

Le gisement de célestine du Trias extrusif de Béni - Mansour (Béjaïa, Algérie): traces, cathodoluminescence et inclusions fluides dans les carbonates et sulfates

Saliha MOULLA* et Jacques THIBIEROZ*

* Laboratoire de Géologie Appliquée,
case 123, UPMC (Paris VI), 4 place Jussieu, 75252 Paris cédex 05, France.

Résumé: Le Trias extrusif de Béni-Mansour, situé dans la chaîne bibanique, encaisse une importante minéralisation en célestine. Cette minéralisation apparaît au sein d'une lame triasique N80°E, enracinée dans les formations albo-cénomaniennes, le long de la structure tectonique de l'oued Tigrine. Le mode d'apparition de ce Trias évoque une mise en place intrusive selon des fractures préexistantes. Il est constitué de brèches monogéniques et polygéniques, caractérisées par un cortège de minéraux authigènes, une minéralisation en célestine et plusieurs générations de calcites.

- L'histoire polyphasée des matériaux triasiques correspond à quatre stades successifs :
- une phase *d'authigénèse* lors d'un stade *d'enfouissement*;
 - une *bréchification* accompagnant un *déplacement* des masses triasiques;
 - une *minéralisation de célestine* par *remplacement* du ciment des brèches (dissolution-cristallisation);
 - l'*éjection* de la *lame triasique minéralisée*.

Les analyses pétrographique et chimique des carbonates montrent une hétérogénéité et une diversité des calcites, qui seraient dues aux variations du régime hydrodynamique et à la nature des solutions. Celle des sulfates confirme l'existence de différentes générations de célestine dont la dernière est enrichie en Ba. Les fortes teneurs en Hg et Pb, indépendantes des faciès et de la chronologie des célestines, indiquent que ces éléments sont apportés avec le Sr et confirment le caractère polyphasé et actif de la province nord-africaine.

La *cathodoluminescence* montre que les éléments activateurs et inhibiteurs (Mn, Fe) ne sont pas suffisants pour rendre compte des luminescences observées: d'autres éléments-traces ainsi que la valence de certains éléments peuvent intervenir.

L'étude des *inclusions fluides* conduit à envisager un apport de Sr par des solutions provenant de zones extérieures au diapir: eaux de formation du Crétacé ou eaux météoriques.

Mots clés: Lame triasique - Brèches triasiques - Célestine - Diapirisme - Carbonates - Sulfates - Inclusions fluides - Eléments traces.

Celestite deposit of the extrusive trias of Beni-Mansour (Béjaïa, Algeria): traces elements, cathodoluminescence and fluid inclusions in carbonates and sulfates

Abstract: The triassic complex of Beni-Mansour located in the Biban Range, hosts an important mineralization of celestite. This mineralization occurs within an elongated triassic structure trending N80°E, deep-seated in Albian and Cenomanian formations. It appears along the tectonic structure of Oued

Tigrine. Halokineses have to be controlled by preexistent faults. This Trias consists of monogenic and polygenic breccias, cemented by celestite and characterized by various authigenic minerals and several calcites.

The polyphasic history of triassic rocks includes four successive stages:

- an *authigenic phase* during the subsidence;
- *brecciation* accompanying the displacement of the triassic masses (halokinesis);
- *deposition of celestite* through replacement of the anhydrite cement of breccias (dissolution-crystallization);
- *ejection* of the mineralized triassic structure.

Petrographic and chemical analyses of carbonates show the heterogeneity and the diversity of calcites, probably due to the variations in hydrodynamic regime and in the nature of the solutions. As concerns the sulfates, the same analyses confirm the polyphasic character of celestite as well as the intervention of new fluids enriched in Ba.

The high contents of Hg and Pb are independent of the facies and of the various generations of celestite, indicating that these elements have been carried together with Sr and confirming the polyphasic and active character of the north african province. The cathodoluminescence determination indicate that the activators and quenchers elements (Fe, Mn) are not sufficient to influence the luminescence of carbonates which instead may be due to other trace elements and to particular states of valency within minerals. The fluid inclusions study pointed out that Sr was brought in the system by solutions coming from formation waters of Cretaceous or from meteoric waters.

Key words: Triassic structure - Triassic breccia - Diapirism - Celestite - Carbonates - Sulfates - Fluid inclusions - Trace elements.

INTRODUCTION

Le gisement de célestine de Béni-Mansour a été découvert en 1968; il a fait l'objet d'une exploitation sporadique de 1971 à 1986. Il s'agit d'un important gisement avec des teneurs en SrSO_4 comprises entre 20 et 85 % (E.R.E.M., 1986).

Il est situé à 130 Km à l'ESE d'Alger et fait partie de la chaîne bibanique, qui se développe sur plus de 100 km de longueur par une succession en relais d'anticlinaux, de Berrouaghia aux environs de Sétif (fig. 1). Cette chaîne s'intercale entre les unités allochtones mi-telliennes au Nord et les unités sud telliennes (autochtone relatif de l'Ouarsenis) (Wildi, 1983).

Ce gisement, porté par une lame de brèches triasiques, se rattache aux minéralisations

associées au Trias diapirique des marges de la Téthys (Condorcet, France: Edon, 1993; Berrouaghia, Algérie: Aoudjehane, 1989; Sakiet Sidi Youssef, Tunisie: Hatira, 1988). Cette étude s'appuie sur la géochimie des phases minérales du gisement pour reconstituer son histoire. L'objectif est de caractériser les fluides intervenus depuis la diagenèse profonde jusqu'aux dernières phases de remobilisation qui, dans un contexte diapirique, ont conduit à une accumulation de célestine.

I - LES METHODES ANALYTIQUES

A) L'analyse ponctuelle des sulfates et des carbonates a été réalisée à la microsonde CAMEBAX (Laboratoire de Pétrologie, Paris VI).

LE GISEMENT DE CELESTINE DU TRIAS EXTRUSIF DE BENI-MANSOUR (BEJAIA, ALGERIE)

