

Les gîtes plombo-zincifères du Hodna : minéralisations comparables au type « Vallée du Mississippi » (Nord-Est Algérien)

Abdelhak BOUTALEB*, Djamel Eddine AÏSSA* et Belkacem TOUAHRI **

* IST - USTHB, B.P. 32 El Alia 16 111, Algérie

** E.NOF., Siège de la Direction Générale, El Harrach; Algérie

Résumé - Les Monts du Hodna recèlent un grand nombre de gîtes de Pb-Zn (Ba-F) encaissés dans des horizons dolomitiques d'âge jurassique, crétacé inférieur et miocène. Les minéralisations à Zn-Pb d'intérêt économique sont localisées dans les formations du Crétacé inférieur (Hauterivien, Barrémien et accessoirement l'Aptien).

Ces minéralisations se localisent préférentiellement à la limite plateforme peu subsidente - bassin. Les failles syn-sédimentaires contrôlent la paléogéographie et jouent un rôle important dans la distribution de la minéralisation; elles permettent également la création de zones hautes favorables au piégeage et la précipitation des minéralisations issues des eaux de formations venant du bassin lors des compressions.

Les corps minéralisés comportent :

- des minéralisations en «stratabound», en partie stratiformes à l'échelle du gisement;
- des remplissages de cassures.

La minéralisation est constituée principalement de sphalérite et galène et accessoirement de pyrite, marcasite, chalcopryrite, cuivres gris, fluorite et barytine. Le quartz secondaire et la calcite sont omniprésents. Des minéralisations sécantes, de même composition minéralogique sont également connues dans beaucoup de gîtes.

L'essentiel de la minéralisation se présente sous forme épigénétique (remplacement et remplissage de vide). L'étude des inclusions fluides des phases transparentes (sphalérite, quartz, fluorites et dolomites) épigénétiques donne des températures d'homogénéisations comprises entre 80 et 240°C et des salinités parfois élevées.

La genèse de ces gîtes n'est pas encore éclaircie. On peut cependant penser, en raison de la localisation des gisements à la limite plateforme peu subsidente - bassin et de la large distribution régionale des minéralisations qui se développent autour de la plateforme «sétifo-constantinoise» ou Môle d'Aïn M'lila, à un apport venant du «sillon atlasique». Le lessivage par des saumures des formations sédimentaires diverses accumulées dans le bassin, aurait joué un rôle déterminant.

Mots clés - Plateforme - Minéralisations à Pb-Zn épigénétiques - Inclusions fluides - Saumures.

Distribution of lead-zinc in Hodna region (North Eastern Algeria)

Abstract - Economic and subeconomique carbonate-hosted Zn-Pb and Ba-F deposits occur in the Hodnian region at several stratigraphic horizons in carbonate rocks (dolomitic) of Jurassic, lower Cretaceous and Miocene age. The lower Cretaceous (Hauterivian and Barremian) horizons contain the economically most important base metal ore deposits.

The ore deposits are found predominantly at platform margin. Synsedimentary faults control the paleogeography and appears to be an important factor for mineralization, mainly creating palaeohighs and providing feeder channels.

Ore occurs in all horizons mainly as :

- stratabound orebodies, in part stratiform at the deposit scale;
- vein type filling.

Main ore minerals are sphalerite and galena, wich are accompanied by subordinate pyrite, marcasite, chalcopyrite, tennantite-tetraedrite, fluorite and barite. Dolomite, calcite and quartz are frequent gangue minerals. In several districts a late generation of cross-cutting veins with similar mineral association as in stratabound deposits is recognized.

Most ore minerals have formed in late diagenetic stages (epigenetic stage). Fluid inclusions of these stages display homogenization temperatures ranging between 80 and 240°C and variable salinities. The formation of both stratabound and vein-type deposits is seen as differentiated response to the discharge of hot saline brines during basin evolution; according to local geological characteristics.

Key words - Plateform - Epigenetic lead-zinc ore deposit - Fluid inclusions - Brines.

INTRODUCTION

Le Hodna renferme de nombreuses minéralisations de Pb-Zn associées presque exclusivement à des formations dolomitiques d'âge varié.

Bien que tous les gîtes de ce district soient connus depuis la fin du siècle dernier, très peu d'études ont été réalisées sur la région (J. Glaçon, 1967; A. Popov, 1968 et B. Touahri, 1987).

Les gisements économiques sont localisés dans la région de Aïn Azel qui renferme plusieurs gîtes stratiformes, les plus importants sont Aïn Kahla, Kherzet Youssef à l'Ouest et Gouzi, Debba et Chaabet El Hamra au Sud-Est (fig. 1'). Les corps minéralisés constituent des «amas» multi-

couches (de deux à plusieurs corps minéralisés dans la même strate ou dans plusieurs strates superposées). En outre plus d'une dizaine d'autres gîtes sont connus dans cette zone et font de cette région un véritable «District métallogénique» à Pb-Zn.

Les métaux de base (Pb et Zn) sont les principales substances minérales exploitées dans le passé (surtout les oxydés), mais les travaux de l'ORM ont mis en évidence des amas à teneurs économiques en Ba et F (Aïn Kahla et Gouzi-Debba).

En Algérie nord orientale, le Hodna renferme plus de 50% des indices de Pb-Zn connus et qui totalise une accumulation métal (Pb + Zn) de l'ordre de 3 Mt (réserves + extraction).

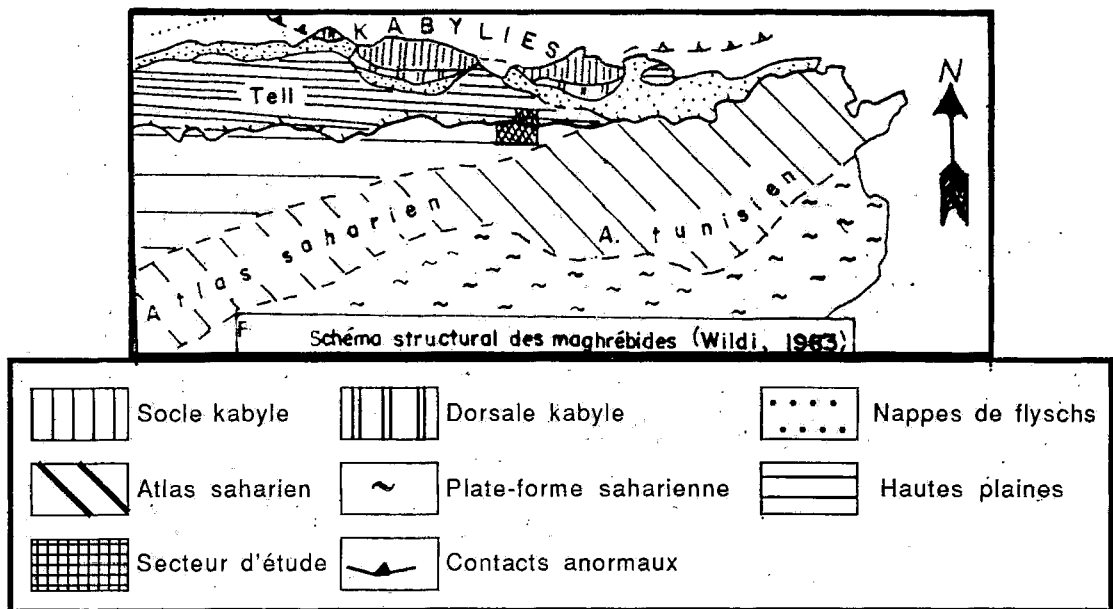


Fig. 1 - Schéma structural des maghrébides (Wildi, 1983)

Structural map of maghrebides (Wildi, 1983)

Actuellement, seul le gisement de Chaabet El Hamra est mis en exploitation après l'ennoiement de la mine de Kherzet Youssef.

Recemment, l'ORGM a développé plusieurs programmes d'exploration pour la recherche de Pb-Zn dans le Hodna, mais avec peu de résultats positifs.

