shortening phase (I) (folding / reverse faults); (B) Phase (II) of development of relay fluorite structures under late-hercynian transensional setting; (C) Synthetic model showing the different mineralized structures and their morphology; (D) Reduced structural model on sample of drill-core showing a pull-apart veins of calcite (Cal), chalcopyrite and pyrite (Py), intersecting the lenticular veins of previous pyrrhotite (Po) and quartz.

REMERCIEMENTS

Les évaluateurs anonymes sont remerciés pour leurs commentaires et suggestions.

REFERENCES

- Agard J. 1966. Données nouvelles sur le district de fluorine d'El Hammam-Berkamène (Maroc Central). *Rapport service d'étude des gîtes minéraux*, 843, Rabat.
- Agard J. & Elmaleh M. 1978. Fluorine d'Afra Béni-Bou Ifrou, Rif Nador Oriental. Description provisoire ou sommaire des espèces minérales du Maroc. 22. *Notes de Service de Géologie du Maroc*, t. 40, 275, 255-258.
- Aissa M. 1997. *Etude 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, Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc. 348p.
- Ait Brahim L., Chotin P., Hinaj S. *et al.* 2002. Paleostress evolution in the Moroccan African margin from Triassic to Present. *Tectonophysics*, 357, 187-205.
- Ait Brahim L. & Tahiri A. 1996. Rotation horaire des contraintes et mécanismes d'ouverture et fermeture des bassins permien du Maroc central; in : Le Permien et le Trias du Maroc, état des connaissances. *Édition Punag*, 87-98.
- Allary A., Andrieux J., Lavenu A. *et al.* 1972. Présence de décrochement dans la Méséta sud orientale (Maroc central). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 274, série D, 653-655.
- Amenzou M. 1997. Typologie du zircon des granitoïdes hercyniens de la Meseta marocaine: zonation magmatique et implication géodynamique. *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 24, 1/2, 125-139.
- Badra L. 2014. Etude minéralogique des échantillons des secteurs de Jbala et d'Ain El Hammam, district d'El Hammam (Maroc central). *Rapport inédit*, SAMINE. 34p.
- Baoutoul 1991. Carte géologique du district d'El Hammam au 1/25000. *Document interne*, SAMINE.
- Ben Abbou M., Soula J. C., Brusset S. *et al.* 2001. 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 IIa 332, 703-709.
- Ben Abbou M. 1990. *Evolution stratigraphique et structurale, au cours du paléozoïque, de la bordure nord du Massif central (région d'Agourai, Maroc)*. Thèse 3ème cycle, Fès, 214p.
- Benharref M. 1994. Note sur le travail de cartographie de la partie SW du couloir de JBALA (domaine miner SAMINE, El Hammam). *Rapport inédit*, REMINEX, 15p.
- Berkhli M. & Vachard D. 2002. Le Carbonifère du Maroc central : les formations de Migoumess, de Tihela et d'Idmarrach. Lithologie, biostratigraphie et conséquences géodynamiques. *Comptes Rendus des Géosciences*, 334, 67-72.
- Bouabdellah M., Banks D. & Klügel A. 2010. Comments on "A late Triassic ⁴⁰Ar/³⁹Ar age for the El Hammam high-REE fluorite deposit (Morocco): mineralization related to the Central Atlantic Magmatic Province?" by Cheilletz *et al.* (*Mineralium Deposita* 45: 323-329, 2010). *Mineralium Deposita* 45, 729-731.