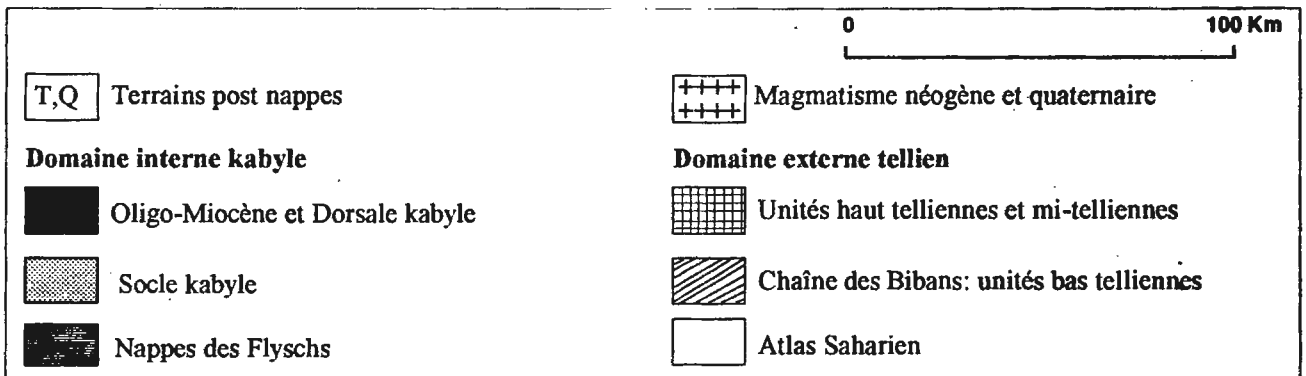
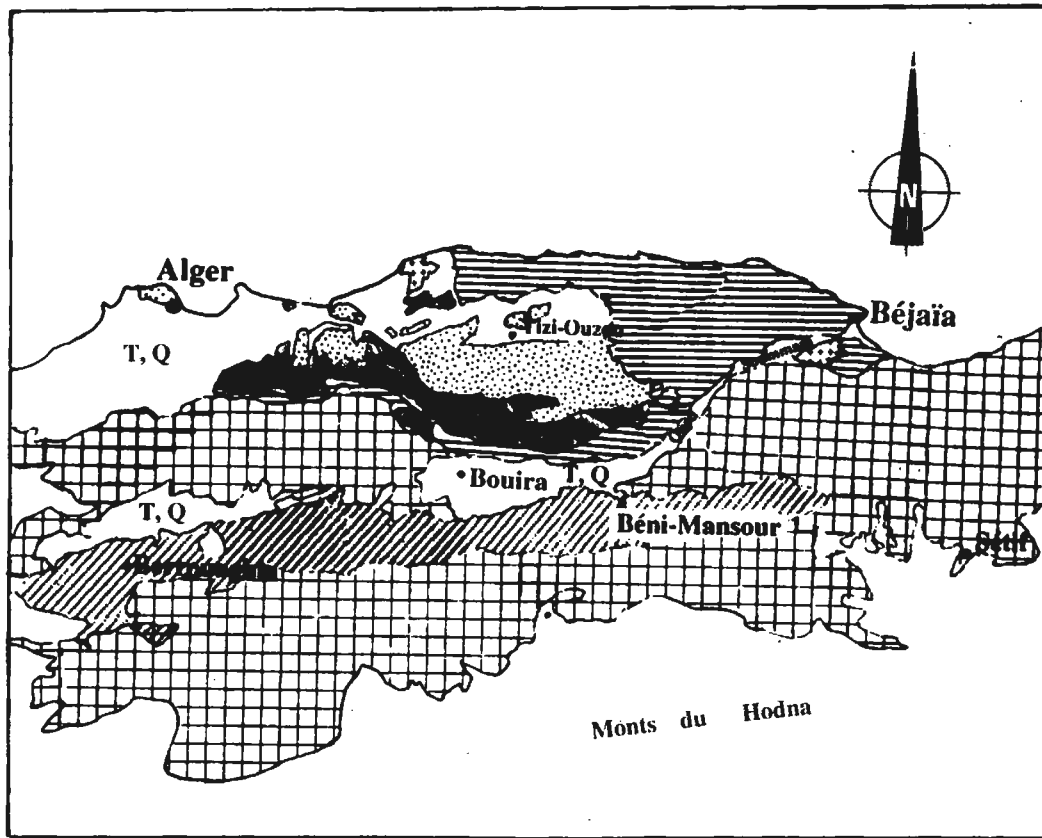


Fig. 1 - Localisation du gisement de Beni-Mansour dans la région tellienne (Wildi, 1983, simplifiée)
 Location of Beni-Mansour district in the Tell (Wildi, 1983, simplified)

Les analyses ont été effectuées avec un voltage de 15 kV, un temps de comptage de 10 s et un courant de 10 nA.

B) La cathodoluminescence (CL) est une technique non destructrice appliquée ici essentiellement aux carbonates, pour préciser la

nature et la chronologie des phases minérales. Le principe de cette technique repose sur l'excitation par un faisceau électronique des centres de recombinaisons des cristaux naturels (Amieux, 1981). Certains éléments chimiques se comportent comme des centres «luminogènes», ils sont dits

activateurs, d'autres empêchent la luminescence, ils sont inhibiteurs.

Les analyses ont été effectuées sur un appareillage à cathode froide de type Technosyn Mark II (Laboratoire de Stratigraphie, Paris VI). On a utilisé un voltage de 15 kV et une intensité de courant de 450 μ A.

C) L'étude des inclusions fluides consiste à mesurer les températures de changement de phases lors du refroidissement ou du chauffage des préparations. Ces inclusions sont des témoins directs des fluides qui ont circulé dans la roche; elles permettent d'accéder facilement aux salinités des solutions et aux températures de formation des minéraux étudiés.

Les mesures ont été faites à l'aide d'une platine chauffante - réfrigérante microthermométrieque: CHAIX-MECA (C.RE.GU., Nancy) et LINKAM (Paris VI) sur des inclusions généralement biphases primaires et secondaires, dont la taille varie de 5 à 50 μ m. Seules les mesures de thermocongélation ont été prises en compte.

II- LES ENSEMBLES LITHOLOGIQUES

A) Les lames triasiques affleurent sur plusieurs centaines de mètres de longueur avec une largeur variant de 1 à 140 m (fig. 2a). Elles forment des bandes suivant la zone de fracture de l'oued Tigrine, considérée comme un lieu d'éjection d'un diapir (SONAREM., 1971; E.R.E.M., 1986). Elles sont affectées par des accidents tardifs N-S et NW-SE. La nature cahotique des terrains triasiques ne permet pas d'établir une succession lithologique précise.

La *lame principale* encaisse le gisement de célestine. La morphologie du corps est variable : sa partie ouest présente la plus forte puissance et

la plus grande teneur. Cette lame est en forme de croissant, avec une convexité sud. Elle a été découpée selon des profils de prospection par des tranchées et recoupée en profondeur par des sondages. C'est un corps en amas allongé, à pendage vers le Sud (SONAREM., 1971 et EREM., 1986) limité par deux accidents convergents en profondeur.

Dans leur ensemble, les lames triasiques sont constituées par des brèches minéralisées litées, rubanées, monogéniques et polygéniques à dolomies ocre, dolomies noires, pélites vertes et à minéraux authigènes baignant dans une matrice carbonato-sulfatée par des argilites à gypse et par des cargneules.

B- Les dolomies calcitisées du Jurassique apparaissent à l'ouest de la structure, en blocs atteignant 14 m, au sein du matériel triasique. Ils sont constitués de calcaires noirs, durs, se débitant en plaquettes, de dolomies calcitisées et de calcaires recristallisés, bitumineux, à fluorine, affectés par de nombreuses diaclases et fentes, remplies de calcite collomorphe et de célestine lamellaire tardive. Ils présentent parfois des structures cryptalgaires et stromatolitiques.

A l'Est, le bord nord de la structure est constitué par un ensemble attribué au Jurassique, soudé à la lame triasique principale (fig. 2a). Cet ensemble est formé à sa base par des passées argilo-calcaires et des calcarénites dolomitisées et au sommet par des dolomies massives d'aspect laminé rubané, calcitisées.

C- L'encaissant crétacé des lames triasiques est généralement caractérisé par des alternances attribuées à l'Albien et au Cénomani.

LE GISEMENT DE CELESTINE DU TRIAS EXTRUSIF DE BENI-MANSOUR (BEJAIA, ALGERIE)

