

GÉOLOGIE, GÎTOLOGIE ET MICROTHERMOMÉTRIE DES MINÉRALISATIONS À BA - PB (ZN, CU), LIÉES AU SEGMENT NE DU DJEBEL AZREG - DJEBEL KHENCHELA (MONTS DES AURÈS) : EXEMPLE DES GISEMENTS D'ICHMOUL ET D'AÏN MIMOUN.

Omar HADDOUCHE*, Ronan HEBERT** et Abdelhak BOUTALEB***

RÉSUMÉ

Les minéralisations d'Aïn Mimoun et d'Ichmoul sont encaissées dans les formations carbonatées albo-aptiennes. Elles sont caractérisées par une association minérale composée principalement de barytine, galène, accompagnées localement par du cuivre gris, de la chalcopyrite, de la pyrite et divers produits d'oxydation.

Ces minéralisations montrent deux types morphologiques principaux : des amas lenticulaires de formes irrégulières avec une distribution diffuse de la barytine et des minéraux métalliques dans le gisement d'Ichmoul, et des filons essentiellement à barytine, liés à des fractures de direction E-W, NE-SW et rarement NW-SE dans le gisement d'Aïn Mimoun. Les textures des minerais sont de type extensif, représentées surtout par des brèches d'effondrement, des rubanements, des encroûtements et des disséminations.

L'aspect textural ainsi que l'étude pétrographique, gîtologique et l'étude microthermométrique montrent que ces concentrations minérales sont liées à des fluides de bassin.

Les fluides minéralisateurs sont salés (riches en Ca, Na et Cl) et relativement chauds (100 à 250 °C). Ces caractéristiques montrent une analogie avec les gîtes localisés au NW dans le Hodna-Sétifien (Boutaleb et *al.*, 2000; Boutaleb, 2001) ou au NE dans la zone de diapirs (Haddouche et *al.*, 2004; Sami, en cours) et même plus au nord dans le domaine interne (Kolli et *al.*, 1999).

Mots clés - Aïn Mimoun - Ichmoul - Gîtes - Amas - Filons - Fluides de bassin - Inclusions fluides.

* Université Mouloud Mammeri, Département de Biologie, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, Tizi Ouzou – Algérie.

** Université de Cergy-Pontoise, Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement, F- 95000 Cergy-Pontoise, France.

*** Laboratoire de Métallogénie, Département de Géologie, FSTGAT-USTHB, BP. 32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.

- *Manuscrit déposé le 17 Février 2009, accepté après révision le 25 Mai 2009.*

GEOLOGY, METALLOGENY AND MICROTHERMOMETRY OF BA - PB (ZN, CU) MINERALIZATIONS LINKED TO THE NE CENTER OF DJEBEL AZREG - DJEBEL KHENCHELA (AURÈS MOUNTS): EXAMPLE OF ICHMOUL AND AÏN MIMOUN ORE DEPOSITS.

ABSTRACT

The mineralizations of the Aïn Mimoun and the Ichmoul deposits are hosted in the Albian-Aptian carbonate rocks. Ore minerals are principally barytine and galena, wich are accompanied by subordinate tetrahedrite, chalcopyrite, pyrite and various oxidation products.

These mineralizations show essentially two morphological types: lenticular lens with irregular forms and diffuse distribution of most ore minerals in the Ichmoul deposit and vein type filling associated with fractures of E-W, NE-SW direction striking and NW-SE in the Aïn Mimoun deposit.

From their textural aspect (brecciate, banding, encrustation and dissemination) and their petrographic, metallogenic and microthermometric studies, these two (2) types of mineral concentrations are associated with basinal fluids.

The fluid inclusions are salted (rich in Ca, Na and Cl) with moderate homogenization temperatures (100 to 250 °C). These results show an analogy with the ore deposits located in the NW of Hodna-Sétifian Domain (Boutaleb et al., 2000; Boutaleb, 2001) and within the diapiric zone (Estern saharan Atlas) (Haddouche et al., 2004; Sami en cours) and in the Maghrebide Internal Zones (Kolli et al., 2000).

Keywords - Aïn Mimoun - Ichmoul - Deposits - Lenticular - Vein - Basinal fluids - Fluid inclusions.

I- INTRODUCTION

Les minéralisations de l'axe Djebel Azreg - Djebel Khenchela se situent dans la zone plissée des Monts des Aurès. Ce tronçon de l'Atlas saharien oriental recèle de nombreux petits gîtes et indices minéralisés essentiellement à Ba - Pb (Zn - Cu), encaissés dans les roches carbonatées albo-aptiennes.

La présente étude s'intéresse particulièrement aux gisements d'Ichmoul et d'Aïn Mimoun, où l'on rencontre respectivement une minéralisation de type amas lenticulaire et filonien, constituée principalement d'une paragenèse à barytine et galène avec accessoirement de la sphalérite, du cuivre gris, de la chalcopyrite, de la pyrite et divers produits d'oxydation.

Depuis 1900, date de la découverte du gisement d'Ichmoul, très peu de travaux de recherche minière ont été effectués dans cette région. La mine n'a été mise en exploitation qu'à partir de 1932 jusqu'à 1954. Le tonnage réalisé à cette époque est de 116.000 tonnes de minerai à 6% de plomb. En 1968, fut découvert le champ filonien à barytine d'Aïn Mimoun par les missions soviétiques pour le compte de la SONAREM puis de l'EREM. Durant les années 1972-2005, les travaux d'exploration et d'exploitation dans cette région ont permis la découverte de nouveaux indices dont les réserves de l'ensemble du gisement ont été évaluées à 577.000 tonnes de minerai de barytine.

Les minéralisations étudiées sont encaissées dans une série carbonatée et terrigène. Elles sont liées essentiellement à des remplissages

de fractures et de vides « filling open space ». Elles sont accompagnées de plusieurs étapes successives de dolomitisation et de silicification précédant les phénomènes d'accumulation métallique qui leur sont associés. Les dolomites et le quartz représentent les minéraux principaux de la gangue. Les dolomites sont de type « baroque » ou « saddle dolomite ».

Ces caractéristiques ainsi que l'étude microscopique et l'aspect des textures du minerai (brèches d'effondrement, rubanements, encroûtements, disséminations...) évoquent un mode de concentration lié à des phases épigénétiques polyphasées, contrôlées par des événements tectoniques successifs.

Enfin, les nouvelles données gîtologiques et microthermométriques obtenues dans cette note vont donc permettre de préciser la succession des principales étapes de formation des minéralisations du gisement d'Ichmoul et d'Aïn Mimoun et tente d'approcher les conditions physico-chimiques des fluides minéralisateurs et leur mode de mise en place.

II. MÉTHODOLOGIE

Plusieurs coupes de terrain ont été macroscopiquement décrites et plus de 200 échantillons ont été utilisés pour les descriptions pétrographiques, minéralogiques et géochimiques. Des sections minces ont été préparées afin de déterminer la minéralogie des minerais et de leur encaissant. L'examen des surfaces polies a permis l'identification des minéraux de minerai et une description détaillée des phases stadiales.

Des sections doublement polies (300 µm) ont été préparées pour l'étude des inclusions fluides dans les barytines, le quartz et la calcite. Des analyses de microthermométrie des inclusions fluides ont été effectuées sur un sys-

tème de congélation et de chauffage sur une platine de type Linkam THMS - 600, montée sur un microscope d'Olympus BX50. La reproductibilité est de 0,2°C pour les températures de fusion de la glace et < 3°C pour toute la température d'homogénéisation (Th).

III- CADRE GÉOLOGIQUE ET STRUCTURAL

Les gîtes étudiés font partie du domaine aurésien, dont les terrains sont représentés par des dépôts carbonatés crétacés et tertiaires, surmontés en discordance par des dépôts continentaux mio-pliocènes, bien développés au nord dans le bassin de Timgad (fig.1a).

L'ensemble albo-aptien très fracturé constitue le principal encaissant de la minéralisation d'Ichmoul et d'Aïn Mimoun (fig. 2). Les dépôts aptiens montrent à la base une série à dominante marneuse surmontée par des barres dolomitiques ou calcaires noduleux à débris de Lamellibranches, Echinodermes, Brachiopodes et Orbitolines. Vers le sommet, on note une série calcaire à Orbitolines et à Miliolites et intercalations de calcaires et de marnes lumachelles à Orbitolines, surmontée par des alternances marno-calcaires et de micrites riches en Rudistes, Mollusques, Orbitolines et Miliolites.