- Bouabdellah M., Castorina F., Bodnar RB. *et al.* 2014. Petroleum migration, fluid mixing and halokinesis as the main ore-forming processes at the peridiapiric Jbel Tirremi fluorite-barite hydrothermal deposit (north-eastern Morocco). *Economic Geology*, 108, 1223-1256.
- Bouabdellah M., Zemri O., Jebrak M. *et al.* 2016. Geology and Mineralogy of the El Hammam REE-Rich Fluorite Deposit (Central Morocco): A Product of Transtensional Pangean Rifting and Central Atlantic Opening. *Chapter, Mineral Deposits of North Africa, Part of the series Mineral Resource Reviews*, 307-324.
- Bouabdelli M. 1989. *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.
- Bouchta R. & El Maghraoui L. 1975. Etude géologique de la minéralisation fluorifère de fracture et karstique dans les calcaires du Domérien du Jbel Tirremi. *Rapport inédit, Bureau de Recherche et Participation Minière (BRPM)*.
- Boushaba A., Cailleux Y. 1992. Les relations métamorphisme-déformation au voisinage des granitoïdes hercyniens du Maroc central. *Bulletin de l'Institut Scientifique de Rabat*, 16, 15-22.
- Cailleux Y. 1985. Les écailles anté-viséennes d'Ezzehiliga. Leur importance dans l'interprétation structurale du Maroc central. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, série II, 301, 497-502.
- Cailleux Y. 1974. *Géologie de la région des Smaâla (Massif central marocain)*. Thèse de 3^{ème} cycle, Strasbourg, 97p.
- Cattanéo G., Tahiri A., Zahraoui *et al.* 1993. La sédimentation récifale du Givétien dans la Meseta marocaine nord-occidentale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*. t. 317, série II, 73-80.
- Cheilletz A., Gasquet D., Filali F. *et al.* 2010. A late Triassic ⁴⁰Ar/³⁹Ar age for the El Hammam high-REE fluorine deposit (Morocco): mineralization related to the Central Atlantic Magmatic Province. *Mineralium Deposita*, 45, 323-329.
- Cogney G. & Faugères J.P. 1975. Précision sur la mise en place des épanchages basaltiques de formations triasiques de la bordure septentrionale du Maroc central. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 5, 721-733.
- Cogney G. 1964. Le Dévonien de la région d'Oulmès (Maroc central). *Comptes Rendus de la Société Géologique de France*, 7, 283-284.
- Dahmani A. 1985. *Le métamorphisme dans l'auréole du granite d'Oulmès (Maroc central): étude pétrographique et relation avec les déformations hercyniennes*. Thèse de 3^{ème} cycle, Rabat, 150p.
- Diot H. 1989. *Mise en place des granitoïdes hercyniens de la Méséta marocaine. Etude structurale des massifs de Sebt Brikine (Rehanna), de Zaer et d'Oulmès (Massif central) et d'Aouli Bou-Mia (Haute Moulouya). Implications géodynamiques*. Thèse ès-sciences, Université Paul Sabatier Toulouse, France, 174p.
- El Hassani A. 1990. *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.
- El Wartiti M. 1990. *Le Permien du Maroc hercynien : étude géologique et implications paléogéographiques*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Mohammed V, Rabat, 500p.

