

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGERIE NE)

Azzedine BOUZENOUNE*, Henri ROUVIER et Jacques THIBIEROZ****

RÉSUMÉ

Le massif de l'Ouenza, situé dans la wilaya de Tebessa à une quinzaine de kilomètres de la frontière algéro-tunisienne, recèle plusieurs minéralisations dont l'importance économique est variable en fonction du type :

Une minéralisation ferrifère sous forme de carbonates de fer (sidérites et ankérites) oxydés en hématite au dessus du niveau hydrostatique. Le minerai oxydé est actuellement en exploitation.

Une minéralisation polymétallique (Pb, Zn, Cu, Ba et F) principalement localisée dans des fractures orientées NE-SW et/ou NW-SE affectant l'encaissant crétacé.

Une minéralisation à Sr localisée au contact des évaporites triasiques avec leur couverture sédimentaire crétacée.

Les relations des corps minéralisés avec les déformations et les contraintes physico-chimiques (température, stabilité sidérite-pyrite, fugacité du soufre, pression partielle du CO₂) permettent d'envisager une histoire métallogénique polyphasée représentée principalement par:

- une métallogénie ferrifère qui aurait conduit à la transformation des calcaires en carbonates de fer à des températures de 100-120 °C;
- une métallogénie polymétallique d'âge néogène qui aurait permis le dépôt à des températures de 150 -180 °C dans les différents pièges des minéralisations à Pb, Zn, Cu, Ba, F;
- une métallogénie à Sr qui aurait permis la mise en place d'une minéralisation à célestine dans les formations triasiques et au contact du Trias avec sa couverture sédimentaire.

Les données géochimiques (chimie des éléments majeurs et en traces, inclusions fluides et isotopes stables) militent pour un modèle de genèse faisant intervenir des eaux de formation ayant des $\delta^{18}\text{O} \approx 6-9 \text{‰/SMOW}$, expulsées des séries sédimentaires des bassins interdiapiriques sous l'action des contraintes engendrées par le diapirisme des évaporites triasiques et de la tectonique compressive néogène.

Mots Clés - Minéralisations - Carbonates de fer - Polymétalliques - Isotopes stables - Diapir - Ouenza - Algérie.

*Laboratoire de génie géologique, Faculté des Sciences, Université de Jijel, B.P. 98 Ouled Aïssa, Jijel 18000 - Algérie

** UMR Sisyphe, UPMC (Paris VI), case 105, 4 place Jussieu 75252 Paris cedex 05 - France

- *Manuscrit déposé le 30 Mai 2005, accepté après révision le 17 Octobre 2005.*

MINERALIZATIONS OF OUENZA DEPOSIT (NE ALGERIA) RELATIVE CHRONOLOGY, NATURE AND ORIGIN OF ORE-FORMING FLUIDS

ABSTRACT

The Ouenza massif is located in the north east of Algeria some fifteen kilometres away from the Algerian-Tunisian border. It is an anticline structure with a NE-SW direction. Several types of mineralization can be found:

- An Iron mineralization which consists of iron carbonate partially oxidized to hematite. The iron carbonate minerals are ankerites and siderites. The fine-grained carbonates replaced the Aptian limestone whereas the sparry iron carbonates precipitated in veins.
- A polymetallic mineralizations (Pb, Zn, Cu, Ba, F) mainly found in the NE-SW and/or NW-SE fractures which cut through the cretaceous hot rocks.
- A strontium (Sr) mineralization occurring at the contact of the Triassic evaporites and their Cretaceous sedimentary cover.

The relationship between the ore concentrations, deformations, and the physico-chemical parameters (temperature, siderite-pyrite stability...) allows us to suggest a polyphased metallogenic history represented mainly by:

- An Iron mineralised event displayed by the transformation of limestones to iron carbonate at 100–120 C°.
- A Neogene polymetallic metallogeny event which would have permitted the deposition of Pb, Zn, Cu, Ba, F mineralizations within different traps.
- A strontium (Sr) metallogeny event which would have permitted a celestite mineralization. According to the geochemical data (major elements, trace elements, fluid inclusions, and stable isotopes) these mineralizing events are believed to have resulted from expulsion of formation water with $\delta^{18}\text{O} \approx 6-9 \text{‰}/\text{SMOW}$, from sedimentary sequence of the "interdiapiric" basins during principal phases of diapirism and neogene compressive tectonic.

Key words - Mineralization - Iron carbonates - Polymetallic - Stable isotopes - Diapir - Ouenza-Algeria.

ABRIDGED ENGLISH VERSION

I - INTRODUCTION

The atlasic domain of the Algerian-Tunisian border is marked by the association of three main geological structures. Many Triassic outcrops of evaporites rocks, generally striking NE-SW, are surrounded by sedimentary sequences of Cretaceous age. These later are folded to NE – SW anticlines during Eocene phase. The Triassic outcrops and the anticlines are cut by more recent trough faults directed NW-SE.

The space relationship between these geological structures and the ore concentrations indicates that the geological events which are responsible of these structures are also contributed to the poly-phased installation of mineralizations of the area.

Typology of these mineralizations (Rouvier and *al.*, 1985; Sheppard and *al.*, 1996) showed that they are localized in the Triassic evaporitic formations, at the contact between the Trias and its sedimentary cover and/or in the closest sedimentary formations.

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUEZA (ALGÉRIE N-E)

The different mineralizations can be distinguished on the basis of their relative mineralogical constituents which show a differentiation in space and time in the Ouenza massif as well as in the entire region.

The space differentiation is expressed by a metal "zonality" which results in the formation, in the same area, of an exploitable iron deposit accompanied by occurrences of Pb, Zn, Cu, Ba, F (Ouenza, Boukhadra, Djerissa) or sulfured mineralization of Pb, Zn, Cu accompanied by an iron concentration of average importance (Slata) or simply an iron indices (Boujaber, Mesloul). The temporal differentiation results in the appearance of these concentrations in traps which affect host rocks with age going from the Trias (cap rocks) up to continental Neogene.

This order of succession in time can be due to a polyphased metallogeny in relation to the paleogeographic and structural evolution of the area. The Ouenza deposit displays many mineralizations whose study made it possible to highlight this space-time differentiation.

II - GEOLOGY AND MINERALIZATIONS

Ouenza massif is located at the intersection of the two more important structural elements of the area: Triassic diapirs and Tertiary grabens (fig.1). It is among the anticline structures with a NE-SW direction at the centre of which trias diapir with a halitic piston is found. The halokinesis salt movement of these evaporitic formations took place mainly during the distension context of Aptian and Upper Albian (Thibiéroz and Madre, 1976). Later compressions of Paleogene and Neogene have contributed to reactivate the diapiric rise of these Triassic formations. This diapir, of a coarsely elliptic form and directed NE-SW, is covered by cretaceous formations which end by a pericline structure at the southwest (fig.1). The Ouenza deposit is famous

for its iron mine currently in exploitation. It also displays concentrations of Pb, Zn, Cu, Ba and Sr.

II.1 - Iron mineralization

Iron mineralization consists of a carbonated primary ore and a hematitic secondary ore resulting from the oxidation of the iron carbonates (Bouzenoune, 1993). The carbonated ore generally presents a breccia fabric. It consists of ankerites and siderites with fine and spathic facies (fig.2). Fine iron carbonates replace limestone whereas spathic iron carbonates precipitated in fissures few centimetres wide. The formation of the fine facies is always in advance compared to that of the spathic facies. Indices of early iron replacement of limestones were not observed. In the primary ore it was observed only as inclusions in the quartz crystals where it would represent the vestiges of old limestone before their transformation into iron carbonates (fig.2-b). It is, on the other hand, very abundant in the oxidized ore where it forms very beautiful crystals 3 to 4 cm of edge. This calcite would thus represent a witness of the oxidation process and not of the installation of the primary iron carbonated ore. The oxidized ore, currently in exploitation, consists of hematite, goethite and limonite.

II.2 - "Polymetallic" mineralization

Polymetallic mineralization consists of Pb, Zn, Cu, Ba, and F concentrations. Their distribution throughout the massif displays two zones. A field with Pb and incidentally Cu and Ba located at Koudiat el Kahkouh at the southwest pericline end. The second zone, located along the SE antiform of Sainte Barbe - Douamis, with Cu, Ba, F and incidentally Pb. In both cases, these mineralizations appear mainly in fractures with NE-SW and NW-SE directions.

The indices of Koudiat el Kahkouh appear in the form of three Pb, Cu, Ba mineralized bodies aligned along a NE-SW accident affecting Aptian limestone (fig.3-a). The mainly lead, copper, barium (galena, tetraedrite and barite) mineralization is carried by breccia composed by silicified components of the host rock and partially oxidized iron carbonates and calcite (fig.3-a and b).

A mineralization, primarily with tetraedrite, fluorite and barite, occurs mainly along NE-SW fracture system affecting reverse aptian limestone. This mineralization is visible in several places from Hallatif to Koudiat Douamis. The barite is presented as white slats in which translucent cubes of fluorite are trapped (fig. 4-c). Tetraedrite is found either in veins affecting a hematitic ore (fig. 4-b), or as grains disseminated in intergranular spaces or vacuums geodic within an ankeritic mass (fig. 4-f and G). In this latter case, it is often associated with siderite and fluorite. Tetraedrite is the latest; it replaces siderite and fluorite (fig.4-h).

Fluorite, barite and incidentally tetraedrite mineralization is localised at Koudiat ez Zerga within fractures oriented N170E. Fluorite appears within the geodetic voids displayed on the planes of the fracture cutting through the iron ore. White barite is always associated with fluorite. The indices of Metegui Narou, located five kilometres away from Ouenza village, are displayed as veins oriented N140E. These veins are mainly filled by massive white barite and iron oxides. In lesser amount, tennantite is always associated with the barite as very fine disseminations.

II.3 - Mineralization with celestite

Celestite mineralizations were identified in two places: in the bedded Triassic dolomites observable between Safiet Gueltet el Mourra and Metegui Narou (fig.5-a) and in a breccia in the contact between the Triassic formations and aptian limestone at Chagoura (Bouzenoune, 1993). In Southern Chagoura, celestite contains anhydrite inclusions as well as quartz with anhydrite inclusions (fig.5-c).

III- RELATIVE CHRONOLOGY OF MINERALIZATIONS

All mineralizations present an epigenetic character. Iron ore bodies are discordant on stratification and often contains relics of limestones which testify to its installation by substitution. Sulphides, sulfosalts, barite and fluorite occur mainly in veins which crosscut the iron ore and the folded Aptian-Albian sequence. Therefore, the deposition of these minerals postdates the iron ore. Celestite mineralization are also localised in fissures affecting the Triassic layered dolomites and contain anhydritic relics of the precursors from which the celestite was formed.

If a time difference between iron ore deposition and polymetallic mineralizations is evident, these last being relatively posterior to the first. The question is how long is the period separating the two mineralization events?

The lack of relationship between celestite mineralization and other concentrations does not make it possible to establish a chronology. However these sulphated mineralizations in the Trias formations are also known in Northern Hameimat where celestite bodies are recut by veins with barite-fluorite of the aptian-albian cover (Otmantine, 1987). By analogy, Ba, Pb, Cu, F mineralization of the Aptien of Ouenza would be posterior to the celestite of the Trias.

The oxidation represents an essential phenomenon for the exploitation of siderite in carbonated series for it make a natural barrier between a poor carbonated ore and a high-grade hematitic ore often the only exploitable. In Ouenza, this alteration was always regarded as a supergene process controlled by ground water level (Madre, 1969; Bouzenoune, 1998). Recently, S. Salmi-Laouar (2004) allotted, on the basis of the oxygen stable isotopes data of the quartz associated with the oxidized iron ore, a hydrothermal origin for the oxidation process. The vague description of this quartz does not make it possible to discuss these results but we think that this hydrothermal event is

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)

rather related to the installation of iron carbonates or polymetallic mineralizations. The Two mineralizations contain bipyramidal quartz.

According to previous arguments, siderite and ankerite are the principal components of ironbearing carbonated mineralizations, they are also present, in a lesser quantity, in the polymetallic mineralizations. The alteration process has oxidized, above ground water level, iron carbonates of the primary ore while, it did not affect iron carbonates associated with polymetallic mineralization which we examined (fig. 4-c). Would the oxidation process be anterior to the installation of polymetallic mineralizations? The occurrence of tetradrite in the cracks affecting an oxidized iron ore (fig.4-b) and the presence of hematitic inclusions in quartz associated with polymetallic mineralizations (fig.4-d), suggest that part of the oxidation could be old and even anterior to the installation of these later mineralizations.