L'Albien se présente sous un faciès gréseux à tendance quartzitique où alternent des argiles silteuses verdâtres, des marnes gris-beige, des dolomies rouges à fantômes d'Orbitolines et de Mollusques, des biomicrites ocreuses noduleuses, lumachelles à Orbitolines, surmontées par des dolomies bréchiques ferruginisées, riches en glauconie, à toit raviné (hard ground) et perforé (lithophage). Ce faciès gréseux est surmonté par des niveaux marno-calcaires.

Ces terrains, plissés au cours de la phase fini-lutétienne et post-éocène montrent par en-

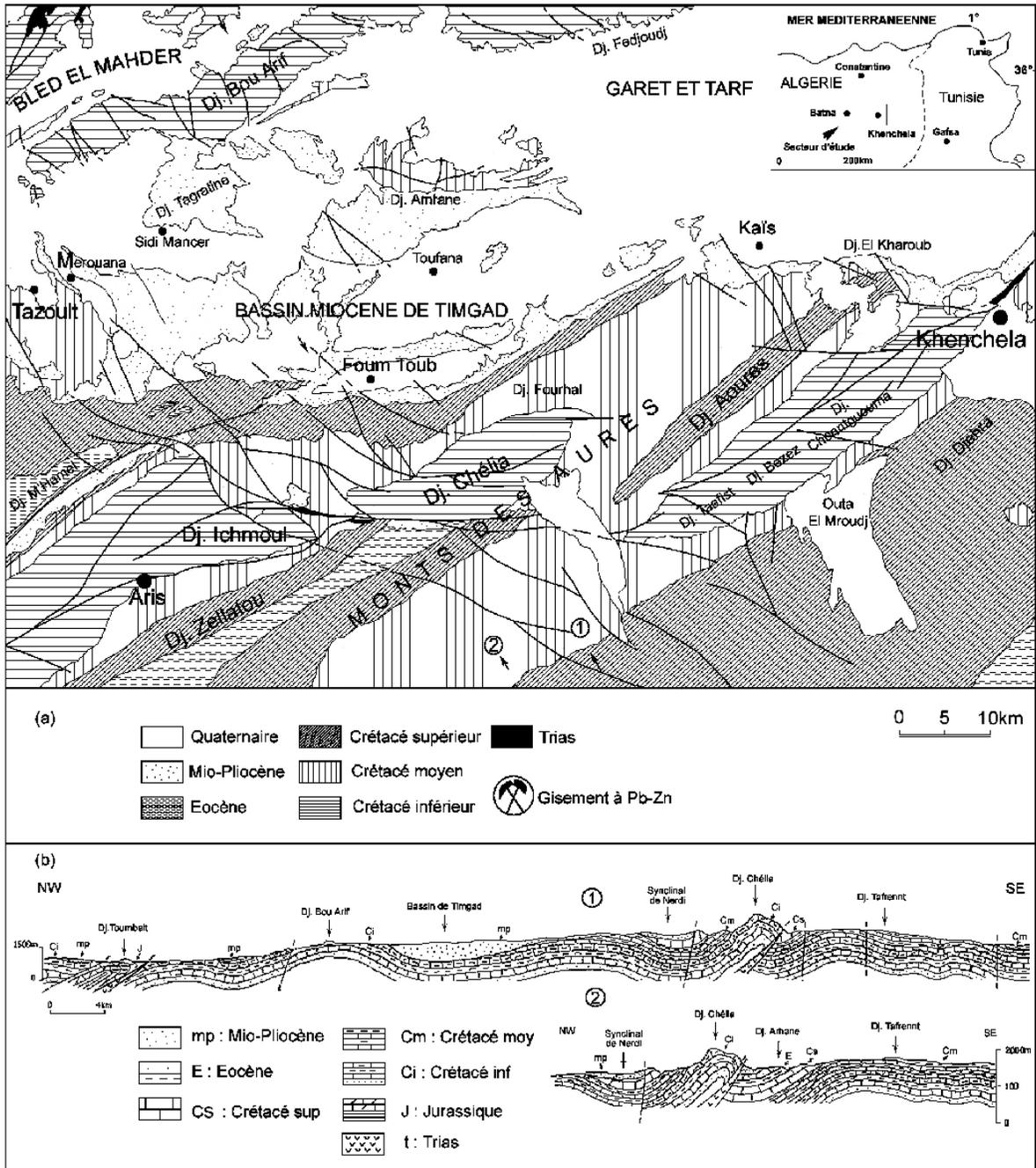


Fig. 1 - Carte géologique simplifiée de la région de Khenchela-Ichmoul
Simplified geological map of the Khenchela-Ichmoul area

GÉOLOGIE, GÏTOLOGIE ET MICROTHERMOMÉTRIE DES MINÉRALISATIONS À Ba -Pb - (Zn, Cu), LIÉES AU SÉGMENT NE DU DJEBEL AZREG - DJEBEL KHENCHELA (MONTS DES AURÈS) : EXEMPLE DES GISEMENTS D'ICHMOUL ET D'AÏN MIMOUN.

Age	Lithologie	Minéralisations associées
Mio-Pliocène	Argiles jaunâtres, conglomérats et calcaires lacustres Argiles rouges, grès et conglomérats	Ciment de brèches sédimentaires : Ba (Aïn Mimoun)
Eocène	Calcaires massifs et calcaires organodétritiques Alternances de marno-calcaires et calcaires à grains phosphatés et rognons de silex	
Paléocène	Marnes gris-verdâtres, calcaires à silex, calcaires lumachelliques, phosphorites et grès	
Maestrichtien Campanien	Calcaires massifs à Echinodermes, Bryozoaires et Lamellibranches Marnes à intercalations de calcaires organogènes Marnes noires et calcaires crayeux légèrement phosphatés	
Coniacien Santonien	Marnes noires à intercalations de calcaires noduleux ou marno-calcaires à Inocérames Alternance de marnes grises et calcaires noduleux zoogènes à Inocérames	
Turonien	Alternance de marnes, marno-calcaires et calcaires zoogènes Marno-calcaires bitumineux	
Cénomanién	Calcaires zoogènes Marnes à intercalations de calcaires à empreintes d'Ammonites	
Albien	Alternance de grès, calcaires lumachelliques et marnes	Filonienne : Ba-Pb (Zn-Cu) (Aïn Mimoun)
Aptien	Calcaires à Orbitolines et Miliolles, marnes et grès Dolomies grises à Orbitolines, Echinodermes, Lamellibranches et Brachiopodes Marnes grises à verdâtres à intercalations gréseuses	Filonienne : Ba-Pb (Zn-Cu) - Aïn Mimoun Amas lenticulaire : Ba-Pb (Zn-Cu) - Ichmoul
Barrémien	Grès et marnes à intercalations intraclastiques Calcaires, dolomies et argiles	

Fig. 2 - Colonne stratigraphique des terrains affleurant dans la région de Khenchla-Ichmoul

Stratigraphical column of Khenchela-Ichmoul area

droits des intrusions triasiques de direction E-W et NE-SW. Les structures tectoniques les plus remarquables sont celles de Djebel Azreg-Djebel Ichmoul et Djebel Chélia, orientées sensiblement N40-N50° avec des altitudes qui peuvent atteindre 2328 m au Djebel Chélia. L'anticlinal de Djebel Ichmoul à cœur barrémien n'est pas loin d'être une structure simple, elle représente l'extrémité NE du grand anticlinal de Djebel Azreg, tronqué et basculé vers le sud-est par des accidents décrochants dextres.

L'analyse tectonique de la couverture méso-cénozoïque montre un réseau de fracturation intense, représenté essentiellement par des failles distensives de direction NW-SE (N120-140°), E-W (N90-N110°), NNW-SSE (N160-N170°) et NE-SW (N40-N50°).

Les fractures NW-SE sont très répandues sur l'axe Ichmoul-Khenchela. Elles présentent généralement des traces de jeu tectonique à composante dextre ou normal.