- Ettouhami M. 1992. *Le Trias évaporitique du bassin de Khemisset (Maroc central): géométrie des dépôts, évolutions sédimentaires et géochimie*. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I, 242 p.
- Fadli D. 1990. *Evolution sédimentaire et structurale des massifs des Mdakra et Khatouat: deux segments hercyniens de la Méséta marocaine nord-occidentale*. Thèse ès-Sciences, Rabat, 272p.
- Faik F. 1988. *Le Paléozoïque de la région de Mrirt (Est du Maroc central). Evolution stratigraphique et structurale*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse, 233p.
- Gasquet D., Stussi J.M. & Nacht H. 1996. Les granitoïdes hercyniens du Maroc dans le cadre de l'évolution géodynamique régionale. *Bulletin Société géologique de France*, 4, 517-528.
- Giuliani G., Cheilletz A. & Zimmerman J.L. 1989. The emplacement, geochemistry and petrogenesis of two central Morocco Hercynian granites. Geotectonic implications. *Journal of African Earth Science*, 9, 3-4, 617-629.
- Gonord H., Le Guern M., Turiot D. *et al.* 1980. Mise en évidence d'un volcanisme rhyolitique stéphano-permien sur la bordure nord du massif hercynien central du Maroc extension et importance du volcanisme tardihercynien. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 291, 51-54.
- Habibi M. 1988. *Le Paléozoïque de la région de Ain Leuh-Souq El Had (Ne du Maroc central). Recherches stratigraphique et structurale*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Toulouse, 186p.
- Hamoumi N. 1988. *La plate forme ordovicienne du Maroc: dynamique des ensembles sédimentaires*. Thèse es-sciences, Strasbourg, 239p.
- Hoepffner C., Soulaïmani A. & Piqué A. 2005. The Moroccan Hercynides. Phanerozoic evolution of Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 43, 144-165.
- Hoepffner C. 1987. *La tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc*. Thèse, université Louis-Pasteur, Strasbourg, 280 p.
- Huon S., Piqué A. & Clauer N. 1987. Etude de l'orogénèse hercynienne au Maroc par la datation K/Ar de l'évolution métamorphique de schistes ardoisiers. *Sciences Géologiques, Bulletin, Strasbourg*, 40, 273-284.
- Izart A., Chèvremont P., Tahiri A. *et al.* 2001. Carte géologique du Maroc au 1/50 000, Feuille de Bouqachmir. Mémoire explicatif. *Notes et Mémoire du service géologique du Maroc*, n° 411 bis, 60p.
- Jebrak M. 1984. *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, 470p.
- Jebrak M. & Benyoub F. 1980. Etude thermométrique de quelques filons de fluorine du Maroc. *Archives du Centre National de Documentation, N° 11046, Direction de la Géologie, Rabat*.
- Kharbouch F. 1994. *Les laves dévono-dinantiennes de la Meseta marocaine: étude pétrochimique et implications géodynamiques*. Thèse d'état, Université de Brest, France 351p.
- Lagarde J. L. 1985. Cisaillements ductiles et plutons granitiques contemporains de la déformation hercynienne post-viséenne de la meseta marocaine. *Hercynica*, I, 1, 29-37.
- Lakhloufi A. 1988. *Etude structurale de la région de Brachwa, parties centrales et nord-orientale du bassin dévono-dinantien de Sidi Bettache (Maroc nord-occidental)*. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure, Rabat, 281p.
- Laville E. & Piqué A. 1991. La distension crustale atlantique et atlasique au Maroc au début du Mésozoïque: le jeu des structures hercyniennes. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 162, 6, 1161-1171.
- Lazraq N. 1983. *Contribution à l'étude micropaléontologique (principalement conodontes) du Dévonien de la région d'Oulmès (Maroc central)*. Thèse 3^{ème} cycle, Paris VI, 95p.
- Le Roy P., Piqué A., Le Gall B. *et al.* 1997. Les bassins côtiers triasico-liasiques du Maroc occidental et la diachronie du rifting intra-continentale de l'Atlantique central. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 168, 637-648.
- Lezier J-C. 1969. Etude morphologique des lacunes de cristallisation dans la fluorine d'Ouezzane (Rif occidental, Maroc). *Notes de Service de Géologie du Maroc*, t. 29, 213, 173-179.
- Mahjoubi E., Chauvet A., Badra L. *et al.* 2016. Structural, mineralogical and paleoflow velocity constraints on Hercynian tin mineralization: the Achmmach prospect of the Moroccan Central Massif. *Mineralium Deposita*. 51(3):431-451.
- Mahmoudi A. & Bertrand H. 2007. Geochemical identification of the central Atlantic magmatic province in folded domain, exemplified by the Moroccan Middle Atlas. *Compte Rendu Géosciences*, V. 339, 545-552.
- MANAGEM 2011. *Rapport annuel 2011*. <http://www.managemgroup.com/Media-Center>.
- Michard A. 1976. Elément de géologie Marocaine. *Notes et mémoires du service géologique, Rabat., Maroc*, n°252, 408p.
- Mrini Z., Rafi A., Duthou J-L. *et al.* 1992. Chronologie Rb-Sr des granitoïdes hercyniens du Maroc: conséquences. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 163, 281-291.
- Ntarmouchant A. 2003. *Le magmatisme associé à l'orogénèse du Maroc varisque: exemple du magmatisme du bassin méridional d'Azrou- Khénifra (Est du Maroc hercynien central)*. Thèse d'Etat, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, 309p.
- Oubbih J. 1991. *Le Maroc central méridional (région de Moulay Bou Azza): Stratigraphie du Paléozoïque et tectonique hercynienne*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université Mohamed V, Rabat, 176p.
- Piqué A. 1994. Géologie du Maroc. Les domaines régionaux et leur évolution structurale. *Edition Pumag, Marrakech*, 284p.
- Piqué A. & Michard A. 1981. Les zones structurales du Maroc hercynien. *Bulletin de la Société Géologique de France, Strasbourg*, 34, 135-146.
- Piqué A. & Michard A. 1989. Moroccan Hercynides: A synopsis. The Paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa. *American Journal of Science*, 289, 286-330.
- Rahho H. 1996. *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 3^{ème} cycle, Université Mohamed V, Rabat, 219p.