Les études qui ont été faites sur les différents gîtes de la région du Hodna (M. Bertraneu, 1950; J. Glaçon, 1967, A. Popov, 1967; B. Touahri, 1987; A. Khaldi, 1986; A. Boutaleb *et al.*, 1988; Z. Beyoud, 1992 et ORGM) s'accordent sur l'existence de deux types de minéralisations :

- les minéralisations à Pb-Zn (Ba-F) et pyrite stratiformes (d'ailleurs les plus intéressantes sur le plan économique)
- et les minéralisations veinulées et en remplissage de cassures qui présentent la même composition minéralogique.

Les minéralisations du Hodna montrent de larges variations dans leur distribution verticale et dans

la nature des relations entre les minéralisations et les roches encaissantes mais leurs associations, épigénétiques et polyphasées sont simples.

Deux grandes hypothèses se sont jusque là opposées à propos du mode de mise en place des minéralisations stratiformes du Hodna, une hypothèse syngénétique (J. Glaçon, 1967, A. Khaldi, 1986 et Z. Beyoud, 1990) et une hypothèse épigénétique (A. Henni, 1984; B. Touahri, 1987 et A. Boutaleb, 1993).

I - CADRE STRUCTURAL

Le Hodna s'étend sur 100 km de longueur et sur 20 à 30 km de largeur et forme un relief montagneux culminant à 1739m (au Djebel Foural).

Les Monts du Hodna constituent une suite d'anticlinaux à axes E-W, NW-SE et NE-SW mettant à jour une épaisse série de terrains mésozoïques (allant du Trias évaporitique extrusif au Crétacé supérieur) et de dépressions de même directions comblées par du Miocène (fig. 1' et 2).

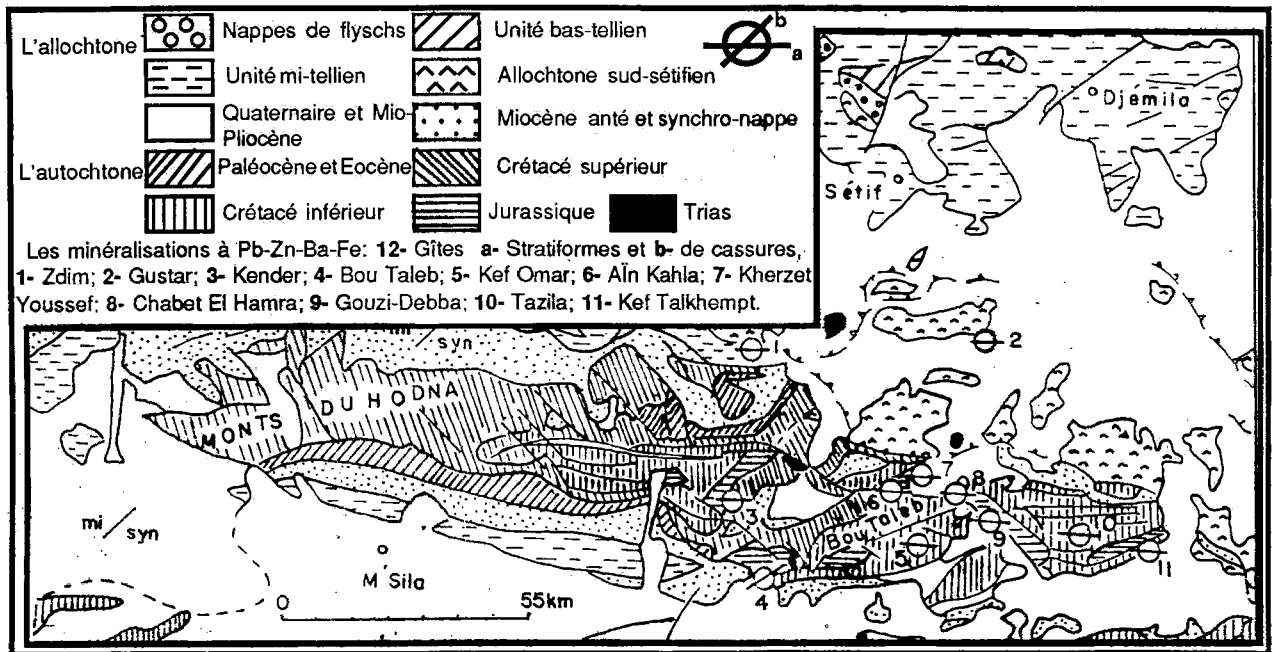


Fig. 1' - Schéma structural du Hodna avec la localisation des principaux gîtes (d'après Wildi, 1983)

Location of main ore deposits on structural map of Hodna region (After Wildi, 1983)

Les «noyaux» jurassiques constitués de calcaires et de dolomies massives affleurent au coeur des anticlinaux et constituent une véritable «barrière» naturelle entre le domaine sétifien allochtone qui chevauche le Hodna au Nord et à l'Est et les Monts du Bélézma et de Batna au Sud.

Les principaux massifs qui constituent l'ensemble autochtone hodnéen sont d'Ouest en Est les anticlinaux de: Ouled Tebben, Boutaleb, Guetiane; Hadjar Labiod et l'anticlinal arqué du Fural-Talkhempt.

Vers l'Ouest les Monts du Hodna avec le vaste anticlinal de Maadid-Ouled Tebben s'engouffrent sous les dépôts du Miocène synchro-nappe qui est à son tour recouvert par les nappes telliennes de Sidi Aïssa. Il s'agit en fait d'un anticlinal grossièrement E-W, qui s'infléchit d'ailleurs à ses deux extrémités occidentale et orientale au NE, souvent coffré et assez complexe englobant le massif des Ouled Tebben à direction atlasique (NE-SW). De façon générale

la fracturation est très vigoureuse dans ces massifs, R. Guiraud (1990) relève trois directions dominantes E-W, NE-SW et NW-SE.

Le Djebel Boutaleb (fig. 1') est en fait un anticlinal à noyau liasique d'orientation générale WSW-ENE; mais dans le détail, on peut distinguer selon Guiraud (1990):

- un flanc sud continu avec des niveaux discordants du Sénonien et du Miocène;
- un périanticlinal nord-oriental qui plonge vers le NE et où on ne voit qu'une partie des assises du Crétacé inférieur;
- un flanc nord fortement laminé à sa base et dont la constitution varie d'Est en Ouest par suite de l'intervention de plusieurs discordances dans le Sénonien et le Miocène;
- un périclinal occidental très étroit, tronqué par plusieurs failles normales;
- une zone axiale dans laquelle s'affrontent les deux flancs par l'intermédiaire de grandes failles inverses parallèles à la direction de l'anticlinal.

Les anticlinaux situés au sud-est de Aïn Azel sont orientés d'abord au NW (Gouzi-Debba) puis s'infléchit au djebel Akial à l'Est-Nord-Est (Talkhempt) (fig. 1').

Le flanc nord est constitué par des formations du Crétacé inférieur, assez calme et peu incliné. Le flanc sud par contre est à matériel jurassico-crétacé très redressé; le contact entre les deux flancs se fait par l'intermédiaire d'accidents directionnels importants souvent injectés de Trias (fig. 2).

Le Hodna a donc une relative complexité structurale liée à la superposition de plusieurs phases tectoniques (R. Guiraud 1990):

- des pulsations positives, se traduisant par la présence dans la série de lacunes ou d'éléments remaniés, se sont produites dans cette région à diverses reprises lors du Lias, du Jurassique moyen et supérieur et du Berriasien, puis pendant l'Albien et le Cénomaniens moyen et supérieur, à la base du Sénonien inférieur période à laquelle se situe la première phase tectorogénique (phase Laramienne);

- cette phase est responsable du jeu de plusieurs grandes cassures qui ont probablement provoqué le découpage des principaux flots jurassiques, notamment le décrochement dextre du Bou Hellal par rapport au Djebel Soubella et facilite la mise en place des intrusions triasiques d'Annoual et d'El Hamma au Sénonien inférieur. Les déformations ont continué de façon moins intense au cours du Sénonien moyen et supérieur dans les Ouled Tebben.

La phase Atlasique, probablement amorcée ici dès la base de l'Eocène, a entraîné la formation de plis très plats, orientés à l'Est-Nord-Est.