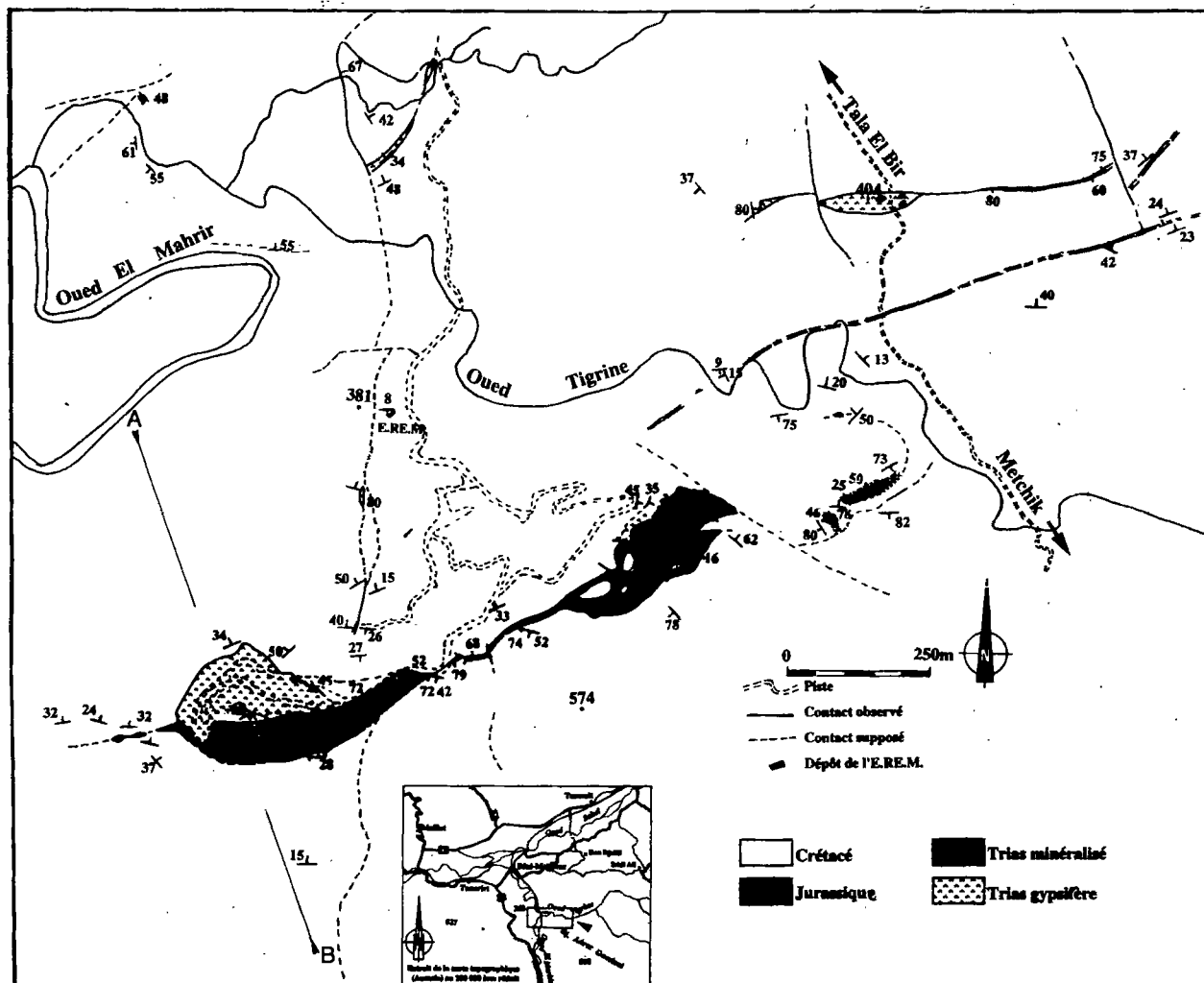


Fig. 2a - Esquisse géologique du gisement de célestine de Béni-Mansour
(Fond d'après photo INC, R471, n°138, agrandie)
Simplified geological sketch of Beni-Mansour deposit

- *L'Albien* marno-gréseux contient des niveaux de quartzites à passées microlitées, à figures de sédimentation ("slumps", failles synsédimentaires et galets mous) et interlits de marnes noires schistosées.

On y rencontre aussi des dalles calcaires gris-noir à vertes, des bancs de dolomies capucin, et

localement des brèches à grands lamellibranches et des bélemnites. Dans les termes marneux apparaissent en cordons des nodules à fentes de carbonates ferrugineux et de petits nodules separtariformes à pyrite.

- *Le Cénomanién* est marqué par des bancs métriques de marnes noires, verdâtres, très friables

à patine grisâtre se débitant en plaquettes. Elles sont affectées par des fentes d'extension, d'épaisseur centimétrique à décimétrique, à remplissage d'ankérite et de calcite blanche et rose. Des calcaires marneux noirs massifs, riches en pyrite et en bélemnites, et à empreintes d'ammonites, s'intercalent dans les marnes.

Au sommet, ces bancs calcaires s'épaississent et forment les faciès des lignes de crête. En certains endroits, en particulier sur la rive droite de l'oued Tigrine, au Nord du dépôt de l'E.RE.M. (fig. 2a), la limite avec l'Albien est caractérisée par des bancs rouillés à petits niveaux microlités, ondulés, où se distinguent en particulier un horizon de calcaires bleus à polypiers, des marnes grises et des calcaires microlités en plaquettes.

Au sein de la série cénomaniennne, une corniche décamétrique de calcaires microlités en plaquettes forme un replat au Sud de la structure principale (fig. 2b). Ce niveau a été retrouvé avec un décalage apparent d'environ 50 m (compartiment nord effondré) immédiatement au Nord de la zone où la structure s'enracine (extrémité Ouest).

III. STRUCTURE DE LA LAME TRIASIQUE PRINCIPALE

La zone de Béni-Mansour est marquée d'une part par une série de plis anticlinaux orientés E-W et déversés vers le Sud, dont le coeur est représenté par des terrains jurassiques (Belaoussov et Nebak, 1986-1987), d'autre part par la structure tectonique de l'oued Tigrine: zone de failles jalonnées de Trias, orientée E-W.

Le gisement de célestine apparaît au sein de la *lame triasique principale*, N80°E. Au Nord de cette lame, dans des séries albo-cénomaniennes à

faible pendage, *quatre autres lames triasiques* ont été observées. Ces lames sont enracinées, à fort pendage, à très faible épaisseur (qui évoque une morphologie filonienne): elles peuvent englober des blocs de célestine. Elles apparaissent (fig. 2a):

- au Nord de la structure principale, recoupant l'affluent de l'oued Tigrine, selon une direction N30°E;

- de part et d'autre de la piste allant de Tala El Bir vers Metchik, à la hauteur de la butte 404, et traversant la vallée de l'oued Tigrine;

- le long d'un accident NS passant à l'Est du point côté 381;

- et enfin sur la rive droite de l'oued Tigrine, immédiatement à l'Est de cet accident NS.

La lame triasique principale est enracinée dans les formations albo-cénomaniennes. Elle porte l'essentiel de la minéralisation de célestine qui affleure sur plus de 1200 m avec une largeur variant de 1 à 60 m.

A son extrémité est, une écaille jurassique forme la partie nord de cette lame. Vers l'Ouest, le Trias s'enracine verticalement dans le Crétacé. Les deux contacts de la lame sont des failles redressées, convergentes en profondeur où la largeur du Trias minéralisé se réduit (fig. 2b). Sur son bord nord, la lame triasique est jalonnée par une semelle de Trias gypsifère qui la tronque à la base en la déplaçant vers le Sud.

Le mode d'apparition de ces lames triasiques est conforme avec une mise en place intrusive selon des fractures préexistantes (ouvertes par une tectonique extensive).

LE GISEMENT DE CELESTINE DU TRIAS EXTRUSIF DE BENI-MANSOUR (BEJAIA, ALGERIE)