- Ramsay J. G. 1980. Shear zone geometry a review. *Journal of structural Geology*, V. 2, 83-99.
- Razin P., Janjou D., Baudin T. *et al.* 2001. 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.
- Remmal T., Chraïbi I., Mohsine A. *et al.* 1997. Le lamprophyre d'El Hammam (Maroc central): un magma hybride contemporain de la minéralisation fluorée. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 21, 1-13.
- Remmal T., Ben Abbou M., Youbi N. *et al.* 1999a. Le bassin permien de Bou Achouch: une structure sur décrochement NE-SW senestre associée a un volcanisme calco-alcalin d'intraplaque. *Société Géologique du Nord*, T.7 (2ème série), 135-146.
- Remmal T., Barbarin B., Chraïbi I. *et al.* 1999b. Les granitoïdes du district d'El Hammam (massif hercynien marocain) : Mise en place, typologie et relation avec la magmatogenèse acide tardi-hercynienne. *Les cahiers de la Recherche, Casablanca*, I : 1, 77-93.
- Robert J.P. 1976. *Les décrochements : Fracturations et mouvements de blocs associés. Exemple des massifs subalpins Dauphinois*. Doctorat de spécialité, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France, 147p.
- Roddaz M., Brusset S., Soula J.C. *et al.* 2002. Foreland basin magmatism in the western Moroccan Meseta and geodynamic inferences. *Tectonics*, Volume 21, 5, 1043-1065.
- Saïdi A. 2005. *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.
- Saïdi A., Tahiri A., Ait Brahim L. *et al.* 2002. Etats de contraintes et mécanismes d'ouverture et de fermeture des bassins permien du Maroc hercynien. L'exemple des bassins des Jebilet et des Réhamna. *Comptes Rendus Géosciences, Paris*, 334, 221-226.
- Sebbag I. 1970. Etude géologique et métallogénique de la région du Tafoudeit. *Rapport du Service Régional de Géologie- Meknès, service d'étude des gîtes minéraux*, 29, 62p.
- SCF 2016. Fluorure de calcium. *Société Chimique de France*. <http://www.societechimiquedefrance.fr/fluor.html>
- Sonnet Ph. 1981. *Les skarns à Sn, W, B de la région d'El Hammam (Maroc central)*. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Appliquées, Université Catholique de Louvain, Belgium, 512p.
- Tahiri A. 1991. *Le Maroc central septentrional : stratigraphie, sédimentologie et tectonique du Paléozoïque ; un exemple de passage des zones internes aux zones externes de la chaîne hercynienne du Maroc*. Thèse ès-Sciences, Université de Bretagne occidentale, Brest, 300 p.
- Tahiri A. 1994. Tectonique hercynienne de l'anticlinorium de Khouribga-Oulmès et du synclinorium de Fourhal. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 18, 125-144.
- Tahiri A. & Hoepffner C. 1987. La faille d'Oulmès: cisaillement ductile et tectonique tangentielle, Maroc central hercynien. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 11, 59-68.
- Tahiri A. & Lazraq N. 1988. Précisions stratigraphiques sur le Dévonien de la ride d'El Hammam (Nord d'Oulmès), conséquences paléogéographiques. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 12, 47-51.
- Tahiri A., Montero P., El Hadi H. *et al.* 2010. Geochronological data on the Rabat-Tiflet granitoids: Their bearing on the tectonics of the Moroccan Variscides. *Journal of African Earth Sciences*, 57, 1-13.
- Termier H. 1936. Etude géologique sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional. *Notes et Mémoires du Service de Géologie du Maroc*, 33, 1566p.
- Touray J.C. & Sabouraud C. 1970. Metastables inclusions brines in fluorite from Ouezane. *Economic Geology*, Vol. 65, 2, 216-218.
- Touray J.C. 1969. Inclusions secondaires dans la fluorine de Jbel Tirremi. *Notes de Service de Géologie du Maroc*, t. 29, 213, p.181.
- Vialon P., Ruhland M. & Grolier J. 1991. Eléments de tectonique analytique. *Edit. Masson*, 2^{ème} édition, 118p.
- Yajima J. & Touray J.C. 1970. Analyse thermométrique du gisement de fluorine d'El Hammam (Maroc) (d'après des études d'inclusions fluides). *Mineralium Deposita, Berlin*, 5, 23-28.
- Zahraoui M. 1994. Le Dévonien inférieur et moyen de la meseta nord occidentale. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*, 18, 43-56.
- Zouhir M. 1993. Etude géologique du secteur NNE Achemeche (Ticht Ougas) : Essai d'interprétation des anomalies MAG (MAG au sol), conséquences pour la prospection du secteur. *Rapport inédit REMINEX*, 57p.
- Zouine M. 1986. *Evolution structurale tardi-hercynienne de la bordure NW du Maroc central entre Tiddas et Jbel Tariona*. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure, Rabat, 131p.

Manuscrit reçu le 20/02/2017
Version révisée acceptée le 06/07/2017
Version finale reçue le 25/07/2017
Mise en ligne le 28/07/2017