Entre l'Aquitaniens et le Burdigaliens certaines failles ont pu rejouer, tandis que les plis s'accroissent un peu, le Burdigalien repose en légère discordance sur un substratum varié. De même la présence locale de conglomérats

interstratifiés en concordance dans le Pontien au pied des massifs du Boutaleb et des Ouled Tebben traduisant l'existence de surrection. Ce phénomène a dû se produire à la fin du Miocène et surtout au Pliocène.

Une importante phase de compression NS intervient après le dépôt du Pliocène supérieur et responsable du plissement du Pliocène en concordance avec le Miocène.

II - CADRE SEDIMENTAIRE ET PALEO GEOGRAPHIQUE

Les gîtes étudiés sont situés sur une marge E-W de l'avant-pays de la chaîne alpine de l'Algérie nord-orientale qui correspond au domaine hodnéen (fig. 1' et 2). Ce dernier se trouve entre deux zones paléogéographiques distinctes:

- au Nord, la plateforme sud-sétifienne peu subsidente à sédimentation carbonatée néritique;
- au Sud, le «sillon» atlasique très subsident à série mésozoïque très épaisse.

En effet; au Mésozoïque, le Hodna constitue le talus méridional de la plateforme néritique sétifo-constantinoise, comprise entre le sillon tellien au Nord et le couloir préatlasique au Sud (fig. 1, 1' et 2).

Ce domaine formerait une province originale, tant du point de vue paléogéographique que structural, où on assiste à une activité tectonique synsédimentaire quasi permanente : cette zone de faiblesse est appelée la géosuture Hodna-Aurès (R. Guiraud, 1973 et 1975).

Au Nord, la ligne Aïn Roua - Sour El Ghozlane est responsable d'une différenciation dans le style de sédimentation : bathyale dans le sillon tellien et néritique dans le domaine sétifien.

Au Sud, s'individualisent deux gouttières de plus en plus subsidentes qui sont le Hodna et le Belezma-Aurès.

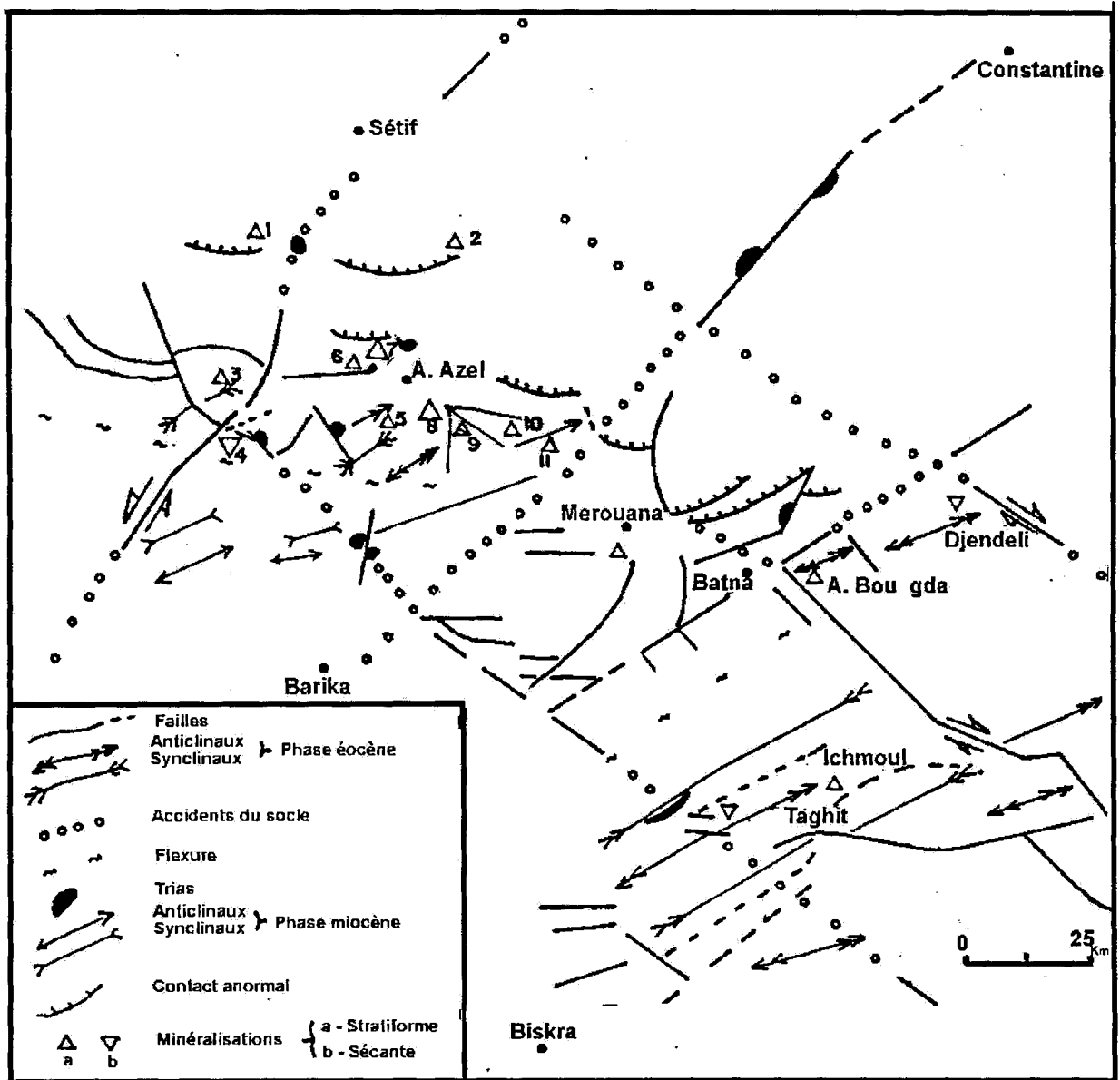


Fig. 2 - Cadre structural du Hodna-Aurès (Guiraud, 1970 modifié)

Tectonique setting of Hodna-Aurès (Guiraud, 1970 modified)

Les gîtes numérotés de 1 à 11 sont les mêmes que ceux de la Figure 1', pour les autres, ils portent leurs noms. (*The ore deposits number 1 to 11 are the same as in the Fig. 1'; and the others are named.*)

L'évolution paléogéographique, structurale et stratigraphique sur la transversale Babors - Hodna depuis le Trias jusqu'au Miocène peut se résumer ainsi selon Jean Marie Vila (1980):

- durant le Trias, cette région a connu une période de sédimentation évaporitique et mise en place de roches volcaniques;

- au Lias inférieur commence la sédimentation carbonatée de plateforme alors qu'au Lias supérieur se déposent les niveaux marneux de plateforme externe;

- au Jurassique moyen et supérieur, les différenciations commencent à apparaître. Dans le sillon tellien, les faciès sont siliceux à microfaune pélagique. La plateforme sétifienne est pour l'essentiel une zone de lagon à sédimentation carbonatée, et calcaires à dasycladacées. Les séries du domaine atlasique (Aurès) sont plus épaisses que dans le sillon tellien et à caractère pélagique;

- le passage Jurassique-Crétacé est assuré dans le sillon tellien par des faciès pélagiques et par un hard-ground dans la plateforme sétifienne;

- les séries néocomiennes du sillon tellien sont à faciès pélitiques plus ou moins gréseux. Sur la plateforme sétifienne, les séries sont plus minces et à influence détritiques. Dans le domaine hodnéen, la subsidence est beaucoup plus importante;

- à l'Hauterivien et jusqu'à la limite Aptien-Albien, les niveaux restent marneux et relativement épais dans le sillon tellien, la plateforme sétifienne et le domaine atlasique sont alors le siège d'une sédimentation carbonatée à influences déltaiques (à l'Aptien) venant du SW. La subsidence du domaine hodnéen reste très accusée;

- l'Albien inférieur n'est pas caractérisé dans les domaines méridionaux où il correspond parfois à un hard-ground. L'Albien supérieur présente des dépôts de type mixte tantôt bathyal et tantôt néritique;

- à l'Albien supérieur-Cénomaniens, la sédimentation devient marneuse et marno-calcaire dans le sillon tellien avec des niveaux conglomératiques à influences néritiques;

- le Cénomaniens voit réapparaître, au Nord de la plateforme sétifienne, des séries néritiques massives. Dans le Hodna il est conglomératique à la base;

- dans tout le domaine tellien, le passage Cénomaniens-Turonien correspond à un repère à silex. Plus au Sud se déposent des faciès carbonatés souvent à Rudistes qui sont nettement plus épais dans le domaine hodnéen.