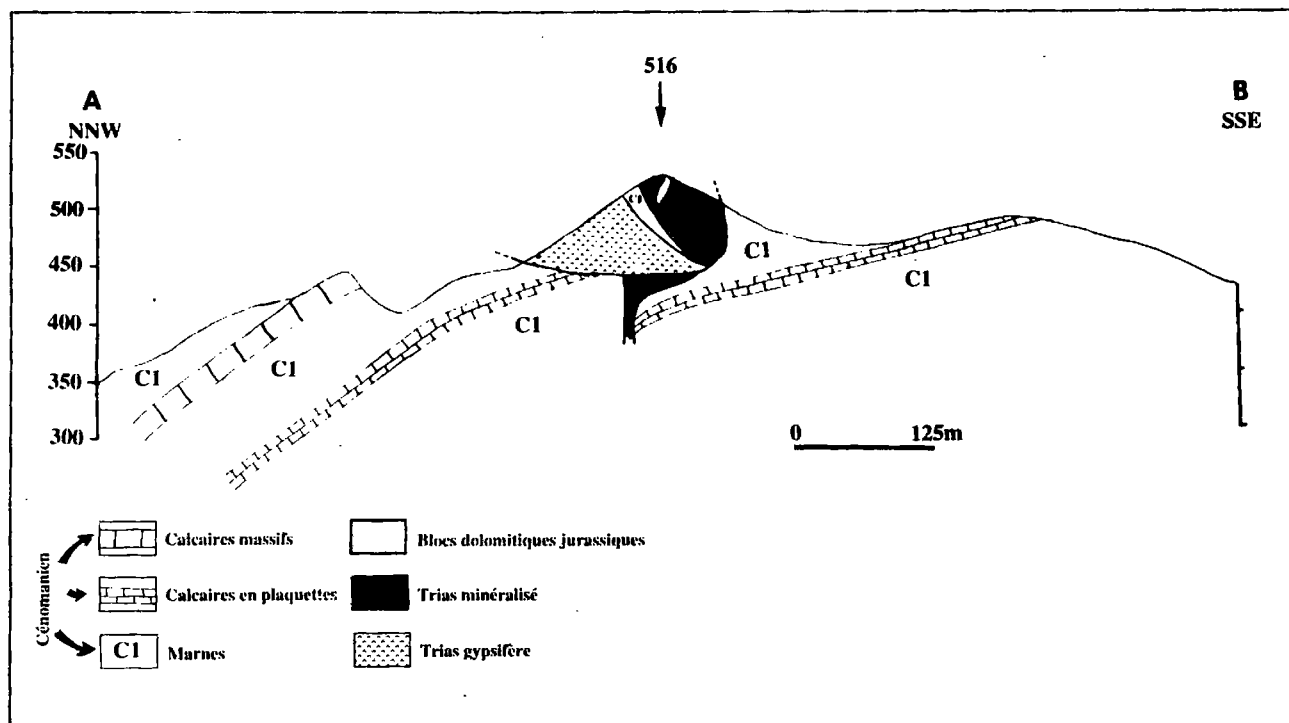


Fig. 2b - Structure de la lame triasique principale
Cross-section through the main triassic structure

IV - HISTOIRE POLYPHASEE DES MATERIAUX TRIASIQUES MINERALISES

L'étude des brèches monogéniques et polygéniques triasiques, des phases minérales qui s'y présentent et de leurs positions vis à vis des évènements tectoniques permet de définir quatre étapes de transformation du matériel triasique.

1- Lors du *stade d'enfouissement*, une paragenèse de minéraux néoformés automorphes est apparue, formée de silicates (quartz, phyllites et albite) et de dolomite ferrifère porphyroblastique, tous cataclasés ou corrodés. Il s'agit des minéraux authigènes du Trias, caractéristiques des séries

triasiques subsidentes (Kulke, 1979; Crampon, 1973; Perthuisot, 1978; Perthuisot et Guilhaumou, 1983; Hatira, 1988; Aoudjehane, 1989). Les équilibres entre phases minérales et les inclusions fluides donnent des températures de formation comprises entre 150°C et 300°C (Perthuisot et Saliot, 1979). Cette paragenèse indique donc une évolution de l'encaissant et de la matrice des brèches dans un domaine de température et de pression élevées (métamorphisme d'enfouissement - Kulke, 1979 - ou métamorphisme hydrothermal - Crampon, 1973).

Le *quartz* est représenté par des cristaux bipyramidés, de taille variable allant jusqu'à 1 cm, souvent brisés et corrodés, à inclusions d'anhydrite, à auréoles de croissance soulignées par des enduits

phylliteux et de grandes muscovites. Des quartz polycristallins en mosaïque sans inclusions, sont aussi présents.

Des *muscovites*, souvent déformées, sont disséminées dans la matrice des brèches. Des fantômes d'*albite* à macle du Roc Tourné (observés uniquement dans deux échantillons) sont aussi présents dans la dolomicrite et dans le quartz. Cette albite est épigénisée par le quartz.

La *dolomite porphyroblastique* automorphe est reprise dans la matrice. Elle est souvent fragmenté et corrodée, ce qui traduit d'intenses dissolutions. Elle est soulignée à sa périphérie par des hydroxydes de fer.

Le liant initial de ces brèches triasiques n'apparaît qu'en reliques. Il s'agit de deux types d'anhydrite, l'un en inclusions dans le quartz et la dolomite porphyroblastique, considéré comme primaire, résulterait de la déshydratation du gypse lors de l'enfouissement des séries triasiques et représenterait donc un témoin des assises dans lesquelles se sont formées les minéraux authigènes qui l'incorporent (Perthuisot, 1978; Hatira, 1988; Aoudjehane, 1989). L'autre correspond à une anhydrite secondaire en inclusions dans la célestine tardive: c'est une anhydrite de recristallisation formée lors de l'ascension diapirique et de la formation du cap-rock (Hatira, 1988).

2- Le déplacement des masses triasiques, s'accompagne de cataclases matérialisées par de nombreuses brèches à éléments hétéroclites, ainsi que par la fracturation des matériaux préexistants et la corrosion des minéraux authigènes: ces transformations sont associées à la mobilisation du Trias (Perthuisot, 1978; Hatira, 1988). Ces déformations sont caractérisées par la fragmentation du quartz, la corrosion de la dolomite

porphyroblastique et la torsion des phyllites. Ces morphologies traduisent l'existence d'un intense champ de contraintes affectant les phases minérales liées à l'enfouissement (Aoudjehane, 1989).

Postérieurement à ce phénomène tectonique, une *dolomite grenue* (appelée antérieurement «secondaire»: Moulla *et al.*, 1994a et b) en rhomboèdres de taille réduite, cristallise en géodes dans les fissures et autour des éléments bréchiques et des minéraux authigènes.

3- La célestine se met en place ensuite: elle remplace préférentiellement la matrice anhydritique des brèches ou forme des faciès rubanés dus à des phénomènes de dissolution-remplacement, guidés par l'anisotropie des roches remplacées ou par le régime de circulation des fluides. Elle se présente sous différents faciès: grandes tablettes à inclusions d'anhydrite, cristaux équi-granulaires engrenés les uns dans les autres, géodes, petites tablettes sans inclusions et fibres lamellaires déformées, à extinction roulante.

Des *brèches à matrice gypseuse secondaire* jalonnent le contact nord de la structure triasique et constituent une part importante des lames triasiques secondaires. Ce gypse se présente en cristaux équi-granulaires, palissadiques dans les fissures.

4- Après la mise en place tectonique du Trias (éjection de la lame), une génération de célestine fibreuse et de calcite apparaît dans les fissures du Trias et du Crétacé encaissant, et même parfois chevauchant le contact Trias et Crétacé. Elle est accompagnée aussi d'*albite* secondaire à macle polysynthétique et de strontianite. Celle-là se présente en cristaux aciculaires dans des cavités remplies de célestine et de calcite collomorphe, auxquelles elle se surimpose avec une croissance

LE GISEMENT DE CELESTINE DU TRIAS EXTRUSIF DE BENI-MANSOUR (BEJAIA, ALGERIE)

centrifuge. Ces observations sont conformes à l'hypothèse d'une mise en place par altération superficielle de la célestine (Landes, 1929; Jayaraman, 1940).

**V. CARACTERISATION DES
DIFFERENTES PHASES MINERALES:
MICROCHIMIE, CATHODOLUMINESCENCE ET INCLUSIONS
FLUIDES**

A. Les carbonates

1. Dolomites

Elles se présentent sous trois faciès différents: la dolomicrite, la dolomite porphyroblastique et la dolomite grenue.

La dolomicrite a une faible teneur en $(\text{Fe},\text{Mn})\text{CO}_3$ (0,46 %) (fig. 3a), comparable à celle de Sakiet Sidi Youssef où sa teneur est inférieure à 1 %, bien qu'elle soit dans ce cas le précurseur d'une dolomite ferrifère (Hatira, 1988): il apparaît donc qu'à Sakiet, à la différence de Béni-Mansour, le processus de recristallisation s'est accompagné d'une augmentation progressive en Fe.