On a larger scale (Ouenza, Boukhadra, Djerissa, Slata) siderites and ankerites appear in the low areas and pass to iron oxides and hydroxides above the ground water level. The oxidation process controlled by this natural limit is recent, quaternary or current.

The iron oxides and hydroxides of Ouenza would be the result of a polyphased alteration process. Part of it is the probably result of oxidation of iron carbonates associated with polymetallic mineralizations. The largest part of the oxidized ore is the result of a relatively more recent, oxidation process of iron carbonates located below ground water level.

IV - NATURE AND ORIGIN OF ORE-FORMING FLUIDS

IV.1 - Iron mineralization

The homogeneity of the chemical compositions of all siderites and ankerites indicate that they precipitated from the same fluid and during a short period (Bouzenoune, 1993). The oxygen and carbon

stable isotopes of the iron carbonates and the limestone host rock have allowed to determine the isotopic composition of the mineralizing fluid $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluide}} = +6 \text{ ‰}$ and a precipitation temperature which would be $T = 100\text{-}120 \text{ °C}$. These values would be those of formation water whose percolation within country rocks would induce an evolution of the isotopic compositions while moving away from the mineral-bearing bodies (Bouzenoune and Lecolle, 1997). Carbon isotope of the iron carbonates indicates a mineral origin for the carbon which would say that the carbon was derived from the local host rocks.

IV.2 - "Polymetallic" mineralization

IV.2.1 - fluid inclusions

Fluid inclusion studies yield salinities of 18-22 wt % equivalent NaCl and homogenisation temperatures between 150 and 180 °C. Fluorites and barites of Ouenza contain fluid inclusions having the same range of salinity but a slightly lower temperatures of homogenisation than those of the fluid inclusions contained in quartz (fig.6).

IV.2.2 - The oxygen and carbon stable isotopes

All carbonate minerals (host rock and gangue) associated with polymetallic mineralization present values of $\delta^{13}\text{C}$ indicating a mineral origin for the carbon (fig.7). The light enrichment in heavy isotope of carbon that certain samples show is probably the effect of the temperature of the mineralizing fluids. Carbonates which have a direct relationship to the mineralization are slightly enriched in heavy isotopes. The fluids which have mineralized the Ouenza massif and have induced recrystallizations in host rocks would not have brought carbon. The most important part of limestone carbon was recycled.

The values of $\delta^{18}\text{O}$ (-7.91 to -5.29 ‰/PDB) of carbonates associated to polymetallic mineralization

lizations are relatively more negative than those of carbonates of marine origin. This difference could be due either to a rise in the temperature or to significant water intervention impoverished of heavy oxygen isotopes or simply both.

The spathic calcite associated with "poly-metallic" mineralizations with predominance of Pb of Koudiat el Kahkouh shows the same isotopic characteristics as limestone hosting these mineralizations (fig.7). This similarity in isotopic compositions, which are relatively impoverished in heavy isotopes of oxygen compared to marine limestones, could be due to the same mineralizing fluid which deposited gangue minerals and all the mineralizations and induced recrystallizations in the host rocks. The isotopic compositions of the oxygen of the involved fluids lie between +6.5 and +9 ‰/SMOW (fig.8). These fluids containing more O^{18} than those involved in the iron mineralizations could be attributed to a formation water expelled from the basin and subjected to high evaporation ($T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) and isotopic exchange with the host rocks. Besides, Ouenza limestones are enriched in O^{18} ($\delta^{18}O_{\text{limestone}} \approx +25\text{ ‰/SMOW}$), they could thus have contributed, by interactions water-rock, to enrich the fluids in heavy isotopes.

IV.2.3 - The sulphur stable isotopes

Sulphur stable isotope data of the barite and sulphides of the Tebessa area indicates a common source of sulphur derived most likely from the Triassic sulphates through hydrothermal process (Salmi-Laouar *and al.*, 2004; Salmi-Laouar, 2004). The isotopic compositions of the sulphur of the Triassic gypsum, reflect the values of the $\delta^{34}\text{S}$ of Triassic sea waters, so they cannot be used as argument to exclude the resumption of the Triassic evaporates, in the form of reworked or of "salt glacier", in cretaceous sedimentation. The field observations show that the Triassic fragments were reworked in Aptian and upper Albian (Thibiéroz and Madre, 1976; Bouzenoune, 1993).

IV.3 - Mineralization with celestite

The celestites of Ouenza contain between 0 and 6,26 wt % of BaO (Bouzenoune, 1993; Bouzenoune *and al.*, 1995). The anhydrite relics remaining in the celestite (fig.5-c) and the richness of Ouenza anhydrites in Sr (up to 8000 ppm) make it possible to establish a connection between the two sulphates. Anhydrites of the evaporitic formations were also regarded as a possible source of Sr of the celestites of Sakiet Sidi Youcef (Hatira, 1988) and of Berrouaghia (Aoudjehane, 1989). However, the Triassic source of Sr is insufficient to account for the quantity of the Sr minerals which can form exploitable deposits (Berrouaghia, Béni Mansour). It would be necessary to admit an additional Sr contribution by fluids from the basin.

CONCLUSION

Ouenza massif displays three principal types of mineralization. Iron ore as iron carbonates partially oxidized to hematite, Pb, Zn, Cu, Ba, F concentrations found mainly in NE-SW oriented fractures and occurrences of Sr within the breccia in the contact Trias-sedimentary cover.

Field observations and petrographic and mineralogic studies, fluid inclusions and stable isotopes (O and C) data show that the Ouenza massif was an arena to a polyphased metallogenic history. An iron major metallogenic event which occurred after the lithification of Aptians limestones. However, there is indetermination on the higher limit of the age that one can allot to mineralizations, for it is not demonstrated whether the overturn of the Aptian-Albian sedimentary sequence before the upper Albian also has involved the stratiform iron carbonate bodies. In all cases, the installation of iron-bearing mineralizations is followed by a new Neogene polyphased metallogenic episode with "Pb, Zn, Cu, Ba, F". The age of Ouenza celestite mineralizations cannot be established with certainty. By analogy with Hameima deposit.

they would be anterior to polymetallic mineralizations. They could also be anterior to iron-bearing mineralizations since celestite generally replaces a recrystallized secondary anhydrite, formed following the mineralogical transformations affecting the Triassic formations. The products of these transformations are reworked in Aptien and Albian sedimentation.

These events would result from the expulsion of geopressed fluids from the sedimentary sequences of the interdiapiric basins during the principal phases of diapirism and Neogene compressive tectonics.

I- INTRODUCTION

Le domaine atlasique des confins algéro-tunisiens recèle des concentrations minérales de Fe, Pb, Zn, Cu, Ba, F, Sr. D'un point de vue structural, cette région se caractérise par la présence de nombreux affleurements d'évaporites triasiques, diapiriques, le plus souvent allongés NE-SW, ceinturés par des séries sédimentaires crétacées, plissées lors des phases éocène et néogène, en anticlinaux et synclinaux d'orientation atlasique (NE-SW). L'ensemble est recoupé par des fossés d'effondrement plus récents orientés NW-SE.

L'examen d'une carte de répartition des gîtes minéraux de cette région révèle une étroite relation spatiale entre ces structures géologiques et les concentrations minérales : les événements géologiques à l'origine de cette structuration ont également contribué à la mise en place polyphasée des minéralisations de la région.

Les essais de typologie de ces minéralisations (Rouvier *et al.*, 1985; Sheppard *et al.*, 1996) montrent qu'elles sont localisées dans les formations évaporitiques triasiques, au contact du Trias avec sa couverture surincombante et/ou dans les formations sédimentaires les plus proches.

Les minéralisations se distinguent par les proportions relatives des constituants minéralogiques qui

font apparaître une différenciation spatio-temporelle aussi bien au sein d'un même massif que à l'échelle de cette région frontalière entre l'Algérie et la Tunisie. La différenciation spatiale s'exprime par une «zonalité» métallique qui se traduit par la formation dans un même massif d'un gisement de fer sidéritique exploitable accompagné par des occurrences de Pb, Zn, Cu, Ba, F (Ouenza, Boukhadra, Djerissa) ou d'un gîte de Pb, Zn, Cu sulfurés accompagnés d'une concentration d'importance moyenne en fer sidéritique (Slata) ou simplement d'indices de fer (Boujaber, Mesloul). La différenciation temporelle se traduit par l'apparition de ces concentrations dans des pièges qui affectent un encaissant allant du Trias (formations évaporitiques présentant une "zonalité" minéralogique qui rappelle celle des cap-rocks de la gulf-coast, USA) jusqu'au Néogène continental. Cet échelonnement dans le temps pourrait être dû à une métallogénie polyphasée en relation avec l'évolution paléogéographique et structurale de la région.

Le massif de l'Ouenza recèle de nombreuses minéralisations dont l'étude a permis de mettre en évidence cette différenciation spatio-temporelle.

II- LES MINÉRALISATIONS DU MASSIF DE L'OUENZA

Comme la plupart des massifs de la frontière algéro-tunisienne, le massif de l'Ouenza est situé au croisement des deux plus importants éléments structuraux de la région : les diapirs à matériel triasique et les fossés d'effondrement (fig.1). Il représente l'une des structures anticlinales de direction NE-SW au cœur de laquelle affleure un Trias évaporitique à piston halitique désormais identifié (Bouzenoune, 1993; Bouzenoune *et al.*, 1995). La mise en place halocinétique, au moins dès l'Aptien (Thibiéroz et Madre, 1976), de ces formations évaporitiques a eu lieu principalement dans le contexte distensif du Crétacé. Les compressions paléogène et néogène ont par la suite contribué à réactiver l'ascension diapirique de ces formations triasiques. C'est autour de ce diapir, de

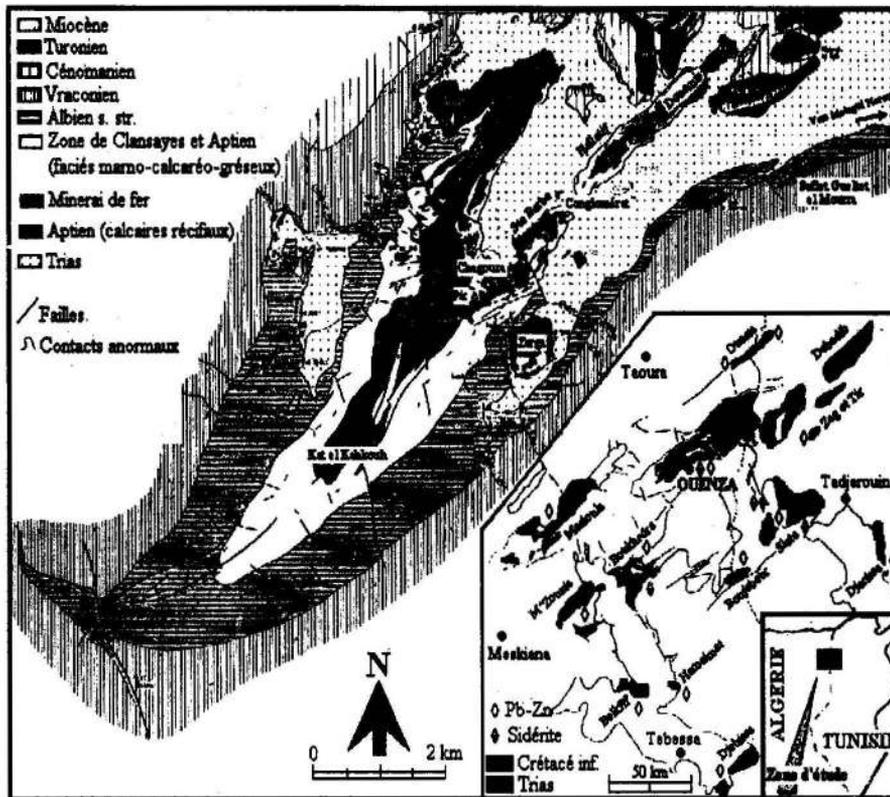


Fig.1 - Carte géologique du massif de l'Ouenza (d'après G. Dubourdiou, 1956, modifiée) et localisation des principales minéralisations de la région de Tebessa.