- le Sénomaniens est un stade de différenciation maximale. Dans le domaine tellien, la sédimentation est marneuse au Nord, lumachellique au Sud. La plateforme sétifienne est à sédimentation réduite (une dizaine de mètres). Elle est marneuse à l'Ouest et calcaires sparitiques à l'Est. Le domaine hodnéen montre des séries beaucoup plus épaisses où des niveaux à galets enregistrent des événements tectoniques qui ont affecté la région du Boutaleb et le Djebel Maadid;

- le Paléocène et l'Eocène (Lutétien supérieur inclus) correspondent à une homogénéisation des faciès du sillon tellien où se déposent des calcaires. L'Eocène de la plateforme sétifienne n'est connu que dans la région de Aïn Lahdjar;

- le Priabonien est la période de la première tectogenèse majeure où on assiste à une structuration en nappes du domaine tellien et la réalisation de plis de direction NE-SW dans les domaines méridionaux;

- la transgression burdigalienne atteint les domaines méridionaux, les Aurès et une partie du Sahara septentrional. Vers la fin du Miocène, on assiste enfin à une nouvelle avancée de la plateforme sud-sétifienne sur le Hodna.

Enfin, le tableau I permet de résumer l'histoire sédimentaire et tectonique de l'avant-pays de la chaîne alpine sur la transversale de Sétif.

Tableau I - Evolution tecto-sédimentaire et minéralisations associées du Hodna.

Sedimentary and tectonic evolution and associated mineralization of Hodna.

PERIODES & ETAGE	LITHOLOGIE REGIONALE	CONTEXTE TECTONO-SEDIMENTAIRE REGIONALE	PRINCIPALES MINERALISATIONS
MIOCENE	Conglomerats, argiles rouges et calcirudites (100 metres)	Compression NS tanghienne à Tortomienne	Remplissages de cassures et megafentes qui affectent divers étages Ex: les gites du Boutaleb (Abiane ...)
EOCENE	Sédimentation réduite de calcaires phosphates à silex et argiles gypsifères (100 metres) ou absente (dans les parties centrale et orientale du Hodna)	Compression NW SE Inra lutétienne qui engendre des plis NE de grand rayon de courbure et qui serait responsable de l'expulsion des eaux de formations issues des bassins subsidés	Puisque les minéralisations stratiformes à Pb-Zn du Hodna sont épigénétiques, il semblerait que l'essentiel des concentrations se sont mises en place lors de cette phase.
CRETACE SUPERIEUR	Conglomerats à la base puis marnes et calcaires sur une épaisseur variant d'est en ouest de 100 à 1500 metres	Compression NNW SSE ayant affecté les chaînons occidentaux du Hodna avec percement triasique au Boutaleb	Mise en place des concentrations épigénétiques précoces lors de la phase emscherienne.
CRETACE INFERIEUR	Marnes, calcaires, grès et dolomies dont l'épaisseur varie de 1000 à 2000 metres	Développement d'une plate-forme subsidée	minces lentilles à Pb-Zn dans les dolomies de l'Aptien. Ex. Tazila et les gites du Dj. Foural; Dzoli-Bou aussi. Lentilles assez riches en sphalérite et galène dans les dolomies du membre médian du Barremien de Kherzet Youssef. Lentilles à sphalérite et marcasite dans les calcaires dolomités de l'Hauterivien (supposé) de Chabet El Hamra et Kef Omar.
JURASSIQUE SUPERIEUR & MOYEN	Dolomies, calcaires et marnes, épaisseur moyenne = 300 à 400 m	Approfondissement du milieu de dépôt suivi par une transgression	lentilles minéralisées en Zn-Pb dans les dolomies à silex du Dogger de Aïn Kahla et Kender-Menzou.
JURASSIQUE INFERIEUR	Dolomies et marnes à Ammonites; épaisseur moyenne 300 m	Développement d'un bassin de plate-forme mobile peu profond puis affaissement au Toarcien	Lentilles minéralisées en Zn-Pb, Ba-F et disséminations et veinules de sulfures et sulfo-sels de Cu dans les Dolomies liasiques de Aïn Kahla, Gouzi-Debba et Talkhempt.
TRIAS	Argiles, évaporites, dolomies et roches vertes	Mer peu profonde à dépôt d'évaporites et de roches carbonatées avec mise en place de roches volcaniques qui résultent d'une phase de distension.	Veinules de chalcoprites dans les blocs de roches vertes de Koudiet El Bassour et le cap rock du percement triasique de Gouzi.

III - MINÉRALISATIONS

Les minéralisations du Hodna se trouvent associées à divers niveaux stratigraphiques. Elles sont observées dans diverses formations du Jurassique, du Crétacé inférieur et du Miocène.

Ces dépôts métallifères sont associés soit aux discontinuités sédimentaires, soit à des séquences régressives ou enfin à des fractures de directions diverses. L'étude descriptive des gîtes du hodna nous a permis de distinguer deux principaux types de minéralisations qui sont :

- les minéralisations stratiformes;
- et les minéralisations de cassures et en veinules.

1 - Les minéralisations stratiformes

Ce sont des corps lenticulaires et concordants à la stratification. Malgré quelques différences anatomiques et texturale d'un gîte à l'autre, en grande partie liées aux natures lithologiques (calcaires dolomités; dolomies à grain moyen et dolomie à grain grossier ou «saddle dolomite») diverses des niveaux porteurs (Lias; Dogger; Hauterivien; Barrémien et Aptien), les gisements stratiformes à Pb-Zn, (Ba-F) du Hodna peuvent être groupés en un même type, qui paraît assimilable au type «Vallée du Mississipi» (MVT) bien connu dans le Monde. Ce type de minéralisation se présente:

- en lentilles multicouches qui sont liées à la discontinuité sédimentaire du Domérien et du Dogger (Aïn Kahla et Gouzi-Debba);
- en lentilles multicouches interstratifiées dans les bancs dolomitiques du Lias et du Dogger de Aïn Kahla, dans les bancs dolomitiques d'âge Hauterivien à Barremien à Kherzet Youssef et associées aux dolomies de l'Hauterivien de Chaabet el Hamra (fig. 3) et de Kef Aomar.

Il est important de souligner que ce type est représenté par une dizaine de gîtes économiques