La dolomite porphyroblastique, minéral authigène, est caractérisée par des figures de dissolution matérialisées par des troncatures. Elle contient parfois des inclusions d'anhydrite. Elle présente de larges variations du pourcentage molaire en MgCO_3 de 45,6% à 51% (fig. 3a), mais une faible variation des teneurs en $(\text{Fe},\text{Mn})\text{CO}_3$, avec une moyenne de 0,2% dans les brèches minéralisées [par contre dans les brèches

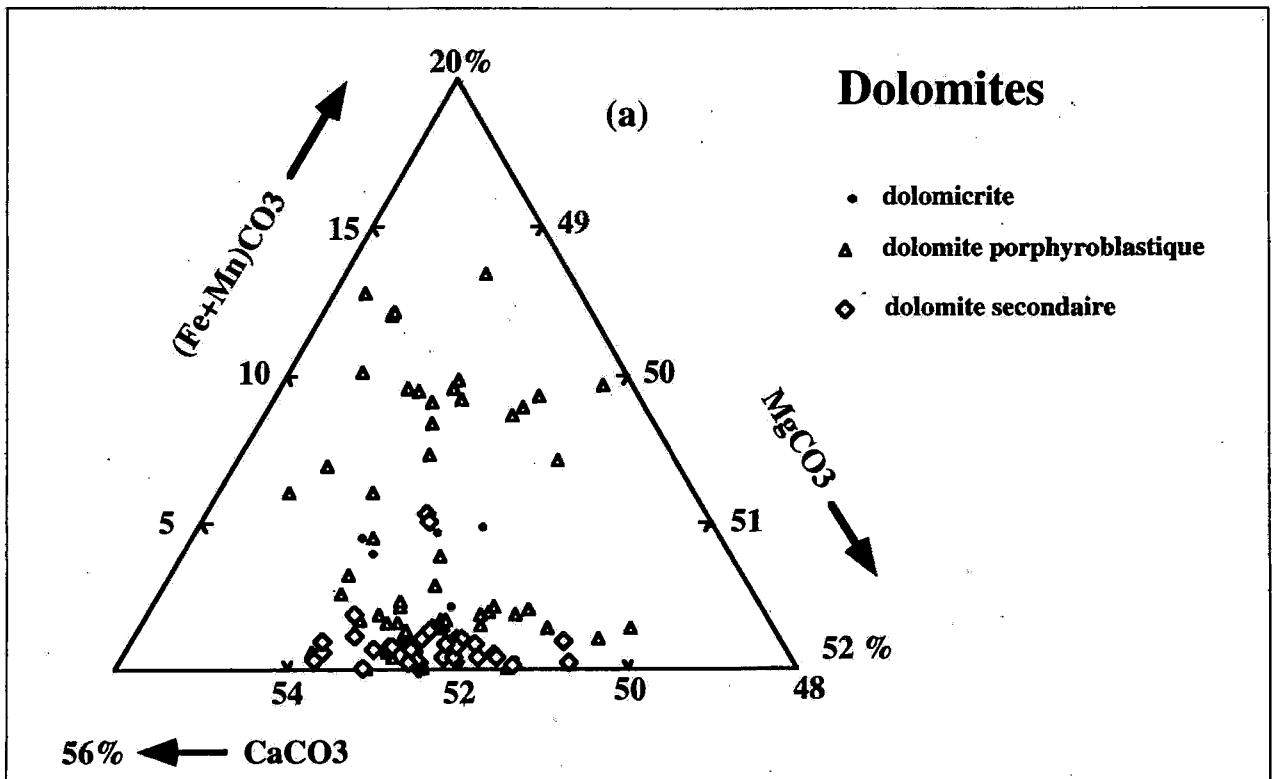


Fig. 3a - Composition des dolomites primaires et secondaires
Elemental molar composition of primary and secondary dolomites

gypsifères, cette moyenne atteint 2,4% de $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{CO}_3$].

La dolomite grenue, minéral plus tardif dans la paragenèse, tapissant les fissures de la dolomicrite, ne présente pas une aussi grande variation en MgCO_3 que la dolomite porphyroblastique.

Les bordures des dolomites porphyroblastique et grenue sont souvent enrichies en Fe; cet enrichissement correspond à une bordure sombre en cathodoluminescence. La dolomite porphyroblastique présente souvent en CL des zonations rectilignes, en bandes plus ou moins épaisses. Le passage d'une zone à l'autre se fait par un changement graduel de couleur marron foncé à la périphérie presque sombre et jaune clair au coeur; cela peut se traduire par des mécanismes différents de cristallisation.

2. Calcites

Plus abondantes que les dolomites, elles sont marquées par une hétérogénéité chimique et une diversité morphologique. La calcite collomorphe est plus riche en Mg (1%) ainsi que la calcite à auréole, généralement de forme lenticulaire, plutôt enrichie en Fe et Mg (fig. 3b, 3c). Ces concentrations reflèteraient la composition d'une dolomite remplacée.

L'observation en CL montre que toutes les calcites "sparitiques" et "spathiques" ont une luminescence marron foncé à jaune clair, avec des zonations en bandes rectilignes qui se différencient en allant au coeur des cavités et changent de luminescence. Cela traduit probablement des mécanismes différents de cristallisation avec renouvellement de solutions et les limites entre

chaque zone peuvent être considérées comme des lignes-temps (Carpenter et Oglesby, 1976; Frank, 1982). Ces calcites luminescentes montrent des concentrations en Mn - activateurs - plus faibles que celles du Fe-inhibiteur (fig. 3c): le degré de luminescence est probablement contrôlé par le rapport Fe/Mn, et non pas par la concentration absolue des deux cations (Frank, 1982). Il faut donc prendre aussi en considération la valence de ces éléments et la présence d'autres éléments-traces (Amieux, 1981).

La calcite fibroradiée tardive est très enrichie en Sr (20000 ppm) tandis que les autres calcites ont une composition en Sr de l'ordre de 2000 à 4000 ppm (fig. 3d). Elle est non luminescente (ainsi que la palissadique dont la teneur en Sr est de 5000 ppm), alors que les teneurs en Mn sont de l'ordre de 300 ppm (fig. 3e): cette inhibition de luminescence serait due à la présence du Sr (Sommer, 1972). L'enrichissement en Sr dans une phase tardive fibroradiée, généralement exprimée dans les fissures et les cavités, reflète des transformations sulfates-carbonates facilitées par des rayons ioniques très voisins ($\text{Ca} = 0,99\text{\AA}$ et $\text{Sr} = 1,12\text{\AA}$).

Tableau I - Comparaison des rapports moyens Sr/Mg des calcites des cap-rocks de la Gulf Coast et de Béni-Mansour

Comparison between the mean Sr/Mg ratios of Gulf Coast and Beni-Mansour calcites

Les fluides (Gulf Coast)	(Sr/Mg) moyenne
Les eaux de formation	0,92
les eaux météoriques	0,05
l'eau de mer	0,04
Calcites de Béni-Mansour	(Sr/Mg) moyenne
microsparitique à impuretés	0,57
sparitique à impuretés	0,37
sparitique limpide	0,55
spathique	0,40
sparitique fissurale	0,09
palissadique	0,46
fibroradiée	n.d
à auréole	2,65
collomorphe	0,23

LE GISEMENT DE CELESTINE DU TRIAS EXTRUSIF DE BENI-MANSOUR (BEJAIA, ALGERIE)