L'accident le plus remarquable est celui de Médina (Djebel Ichmoul) à composante dextre. Celui-ci, jalonné par des petits pointements triasiques, s'incurve à partir du Djebel Arhane et prend une direction E-W à l'approche du flanc SW de l'anticlinal de Djebel Chélia. Au niveau du Djebel Arhane, cet accident limite nettement au nord les formations miocènes. Les dépôts du Crétacé inférieur s'enfoncent sous le synclinal d'Arhane à matériel éocène et les formations du Crétacé supérieur (fig. 1b-2).

Ce style tectonique est similaire à celui qu'on observe plus au nord, dans les Monts de Belezma qui se rapproche avec les structures en écailles (fig. 1b-1) à la limite sud sétifienne (Vila, 1980; Boutaleb, 2001) et sur la bordure sud des Monts de Nemencha (Aïssaoui, 1984; Addoum, 1995; de Lamotte et *al.*, 2000).

Les fractures E-W sont également très répandues. Au niveau du Djebel Ichmoul on note

particulièrement un réseau de fracturation intense de direction E-W à jeu normal ou normal dextre, qui s'interrompt à l'approche de l'accident de Médina. Ces fractures semblent donc liées à l'effet d'entraînement du Djebel Ichmoul dont la cinématique est comparable au réseau classique du Riedel (Vialon et *al.*, 1976). Elle sont matérialisées sur le terrain par des zones de broyage, des plans striés sub-horizontaux et quelques figures sigmoïdes à jeux dextre.

Les fractures NE-SW sont moins répandues et comprennent les failles de Djebel Azreg et Djebel Khenchela qui affectent la couverture crétacée et jurassique sur plusieurs kilomètres. Ces accidents sont recoupés localement par des failles NW-SE et rarement E-W. L'accident directionnel de Khenchela met en contact les formations barrémiennes avec le Crétacé supérieur et semble contrôler les pointements triasiques liés à la bordure NE.

IV- MORPHOLOGIE DES CORPS MINÉRALISÉS ET RELATION AVEC L'ENCAISSANT

Les minéralisations d'Ichmoul et d'Aïn Mimoun se présentent essentiellement selon deux types morphologiques :

1. En amas lenticulaires au Djebel Ichmoul. Les amas sont encaissés dans les niveaux dolomitiques à Orbitolines de l'Aptien inférieur. Ils présentent une direction E-W et présentent une longueur ne dépassant pas 630 m et une puissance qui varie entre 0.8 et 6.50 m. Leur forme est irrégulière et les contacts avec l'encaissant sont diffus.

2. Le champ filonien d'Aïn Mimoun affleure largement au niveau de la charnière et du flanc NW de l'anticlinal de Khenchela (Djebel Aïdel) de direction NE-SW. Il correspond à douze (12) filons de barytine, à épontes franches, liés à des fractures normales de direction E-W, NE-SW

et rarement NW-SE. Ils sont encaissés dans les niveaux calcareo-dolomitiques albo-aptiens. L'extension latérale de ces filons varie de 90m à plus de 1400m, avec une puissance allant de 0.2m à 6.6m.

Dans ces deux gisements, l'expression veinulée de la barytine associée parfois à de la galène est très fréquente. Il s'agit essentiellement de remplissage de petites veinules, fissures ou de fentes centimétriques à décimétriques, de direction essentiellement N-S, NW-SE et E-W, recoupant les corps minéralisés et l'encaissant dolomitique, calcaire et gréseux.

En plus de ces deux types morphologiques (en amas et remplissage de cassures), on trouve par endroits, dans la région de Khenchela (Aïn Mimoun) de la barytine associée aux conglomérats du Miocène qui repose en discordance sur les marnes du Cénomaniens (Boutaleb, 2001). Cette barytine épigénise (remplacement partiel ou total) et cimente les éléments conglomératiques miocènes (fig. 4a). De telles expressions de la barytine ont été également décrites dans la région de Kadara (Dorsale Kabyle) par Kolli et *al.* (1993).

V- ASPECT PÉTROGRAPHIQUE DE L'ENCAISSANT

Les minéralisations à Ba-Pb (Zn-Cu) d'Ichmoul sont strictement associées aux niveaux calcaires et calcaires gréseux à Orbitolines fortement dolomités de l'Aptien inférieur. La dolomitisation irrégulière, présente une extension très vaste (environ 100 m d'épaisseur), remplaçant partiellement ou totalement les calcarénites à bioclastes.

L'étude microscopique montre d'abord un faciès à dolomite fine dans lequel sont disséminés de petits nodules de pyrite et de petits cristaux xénomorphes de quartz. Par endroits, on note une dolomite à grains moyens très claire, de taille inférieure à 100 microns, for-

mant des agrégats en mosaïque. Cette dolomite se rencontre en remplissage de vides ou d'espaces poreux, liée probablement à la recristallisation de la dolomite à grains fins.

Dans les niveaux minéralisés, les dolomies sombres, massives de substitution représentent une population importante, précédant les dépôts des minéralisations constituant le gisement d'Ichmoul.

Au microscope, ces dolomies massives saccharoïdes sont constituées par des cristaux xénomorphes et sub-automorphes, de taille variables (entre 100 et 500 microns), à inclusions carbonatées. Par endroits, elles se présentent en cristaux rhomboédriques avec des structures de croissance, et d'encapuchonnement (fig. 3a) à extinction onduleuse.

Ces dolomites sont liées à des remplissages de joints stylolithiques, de microfissures ou de vides, associées à des cristaux de forme variable de barytine, de minéraux sulfurés (pyrite, galène et sphalérite), de cherts siliceux, d'oxydes de fer et de matière organique.

Elles montrent souvent un accroissement progressif de la cristallinité, remplaçant partiellement ou totalement la matrice micritique, dont les fantômes d'anciens éléments calcaires et bioclastes sont par endroits bien visibles. Les Lamellibranches, les Miliolites et les oolithes sont sensibles à la transformation; les Orbitolines, au contraire y résistent mieux. Les cristaux de quartz xénomorphes à sub-automorphes sont souvent associés à ces dolomites et la calcite de dédolomitisation est très répandue sur leurs bordures.

Ces dolomites sont par endroits envahies ou bordées par de la sidérite et recoupées par des microfissures remplies par de grandes plages de dolomite brune (fig. 3b) à extinction onduleuse dont la taille est supérieure à 300 microns. Celles-ci, sont généralement associées

à de grandes plages de calcite, des petites aiguilles allongées ou cristaux sub-automorphes de barytine et des cristaux de quartz sub-automorphes.

Dans la zone du gisement d'Aïn Mimoun, le volume dolomitisé peut être également perçu en premier stade comme le résultat de remplacement de la micrite par une dolomite à grains fins de teinte sombre, accompagnée par des cristaux de quartz squelettiques, des fantômes d'allochèmes, d'anciennes calcarénites et des mouchetures de pyrite. Les reliques de joints stylolithiques très fins et parallèles, témoignent d'une compaction relativement précoce.

Dans l'encaissant minéralisé, on remarque souvent une dolosparite ferrugineuse, accompagnée de cherts siliceux et de la matière organique remplaçant partiellement ou totalement les calcarénites à bioclastes.

Au microscope ces dolosparites présentent une taille moyenne égale ou inférieure à 250 microns, produisant souvent des textures xénotopiques. A cette dolomite, s'associe également par accroissement de cristallinité, une dolosparite plus grossière (en moyenne entre 300 et 500 microns de taille), sous forme de cristaux rhomboédriques, à croissance zonée ou bien en cristaux sub-automorphes ou xénomorphes, à extinction onduleuse. Ces dolomites contiennent souvent des reliques des formes précédentes et des inclusions de pyrite.

Ces dolomites se rencontrent souvent en remplissages de fissures ou de vides géodiques, associées à des cristaux de barytine, de galène, sphalérite, calcite et quartz (fig.3c).