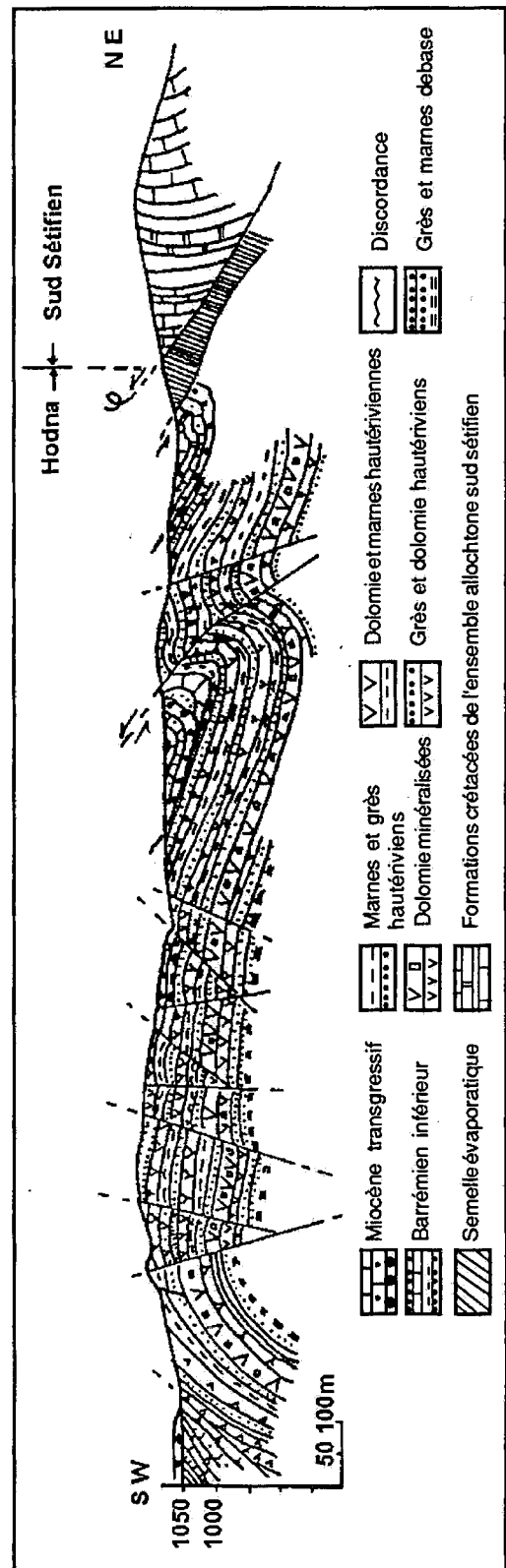


Fig. 3 - Coupe schématique NE-SW passant par le district minéralisé de Chabet El Hamra (d'après travaux ORGM)
Cross section NE-SW through Chabet El Hamra ore deposit. (After ORGM works)

ou sub-économiques, répartis sur environ 50 km tout le long des Monts du Hodna (fig. 1 et 2).

2 - Les minéralisations de cassures et en veinules

Il s'agit de remplissages de cavités et de fissures qui sont observés:

- à Kender-Menzou où les minéralisations apparaissent dans les veinules et dans le ciment des brèches dolomitiques du Dogger (dolosparite et dolomite spathique); ou liées aux stylolites bitumineux;

- au Djebel Boutaleb occidental où les dépôts métallifères se localisent dans les fractures de direction N 25 à N 70 qui recoupent le Lias oolitique de Soubella, Bou Riech, Abiane, Bou Ich Mine et Annoual; les calcaires du Dogger et les calcirudites du Miocène (Burdigalien) de Bou Ich Ouest et Kef Sennar. Ces derniers filons sont larges en surface (plusieurs mètres) et se pincent en profondeur. On remarque également la présence de schalenblende et de minéraux cuprifères.

Dans certains cas, comme à Kherzet Youssef, les deux types de minéralisations sont associés et la minéralisation stratifiée est recoupée par une minéralisation fissurale caractérisée par la précipitation de la schalenblende. Les directions des veinules varient de N 20 à N 160.

IV. LES CONTRÔLES GÉOLOGIQUES

Les études de terrain et de laboratoire montrent que les minéralisations sont contrôlées par plusieurs facteurs :

1 - Contrôles lithologiques

La minéralisation à sphalérite-galène-pyrite et accessoirement barytine-fluorite est très

largement répandue à travers toute la région du Hodna et se distribue dans plusieurs niveaux de la série mésozoïque:

- le Lias dolomitique (Domérien) de Aïn Kahla-Gouzi-Debba-Talkhempt;

- les dolomies à silex du Dogger qui passent latéralement à des calcaires à silex et Belémnites de Kender-Menzou et Aïn Kahla;

- les dolomies ferrugineuses épigénétiques et calcaires dolomités de Hadjar Labiod, Chabet El Hamra et Kef Omar (supposés hauteriviens);

- le membre médian dolomitique à alternances marneuses du Barrémien de Kherzet Youssef et les dolomies ferrugineuses de Chabet el Hamra (fig. 4);

- la barre dolomitique aptienne de Bou Aissidzoli, Kherzet Youssef, Anza Behloul et Tazila.

Ainsi, on constate que tous les niveaux porteurs sont d'âge différents (Lias, Dogger, Hauterivien, Barrémien et Aptien), mais ils sont tous complètement ou partiellement dolomités.

À l'intérieur de ces niveaux, la minéralisation à petite échelle paraît concordante avec la stratification (fig. 4), mais elle est lenticulaire, souvent elle occupe les espaces ouverts ou veinules ou elle est postérieure aux stylolithes qui sont sécants sur la stratification (fig. 5), ce qui lui confère un caractère épigénétique indéniable.

La minéralisation peut aussi être située dans plusieurs formations superposées (multicouches) au sein d'une même série (fig. 4). C'est le cas de la série mésozoïque de Hadjar Labiod où le flanc nord de l'anticlinal du même nom renferme des concentrations de Pb-Zn-Ba-F et pyrite dans le Lias, le Dogger, à Pb-Zn dans l'Hauterivien, le Barrémien et enfin des dépôts pyriteux dans l'Aptien.

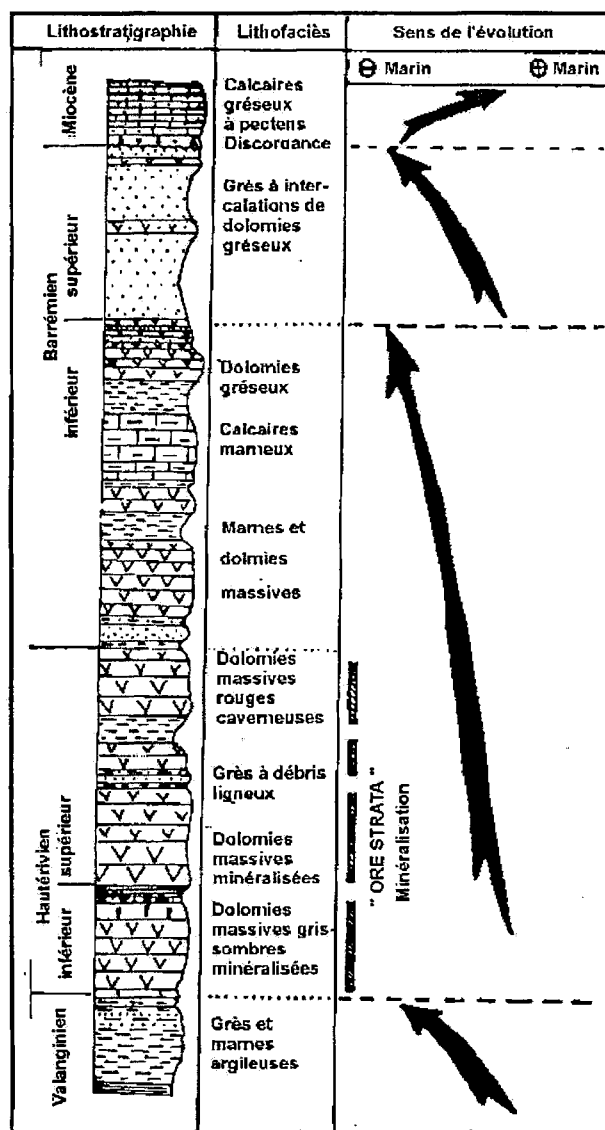


Fig. 4 - log. lithostratigraphique du gisement chabet el Hamra

Lithostratigraphic column of Chabet el Hamra deposit

2 - Contrôle paléogéographique

Les gîtes du Hodna sont localisés à la limite paléogéographique plateforme peu subsidente-bassin subsident. Ils sont inclus dans une série mésozoïque qui s'épaissit vers le bassin. La série mésozoïque de la région de Aïn Azel change d'épaisseur d'Ouest en Est surtout pendant le

Jurassique (environ 350m à l'Ouest pour 150m à l'Est).

Les milieux de sédimentation des niveaux porteurs sont variés:

- inter à supratidaux à tendance évaporitique pour les dolomies infra-toarciennes (Aïn Kahla, Gouzi-Debba);
- infra à intertidaux pour les calcaires dolomités et dolomies (Hauterivien et Barrémien) porteurs des minéralisations de Chabet el Hamra (fig. 4) et de Kherzet Youssef;
- sédiments néritiques pour la barre aptienne.