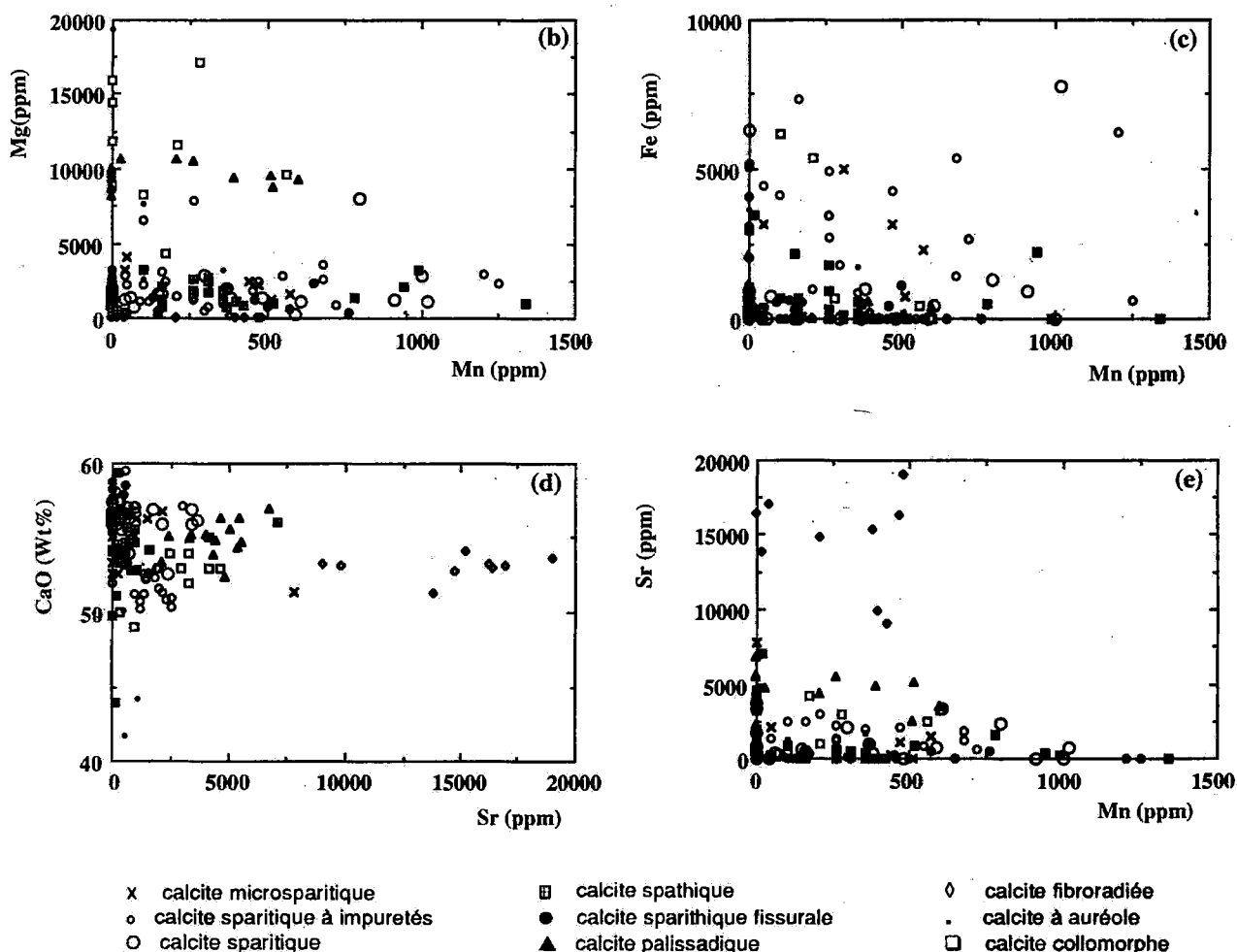


Fig. 3b, c, d, e. - Composition (en ppm) en éléments majeurs (Ca, Fe, Mn, Mg) et traces (Sr) dans les divers faciès de calcites

Concentration (in ppm) of Ca, Fe, Mn, Mg and Sr in each calcite generation

Les rapports Sr/Mg des calcites des cap-rocks de la Gulf Coast ont été utilisés pour déterminer l'origine des fluides qui les ont formées (Prikryl *et al.*, 1988). Ceux de Béni-Mansour montrent que les calcites ont précipité soit à partir des eaux de formation (valeurs dominantes), soit à partir du mélange de ces eaux de formation avec l'eau de mer ou avec les eaux météoriques (tableau. I). D'autres données (isotopes C, O, S) pourraient confirmer la signature géochimique de ces fluides.

La CL de certains carbonates (strontianite) montre des luminescences vertes qui sont dues à la présence du Mn^{2+} (Sommer, 1972), ce qui traduit l'état du milieu et donc les conditions de cristallisation.

L'étude préliminaire des inclusions fluides montre que la dolomite porphyroblastique et la calcite fissurale ont des inclusions triphasées à cube de sel qui reflètent des fluides à saturation,

donc connectés au milieu évaporitique.

B. Les sulfates

A Béni-Mansour, les analyses des *inclusions d'anhydrite* dans la dolomite porphyroblastique et la célestine montrent des teneurs moyennes en Sr respectivement de 4400 ppm et de 5500 ppm, similaires à celles des inclusions d'anhydrite de Berrouaghia, qui ont des teneurs de 3000 à 4500 ppm (Aoudjehane, 1989). Dans le Trias diapirique de l'Ouenza, les teneurs en Sr des anhydrites sont comprises entre 0 et 6500 ppm. Les teneurs moyennes sont constantes depuis la diagenèse d'enfouissement de l'anhydrite jusqu'à sa recristallisation (Bouzenoune, 1993). Celles de Sakiet Sidi Youssef peuvent atteindre 10500 ppm. Cette comparaison

des données micro-chimiques montre une analogie des anhydrites de Béni-Mansour avec celles des cap rocks des confins algéro-tunisiens.

Ces teneurs élevées peuvent constituer un stock initial de Sr, au vu de l'importance de la masse anhydritique originelle (Aoudjehane, 1989).

La célestine est l'un des pôles de la série non continue $\text{SrSO}_4\text{-BaSO}_4$, qui fait partie des composants des cap-rocks et plus généralement des séries évaporitiques. Elle se caractérise ici par la diversité de sa morphologie. Les célestines précoces (à inclusions d'anhydrite et équigranulaire) sont pauvres en BaO (3 %Wt) (fig. 4a), alors que les célestines tardives (tabulaires) sont riches (10 %Wt): il y a donc un enrichissement des solutions en cet élément. La

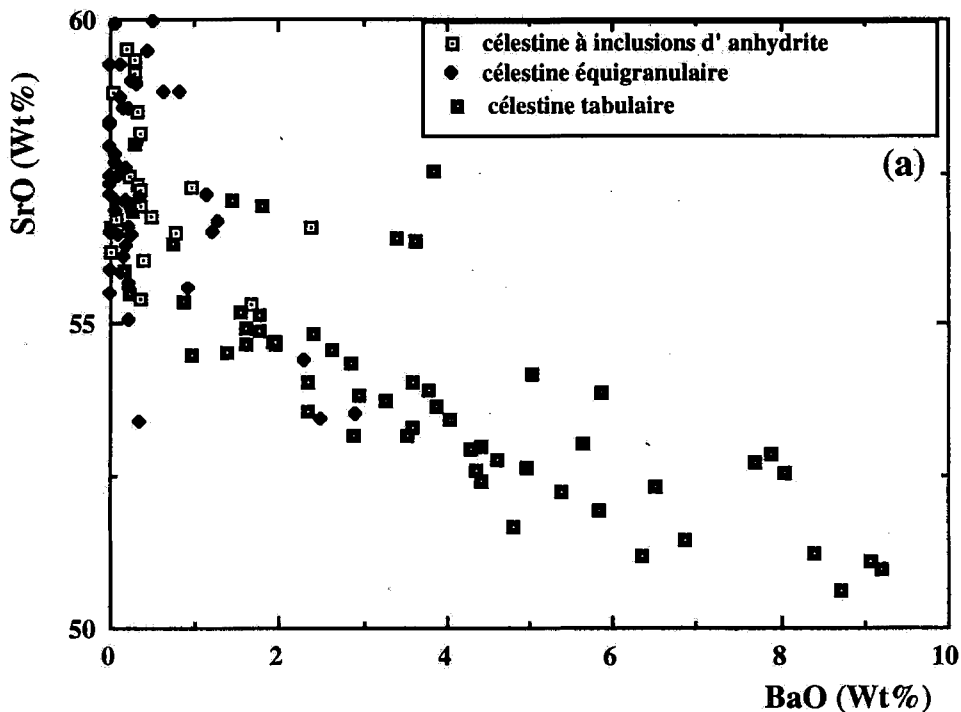


Fig. 4a - Composition en BaO des célestines précoces et tardives.
Concentration of BaO in early and late celestine.

diversité morphologique recouvre bien une hétérogénéité chimique; elle confirme le caractère polyphasé de la célestine et l'intervention de fluides différents lors des diverses phases de cristallisation.