Geological map of the Ouenza mountain (From G. Dubourdiou, 1956, modified) and localization of the most important mineralizations of the Tebessa region.

forme grossièrement elliptique et orienté NE-SW, qu'affleurent les terrains crétacés qui dessinent au SW une fermeture périclinale (fig.1). La signification structurale de ces appareils triasiques a fait l'objet récemment de nombreuses discussions qui sont marginales par rapport au sujet traité dans notre note. Nous renverrons donc les lecteurs intéressés aux principaux articles traitant de ce sujet (Vila, 1994, 1995, 1996; Vila *et al.*, 1998; Perthuisot *et al.*, 1998; Rouvier *et al.* 1998). Pour ce qui est de la structure de l'Ouenza, l'enracinement du Trias et sa nature halitique ont été prouvés par forage et géophysique (Bouzenoune, 1993).

Ce massif est connu pour sa mine de fer actuellement en exploitation, mais présente également des concentrations de Pb, Zn, Cu, Ba, F et Sr.

II.1 - Les minéralisations ferrifères

Les minéralisations ferrifères sont constituées par un minerai primaire carbonaté et d'un minerai secondaire essentiellement hématitique issu de l'oxydation du premier (Bouzenoune, 1993). Le minerai carbonaté présente le plus souvent un aspect bréchique, il est constitué d'ankérites et de sidérites avec des faciès fins et des faciès spathiques (fig.2). Les carbonates de fer fins remplacent les calcaires alors que les carbonates de fer spathiques ont précipité dans des fissures d'épaisseur centimétrique. La formation des faciès fins précède toujours celle des faciès spathiques.

Des indices d'ankéritisation ou de sidéritisation précoces des calcaires n'ont pas été observés.

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)

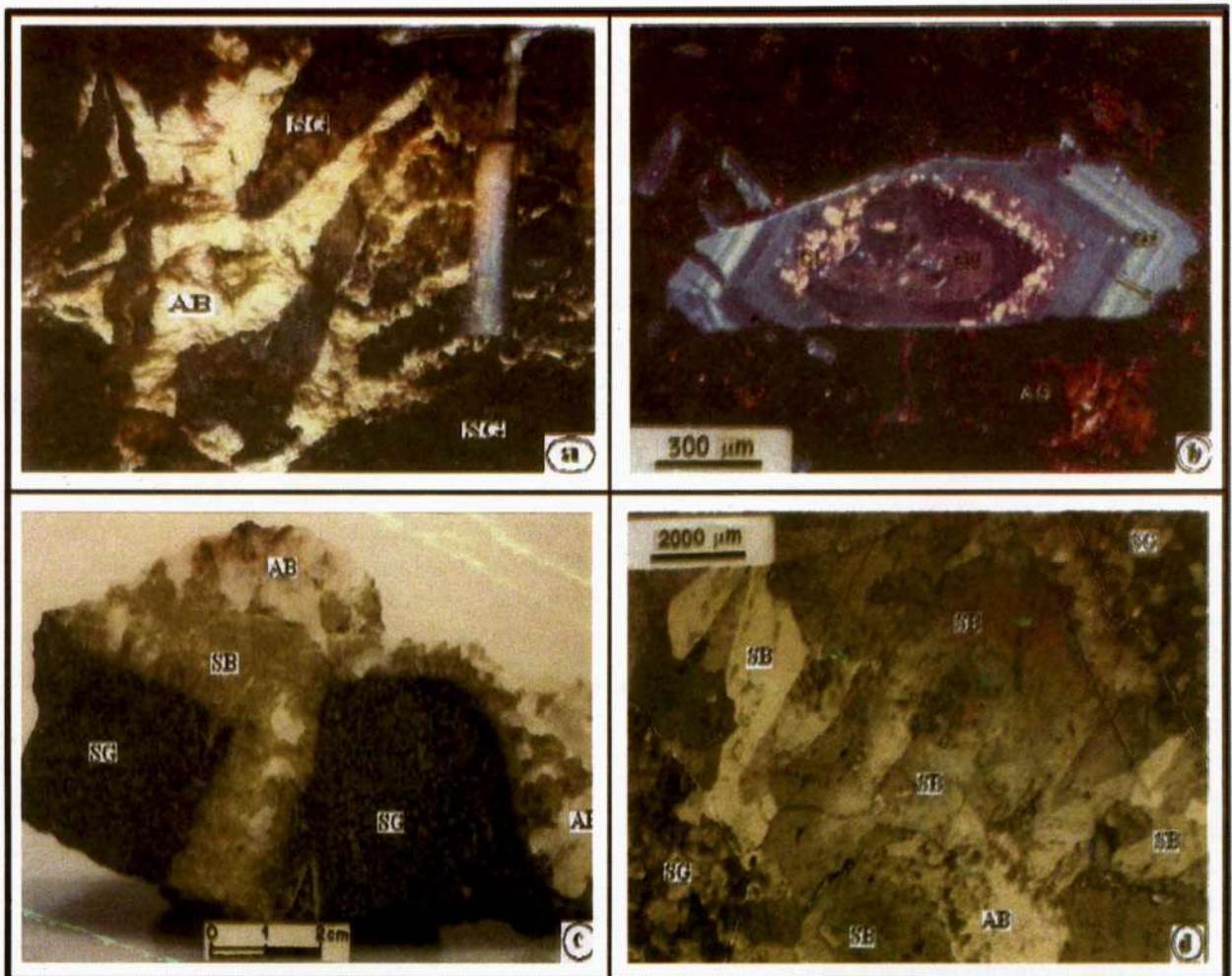


Fig. 2 - Aspects macroscopiques et microscopiques des minéralisations ferrifères carbonatées

Macroscopic and microscopic aspects of iron carbonates mineralization.

a- Aspect en mine du minerai carbonaté. La sidérite grise fine (SG) est affectée par des fissures à ankérite blanche spathique (AB). (**Aspect in mine of the iron carbonates ore. Fine gray siderite (SG) is affected by numerous veins filled by spathic white ankerite (AB).**) b- Photo en cathodoluminescence d'un cristal de quartz à inclusions calcitiques (ct), ces dernières se concentrent principalement autour d'un grain de quartz détritique (Qd) sur lequel ont poussé des néoformations de quartz zoné (Qz). Le nourrissage du quartz est corrodé par l'ankérite grise (AG). (**Photograph in cathodoluminescence of a quartz crystal with calcitic inclusions (ct) concentrated mainly around a detrital quartz grain (Qd) on which zoned quartz neo-formations (Qz) has developed. The growth zones of quartz is corroded by the gray ankerite (AG).**) c- Brèche à éléments de sidérite grise (SG) recoupée par des fissures remplies de sidérite blanche spathique (SB) et ankérite blanche spathique (AB). (**Breccia with gray siderite element (SG) cut by cracks filled with spathic white siderite (SB) and spathic white ankerite (AB).**) d- Aspect microscopique des carbonates de fer, lumière polarisée analysée. La sidérite grise fine (SG) est recoupée par une fissure remplie de sidérite blonde spathique (SB) et d'ankérite blanche spathique (AB). (**Microscopic aspect of iron carbonates, crossed nicols. Fine gray siderite (SG) cut by a crack filled of spathic white siderite (SB) and spathic white ankerite (AB).**)

La calcite est très rare dans le minerai carbonaté de l'Ouenza. Dans le minerai primaire elle n'a été observée qu'en inclusions dans les cristaux de quartz (fig.2-b). Le minerai carbonaté contient en effet des quartz automorphes baignant dans une matrice de cristaux d'ankérite ou de sidérite. Ces quartz renferment toujours des inclusions solides calcitiques souvent disposées suivant les zones de croissances des quartz. Ces derniers sont le plus souvent corrodés par les carbonates ferrifères. Ces inclusions représentent les vestiges d'anciens calcaires avant leur transformation en carbonates de fer.

Le minerai oxydé, actuellement en exploitation, est formé d'hématite, de goéthite et autres "ocres" limonitiques. L'hématite en est le constituant majeur. Elle est le plus souvent pulvérulente et constitue alors un minerai riche; elle peut également se présenter en masses ternes sans cristaux visibles apparents ou sous forme d'un minerai dur homogène laissant souvent apparaître une trame rhomboédrique héritée du minerai carbonaté. En plus de ces produits oxydés, on trouve aussi dans le minerai exploité de la calcite blanche ou brune en grands cristaux rhomboédriques de 3 à 4 cm d'arête. Cette calcite est étroitement associée aux oxydes de fer et n'a jamais été observée dans le minerai carbonaté. Elle résulterait de la réutilisation du calcium libéré lors de l'altération des ankérites du minerai carbonaté primaire. Cette calcite représenterait donc un témoin du processus d'oxydation et non de la mise en place du minerai carbonaté primaire par transformation des calcaires aptiens comme il a été suggéré par Salmi-Laouar (2004).

II.2 - Les minéralisations polymétalliques

Comme dans de nombreux massifs de la région, les calcaires néritiques aptiens du massif de l'Ouenza, recèlent, à côté du fer, des minéralisations polymétalliques constituées de concentrations de Pb, Zn, Cu, Ba, et F. Leur répartition

spatiale sur l'ensemble du massif fait ressortir deux domaines (fig. 1). Un domaine à Pb et accessoirement Cu et Ba situé à Koudiat el Kahkouh au niveau de la fermeture périclinale SW et un domaine à Cu, Ba, F et accessoirement Pb situé au NE le long de l'arête SE Sainte Barbe-Douamis. Dans les deux cas, ces minéralisations apparaissent principalement dans des fractures orientées NE-SW et N140E.

II.2.1 - Les indices à dominance de Pb de Koudiat el Kahkouh

Les indices de Koudiat el Kahkouh apparaissent sous forme de trois corps minéralisés en Pb, Cu, Ba alignés le long d'un accident orienté NE-SW affectant les calcaires aptiens du périclinale (fig.3-a). La minéralisation, essentiellement plombo-cuprifère, est portée par des brèches constituées par des éléments de l'encaissant silicifié et des carbonates à trame rhomboédrique le plus souvent oxydés. L'ensemble est affecté par des fissures à calcite blanche spathique formant le ciment des brèches (fig.3-a et b). La galène se place aussi bien dans les fissures que dans les éléments silicifiés et oxydés, alors que le "cuivre gris" et ses produits d'altération (malachite, azurite) sont étroitement liés aux éléments silicifiés.

A ce minerai bréchiq ue plombo-cuprifère est associée de la barytine blanche en tablettes enchevêtrées et cimentées par des carbonates généralement oxydés. Lorsqu'ils ne sont pas oxydés, les carbonates, de nature calcitique, corrodent et remplacent la barytine. Les mouches de galène sont le plus souvent sécantes sur les lattes de barytine.

La silicification de l'encaissant s'exprime sous forme de quartz automorphes de taille allant jusqu'à 750 μm . Ces quartz renferment souvent des inclusions solides de nature calcitique et sont corrodés par la galène (fig.3-e).