3 - Contrôles structuraux

A l'échelle régionale, les concentrations sont réparties dans un contexte tectonique caractérisé par l'existence probable de failles synsédimentaires de directions Est-Ouest, N 105 à 140 et NE-SW qui auraient joué un rôle important dans l'individualisation de petits bassin en blocs basculés (R. Guiraud 1975; N. Kazi-Tani 1986 et Bureau 1986) et introduisant par conséquent dans les sédiments des variations d'épaisseur notables ou des lacunes. La projection des gîtes à Pb-Zn sur le schéma structural de la région hodnéenne (fig. 2), permet de mettre en évidence un «trend métallogénique» qui se calque sur la direction majeure NW-SE, ou des sortes de «noeuds» entre les directions NW-SE et NE-SW.

Les gîtes du hodna sont situés à proximité de grands accidents (fig. 1 et 2). C'est le cas du gisement de Kherzet Youssef qui est situé au voisinage d'une faille décrochante dextre N-S qui pourrait être active durant le Mésozoïque (en faille normale) puis décrochante dextre lors de la mise en place des nappes rigides de «l'ensemble allochtone sud sétifien».

Au Sud de ce gisement, le gîte de Aïn Kahla est limité au Sud par une faille inverse Est-Ouest, d'âge incertain. On peut penser qu'elle est antérieure

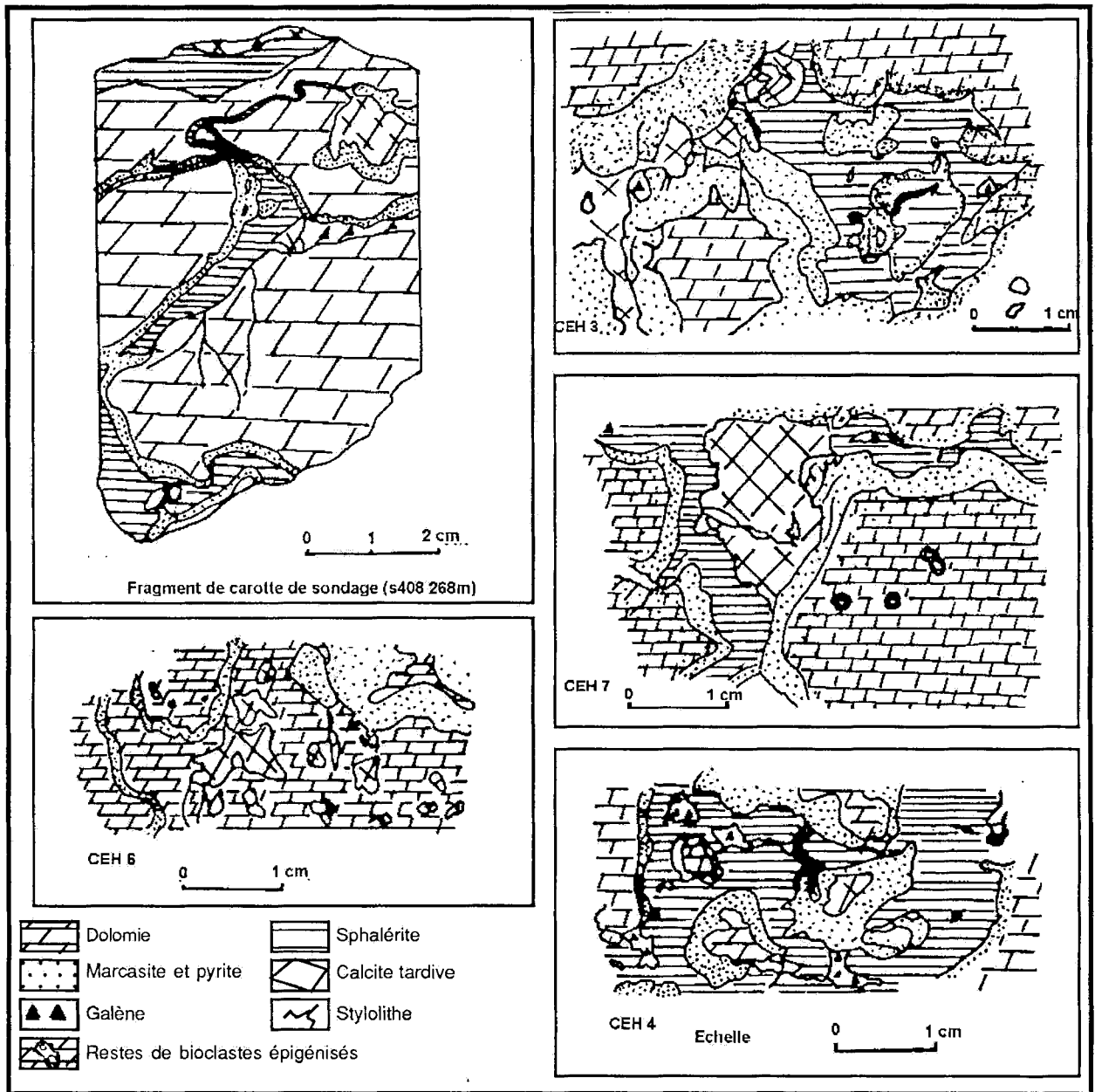


Fig. 5 - Quelques exemple de textures de brèches et de veinules minéralisées du gisement de Chabet el Hamra

Some examples of ore textures (breccia and veinlet)

à la phase atlasique, car les séries mésozoïques de part et d'autre de cette faille montrent des variations d'épaisseurs. Il s'agit probablement d'une ancienne faille normale synsédimentaire qui aurait joué en faille inverse lors des phases compressives à l'Eocène et surtout au Miocène.

Quant aux gîtes du Sud-Est de Aïn Azel, ils sont liés spatialement à des accidents directionnels confondus avec l'axe du pli anticlinal arqué du Fournal-Talkhempt.

En outre, il existe dans le Hodna des fractures de directions diverses (WSW-ENE; NE-SW; E-W et N-S) qui présentent un remplissage minéralogique similaire à l'association minéralogique des gîtes stratiformes. (Djebel Boutaleb, Ouled Tebben...).

L'âge de ces remplissages demeure imprécis, néanmoins ces fractures minéralisées affectent le Miocène marin (Burdigalien), ce qui permet de penser qu'elles sont tout au plus post burdigaliennes.

V - SUCCESSIONS PARAGÉNÉTIQUES

La paragenèse de ces minéralisations est dans l'ensemble constituée de sphalérite, galène, pyrite et marcasite, accessoirement chalcopryrite et cuivre gris. Mais en plus, dans certains sites tel que dans les dolomies domériennes de Aïn Kahla et Gouzi-Debba on trouve d'autres minéraux associés à cette paragenèse : le quartz, la fluorite et la barytine. A Chabet el Hamra et à Kherzet Youssef on rencontre beaucoup de pyrite et de marcasite.

La cristallisation de schalenblende, l'augmentation de la taille des grains de dolomites à l'approche des minéralisations, les multiples phases de dissolution-recristallisation et variation locales des paragenèses, ont permis de retracer l'histoire post-sédimentaire des minéralisations du Hodna.

En somme, on peut distinguer deux grands stades paragénétiques, subdivisés eux-mêmes en quatre phases: (Tab. II)

a - Le premier stade

- la première phase de diagenèse précoce avant enfouissement est caractérisée par la finesse des cristaux de dolomites (< 100 m) et de la pyrite-marcasite en petits cristaux disséminés. Elle est abondante dans les gîtes de Kherzet et Chabet el Hamra.

- la deuxième phase et la troisième phase se manifestent par la mise en place de l'essentiel de la minéralisation et sont représentées dans tous les gîtes du Hodna.

b - Le deuxième stade

- la quatrième phase est le résultat d'une remobilisation tectonique et pour certains cas de nouvelles pulsations (le cas des gîtes du Boutaleb) se traduisent par la mise en place de minéralisations de même association minéralogique mais qui s'expriment sous forme de remplissage de veinules et cassures de diverses directions; cette occurrence minérale affecte cette fois-ci, même les calcaires marins du Burdigalien (au Djebel Boutaleb).