Dans la province nord africaine, les analyses minéralogiques et chimiques sur différents diapirs ont donné, dans la plupart des cas, de la célestine pauvre en Ba ($BaO < 5 \text{ Wt}\%$) (Smati, 1986; Otmanine, 1987; Hatira, 1988; Bouzenoune, 1993). Il s'agit donc de célestine pure pour tous les gisements diapiriques étudiés en Afrique du Nord.

Dans leur ensemble, les célestines contiennent de *très fortes teneurs en Hg et Pb*, éléments au contraire à faibles teneurs dans les dolomites et les calcites. Ces éléments traces sont donc apportés avec le strontium de la célestine. Ils présentent une large variation aussi bien dans les célestines précoces que dans les tardives. Les célestines à inclusions d'anhydrite contiennent 3000 ppm de Hg (fig. 4b), alors que les célestines tabulaires et équigranulaires en contiennent 5000 ppm. La teneur en Pb peut être faible mais peut aussi atteindre 5000 ppm dans les célestines tabulaires (fig. 4c). Pour les diapirs tunisiens, marqués aussi par la présence de Hg, Hatira (1988) propose une source liée au volcanisme néogène, dont les manifestations sont présentes. Dans la région étudiée, aucune manifestation volcanique, ni plutonique n'a été observée.

A Berrouaghia, le mercure, sous forme de traces dans les sulfates de Ba et Sr et dans les sulfures (4500-5300 ppm), est très commun (Aoudjehane, 1989). Les teneurs élevées en Hg et Pb sont donc indépendantes des faciès et de la chronologie des célestines : ces éléments traces apportés avec le Sr sont incorporés dans les célestines précoces et redistribués dans les célestines tardives.

Dans les brèches triasiques de Béni-Mansour, les teneurs en Sr dans le *gypse* équigranulaire - postérieur à la célestine - sont faibles (566 ppm) par rapport à celles des inclusions de la dolomite porphyroblastique et de la célestine. Elles confirment l'existence d'un lessivage du Sr. A l'Ouenza, la teneur en Sr du gypse est constante quels que soient son habitus et sa position dans le cap rock, elle est comprise entre 0 et 1700 ppm (Bouzenoune, 1993): elle est aussi inférieure à celle de l'anhydrite. L'hydratation du sulfate de calcium anhydre lors de la montée des formations triasiques vers les zones superficielles s'accompagne d'un lessivage du Sr. Par contre, à Beroughia, le gypse tardif, fissural, contient jusqu'à près de 1,5 % de Sr (Aoudjehane, 1989).

Les *inclusions fluides* biphasées de la célestine donnent des salinités de l'ordre de 1,4 à 14,36 % équivalent NaCl (avec une moyenne de 5% équivalent NaCl): ces fluides dilués, par rapport à ceux piégés dans la dolomite porphyroblastique et la calcite fissurale, doivent donc avoir une source extérieure au milieu évaporitique. Ce sont ces fluides qui ont véhiculé le Sr.

CONCLUSION

Le gisement de Béni-Mansour apparaît au sein d'une lame triasique, enracinée dans les formations albo-cénomaniennes, encaissant une importante minéralisation de célestine. Cette disposition indiquerait une mise en place intrusive du Trias, guidée par des fractures préexistantes. L'analyse pétrographique des différentes brèches a permis de mettre en évidence les étapes de transformation du matériel triasique.

- Une phase d'authigenèse, qui se traduit par l'apparition de minéraux néoformés (quartz,

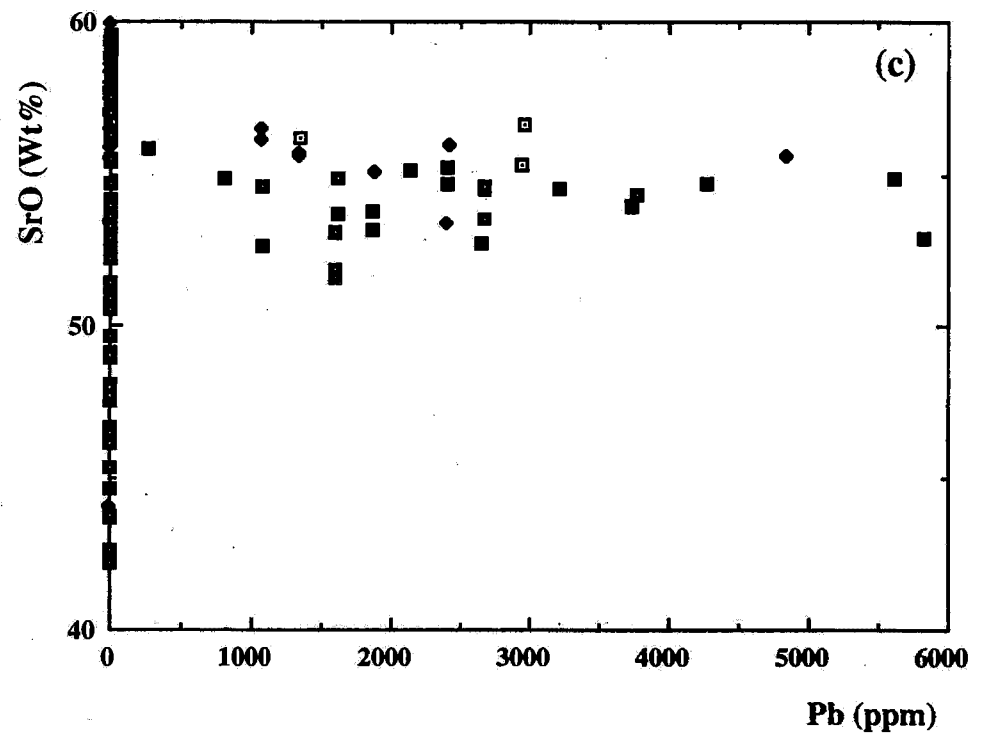
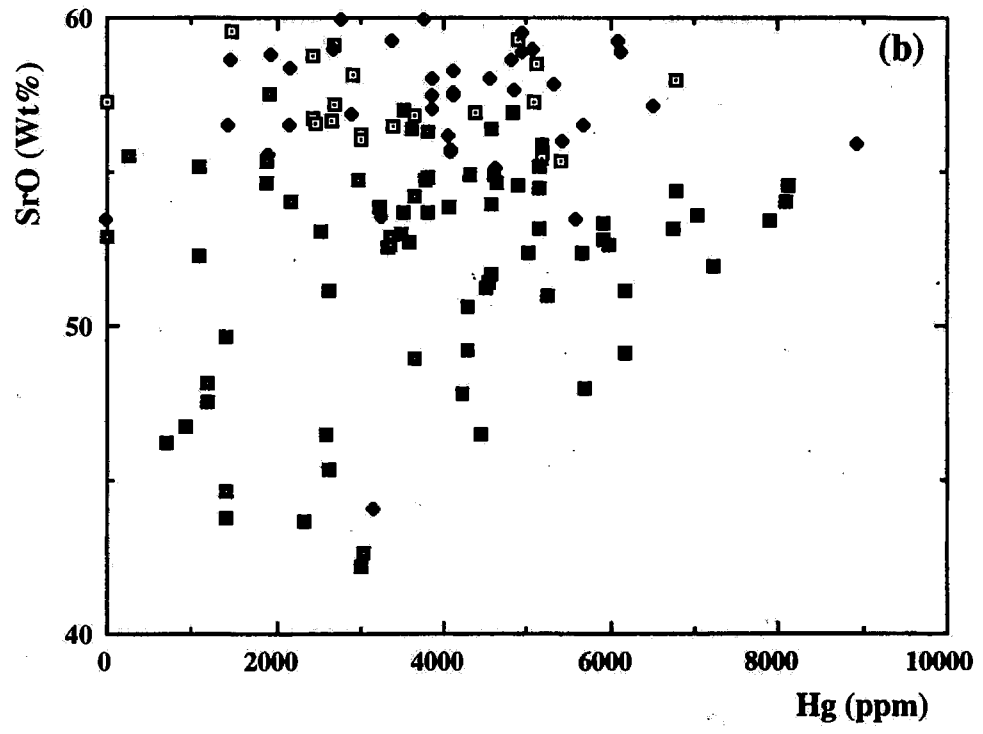