Une dolomite veinulée en cristaux xénomorphes à sub-automorphes ou bien «en selles», (fig. 3.d) de taille très variable (250 microns à

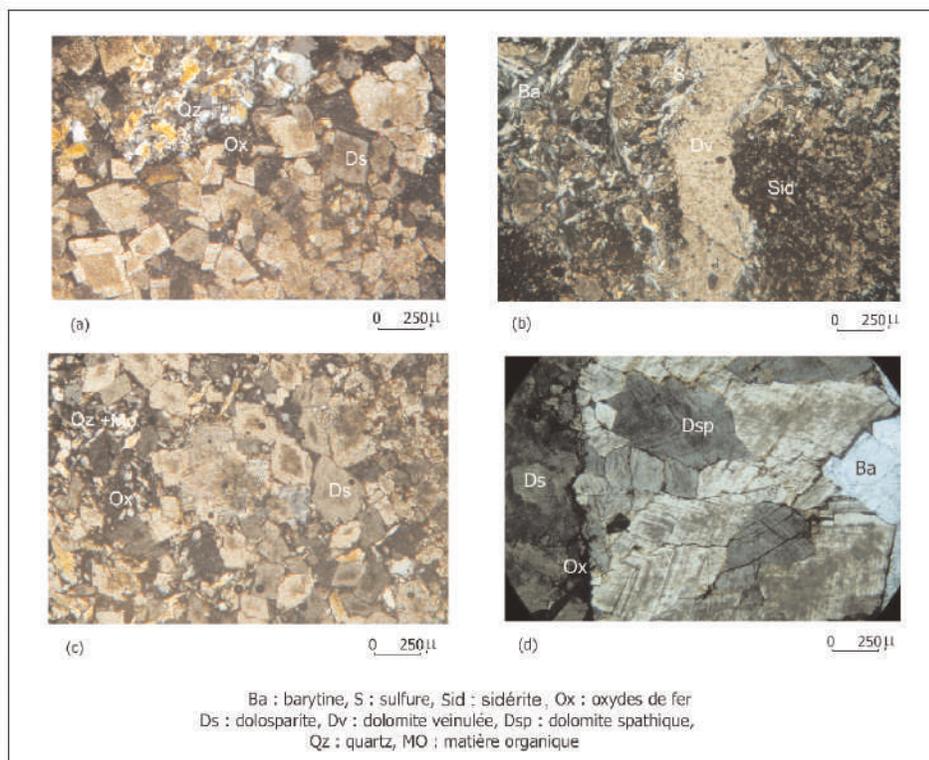


Fig. 3 - Quelques aspects pétrographiques de l'encaissant minéralisé du gisement d'Ichmoul-Aïn Mimoun

Some petrographical aspects of the Ichmoul- Aïn Mimoun deposit

10mm) se distingue également dans les zones minéralisées d'Aïn Mimoun. Ces dolomites, à extinction onduleuse, se présentent en remplissage de fractures ou de vides géodiques, produisant souvent des textures xénotopiques. Elles précèdent souvent le dépôt des cristaux de sidérite, barytine, quartz et galène.

Ces dolomites sont suivies par une phase fissurale de silicification, se traduisant par un aspect de brèche d'effondrement. Le quartz se présente sous forme de petits cristaux microcristallins, ou bien en prismes perpendiculaires aux épontes des microfissures. La calcite associée se compose de cristaux xénomorphes de taille variable (200 à 500 microns), montrant parfois des macles caractéristiques.

VI- TEXTURES DU MINÉRAI

Les textures des minerais sont très variables. Elles montrent essentiellement des brèches d'effondrement, des rubanements, des encroûtements et des disséminations (fig. 4b, c, d, e, f) qui traduisent des ouvertures successives en contexte tectonique peu actif comme le suggère M. Jébrak (1992) dans son étude des filons à barytine du Maroc.

Dans les textures rubanées, on note dans la majorité des cas, une alternance de niveaux centimétriques de barytine blanche sous forme massive, ou encroûtements de cristaux fins, séparés par des bandes dolosparitiques, dans lesquelles sont disséminés des cristaux fibreux de barytine et des cristaux de galène. Ces rubanements sont parfois plissés et perturbés par des micro-fractures, remplies essentiellement de barytine, galène chalcopryrite et cuivre gris, témoignant d'un épisode épigénétique ultérieur (fig. 4b-e).

Au niveau des amas lenticulaires d'Ichmoul, la barytine et la galène montrent souvent une distribution irrégulière et diffuse. Les impré-

gnations et les remplissages géodiques de barytine de dimension centimétrique à décimétrique sont nombreux. Il s'agit généralement d'une barytine blanche cristallisée et flabelliforme, en éventail ou de forme arborescente, dont les cristaux sont accolés les uns «contre» les autres.

En outre, on note de petits cristaux de barytine et de galène, sous forme de petites plages éparpillées dans l'encaissant dolomitique. Ces cristaux sont généralement associés à des oxydes de fer.

Dans le gisement d'Aïn Mimoun, les textures massives sont très répandues. Il s'agit d'une barytine de couleur blanche, traduisant des agencements réguliers et continus dans les filons, formant une masse homogène, ou des dépôts feuilletés ou lamellaires, associés parfois à des cristaux de galène.

Les textures veinulées avec parfois des structures de crustifications (fig. 4f) aux épontes et les remplissages de petites fissures sont fréquentes (fig. 4d-e). Elles s'observent au voisinage ou bien au sein même des filons d'Aïn Mimoun. Dans la région d'Ichmoul, à proximité ou bien au contact des corps minéralisés, ces veinules d'échelle centimétrique à décimétrique, montrent parfois un groupement de cristaux de barytine et galène, de petite taille, disséminés et associés à des oxydes de fer et cristaux de quartz.

VII- ÉTUDE MICROSCOPIQUE DES MINÉRALISATIONS

Les minéralisations de Djebel Ichmoul et d'Aïn Mimoun montrent une paragenèse principalement constituée de barytine et galène. Ces minéraux s'associent localement à de la sphalérite rouge, à du cuivre gris, à la marcasite, à de la chalcopryrite, à de la pyrite et à des produits d'oxydation et cémentation secondaires tels que : la covel-