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)

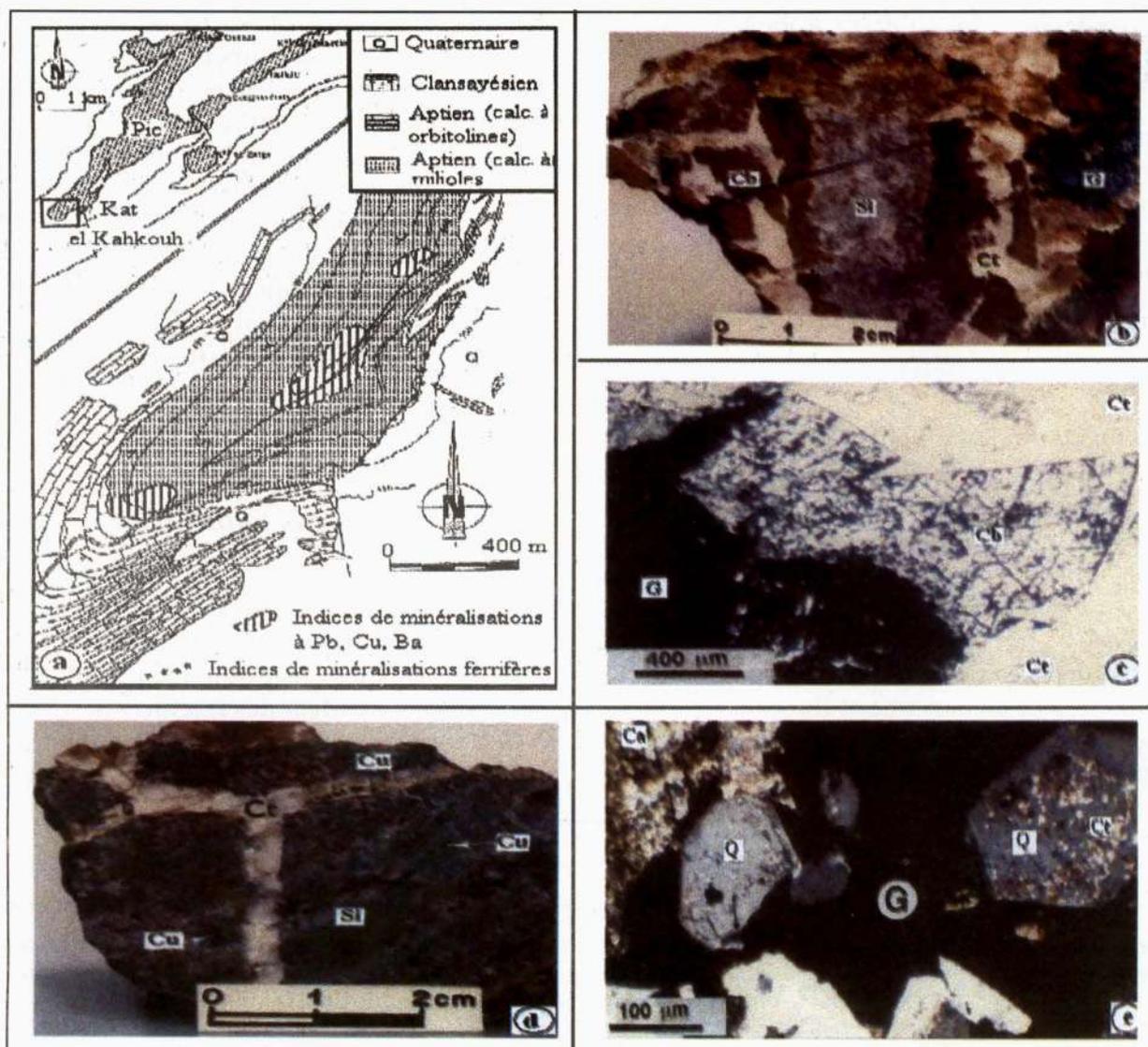


Fig.3 - Aspects macroscopiques et microscopiques des minéralisations à Pb de Koudiat el Kahkough.

Macroscopic and microscopic view of lead mineralization of Koudiat el Kahkough.

a- Carte géologique simplifiée du secteur de Koudiat el Kahkough et localisation des corps minéralisés en Pb, Cu, Ba (d'après E.R.E.M., 1988 modifiée). (*Simplified geological map of Koudiat el Kahkough area and localization of the principal ore bodies mineralized out of Pb, Cu, Ba (from E.R.E.M., 1988 modified)*). b- Minerai de Koudiat el Kahkough. Fragment de calcaire silicifié (Si) et carbonates de fer (Cb) bréchifiés par une calcite blanche spathique (Ct) minéralisée en galène (G). (*Ore of Koudiat el Kahkough. Silicified limestone fragment of (Si) and iron carbonates (Cb) affected by veins with a spathic white calcite (Ct) and galena (G)*). c- Galène tardive (G) corrode les carbonates de fer (Cb) et la calcite blanche spathique (Ct), lame mince, lumière transmise. (*Late crystal of galena (G) corrodes iron carbonates (Cb) and spathic white calcite (Ct), thin section, transmitted light*). d- Encaissant calcaire silicifié (Si) et bréchifié par une calcite tardive (Ct). L'ensemble est minéralisé en galène (G) et "cuivre gris" (Cu). (*Silicified limestone (Si) affected by veins with late calcite (Ct). The breccia is mineralized by galena (G), Gray copper (Cu)*). e- Galène tardive (G) qui corrode (flèches) l'encaissant calcaire (Ca) et les grains de quartz (Q) à inclusions de calcite (Ct). (*Late crystal of galena (G) corrodes (arrows) limestone (Ca) and quartz crystal (Q) with calcitic inclusions (Ct)*).

II.2.2 - Les indices à dominance de Cu de Koudiat ed Douamis

Une minéralisation essentiellement à "cuivre gris" du pôle tétraédrite, fluorite et barytine se trouve dans un système de fractures orientées NE-SW affectant les calcaires aptiens renversés. Cette minéralisation est visible en plusieurs endroits depuis Hallatif jusqu'à Koudiat ed Douamis, en ciment de brèches ou remplissages non basculés de cavités de dissolution (Akrou et *al.*, 1991).

Sur la route de Souk Ahras (limite entre le quartier de Conglomérats et de Hallatif) le prolongement vers le NE de la faille du Pic qui affecte les calcaires aptiens renversés est surtout minéralisée en barytine blanche en tablettes et en galène. Entre Hallatif et Douamis, cette fracture affecte les calcaires à polypiers de la base de la série aptienne renversée. Elle est minéralisée en barytine et fluorite. La barytine se présente en lattes blanches dans laquelle baignent des cubes de fluorite translucide (fig. 4-c). A

Koudiat ed Douamis le même système de fracture renferme une minéralisation essentiellement à "cuivre gris", de la fluorite et des carbonates de fer. Le "cuivre gris" se trouve soit dans des fissures d'ouverture centimétrique affectant un minerai oxydé hématitique (fig. 4-b), soit en grains disséminés dans les espaces intergranulaires ou dans des vides géodiques au sein d'une masse ankéritique (fig. 4-f et g). Dans ce dernier cas, il est souvent associé à une sidérite isogranulaire et à de la fluorite incolore. Le cuivre gris est le plus tardif, il remplace la sidérite et la fluorite (fig. 4-h).

II.2.3 - Les autres indices

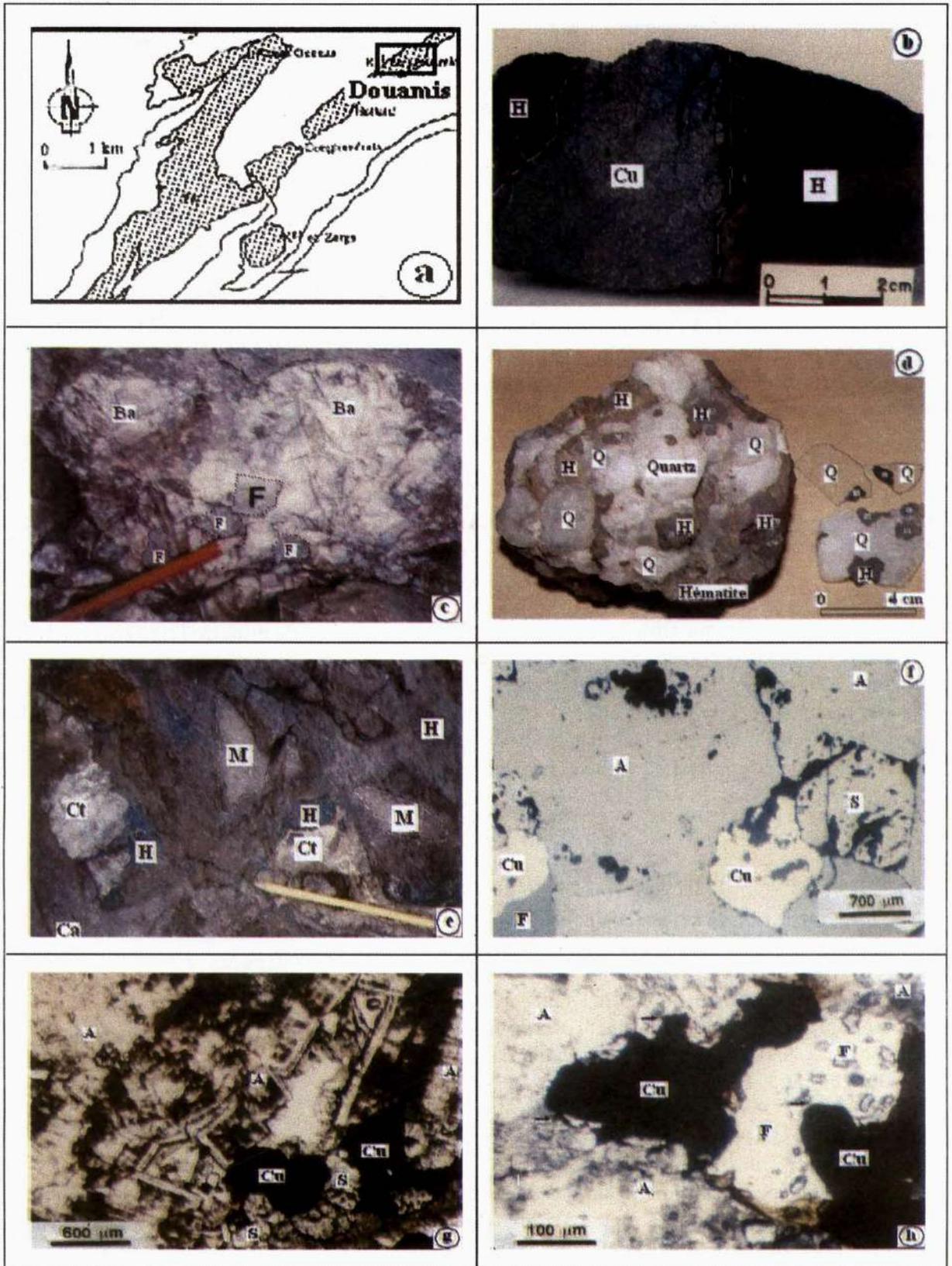
La «klippe» de Koudiat ez Zerga, constituée de calcaires aptiens minéralisés en fer, présente aussi une minéralisation essentiellement à fluorite, barytine et accessoirement "cuivre gris". Elle est localisée dans des fractures de direction N170E. La fluorite, en cristaux cubiques de couleur blanche translucide ou violette, apparaît

Fig.4- Aspects macroscopiques microscopiques des minéralisations à dominance de Cu de Koudiat ed Douamis.

Microscopic and macroscopic aspects of mineralisation with predominance of Cu of Koudiat ed Douamis.

a- Carte de localisation du secteur de Koudiat ed Douamis. (*Localization map of the sector of Koudiat ed Douamis*). **b-** Minerai hématitique (H), issu de l'oxydation des carbonates de fer, recoupé par du "cuivre gris" (Cu). (*Hematitic ore (H), resulting from the oxidation of iron carbonates, crosscut by tetrahedrite (Cu)*). **c-** Minéralisations à barytine (Ba) et fluorite (F) dans un calcaire renversé, à polypier. Cette minéralisation se trouve dans une fracture orientée NE-SW. (*Mineralizations with barytine (Ba) and fluorite (f) in a overturned limestone with polypier. This mineralization is in a fracture oriented NE-SW*). **d-** Quartz pyramidé poussant sur du minerai hématitique et contenant des inclusions d'hématite à trame rhomboédrique traduisant la postériorité de ces quartz par rapport au processus d'oxydation du minerai carbonaté. (*Development of pyramidal quartz on hematitic ore and containing inclusions of hematite with rhomboedric system translating the posteriority of this quartz compared to the process of oxidation of the carbonated ore*). **e-** Minerai ferrifère oxydé (H) contenant une minéralisation polymétallique (M) à ankérite, sidérite, cuivre gris et fluorite. L'oxydation s'accompagne par la formation d'une calcite tardive (Ct). Ca : calcaire. (*Oxidized iron ore (H) containing a polymetallic mineralization (M) with ankerite, siderite, gray copper and fluorite. The oxidation process is accompanied by the formation of a late calcite (Ct). Ca: limestone*). **f-** Détail de la minéralisation (M) de la photo **e** (lumière réfléchie). La sidérite (S), fluorite (F) et le cuivre gris (Cu) occupent les espaces entre les grains d'ankérite (A). Le "cuivre gris" est postérieur aux carbonates de fer et à la fluorite. (*Detail of mineralisation (M) of the photo e (reflected light). Siderite (S), fluorite (F) and tetrahedrite (Cu) occupy spaces between the grains of ankerite (A). Tetrahedrite is posterior with iron carbonates and the fluorite*). **g-** Détail de la minéralisation (M) de la photo **e**. Ankérite zonée (A) formant une géode dans laquelle ont précipité de la sidérite (S) et du "cuivre gris" (Cu). (*Detail of mineralisation (M) of the photo e. Zoned Ankerite (A) forming a geode in which precipitated siderite (S) and tetrahedrite (Cu)*). **h-** Détail de la minéralisation (M) de la photo **e**. Plage de "cuivre gris" (Cu) tardif qui remplace la fluorite (F) et l'ankérite (A). (*Detail of mineralisation (M) of the photo e. Late tetrahedrite (Cu) replaces fluorite (F) and ankerite (A)*).