VI - INCLUSIONS FLUIDES ET MATIÈRE ORGANIQUE ASSOCIÉES

L'étude préliminaire des inclusions fluides primaires piégées dans les minéraux de gangue (barytine, fluorine, quartz et calcite) et des sphalérites des minéralisations épigénétiques stratiformes et en veinules des gîtes hodnéens a permis de mettre en évidence que la plupart des inclusions sont biphasées et aqueuses, avec le plus souvent un taux de remplissage de 0,10 à 0,35. Certaines semblent contenir des hydrocarbures et du CO₂ (c'est le cas des fluorites de

Tableau II - Synthèse de la succession paragénétique des principaux gîtes du Hodna

Paragenetic sequence of main ore deposits of Hodna region

Por : porphyre Dolomie et marnes hauteriviennes; Bar : baroque; a, b, c et d : phase de dépôt; (I) : stade de sédimentation; (II) : stade de diagenèse précoce et tardive; (III) : épigénèse.

Minéralogie	Sédimentation (I)	Diagenèse précoce (II) a	Diagenèse + Enfouissement (II) b	Epigénèse (III) c d	Minéralisations sécantes (de cassures)
Quartz	—	—	—	—	—
Mat. organique	—	—	—	—	—
Calcites	—	—	—	—	—
Dolomites	—	por.	z.	bar.	—
Breunérite	—	—	—	—	—
Barytines	—	—	—	—	—
Fluorites	—	—	—	—	—
Pyrites	—	—	—	—	—
Marcasites	—	—	—	—	—
Sphalérites	—	—	—	—	—
Galènes	—	—	—	—	—
Chalcopyrrites	—	—	—	—	—
Cu. Gris	—	—	—	—	—
Processus	Sédimentation	Dissolution- recristallisation		remplacement- remplissage	remplissage
Altérations "hydrothermales"	Dolomitisation		Dolomitisation		
	Silicification		Silicification		
Températures de dépôt (°C)	250 200 150 100 50				
Th et Salinités en (% EQ. Pds NaCl)		Th = 110°C sol. 18% C. El Hamra	230°C 6% A. Kahla	225°C 19% Boutaleb	
Fluides	Eau de mer	Eaux connées		Eaux connées (H.C)	Sgumures à pétrole (H.C.)

Aïn Kahla et de Gouzi, des calcites et du quartz du Djebel Boutaleb).

Les températures d'homogénéisations variant de 80 à 200°C indiquent qu'il s'agit de fluides relativement chauds et les salinités sont très variées selon les drains et les conditions locales de chaque minéralisation.

Les températures de début de fusion ou eutectiques mesurées sur les inclusions fluides piégées dans les sphalérites de Chaabet el Hamra

et Kef Omar et les calcites associées aux sulfures du Djebel Boutaleb sont comprises entre - 40 et - 50° C indiquant la présence probable de cations tels que le Ca^{++} , le K^{+} (?) et éventuellement le Mg^{++} .

L'état de la matière organique, d'origine libéroligieuse, a été appréciée sur des échantillons de l'encaissant hauterivien et sur le minerai (sondage, 408 de Chabet El Hamra), les faibles valeurs de l'Index Hydrogène obtenues par analyse Rock Eval indiquent une maturation

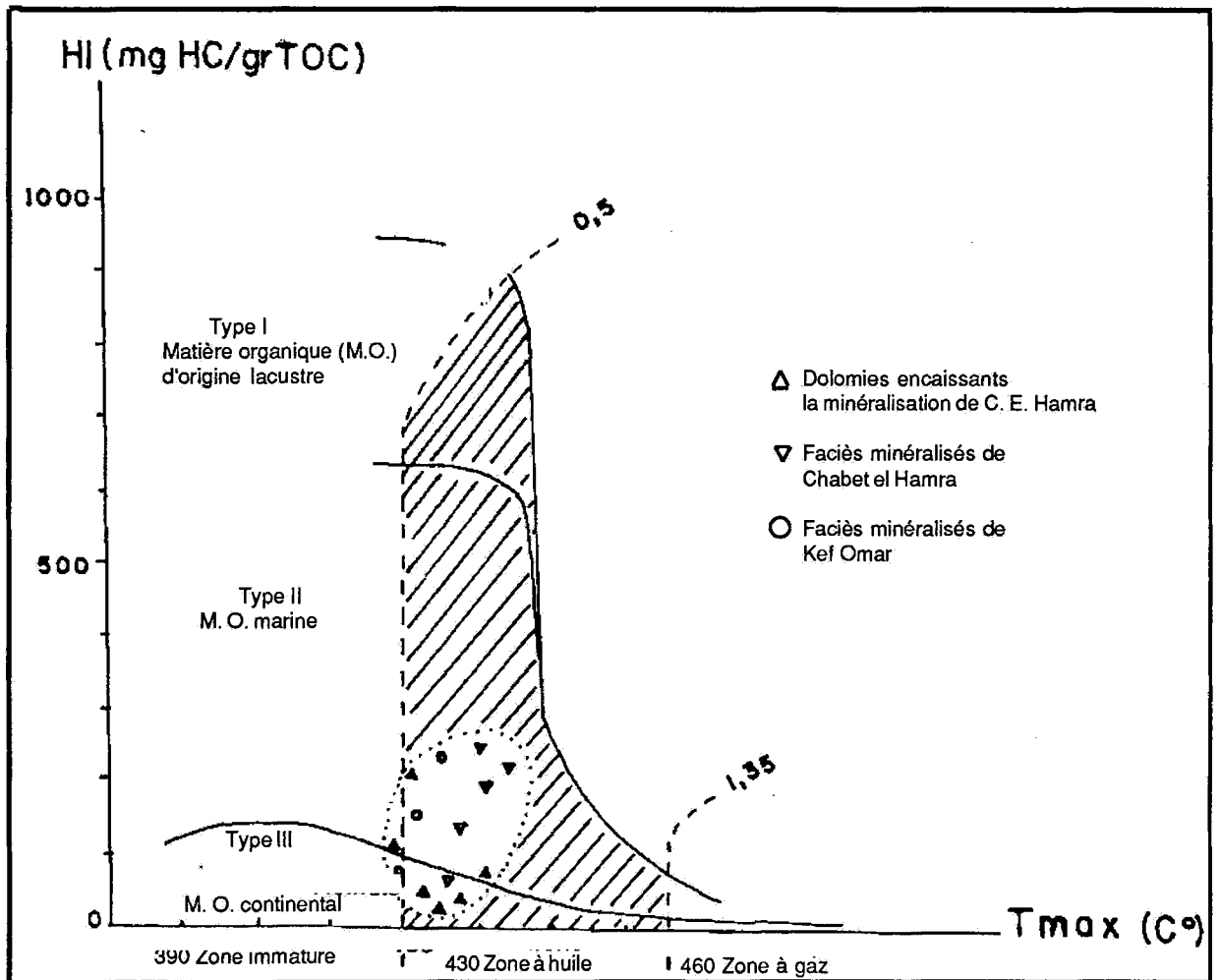


Fig. 6 - Digramme Rock Eval et données de la pyrolyse de quelques échantillons de Chabet el Hamra et Kef Omar

Rock Eval pyrolysis data from representative samples of Chabet el Hamra and Kef Omar oredeposits

très élevée de la matière organique et correspond probablement au début de la fenêtre à huile (fig.6). Bien qu'ils aient été acquis sur un nombre restreint d'échantillons, ces résultats sont tout à fait comparables à ceux obtenus sur les minéralisations de Kherzet Youssef par A., Henni (1984) et B. Touahri (1987). En outre, l'analyse de la matière organique associée (caractères optiques-fluorescence et réflectance) aux faciès dolomitiques qui encaissent la minéralisation de Aïn Kahla montre l'existence d'hydrocarbures polycondensés solides, mis

en place sous une forme fluide (Beyoud, 1990). On peut donc étendre les conclusions formulées pour ces dernières : «Les minéralisations du Hodna prennent place donc dans un contexte de flux thermique anormalement élevé, la présence d'hydrocarbures dans les inclusions fluides des Fluorites, quartz et calcites de Aïn Kahla, Gouzi et Boutaleb; ainsi que dans les fractures des calcaires de l'Eocène au Sud de Draa el Hamra (Feuille de Boutaleb coordonnées X = 38 grade 27' et Y = 39 grade 90') et de bitumes migrés et cokéfiés dans les espaces

géodique du minerai de Kherzet Youssef souligne bien le transport de matière qui sont le fait de fluides chauds à des époques nettement postérieures à la diagenèse des encaissants concernés».