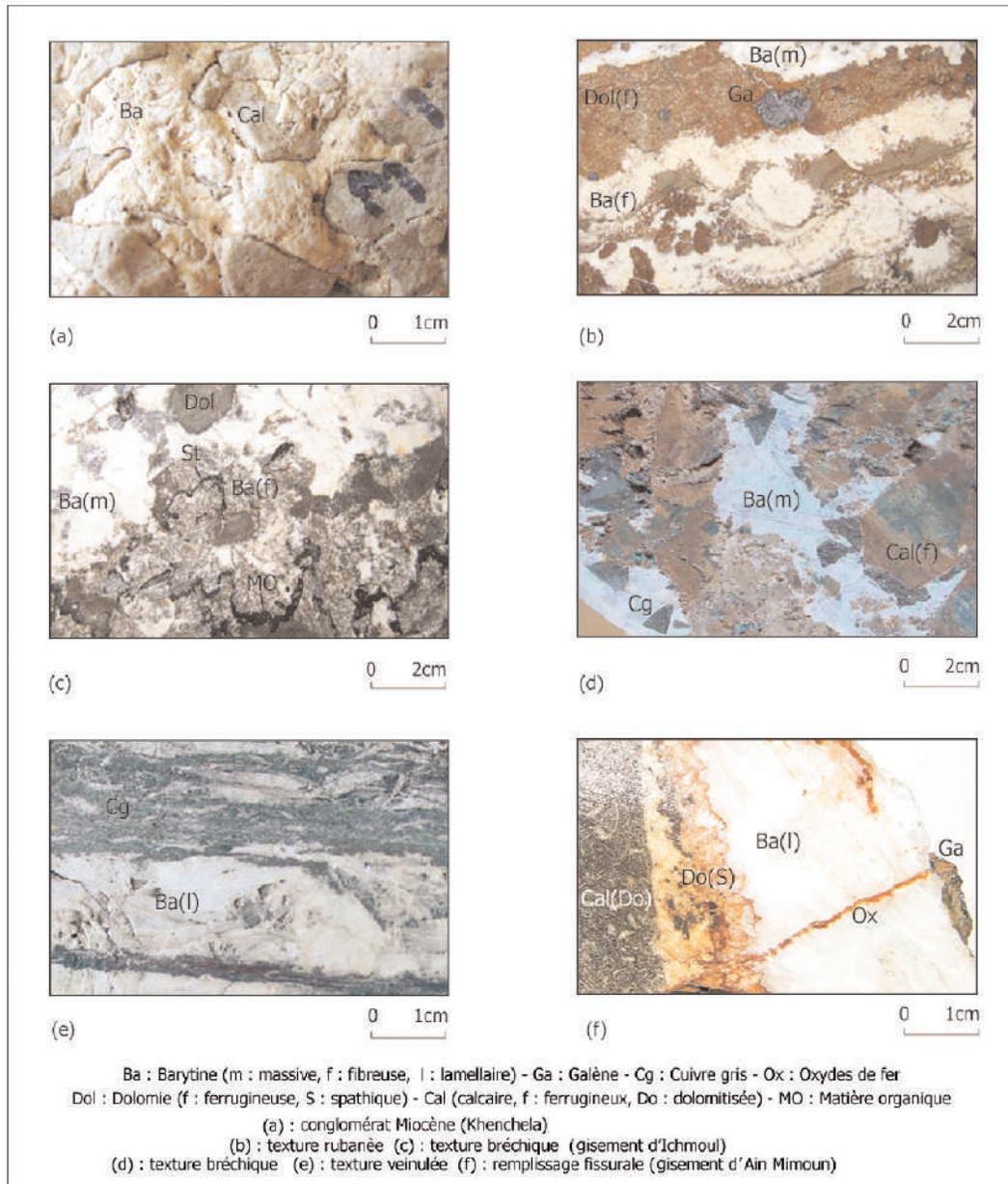


Fig. 4 - Quelques types de texture de minerai observés dans le gisement d'Ichmoul et d'Ain Mimoun

Some textural types of the Ichmoul- Aïn Mimoun deposit

lite, la digénite, la chalcocite, l'azurite, la malachite, le minium, l'hématite et la goéthite.

Dans le secteur d'Ichmoul, l'étude microscopique montre d'abord une barytine sous forme de petits cristaux sub-automorphes, en éventail, en grandes baguettes allongées ou en plumes, de taille de l'ordre du micron au millimètre, liée à des remplissages de fissures et d'espaces ouverts (fig. 5a). Elle est souvent associée à des dolosparites (I), des cherts de pyrite, de sphalérite et de galène.

Elle s'observe également sous forme d'aiguilles allongées, de taille inférieure à 300 microns et en grands cristaux sub-automorphes, remplissant des microfissures ou des vides géodiques. Cette barytine recoupe nettement les formes précédentes; elle est souvent associée à la dolosparite II, sidérite, calcite et agrégats de petits cristaux de quartz.

La galène se présente généralement sous forme de grandes plages xénomorphes, parfois de dimensions millimétriques à centimétriques automorphes à subautomorphes, en remplissage d'espaces ouverts (fig. 5b). Elle s'observe également en petits nodules et en reliques dans les dolosparites et dans la barytine. Par endroits, elle se présente sous forme de cristaux cubiques, surimposée à la marcasite, en remplissage de microfissures (fig. 5c).

La sphalérite de couleur rougeâtre, se présente sous forme de cristaux légèrement arrondis, de taille n'excédant pas 0.5 cm. Au microscope, elle s'observe en grandes plages subarrondies ou xénomorphes, remplissant des microfissures ou des espaces ouverts. Cette sphalérite occupe par endroits, les espaces intercrystallins du quartz et contient parfois des inclusions de dolosparite, pyrite et quartz.

La pyrite est très fréquente et se présente sous différents aspects. Elle s'observe sous forme de fines disséminations (en reliques, nodules) dans les dolosparites et dans la bary-

tine. Elle se présente également en cristaux xénomorphes, remplissant les interstices entre les cristaux de barytine et quartz.

La pyrite se rencontre aussi en petits cubes de taille inférieure à 100 microns, associée à la galène cubique, en inclusions dans la marcasite, ou bien en agrégats de petits cristaux dans des joints stylolithiques.

La chalcopyrite recoupe de façon très nette les cristaux de galène. Elle s'observe généralement sous forme de grandes plages xénomorphes de taille supérieure à 400 microns, renfermant des inclusions de galène, pyrite, cuivre gris et sphalérite. Elle se présente également en remplissage de joints stylolithiques recoupant les grandes plages de galène.

Le cuivre gris, très rare, se trouve souvent en cristaux sub-automorphes à xénomorphes de taille variant entre 200 et 500 microns, remplaçant parfois la chalcopyrite (fig. 5d). Il s'observe également, en petits cristaux isolés, remplissant des espaces ouverts.

Dans le gisement d'Aïn Mimoun, l'étude microscopique révèle l'existence de plusieurs générations de barytine, d'après leurs formes et leurs rapports chronologiques. Dans l'encaissant dolomitisé, se distingue d'abord une barytine fine en aiguilles ou bien enchevêtrée à extinction onduleuse, de taille variant entre 300 et 500 microns. Celle-ci, renferme souvent des inclusions de dolosparite.

On note également une barytine en grands cristaux tabulaires, en baguettes ou en plages sub-automorphes, de taille d'ordre centimétrique, remplissant des microfissures ou bien des espaces ouverts (fig. 5e). Ces cristaux de barytine sont souvent précédés par la dolosparite ou dolomite spathique et la sidérite.

Enfin, elle s'observe aussi sous forme de petits cristaux allongés, recoupant la sphalérite et la dolosparite. Cette barytine est associée à de petits cristaux de quartz et de calcite.

La galène est très abondante. Elle se présente généralement sous forme de cristaux xénomorphes de taille supérieure à 100 microns, occupant les espaces vides. Elle est parfois associée à la sphalérite et contient souvent des inclusions de dolosparite, de petits cristaux de quartz et de pyrite. Elle se trouve également en petits cristaux de taille millimétrique associée aux cristaux de barytine.

La sphalérite rare, se présente sous forme de cristaux sub-arrondis de couleur rouge, disséminée dans les dolomites. L'étude microscopique montre de grandes plages sub-automorphes, associées à la galène, en remplissage d'espaces ouverts. On note également une sphalérite zonée (fig. 5f), renfermant des inclusions de pyrite, dolosparite et de petits cristaux de quartz.

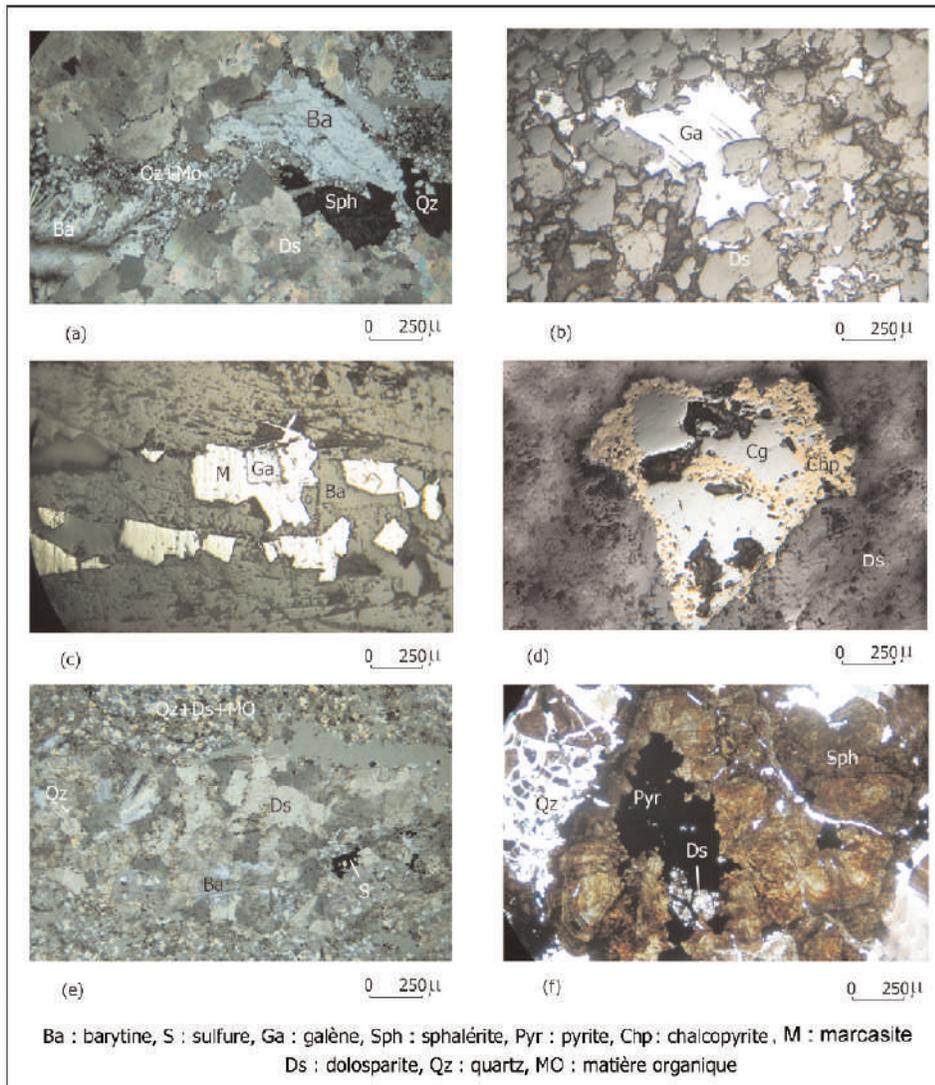


Fig. 5 - Quelques aspects microscopiques de la minéralisation du gisement d'Ichmoul et d'Ain Mimoun
Some microscopical aspects of the Ichmoul- Ain Mimoun deposits