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)



dans des poches géodiques d'une dizaine de centimètres visibles sur les plans de fractures affectant le minerai ferrifère. La barytine blanche est toujours associée à de la fluorite. Le cuivre gris, peu abondant, est le plus souvent altéré en azurite-malachite. Dans cette zone, des lambeaux métriques de minerai barytique et/ou ankéritique sont souvent coincés au contact d'un substrat albien marneux et du Trias extravasé.

Les indices de Metegui Narou (fig. 1), situés à cinq kilomètres au NE du village de l'Ouenza, se présentent en filons de direction N140E. Ces filons, encaissés par les marno-calcaires du Cénomanién supérieur, ont une épaisseur de 1 m à 2,5 m. La caisse filonienne est remplie essentiellement par de la barytine blanche massive et oxydes de fer. En quantité moins importante, le "cuivre gris", le plus souvent altéré en azurite et malachite, est toujours associé à la barytine sous forme de très fines disséminations.

Les premiers horizons albiens transgressifs sur le Trias (Metegui Narou, Sefiet Gueltet el Mourra ...), marqués par un banc dolomitique glauconieux, à galets de dolomies et de pélites triasiques, contiennent très fréquemment une minéralisation secondaire à barytine (Thibiéroz et Madre, 1976).

II.3 - Les minéralisations à célestine

Les minéralisations à célestine ont été identifiées en deux endroits : dans les dolomies litées du Trias observables entre Safiet Gueltet el Mourra et Metegui Narou au NE de l'Ouenza et dans une brèche au contact des formations triasiques avec les calcaires aptiens de Chagoura Sud (Bouzenoune, 1993).

Les dolomies litées du Trias, de couleur gris bleu, sont parcourues par des fissures d'épaisseur ne dépassant pas le centimètre dans lesquelles la célestine est associée à des carbonates ferrifères plus ou moins oxydés (fig.5-a).

A Chagoura Sud, le contact tectonique des évaporites du Trias avec les calcaires aptiens est souligné par une brèche minéralisée en célestine (fig.5-b). Les éléments de la brèche sont représentés par des dolomies grises, des pélites jaunâtres et des oxydes de fer. Le ciment est carbonaté. La célestine renferme des inclusions d'anhydrite ainsi que du quartz à inclusions d'anhydrite. Des recristallisations du ciment dolosparitique corrodent la célestine (fig.5-c). Cette dernière montre au microscope électronique à balayage des zones plus denses enrichies en baryum (fig.5-d).

III- ELEMENTS POUR UNE CHRONOLOGIE RELATIVE DES MINERALISATIONS

III.1 - Faits d'observations

Sur l'ensemble du massif de l'Ouenza, toutes les minéralisations sont épigénétiques.

Dans le cas du minerai ferrifère, si à l'échelle décimétrique, les corps minéralisés ont une morphologie stratiforme, à l'échelle métrique le minerai est discordant sur son encaissant calcaire dont il renferme souvent des reliques calcaires qui témoignent de son installation par substitution (Thibiéroz et Madre, 1976).

Pour les minéralisations polymétalliques, on a vu qu'elles sont toujours localisées dans des fractures affectant les calcaires aptiens et que les disséminations de galène dans l'encaissant montrent des figures de remplacement du calcaire par les sulfures.

Les minéralisations à célestine sont localisées dans les fissures affectant les dolomies litées du Trias et contiennent des reliques anhydritiques témoins des précurseurs au dépens desquels la célestine s'est formée.

L'examen des relations des corps minéralisés carbonatés ferrifères avec les déformations montre que les corps stratiformes accompagnent

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)

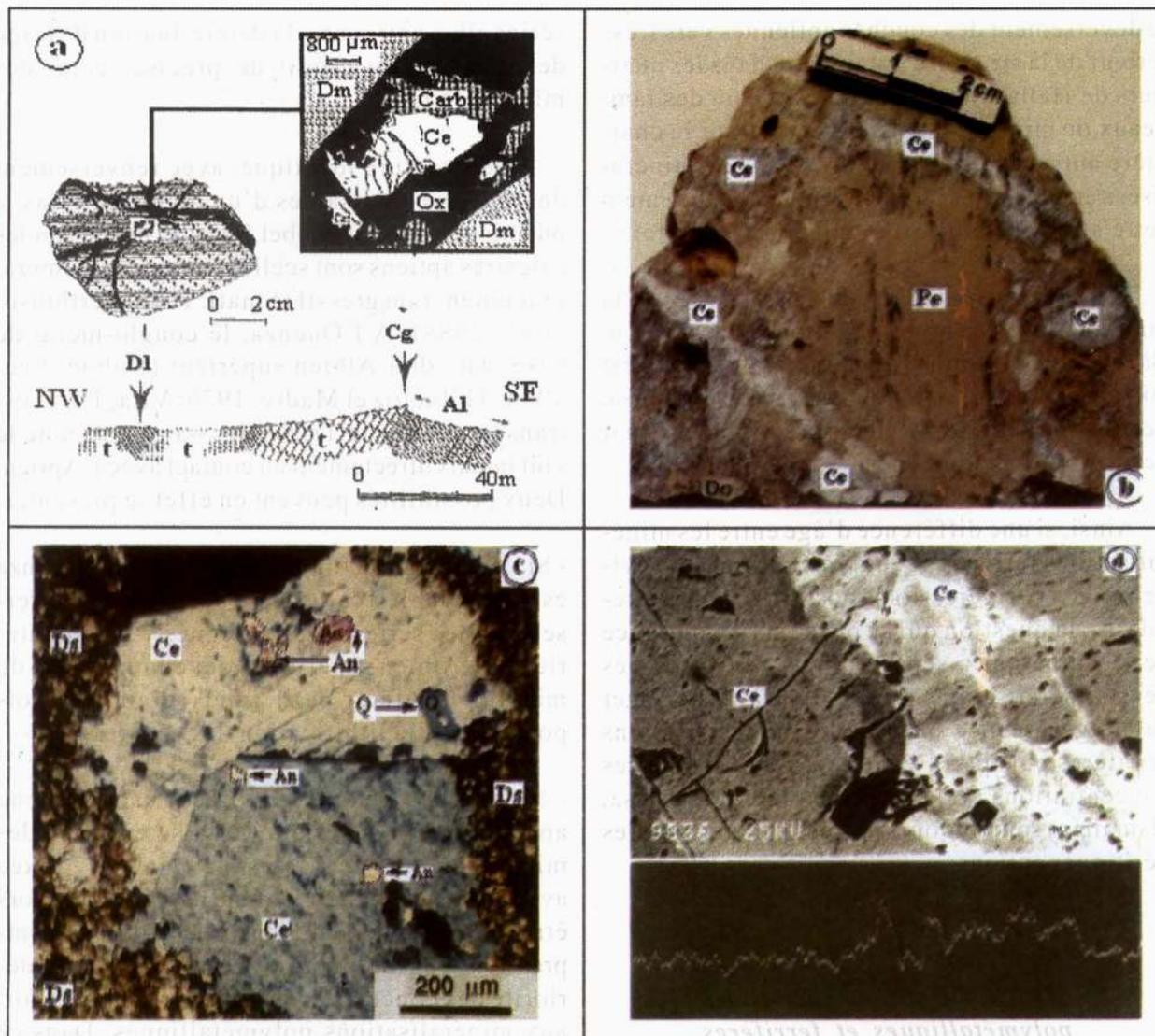


Fig. 5 - Minéralisations à célestine.

Mineralization with celestite.

a- Coupe dans la partie supérieure du Trias de Safiet Gueltet el Mourra, au NE de l'Ouenza. (t : Trias, DI : Dolomies triasiques litées, Cg : conglomérat albien, Al : Albien; Dm : Dolomicrite, Ce : Célestine, Carb : Carbonate, Ox : Oxydes). **(Cross section through the contact Trias-Albian at Safiet Gueltet el Mourra, North-Eastern Ouenza. (t: Trias, DI: Triassic layered dolomites, Cg: Albian conglomerates Al: Albian; Dm: Dolomicrite, Ce: Celestite, Carb: Carbonate, Ox: Oxides).** b- Brèche du Trias, minéralisée en célestine (Ce) au contact du Trias avec l'Aptien de Chagoura. (Pe : Pérites, Do : Dolomie). **(Triassic breccia mineralized with Celestite in contact Trias-Aptian (Pe : Pelite, Do : Dolomite).** c- Aspect microscopique de la brèche de la photo c. La célestine (Ce) renferme des inclusions d'anhydrite (An) ainsi que du quartz (Q) à inclusions d'anhydrite. (Ds : Dolosparite). **(Microscopic view of the breccia. Celestite (Ce) contains anhydrite inclusions (An) as well as quartz (Q) with anhydrite inclusions. (Ds: Dolosparite).** d- En haut : plage de célestine (Ce) montrant des zones plus enrichies en Ba (Brèche de la photographie b)-photographie au microscope électronique à balayage MEB (électrons retroréfléchés). Les zones claires étant les plus denses. En bas : Traversée de Ba dans la plage de célestine. **(In top: Celestite (Ce) showing zones more enriched in Ba (breccia of photography b)-photography under the MEB (back scattered). Clear zones being the dense ones. In bottom: Ba crossing in the celestite crystal).**

le déversement des couches aptiennes vers l'extérieur de la structure notamment dans les quartiers de Hallatif et de Sainte Barbe où des lambeaux de minerai subsistent encore sur la charnière antiforme. Les fractures NE-SW minéralisées en Pb, Zn, Cu, Ba et F recoupent nettement cette structure antiforme minéralisée en fer.

A l'échelle régionale, la postériorité de la mise en place des minéralisations à Pb, Zn, Cu, Ba et Sr par rapport au minerai ferrifère est corroborée par l'existence, au Nord de l'Ouenza, de minéralisations polymétalliques portées par des formations miocènes.

Ainsi, si une différence d'âge entre les minéralisations ferrifères et polymétalliques est évidente, ces dernières étant postérieures aux premières, la question qui se pose est l'importance de la durée qui a séparé la mise en place des deux minéralisations. Cela revient à s'interroger sur l'âge précoce ou non des minéralisations ferrifères puisqu'à l'échelle de la province ces concentrations (Ouenza, Boukhadra, Djerissa, Hamaima) sont toujours portées par les calcaires néritiques aptiens.

III.2 - Discussion

III.2.1 - Les concentrations polymétalliques et ferrifères

Le double déversement de la structure de l'Ouenza permet de poser le problème de l'âge des concentrations ferrifères par rapport au renversement des strates encaissantes. Ce dernier est particulièrement visible au niveau de l'antiforme de Sainte-Barbe-Douamis (Arête SE). En effet, les corps minéralisés ferrifères stratiformes, présents dans les calcaires aptiens en série inverse, sont-ils eux même déversés ou ont-ils été introduit après, à la faveur d'une réactivité particulière des calcaires aptiens ?

Dans le cas d'une mise en place des minéralisations ferrifères avant le renversement des

séries albo-aptiennes, la détermination de l'âge de celui-ci permettrait de préciser celui des minéralisations.

Une structure identique, avec renversement des strates encaissantes d'un diapir de Trias, a pu être observée au djebel Slata, (Tunisie) où les calcaires aptiens sont scellés par un conglomérat vraconien transgressif (Smati, 1986; Perthuisot et al., 1988). A l'Ouenza, le conglomérat de base, daté de l'Albien supérieur (Dubourdiou, 1956; Thibiéroz et Madre, 1976; Vila, 1994) est transgressif sur le Trias (fig.5-a) mais on ne le voit jamais directement au contact avec l'Aptien. Deux possibilités peuvent en effet se présenter:

- Si l'évolution tectonique du massif de l'Ouenza est comparable à celle du djebel Slata, le renversement des séries albo-aptiennes y serait antérieur à l'Albien supérieur, tout comme celui du minerai ferrifère; ce dernier serait toutefois postérieur à la lithification des calcaires.

- Si à l'Ouenza le renversement est intervenu après l'Albien supérieur, la mise en place des minéralisations ferrifères ne peut être fixée avec certitude; une éventualité pourrait alors être que le renversement soit le fait de la compression néogène, ce qui ne modifierait pas l'antériorité des concentrations ferrifères par rapport aux minéralisations polymétalliques. Dans ce cas, les conditions de mise en place des carbonates de fer (fluides chauds à environ 120 °C) ne pourraient être utilisées pour justifier la déstabilisation de la halite et conférer à celle-ci les caractères d'un liquide newtonien envisagé dans le cas d'une mise en place des évaporites triasiques sous forme d'un "glacier de sel" sous marin (Vila, 1996).