VII - CONCLUSION

Les minéralisations à Pb-Zn (Ba-F) du Hodna apparaissent dans un contexte bien précis, défini par ces caractéristiques paléogéographiques et structurales.

A l'échelle régionale, les minéralisations sont localisées dans les zones de transitions entre la plateforme sud-sétifienne à sédimentation réduite au Nord et le «sillon» atlasique à séries très subsidentes au Sud.

Des encaissants dolomitiques qui relèvent de processus diagénétiques à épigénétiques.

Les minéralisations montrent une dispersion verticale avec, cependant une nette prépondérance des gîtes encaissés dans le Crétacé inférieur. Cette dispersion existe également à l'échelle d'un même gîte (multicouche).

De plus, l'étude microscopique des minéralisations du Hodna permet de mettre en évidence une analogie dans la composition minérale et dans les successions de dépôt des minéralisations, à l'intérieur d'un même gîte ou d'un gîte à un autre.

Tous ces faits que nous venons d'évoquer, combinés aux résultats préliminaires des inclusions fluides et de la matière organique, permettent d'envisager des regroupements et de limiter le nombre de phases à deux ou trois stades de minéralisations :

- La première phase comprend la mise en place de la minéralisation par remplissage de pores ou remplacement de l'encaissant dolomitique

(diagénétique et/ou épigénétique). Notons qu'au sein de cette phase, il est possible de mettre en évidence de nombreuses recurrences dues essentiellement à des phénomènes de recristallisations.

Cette première phase est précédée par des disséminations surtout de pyrite et de marcasite associées aux dolomies diagénétiques.

- Nous avons relevé une phase de fissuration qui favorise les conditions nécessaires à la mise en place de sphalérite-galène-dolomite et calcite, soit par remobilisation des sulfures préexistants (Kherzet Youssef, Chabet el Hamra, Gouzi-Debba) ou par un nouvel apport métallique (cas des gîtes du Boutaleb).

L'étude microthermométrique et l'analyse géochimique de la matière organique conduit à mettre en évidence une anomalie thermique qui serait due à la circulation de solutions «hydrothermales» minéralisatrices (au sens de Leach et Sangster, 1993) au sein des dolomies et calcaires dolomités qui encaissent les minéralisations du Hodna

Pour conclure est-t-il possible de proposer un modèle génétique tenant compte des caractères paléogéographiques, structuraux et métallogéniques complexes de ces gîtes?

Le modèle métallogénique de mise en place des gîtes du Hodna qui nous paraît à l'heure actuelle le plus vraisemblable et en raison de la localisation des minéralisations sur la marge d'une plateforme peu subsidente et de bassins plus subsidents illustre le reflux de solutions minéralisantes chaudes (des eaux de formation) issues du «sillon» atlasique et en relation avec les surrections épisodiques sur la plateforme sétifienne et sa marge méridionale où se situent les gîtes en question. Il est conforme aux concepts généraux développés par B. Touahri (1987).

Remerciements - Nous remercions MM. Marignac C. de l'ENSG Nancy; Aït Ouali R. et Charef A. de l'INRST Tunis pour leurs critiques, remarques et suggestions.

BIBLIOGRAPHIE

- BENZERGA., M., 1974.** Première contribution à l'étude géologique et métallogénique des chaînons intermédiaires. Sud sétifien (Algérie). *Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Nancy.*
- BERTRANEU, M., 1950.** Contribution à l'étude des Monts du Hodna; le massif de Boutaleb, *Publ. Serv. Géol. Algérie, nouvelle série, Bull. n° 4.*
- BEYOUND, Z. ET DAGALIER, G., 1986.** Les minéralisations à Pb-Zn-Ba-F du Lias carbonaté littoral d'Aïn Azel (Algérie): un modèle de concentrations stratiformes syn-diagénétique et de remobilisations épigénétiques liées à des émergences successives. - *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 303, série II, N°9, pp 831-836.
- BEYOUND, Z., 1990.** Les tidalites carbonatées et les minéralisations à Pb-Zn-Ba-F du Jurassique inf. et moy. de Aïn Azel (Hodna-Algérie). *Thèse de docteur de l'INPL. Nancy* 162 p.
- BOUTALEB (EX. TALBI), A., 1993.** Métallogénie des gîtes à Pb-Zn-Ba du Sétifien-Hodna-Aurès. *In: Proceedings of Workshop MVT. Mississippi Valley Type Deposits in Europe and North Africa, comparaisons with North American Deposits, constraints on modeling paleo-circulations.* pp. 203-210.
- BUREAU, D., 1986.** Approche sédimentaire de la dynamique structurale: Evolution mésozoïque et devenir tertiaire de la partie septentrionale du fossé pré-saharien (Sud-ouest constantinois et Aurès-Algérie). *Th. Doct. Sc., U.P.M.C. Paris VI.*
- GLAÇON, J., 1967.** Recherche sur la géologie et les gîtes métallifères du Tell sétifien (Algérie). *Serv. Car. Géol. Algérie. Bull. N° 32 Nelle série. II,* pp. 319-751.
- GUIRAUD, R., 1970.** Aperçu sur les principaux traits structuraux du Hodna et des régions voisines. *Publ. Sér. Géol. Algérie. (Nelle série). Bull. n° 41,* pp. 45-49.
- GUIRAUD, R., 1975.** L'évolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique (2).* Vol. XVII. Fasc. 4, pp. 427-446. Paris.
- GUIRAUD, R., 1990.** L'évolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines: *Thèse Doct. Sci. Univ. Nice,* 259 p. Mémoires n°3, Publ. de l'ONIG, Alger.
- HENNI, A., 1984.** La minéralogie, les particularités géochimiques et la genèse du gisement de Kherzet Youssef. *Résumé de Th. de 3^{ème} cycle Univ. Léningrad URSS.*
- Kazi-Tani, N., 1986.** Evolution géodynamique de la brodure nord africaine: le domaine intraplaque nord algérien. Approche mégaséquentielle: *Th. Doct. Sc. Univ. Pau et Pays de l'Adour,* p. 881.
- KHALDI, A., 1987.** Le gisement de Kherzet Youssef: une minéralisation Pb-Zn-Fe-(Ba) stratiforme dans le membre médian marno-carbonaté du Barrémien de la région de Aïn Azel (Hodna, Algérie), *Th. Doct; 3^{ème} cycle, ENSG Nancy,* 439 p.
- Leach, D. et Sangster, D.F., 1993.** Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. *In: KIRKHAM, R. V. AND AL., EDS. Mineral deposit models, Geological Association of Canada Special Paper 40,* p. 289-314.
- POPOV, A., 1968.** Les types morphologiques et la répartition des gisements de zinc et de plomb en Algérie. *Ann. Mines. Géolo. Tunis,* n° 23, p. 103-203.
- ROUVIER, H., PERTHUISOT, V. AND MANSOURI, A., 1985.** Pb-Zn deposits and salt-bearing diapirs in S-Western Europe and North Africa. *Éco. Geol. Vol. 80,* pp. 666-687.
- TOUAHRI, B., 1987.** Géochimie et métallogénie des minéralisations à Pb-Zn du Nord de l'Algérie. *Th. Doct. Sc. Univ. Paris VI,* 380 p.
- VILA, J. M., 1980.** La chaîne alpine d'Algérie Nord-orientale et des confins algéro-tunisiens. *Th. Doct. Sc. Univ. UPMC, Paris VI.*
- WILDI, W., 1983.** La chaîne tello-rifaine (Algérie-Maroc-Tunisie): Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Rev. de géol. dynam. et de géogra. physique,* Vol. 24, Numéro spécial, pp. 201-297.