Le cuivre gris moins abondant, se présente sous forme de petits cristaux xénomorphes de taille comprise entre 200 et 300 microns, en inclusions dans la galène. Il s'observe également sous forme de grands cristaux sub-automorphes de taille supérieure à 250 microns en remplissage de microfissures. Il est souvent associé à la chalcoppyrite et recoupe nettement les grandes plages de galène.

La chalcoppyrite se présente sous forme de cristaux xénomorphes de taille dépassant 500 microns, associée souvent à la galène. Elle se trouve également en micro-bandes millimétriques, occupant les épontes des microfissures.

La pyrite se présente aussi bien en cubes qu'en reliques dans les dolomies albo-aptiennes. Au microscope, elle apparaît disséminée dans les carbonates, sous forme de mouchetures, reliques et en inclusions dans les dolosparites et dans la galène.

Elle se rencontre également en grands cristaux sub-automorphes et xénomorphes, dépassant parfois 1cm de taille, en remplissage d'espaces vides. Cette pyrite renferme souvent des inclusions de dolosparite et par endroit, elle est enrobée par de la sphalérite zonée.

Ces observations microscopiques de la minéralisation et de son encaissant permettent de proposer la succession paragénétique suivante (voir tableaux I et II) :

VIII - ETUDE MICROTHERMOMÉTRIQUE

L'étude sur les inclusions fluides s'est principalement concentrée sur les paléofluides emprisonnés dans les minéraux transparents (calcite, quartz et barytine) des filons et des amas minéralisés de Khenchela et d'Ichmoul.

Tableau I - Succession paragénétique des minéralisations d'Ichmoul et d'Aïn Mimoun
Paragenetical succession of the Ichmoul-Aïn Mimoun mineralizations

(Secteur d'Ichmoul)

	Diagenèse		Epigénèse			
	Dm	Dg	DsI	DsII	DsIII	DsIV
Dolomite						
Calcite	Cal		CalI	CalII		CalIV
Quartz	QzI		QzII (cherts)			QzIII
Sidérite				Sid		
Pyrite	Pyrl			PyrII		
Barytine					Bal	
Galène					Gal	
Sphalérite			Sph			
Cuivre gris						Cg
Chalcoppyrite						Cp
Marcasite						M

(Secteur d'Aïn Mimoun)

	Diagenèse		Epigénèse			
	Dm	Dg	DsI	DsII (spathique)	DsIII	DsIV
Dolomite						
Calcite	Cal		CalI	CalII		CalIV
Quartz	QzI		QzII (cherts)		QzIII	QzIV
Sidérite				Sid		
Pyrite	Pyrl		PyrII			
Barytine					Bal	BalII
Galène					Gal	
Sphalérite			Sph			
Cuivre gris			CgI			CgII
Chalcoppyrite						Cp

Dm : dolomite, Dg : dolomite géodique, Ds : dolosparite, Dv : dolomite veinulée, Dsp : dolomite spathique

En effet, une vingtaine de sections doublement polies ont été étudiées pour la microthermométrie. Les inclusions fluides contenues dans ces minéraux que ce soit à Aïn Mimoun ou à Ichmoul, sont pour la plupart des inclusions primaires biphasées (liquide + vapeur), de forme variable (inclusions isolées de forme angulaire à sub-arrondie ou cristaux négatifs et des formes variables à contours irréguliers) et ne contiennent aucune inclusion solide (fig. 6). La taille des inclusions est comprise entre 20 et 100 μm , avec un degré de remplissage ($F = V_{\text{liquide}}/V_{\text{total}}$) variant de 0,70 à 0,90.

Résultats

Les valeurs de Tfg sont bimodales pour les minéralisations de Khenchela : - 18 °C à - 10°C et unimodale pour les minéralisations d'Ichmoul - 10°C (fig. 7). Les températures eutectiques (Te) des minéralisations de Khenchela montrent un seul mode autour de -55 C° à -50 C° alors que les minéralisations d'Ichmoul ont des valeurs qui varient de - 50 C° à - 45°C et de - 40 C° à - 35°C (fig. 8). Ces températures montrent que les fluides minéralisateurs ont des compositions appartenant au système NaCl, CaCl₂, H₂O, défini par Crawford (1981).

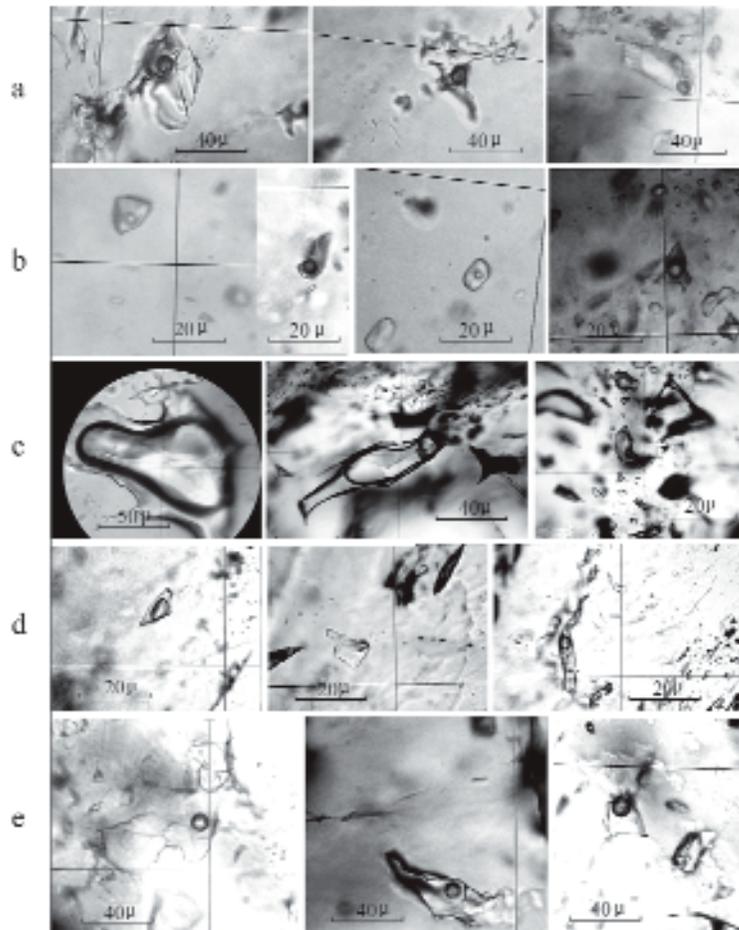


Fig. 6 - Aspect morphologique des inclusions fluides de Khenchela et d'Ichmoul

Morphological aspects of some fluid inclusions of Khenchela-Ichmoul deposits

- | | | | |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| a. Quartz Khenchela | b. Quartz Ichemoul | c. Barytine Khenchela | d. Barytine Ichemoul |
| d. Barytine Ichemoul | e. Calcite Ichemoul | | |

L'homogénéisation se produit toujours dans la phase liquide entre 100 °C et 260 °C, avec une fréquence maximum autour de 140 °C à 180 °C, pour les inclusions fluides des minéralisations de Khenchela et entre 80 et 280 °C avec un mode autour de 120 à 160 °C pour les minéralisations d'Ichmoul (fig. 9).