III.2.2 - Les concentrations à célestine

L'absence de relations de recoupement entre les minéralisations à célestine et les autres minéralisations ne permet pas d'établir une chro-

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)

nologie. Cependant, ces minéralisations sulfatées dans le Trias sont également connues à Hameimat Nord où les corps à célestine sont recoupés par des veines à barytine-fluorite de la couverture albo-aptienne (Otmanine, 1987). Par analogie, les minéralisations Ba-Pb-Cu-F de l'Aptien de l'Ouenza seraient postérieures aux célestines du Trias. Les relations entre les minéralisations ferrifères et celles à célestine étant également absentes, l'âge de ces dernières ne peut être établi avec certitude. Cependant, elles pourraient être antérieures dans la mesure où les célestines apparaissent dans des évaporites triasiques qui ont subi des transformations minéralogiques en relation avec la formation des "cap-rocks". Les produits de ces transformations minéralogiques du Trias sont remaniés dans la sédimentation aptienne et albiennaise. La célestine remplace généralement une anhydrite secondaire, recristallisée se trouvant dans des brèches qui témoignent d'un déplacement qui pourrait également être à l'origine de la formation du "cap-rock".

III.2.3 - Les minerais oxydés

L'oxydation représente un phénomène indispensable pour l'exploitation des gisements de sidérite en série carbonatée car elle détermine une coupure naturelle entre un minerai carbonaté pauvre et un minerai hématitique riche souvent seul exploitable. A l'Ouenza, cette altération a toujours été considérée comme un processus supergène contrôlé par le niveau de la nappe phréatique (Madre, 1969; Bouzenoune et al., 1998). Récemment, Salmi-Laouar (2004) a attribué, sur la base de données des isotopes stables de l'oxygène de quartz associé au minerai ferrifère oxydé, une origine hydrothermale au processus d'oxydation. La description imprécise de ces quartz ne permet pas de discuter ces résultats mais nous pensons que cet événement hydrothermal est plutôt lié à la mise en place des minéralisations carbonatées ferrifères ou polymétalliques. Les deux minéralisations contiennent des quartz bipyramidés.

Comme nous l'avons vu, la sidérite et l'ankérite sont les constituants principaux des minéralisations carbonatées ferrifères, elles sont également présentes, en moindre quantité, dans les minéralisations polymétalliques (fig. 4-e, f, g, h). L'altération a oxydé les carbonates du minerai primaire ferrifère au dessus du niveau piézométrique alors qu'elle n'a pas affecté les carbonates de fer associés aux minéralisations polymétalliques que nous avons examinées. Le processus d'oxydation serait-il antérieur à la mise en place des minéralisations polymétalliques ? La présence de "cuivre gris" dans les fissures affectant un minerai ferrifère oxydé (fig.4-b) et la présence d'inclusions de minerai ferrifère oxydé dans des quartz associés aux minéralisations polymétalliques (fig.4-d), laisse à penser qu'une partie de l'oxydation pourrait être ancienne et même antérieure à la mise en place de ces quartz à inclusions d'hématite.

À l'échelle de la province (Ouenza, Boukhadra, Djerissa, Slata) les sidérites et ankérites apparaissent dans les parties basses et passent, au dessus du niveau piézométrique, à des oxydes et hydroxydes de fer. Le processus d'oxydation contrôlé par cette limite naturelle est récent, quaternaire ou actuel.

Les oxydes et hydroxydes de fer de l'Ouenza seraient le résultat d'un processus d'altération polyphasé. Une partie est probablement issue de l'oxydation des carbonates de fer associés aux minéralisations polymétalliques avant la cristallisation des quartz à inclusions d'hématite. La conservation du "cuivre gris" dans des fissures affectant du minerai ferrifère oxydé serait dû à la plus grande stabilité thermodynamique des sulfures et sulfosels dans les conditions d'oxydation modérées qui ont affecté les sidérites. Le plus gros tonnage du minerai oxydé est le résultat d'un processus d'oxydation, relativement plus récent, des carbonates de fer situés sous le niveau hydrostatique.

IV- CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS

IV.1 - Les minéralisations ferrifères

L'homogénéité des compositions chimiques de l'ensemble des sidérites et de toutes les ankérites a permis de conclure à une mise en place des carbonates de fer du minerai primaire à partir d'un même fluide et pendant une période limitée (Bouzenoune, 1993). Les isotopes stables de l'oxygène et du carbone des carbonates de fer et de l'encaissant calcaire ont permis de déterminer la température de précipitation qui serait de 100-120 °C et la composition isotopique de l'oxygène du fluide minéralisateur $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluide}} = +6\%$. Ces valeurs seraient celles d'eaux de formation dont la percolation au sein de l'encaissant induirait une évolution des compositions isotopiques en s'éloignant des corps minéralisés (Bouzenoune et Lécolle, 1997). Les compositions isotopiques du carbone des carbonates de fer indiquent une origine minérale du carbone qui serait issu de la réutilisation du carbone des calcaires encaissant ces minéralisations.

IV.2 - Les minéralisations polymétalliques

IV.2.1 - Les inclusions fluides

Toutes les démarches de caractérisation des fluides associés aux minéralisations polymétalliques s'accordent sur leur nature salée et sur leurs températures variables et relativement élevées. Les quartz associés à ces minéralisations (fig.4-d) montrent des inclusions fluides multiphasées constituées d'un fluide, d'une bulle de vapeur, d'un cube de halite et des inclusions solides indéterminées (fig.6). Les mesures microthermométriques donnent des températures eutectiques comprises entre -33 et -55 °C suggérant la présence de fluides complexes contenant des cations tels que le Ca et le Mg. Les températures de fusion de la glace obtenues correspondent à des salinités comprises entre 18 et 22 % équ. poids NaCl. Les températures de dissolution du cube de la halite sont comprises entre 150 et 163 °C et les températures d'homogénéi-

sation varient entre 150 et 180 °C (Bouzenoune, 1993). La même gamme de températures d'homogénéisation, entre 160 et 200 °C, a d'ailleurs été obtenue sur les indices fluides contenues dans ces quartz (Pohl *et al.*, 1986)

Les fluorites et barytines de l'Ouenza renferment des inclusions fluides ayant une même gamme de salinité mais des températures d'homogénéisation légèrement inférieures à celles des inclusions fluides contenues dans le quartz. Les inclusions fluides des autres massifs de la région (Boujabeur, Hameimat) ont des salinités du même ordre de grandeur (fig.6). Leurs températures d'homogénéisation sont plus basses que celles de l'Ouenza (Paraire-Akrou, 1991).

IV.2.2 - Les isotopes stables de l'oxygène et du carbone

Tous les carbonates (calcaires encaissants ou calcites de gangue) associés aux minéralisations polymétalliques présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ indiquant une origine minérale du carbone (fig.7). Ils se distinguent nettement des calcites des cap-rocks qui sont caractérisées par des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ négatives indiquant une contribution de carbone organique.

Le léger enrichissement en isotope lourd du carbone que montrent certains échantillons est probablement dû à l'effet de la température des fluides minéralisateurs. Cette modification des teneurs en isotopes lourds du carbone en rapport avec les processus minéralisateurs a d'ailleurs été clairement mise en évidence dans le processus de transformation des calcaires de l'Ouenza en carbonates de fer (Bouzenoune, 1993; Bouzenoune et Lécolle, 1997). Les carbonates ayant une relation directe avec les minéralisations sont légèrement enrichis en isotopes lourds du carbone.

Les fluides ayant minéralisé le massif de l'Ouenza et induit des recristallisations dans l'encaissant calcaire n'auraient pas apporté de

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)

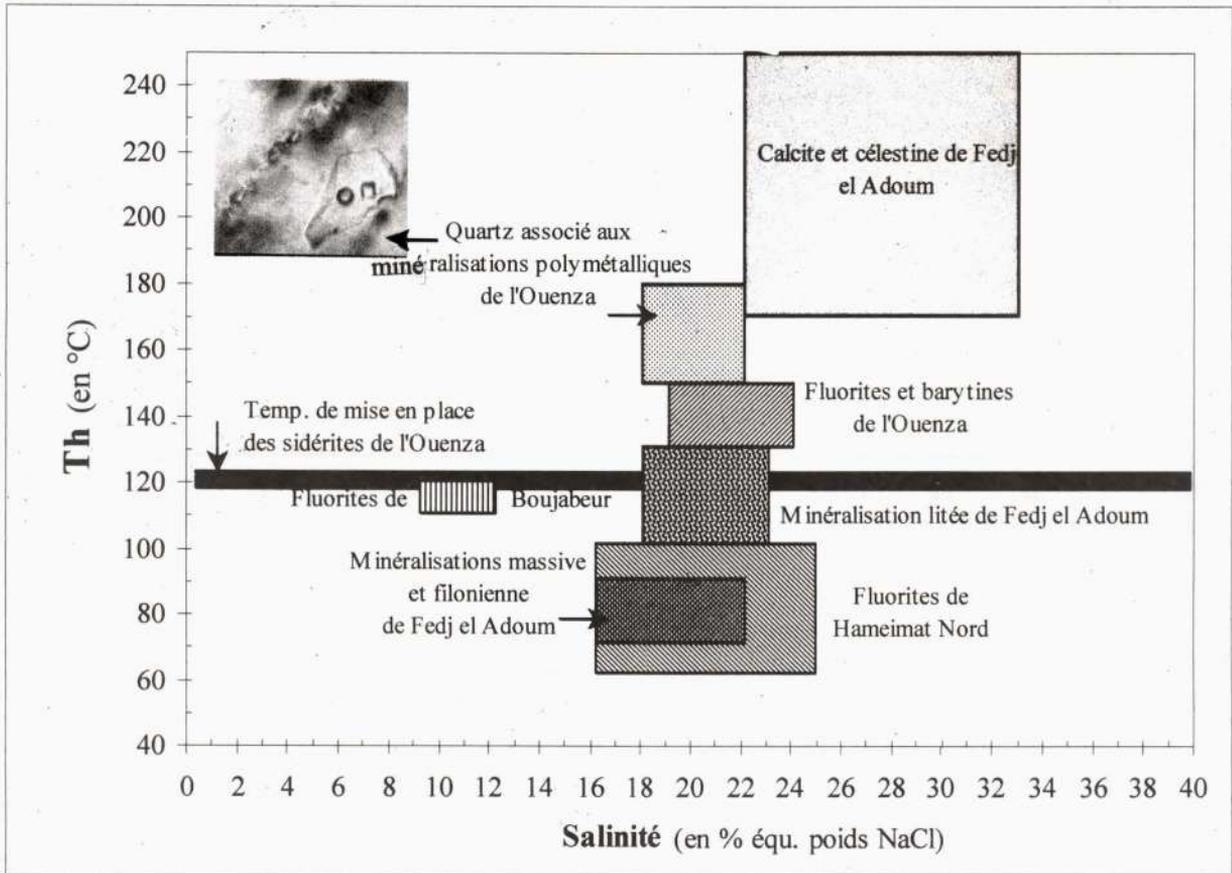


Fig. 6 - Températures d'homogénéisation et salinités des inclusions fluides associées aux minéralisations périadiapiriques de la frontière algéro-tunisienne. Les données sur les fluorites de l'Ouenza, Boujabeur et Hameimat sont d'après Paraire-Akrour (1991), celles de Fedj el Adoum effectuées sur les calcites, quartz et sphalérite sont d'après Charef (1986). La température de mise en place des sidérites de l'Ouenza a été calculée à partir des données isotopiques, les carbonates analysés sont les ankerites, les sidérites et l'encaissant calcaire.

Homogenisation temperatures and salinities of the fluid inclusions associated with peridiapiric mineralization of the Algerian-Tunisian border. The data on the fluorites of Ouenza, Boujabeur and Hameimat are according to Paraire-Akrour (1991), those of Fedj el Adoum carried out on calcites, quartz and sphalerite are according to A. Charef (1986). The precipitation temperature of Ouenza siderites was calculated from the isotopic data, the analyzed carbonates are the ankerites, siderites and limestone.

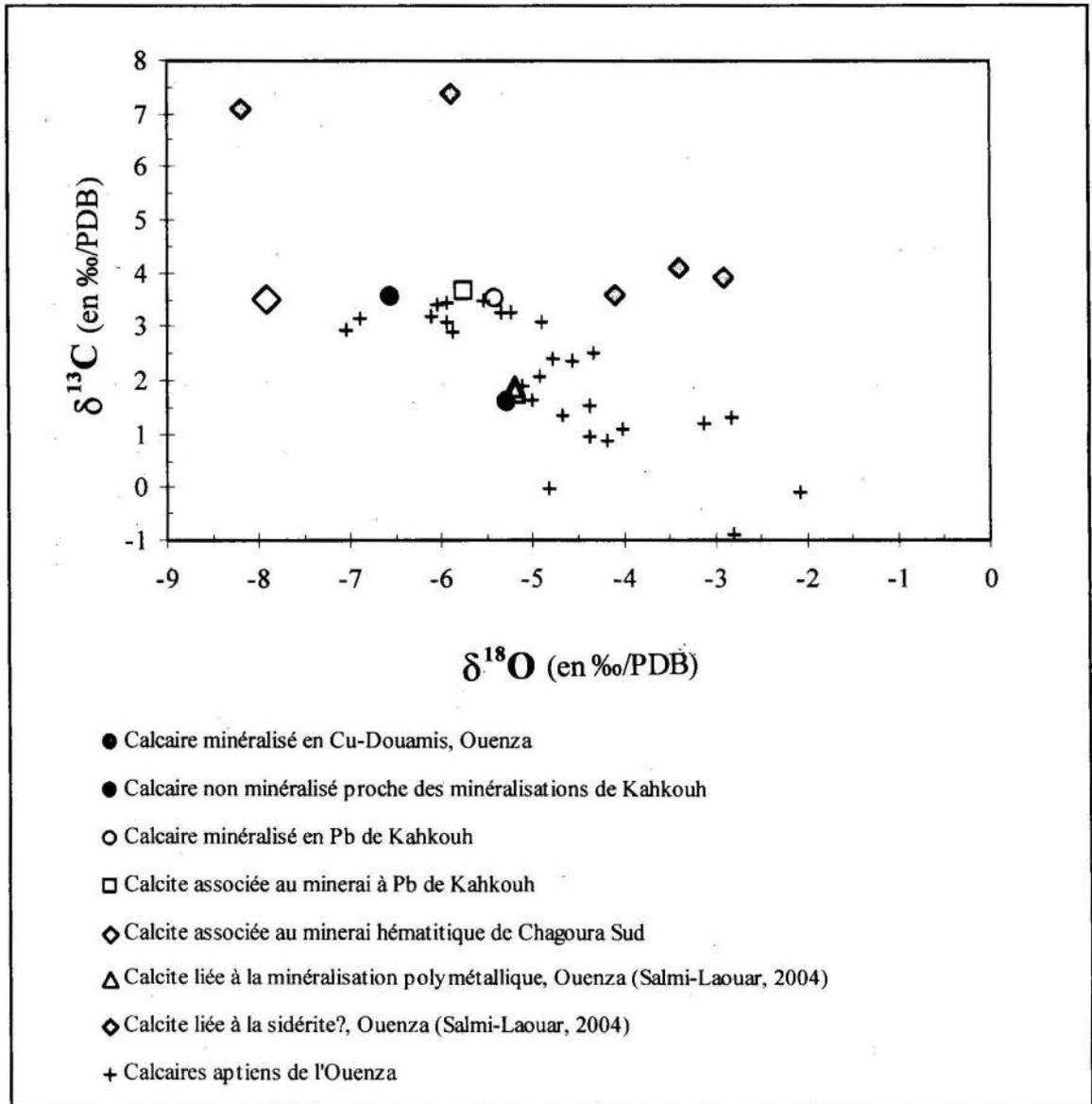


Fig. 7 - Compositions isotopiques de l'oxygène et du carbone des calcites associées aux minéralisations ferrifères et polymétalliques et des calcaires encaissants du massif de l'Ouenza. A part quelques échantillons de calcaire à polypiers non minéralisés, l'ensemble des carbonates présentent des compositions isotopiques de l'oxygène et du carbone légèrement différentes de celles des carbonates marins.

(Isotopic compositions of the oxygen and the carbon of calcites associated with iron and "polymetallic" mineralization and of limestones of Ouenza deposit. Besides some non mineralized limestone samples, the whole of carbonates present isotopic compositions of oxygen and carbon slightly different from those of marine carbonates).

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)

carbone. L'essentiel du carbone des calcaires a été réutilisé.

Les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates associés aux minéralisations polymétalliques de l'Ouenza sont relativement plus négatives que celles des carbonates d'origine marine. Cette différence pourrait être due soit à une élévation de la température soit à une intervention significative d'eaux appauvries en isotopes lourds de l'oxygène ou bien les deux.

La calcite spathique, minéral de gangue, associée à la minéralisation polymétallique à dominance de Pb de Koudiat el Kahkouh présente les mêmes caractéristiques isotopiques que les calcaires encaissant ces minéralisations (fig.7). Cette similitude dans les compositions isotopiques, qui sont relativement appauvries en isotopes lourds de l'oxygène par rapport aux calcaires marins, pourrait être due au même fluide minéralisateur qui a déposé les minéraux de gangue et des minéralisations et a induit des recristallisations dans l'encaissant. La coexistence de ces deux calcites pourrait être utilisée pour déterminer la nature des fluides minéralisateurs en utilisant les températures obtenues par l'étude des inclusions fluides (fig.8). Les compositions isotopiques de l'oxygène des fluides impliqués obtenues sont comprises entre +6,5 et +9 ‰/SMOW. Ces fluides, relativement plus enrichis en O^{18} que ceux impliqués dans la formation des minéralisations ferrifères ($\delta^{18}\text{O}_{\text{fluide}} \approx +6$ ‰/SMOW) sont rares. Ils ne peuvent s'expliquer que par des eaux de formation expulsées du bassin, ayant été soumises à de fortes évaporations en relation avec des températures relativement élevées ($T > 150$ °C) et à des échanges isotopiques avec l'encaissant à dominance carbonaté.

Les calcaires du massif de l'Ouenza sont d'ailleurs très enrichis en O^{18} ($\delta^{18}\text{O}_{\text{calcaires}} \approx +25$ ‰/SMOW), ils pourraient donc avoir contribué, par des interactions eau-roche, à enrichir les

fluides en isotopes lourds. Des fluides aussi enrichis en O^{18} ont été récemment suggérés pour les minéralisations des gisements de Fedj el Adoum et de Bougrine (Charef, 1986; Sheppard et Charef 1991).

IV.2.3 - Les isotopes stables du soufre

Les vastes extrusions des évaporites triasiques essentiellement sulfatées en surface et halitiques en profondeur, ont longtemps été considérées comme la source la plus probable du soufre des minéralisations sulfurées et sulfatées. Les données isotopiques du soufre du gypse, de la barytine et des sulfures de la région de Tebessa ont confirmé cette hypothèse (Salmi-Laouar et al., 2004; Salmi-Laouar, 2004).

Les compositions isotopiques du soufre du gypse du Trias des massifs de l'Ouenza, Mesloula, Boujaber, Hameimat Nord ($\delta^{34}\text{S} = +13,4$ à $+14,9$ ‰/CDT) reflètent effectivement les valeurs des $\delta^{34}\text{S}$ des eaux de la mer triasique. Sur la base de ces données isotopiques, ces auteurs concluent à l'absence de toute interaction des sulfates triasiques avec la mer crétacée. Nous pensons que ces résultats ne peuvent être utilisés comme argument pour infirmer la reprise des évaporites du Trias, sous forme de remaniements ou de "glacier de sel", dans la sédimentation crétacée. Les observations de terrain montrent que les éléments du Trias ont été remaniés à l'Ouenza dans la sédimentation aptienne et albienne (Thibiéroz et Madre, 1976; Bouzenoune, 1993; Vila, 1995).

IV.3 - Les minéralisations à célestine

Les célestines de l'Ouenza contiennent entre 0 et 6,26 % de BaO (Bouzenoune, 1993; Bouzenoune et al., 1995). Cependant, les plages de célestine sont hétérogènes et montrent des zones plus denses, plus enrichies en Ba (fig.5-d).

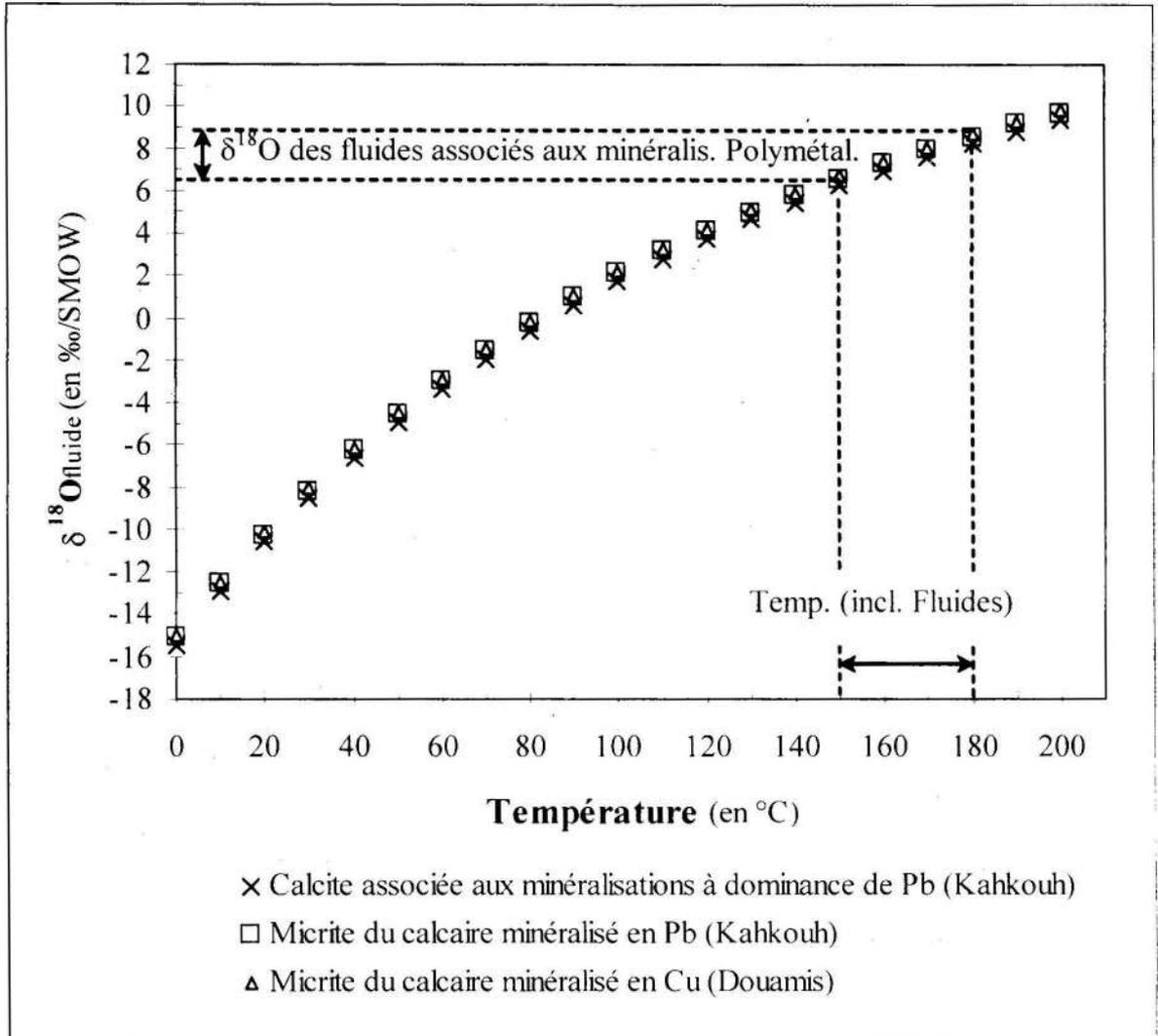


Fig.8- Courbes du fractionnement isotopique calculé des calcites du massif de l'Ouenza sur le diagramme T (en °C) en fonction de $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluide}}$ (en ‰/SMOW). L'équation du fractionnement isotopique de la paire calcite-eau (Friedman et O'Neil, 1977) est : $1000 \ln \alpha = 2,78 \cdot 10^6 T^{-2} - 2,89$; où α est le facteur de fractionnement de l'oxygène entre la calcite et l'eau, et T la température en °K. Les $\delta^{18}\text{O}$ de la calcite spathique et de la micrite associées au Pb du Kahkough et de la micrite minéralisée en Cu du Douamis sont respectivement +24,93, +25,27 et +25,41 ‰/SMOW.