Etant donné que les valeurs des T_e sont toujours inférieures à -21,4 °C. Nous avons mesuré les températures de fusion de l'hydrohalite. L'utilisation des valeurs des T_{fg} (température de fusion de la glace) et des T_{fh} (températures de fusion de l'hydrohalite) permet de tracer les compositions en NaCl, H₂O et NaCl₂ dans un triangle équilatéral (Vanko *et al.*, 1988, modifié par Oakes *et al.*, 1990), dont les sommets correspondent à 50% de chacun des ces composés (fig. 10). Ceci, a permis d'estimer respectivement dans les inclusions d'Aïn Mimoun et d'Ichmoul les pourcentages en poids de NaCl (2,5 à 5,5% - 4,8 à 10,4%) et les pourcentages en poids de CaCl₂ (14,2 à 18,8% - 2,5

à 12,4%). Les valeurs du ratio NaCl/ NaCl+ CaCl₂ peuvent être ainsi déduites.

A partir de ces résultats, nous pouvons déduire que les fluides responsables du dépôt de ces minéralisations relativement sont chauds et riches en Ca, Na et Cl. Les températures d'homogénéisation (T_h) des inclusions fluides dans les deux gîtes minéralisés varient de 100 à 250°C. Ces températures sont nettement plus élevées que celles qui seraient produites au cours d'un simple enfouissement sédimentaire lors de la diagenèse et se rangent dans le type des gisements associés aux fluides de bassin.

Discussions des résultats

Avant les années quatre vingt, le peu d'études consacrées à ces gisements dans les Monts de Batna et des Aurès (Glaçon, 1967; Popov, 1968) considéraient ces minéralisations comme syn-sédimentaires ou issues de fluides froids qui auraient percolé « par descensum » à partir

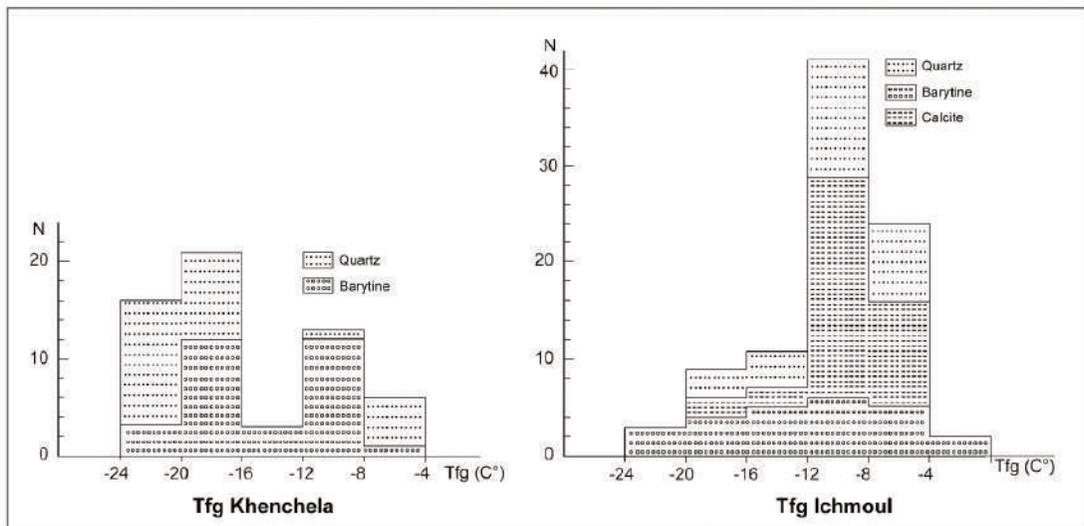


Fig. 7 - Histogrammes des températures de dernière fusion de la glace (T_{fg}) des inclusions biphasées des minéralisations d'Ichmoul et Khenchela

Histograms of the melting points after freezing spread (T_{fg}) of the fluid inclusions of Khenchela - Ichmoul mineralizations

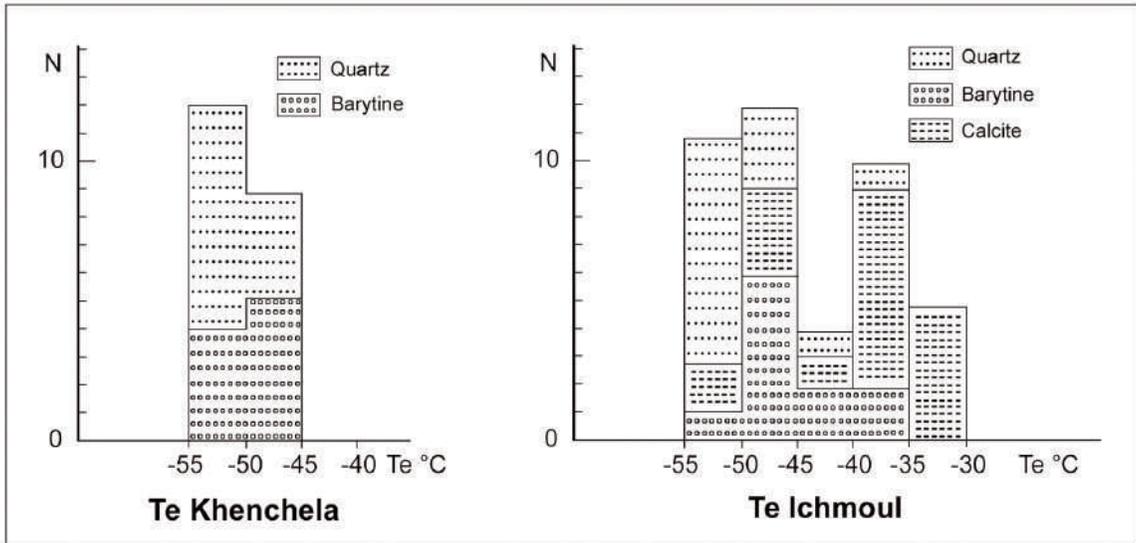


Fig. 8 - Histogrammes des températures eutectiques (Te) des inclusions biphasées des minéralisations d'Ichmoul et de Khenchela

Histograms of eutectics temperatures (Te) of fluid inclusions from Khenchela - Ichmoul mineralizations

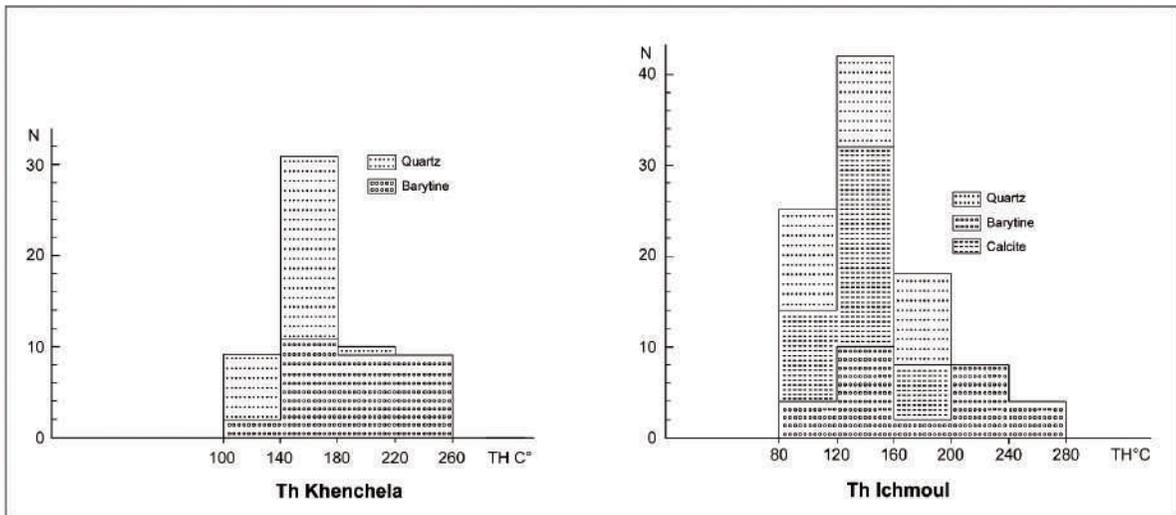


Fig. 9 - Histogrammes des températures d'homogénéisation (Th) des inclusions biphasées des minéralisations d'Ichmoul et de Khenchela

Histograms of homogenization temperatures (Th) of the fluid inclusions from Khenchela - Ichmoul deposits

GÉOLOGIE, GÏTOLOGIE ET MICROTHERMOMÉTRIE DES MINÉRALISATIONS À Ba -Pb - (Zn, Cu), LIÉES AU SÉGMENT NE DU DJEBEL AZREG - DJEBEL KHENCHELA (MONTS DES AURÈS) : EXEMPLE DES GISEMENTS D'ICHMOUL ET D'AIN MIMOUN.

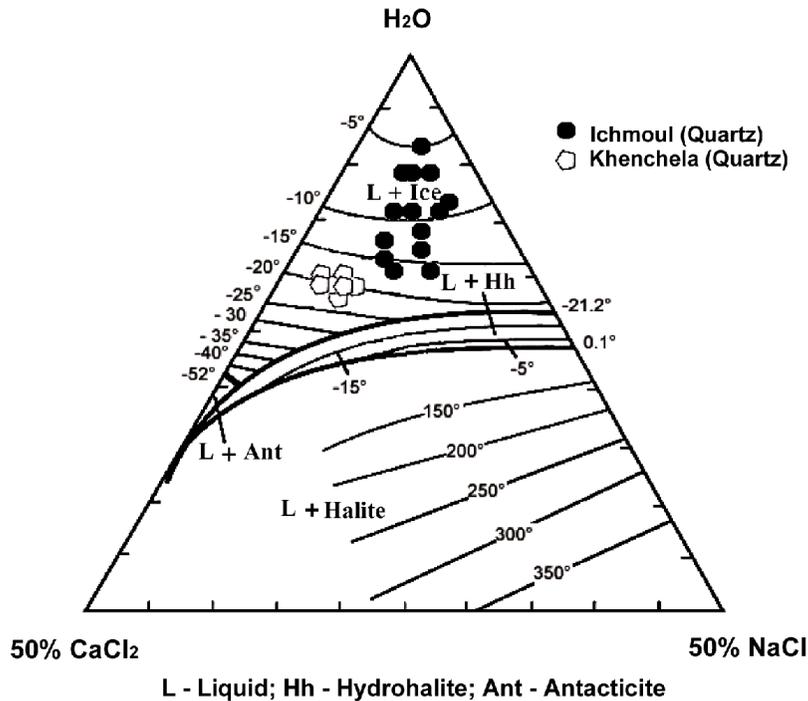


Fig. 10 - Projection des T_{fhh} et T_{fg} des inclusions fluides du quartz des inclusions de Khenchela et d'Ichmoul sur un diagramme ternaire (H₂O-NaCl-CaCl₂)

Projection of T_{fhh} and T_{fg} in Ternary diagram (H₂O-NaCl-CaCl₂) of quartz fluid inclusions associated with the Khenchela and Ichmoul deposits

de la surface. Cependant, depuis les travaux de Boutaleb et *al.* (2000) et Boutaleb (2001), les gisements de cette région sont rattachés à leurs semblables localisés au NW dans le Hodna-Sétifien ou au NE dans la zone de diapirs. Cette présente étude vient confirmer que malgré les petites différences qui existent entre les résultats de la microthermométrie au sein du même gîte ou d'un gîte à l'autre, les fluides minéralisateurs sont relativement chauds, salés et riches en cations (Na⁺ et Ca⁺⁺) et sont à relier aux eaux de formations (saumures).

En revanche, nous ne pouvons pas affirmer que ces saumures étaient reliées entre elles dans le même aquifère. Ainsi, la formation d'un gise-

ment économique dépendra de l'échelle et de la durée du système hydrodynamique (les quantités de fluides porteurs de métaux passant à travers) et des quantités des agents aidant à précipiter (les hydrocarbures ou le soufre réduit) les sulfures. Les cibles potentielles d'exploration seraient donc les intersections entre les zones de rupture (failles, niveaux poreux) et les carbonates, où de grandes quantités de saumures se réuniraient et se mélangeraient à des quantités suffisantes d'hydrocarbures ou de soufre réduit.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier Messieurs O. Kolli et D.E. Aïssa pour leur lecture critique du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- ADDOUM, B. 1995.** L'Atlas saharien sud-oriental : cinématique des plis chevauchements et reconstitution du bassin du Sud-Est constantinois (Confins algéro-tunisiens). *Thèse. Doct ès Sci. Univ. Paris XI, Centre d'Orsay*, 200 p.
- AÏSSAOUI, D. 1984.** Les structures liées à l'accident sud-atlasique entre Biskra et le Djebel Mandra, Algérie. Evolution géométrique et cinématique. *Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Strasbourg*.
- BOUTALEB, A., AFALFIZ, A., AÏSSA, D.E., KOLLI, O., MARIGNAC, CH. ET TOUAHRI, B. 2000.** Métallogénie et évolution géodynamique de la chaîne tellienne en Algérie. *Bull. Serv. Géol., Algérie*, vol. 11, n°1, pp. 3-27, 7 fig., 2 pl.
- BOUTALEB, A. 2001.** Les minéralisations Pb-Zn du domaine Sétifien-Hodna : gîtologie, pétrographie des dolomies, microthermométrie et implications métallogénique. *Thèse. Doct. d'Etat, USTHB, Alger. Algérie*.
- CRAWFORD, M.L. 1981.** Phase equilibria in aqueous fluid inclusions Mineral. *Assoc. Canada Short course Handbook*, 6., pp. 75-100.
- DE LAMOTTE, D., SAIT BEZAR, B. AND BRACENE, N. 2000.** The two main steps of the Atlas building and geodynamics of the Western Mediterranean. *Tectonics*, vol.19, n°4, pp. 740-761.
- GLAÇON, J. 1967.** Recherches sur la géologie et les gîtes métallifères du Tell Sétifien (Algérie). *Bull. Serv., Géol., Algérie*, nlle série, n°32, 2 tomes.
- HADDOUCHE, O., BOUTALEB, A., HEBERT, R., PICARD, D. AND SAMI, L. 2004.** Les minéralisations à Pb-Zn, Fe, Ba (Sr) d'El Ouasta (Algérie Nord oriental) : Typologie et apport des études d'inclusions fluides. *Bull. Serv. Géol. Algérie*, vol.15, n°2, pp. 87-105, 14 fig., 2 tabl.
- JÉBRAK, M. 1992.** Les textures intra-filoniennes, marqueurs des conditions hydrauliques et tectoniques. *Chroni. Rech. Min.*, n° 506, pp. 25-35.
- KOLLI, O., CHEILLETZ, A., GASQUET, D., MARIGNAC, C. ET TEFIANI, M. 1993.** Le conglomérat tertiaire à galets pseudomorphosés en barytine de la dorsale Kabyle, région de Keddara (Algérie du Nord). *Extrait, Chroni. Rech. Min.* n° 513.
- KOLLI, O., SAUPÉ, P., MARIGNAC, C., CHEILLETZ, A. AND GASQUET, D. 1999.** The Ba-F-(Pb-Cu) vein-type and replacement ore deposits in the Western Djurdjura, Algeria : structural setting, fluid inclusions and sulphur isotopes. In : *Mineral Deposits : processing, Stanley et al. (eds). 1999* Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 068X.
- OAKES, C.S., BODNAR, R.J. AND SIMONSON, J.M. 1990.** The system NaCl-CaCl₂-H₂O. The vapor-saturated ice liquidus. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, pp. 603-610.
- POPOV, A. 1968.** Les types morphologiques et la répartition des gisements de zinc et de plomb en Algérie. *Ann. Mines. géol. Tunis*, n°23, pp.103-203.
- VANKO, D.A., BODNAR, R.J. AND STERNER, S.M. 1988.** Synthetic fluid inclusions. Vaporsaturated halite solubility in part of the system NaCl-CaCl₂-H₂O, with application to fluid inclusions from oceanic hydrothermal systems. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52. pp. 2451-2456.
- VIALON, P., RUHLAND, M. ET GROLIER, J. 1976.** Eléments de tectonique analytique. *Edit. MASSON*.
- VILA, J.M. 1980.** La chaîne alpine d'Algérie nord-orientale et des confins algéro-tunisiens. *Thèse Doct. d'Etat, Univ. P. et M. Curie, Paris VI*, 665p.