Calculated isotopic fractionation curves of the Ouenza calcites on the T (°C) versus $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluide}}$ (SMOW) of fluid diagram. The isotopic fractionation equation of calcite-water (Friedman and O'Neil, 1977) is: $1000 \ln \alpha = 2,78 \cdot 10^6 T^{-2} - 2,89$; where α is the oxygen fractionation factor between sparry calcite and water, and T the temperature in degrees Kelvin. The $\delta^{18}\text{O}$ of calcite and micrite associated with Pb mineralization of Kahkough and the Cu mineralized micrite of Douamis are respectively +24,93, +25,27 and +25,41 ‰/SMOW. The vertical dashed lines delimit the range of temperature obtained from fluid inclusion study.

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)

Les reliques d'anhydrite subsistant dans les plages de célestine (fig.5-c) et la richesse des anhydrites de l'Ouenza en Sr (jusqu'à 8000 ppm) pourraient permettre d'établir une connexion entre les deux sulfates. Les anhydrites des formations évaporitiques ont également été considérées comme une source possible du Sr des célestines de Sakiet Sidi Youcef (Hatira, 1988) et de Berrouaghia (Aoudjehane, 1989). Cependant, la source triasique du Sr est insuffisante pour rendre compte de la teneur en Sr des célestines qui peuvent former des gisements exploitables (Berrouaghia, Béni Mansour). Il faut donc envisager un apport de Sr par des fluides issus du bassin.

CONCLUSION

Le massif d'Ouenza montre trois principaux types de minéralisation. Une minéralisation ferrifère sous forme de carbonates de fer, partiellement oxydés en hématite, issue du remplacement des calcaires albo-aptiens, des concentrations en Pb, Zn, Cu, Ba, F principalement dans des fractures orientées NE-SW et des occurrences de Sr dans des brèches au contact du Trias avec sa couverture sédimentaire.

Les observations de terrain et les études pétrographiques et minéralogiques ainsi que les données des inclusions fluides et des isotopes stables (O et C) montrent que le massif de l'Ouenza a connu une histoire métallogénique polyphasée marquée par un événement métallogénique ferrifère majeur qui s'est produit après la lithification des calcaires aptiens. Il y a cependant indétermination sur la limite supérieure d'âge que l'on peut attribuer aux minéralisations, car il n'est pas démontré que le renversement de la série sédimentaire avant l'Albien supérieur a également intéressé les corps stratiformes de carbonates de fer. Quoiqu'il en soit, la mise en place des minéralisations ferrifères est suivie par un nouvel épisode métallogénique polyphasé néogène à "Pb, Zn, Cu, Ba, F". En l'absence des

observations de recoupement, l'âge des minéralisations à célestine de l'Ouenza ne peut être établi avec certitude. Par analogie avec le massif de Hameima, elles seraient antérieures aux minéralisations polymétalliques. Elles pourraient également être antérieures aux minéralisations ferrifères puisque la célestine remplace généralement une anhydrite secondaire recristallisée, formée à la suite des transformations minéralogiques affectant le piston halitique et le "cap-rock" triasiques. Les produits de ces transformations sont remaniés dans l'Aptien et l'Albien. Ces événements résulteraient de l'expulsion de fluides géopressurés à partir des séries sédimentaires des bassins interdiapiriques pendant les principales phases de diapirisme et pendant la tectonique compressive néogène.

BIBLIOGRAPHIE

- AKROUR, H., AOU DJEHANE, M., OTMANINE, A., THIBIÉROZ, J. ET TOUAHRI, B., 1991. Gîtes et indices à fluorite d'Algérie du Nord. Inventaire et réflexion. *Bulletin Office, National Géologie, Alger*, vol. 2, p. 11 - 28.
- AOU DJEHANE, M., 1989. Les concentrations à Ba, Sr, Zn, Pb dans le Trias, Crétacé et le Miocène de la région de Berrouaghia (Biban, Algérie) : diapir, "cap-rock" et minéralisation dans le sillon tellien subsident. *Thèse de Doct. (Métallogénie), Uni. Pierre et Marie Curie (Paris VI), France*, 267 p.
- AOU DJEHANE, M., BOUZENOUNE, A., ROUVIER, H. ET THIBIÉROZ, J., 1992. Halocinèse et dispositifs d'extrusion du Trias dans l'Atlas saharien oriental (NE Algérien). *Géologie Méditerranéenne, Marseille*, t. XIX, 4, 273-287.
- BOUZENOUNE, A., 1993. Minéralisations péri-diapiriques de l'Aptien calcaire : les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie orientale). *Thèse de Doct. (Métallogénie), Uni. Pierre et Marie Curie (Paris VI), France*, 206 p.
- BOUZENOUNE, A., ROUVIER, H. ET THIBIÉROZ, J., 1995. Trias de l'Ouenza : contexte diapirique, zonation minéralogique et conséquences métallogéniques. *Bul. Ser. Géol. Algérie*, vol. 6, n°1, pp. 3-24.

- BOUZENOUNE, A. AND LECOLLE, P., 1997.** Petrographic and geochemical arguments for hydrothermal formation of the Ouenza siderite deposit (NE Algeria). *Mineralium Deposita*, vol. 32, pp. 189-196.
- BOUZENOUNE, A., ROUVIER, H. ET THIBIEROZ, J., 1998.** Le gisement de fer de l'Ouenza (Nord-Est algérien) : relation entre le minerai carbonaté et le minerai oxydé. *Bulletin Service Géologique Algérie*, vol. 9, n°2, pp. 185-199.
- CHAREF, A., 1986.** La nature et le rôle des phases fluides associées à la minéralisation Pb-Zn dans les formations carbonatées et leurs conséquences métallogéniques : étude des inclusions fluides et des isotopes (H, C, O, S, Pb) des gisements des Malines (France), Jbel Hallouf-Sidi Bou Aouane et Fedj-el-Adoum (Tunisie). *Thèse d'état, INPL-CRPG, Nancy, France*, 291 p.
- DUBORDIEU, G., 1956.** Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins algéro-tunisiens). *Publication Service Carte Géologique Algérie, Nouvelle Série, Bulletin n10*, 659 p.
- FRIEDMAN, I. AND O'NEIL, J.R., 1977.** Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. In : M. Fleisher (Editor). *Data of geochemistry, 6th edition, United States Geological Survey professional paper 440KK*.
- HATIRA, N., 1988.** Les concentrations de Zn, Pb, Sr, (Ba), dans le cortex des diapirs de Trias salifère ; exemple du diapir de Sakiyet-Koucha (Tunisie septentrionale). Comparaison avec d'autres massifs tunisiens et avec les cap-rocks de la Gulf Coast (U.S.A). *Thèse de Doctorat (Métallogénie), Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), France*, 212 p.
- MADRE, M., 1969.** Contribution à l'étude géologique et métallogénique du Djebel Ouenza (Est Algérie). *Thèse Doctorat, 3ème cycle, Faculté des Sciences, Université de Paris*, 78 p.
- MAKSIK et al., 1988.** Rapport final de prospection et évaluation du fer dans la région Ouenza-Boukhadra. *E.R.E.M. Algérie (Rapport inédit)*.
- OTMANINE, A., 1987.** Les minéralisations en Fluorine. Barytine, Pb-Zn et Fe sidéritique autour du fossé de Tebessa-Morsott (Algérie). Relation entre paléogéographie aptienne, diapirisme, structure et métallogénie. *Thèse Doctorat 3ème cycle, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), France*, 221 p.
- PARAIRE-AKROUR, H., 1991.** Fluid inclusion of the F-Ba-Pb late paragenesis of borders of the Ouenza, Mesloulia, Hameimat et Dahra diapirs (NE Algeria). In : Pagel and Leroy (Editors). *Source, transport and deposition of metals, Balkema*, pp. 219-222.
- PERTHUISOT, V., ROUVIER, H. ET SMATI, A., 1988.** Style et importance des déformations antévraconiennes dans le Maghreb Oriental : exemple du diapir du Jebel Slata (Tunisie centrale). *Bulletin Société Géologique France*, (6), IV, 3, pp. 391-398.
- PERTHUISOT, V., AOUDJEHANE, M., BOUZENOUNE, A., HATIRA, N., LAATAR, E., MANSOURI, A., ROUVIER, H., SMATI, A. ET THIBIEROZ, J., 1998.** Les corps triasiques des monts du Mellègue (confins algéro-tunisiens) sont-ils des diapirs ou des "glaciers de sel"? *Bulletin Société Géologique France*, 169, 1, pp.53-61.
- POHL, W., AMOURI, M., KOLLI, O., SCHEFFER, R. ET ZACHMANN, D., 1986.** A new genetic model for the North african metasomatic siderite deposits. *Mineralium deposita*, volume 21, pp. 233-288.
- ROUVIER, H., PERTHUISOT, V. AND MANSOURI, A., 1985.** Pb-Zn deposits and salt-bearing diapirs in southern Europe and North Africa. *Economic Geology, Lancaster*, 80, 3, pp. 666-687.
- ROUVIER, H., HENRY, B., LE GOFF, M., HATIRA, N., LAATAR, E., MANSOURI, A., PERTHUISOT, V. ET SMATI, A., 1998.** Preuves paléomagnétiques de la non interstratification des évaporites du Trias dans l'Albien du Maghreb oriental. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 326, IIA, 363-368.

CHRONOLOGIE RELATIVE ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MINÉRALISATIONS
DU MASSIF DE L'OUENZA (ALGÉRIE N-E)

- SALMI-LAOUAR S., 2004.** Contribution à l'étude géologique et géochimie des isotopes stables (S, O, C) des minéralisations polymétalliques (Zn-Pb-F-Ba-Fe-Hg) de la "zone des diapirs" du Nord de Tebessa (NE algérien). *Thèse de Doctorat, Université de Annaba-Algérie, 181 p.*
- SALMI-LAOUAR, S., LAOUAR, R., BOYCE, A.J., ZERDAZI, A. ET ARROUCHE, Y., 2004.** Rapports isotopiques du soufre, de l'oxygène et du carbone dans le massif de Boujaber, NE algérien : origine des minéralisations à Pb-Zn-Ba et source des fluides. *Bulletin Service Géologique Algérie, vol.15, n°1, pp. 3-25.*
- SHEPPARD, S.M.F., CHAREF, A. AND BOUHLEL, S., 1996.** Diapirs and Zn-Pb mineralization : A general model based on Tunisia (N. Africa) and Gulf Coast (U.S.A.) deposits. *Society of Geol. Special Publication, n°4, pp. 230-243.*
- SMATI, A., 1986.** Les gisements de Pb, Ba et Fe du Jebel Slata (Tunisie du Centre-Nord) : Minéralisations épigénétiques dans le Crétacé néritique de la bordure d'un diapir de Trias, Gisements de Sidi Amor ben Salem et de Slata fer. *Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), France, 250 p.*
- THIBIÉROZ J. ET MADRE M., 1976.** Le gisement de sidérite de Dj. Ouenza est contrôlé par un golfe de la mer aptienne. *Bulletin Société Histoire Naturelle Afrique du Nord, Alger, 67, 3-4, 125-150.*
- VILA, J.M., 1994.** Mise au point et données nouvelles sur les terrains triasiques des confins algéro-tunisiens : Trias allochtone, "glaciers de sel" sous-marins et vrais diapirs. *Mémoires Service Géologique Algérie, n°6, pp. 105-153.*
- VILA, J.M., 1995.** Première étude de surface d'un grand "glacier de sel" sous-marin : l'est de la structure Ouenza-Ladjebel-Méridéf (confins algéro-tunisiens). Proposition d'un scénario de mise en place et comparaisons. *Bulletin Société Géologique France, 166, 2, pp.149-167.*
- VILA, J.M., 1996.** Halocinèse distensive albienne à "glacier de sel" sous-marin et plissements tertiaires du secteur Ouenza-Ladjebel-Méridéf. *Bulletin Service Géologique Algérie, vol.7, n°1, pp. 3-34.*
- VILA, J.-M., BEN YOUSSEF, M., BOUHLEL, S., GHANMI, M., KASSAA, S. ET MIAADI, F., 1998.** Tectonique en radeaux au toit d'un «Glacier de sel» sous-marin albien de Tunisie du Nord-Ouest: exemple du secteur minier de Gueurn Halfaya. *C. R. Acad. Sci., Paris, 327, IIa, 563.*