Fig. 4b, c. - Composition en éléments traces dans les célestines précoces et tardives
Concentration of trace elements in early and later celestite

LE GISEMENT DE CELESTINE DU TRIAS EXTRUSIF DE BENI-MANSOUR (BEJAIA, ALGERIE)

dolomite porphyroblastique, muscovites et albites en reliques), lors du stade d'enfouissement profond. La présence des silicates, particulièrement des phyllites, traduit l'enrichissement des solutions en K, Al, et Si, ainsi que l'existence de températures élevées (Perthuisot et Saliot, 1979).

- Une intense bréchification, matérialisée par l'existence de brèches monogéniques et polygéniques à faciès éclaté, de nombreuses figures de corrosion et de dissolution montrent le déplacement important des masses triasiques.

- Une minéralisation de célestine, qui se met en place par remplacement du ciment initial anhydritique des brèches, par dissolution-cristallisation.

- Lors de la remontée tectonique de la lame triasique, les transformations anhydrite-gypse sous l'effet des eaux météoriques, qui s'accompagnent d'un lessivage du Sr, donnent naissance aux néoformations de calcite et de strontianite. La strontianite s'est formée par dissolution locale des sulfates, qui sont ensuite remplacés par des carbonates aux contacts d'eaux bicarbonatées (Speer, 1983).

L'analyse ponctuelle des calcites montre que leur composition est hétérogène: cette hétérogénéité et les morphologies différentes seraient dues aux variations du régime hydrodynamique (Hatira, 1988), et à la nature des solutions. Leur étude donne des indications sur le milieu dans lequel la célestine a précipité.

L'analyse chimique des sulfates confirme le caractère polyphasé de la célestine et l'intervention de circulations différentes lors des phases de cristallisation (la composition de BaO varie dans les célestines précoces et tardives).

Les éléments traces (Hg, Pb) sont apportés avec le Sr dans les célestines précoces et redistribués dans les célestines tardives. Leur abondance confirme aussi le caractère polyphasé et actif de la province nord africaine (Aoudjehane, 1989).

La cathodoluminescence montre que les éléments activateurs et inhibiteurs ne suffisent pas pour provoquer ou empêcher la luminescence des carbonates, d'autres facteurs peuvent aussi intervenir tels que, la présence d'autres éléments traces, la valence des éléments chimiques (Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+}) et l'influence du milieu (réducteur ou oxydant). Pour une meilleure identification des générations de minéraux et pour une mise en évidence des zonations chimiques souvent non détectées par microanalyse ponctuelle, la microscopie électronique à balayage, couplée avec la cathodoluminescence est nécessaire.

La minéralisation en célestine est portée par des matériaux triasiques, remontés de la profondeur. Le rôle du diapirisme dans le processus métallogénique peut être envisagé. La structure diapirique constitue alors un véritable drain pour les saumures métallifères (Rouvier *et al.*, 1985).

Une étude préliminaire des inclusions fluides conduit à mieux comprendre les conditions de mise en place de la célestine et à envisager un apport de Sr provenant de solutions extérieures au diapir, soit issues des eaux de formation du Crétacé, soit des eaux météoriques.

Le problème de la source du Sr reste posé dans ce type de gisement lié au diapirisme. Quant à la formation de la célestine plusieurs hypothèses ont été proposées.

- Par précipitation directe de l'eau de mer (Rebelle,

1986), la célestine se forme par cristallisation fractionnée.

- Au cours de la diagenèse tardive, le Sr est remis en solution par dissolution partielle-remplacement de l'anhydrite (Jarousse, 1980 *in*: Rebelle 1986), et la célestine se forme. Cette hypothèse est étayée par la présence d'importantes teneurs en Sr dans les inclusions d'anhydrite de la célestine. Elle a été reprise, sous une forme épigénétique, pour le gisement de Berrouaghia (Aoudjehane, 1989).

- Au cours de la déshydratation du gypse (diagenèse d'enfouissement), les eaux libérées sont enrichies en Sr. La limite de solubilité de la célestine étant atteinte, cette dernière précipite.

Pour vérifier ces hypothèses, une étude complète des paragenèses du métamorphisme d'enfouissement du Trias est nécessaire, ainsi qu'une étude des conditions de la diagenèse du Crétacé et la détermination de la nature des fluides minéralisateurs et leurs conditions de mise en place.

BIBLIOGRAPHIE

- Amieux, P. 1981.** La cathodoluminescence dans les roches sédimentaires. Applications sédimentologiques et diagénétiques. *Thèse Doct. 3ème cycle*, Lyon, 214p.
- Aoudjehane, M. 1989.** Les concentrations à Ba, Sr, Zn, Pb dans le Trias, le Crétacé et le Miocène de la région de Berrouaghia (Biban, Algérie). Diapir, "cap rock" et minéralisations dans le sillon tellien subsident. *Thèse Doct. Univ. P. et M. Curie (Paris VI)*, 267 p.
- Aoudjehane, M. 1990.** Le district minéralisé à Ba, Sr, Pb, Zn de Berrouaghia. Arguments pour une halocinèse de Trias dans les Biban occidentaux. *Bull. Off. Nat. Géol., Algérie, vol. 1*, p. 51-73.
- Bouzenoune, A. 1993.** Minéralisations péridiapiriques de l'Aptien calcaire : les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie orientale). *Thèse Doct. Univ. P. et M. Curie (Paris VI)*, 184 p.
- Belaoussov, A et Nebak, A. 1986-1987.** Rapport sur les travaux exécutés dans la région de Béni Mansour (Biban). *Rapport interne E.RE.M. Boumerdès*.
- Carpenter, G. F. et Oglesby, T. W. 1976.** A model for the formation of luminescently zoned calcite cements and its implications. *Geol. Soc. America Abstracts with programs*, v. 8, p. 469-470.
- Crampon, N. 1973.** Métamorphisme hydrothermal en faciès salins et pénésalins sur l'exemple du complexe salifère de l'extrême Nord tunisien. *Contr. Minéral. Pétrol.*, Berlin, 39, p. 117-140.
- Edon, M. 1993.** Contribution à la caractérisation P-T-t-X des fluides et des néoformations minérales dans le Trias en place ou diapirique et dans sa couverture sédimentaire dans le bassin Sud-Est (France). *Thèse. Doct. Univ. Orléans*, 242 p.
- E.RE.M. 1986.** Etude complémentaire du gisement de célestine de Béni-Mansour. *Rapport interne, Tizi-Ouzou*.
- Frank, J.R., Carpenter, A. B. et Oglesby, T. W. 1982.** Cathodoluminescence and composition of calcite cement in the Taum Sauk limestone (Upper Cambrian), southeast Missouri. *Jour. Sedim. Petrol.*, vol. 52, n° 2, p. 631-638.
- Hatira, N. 1988.** Les concentrations de Zn, Pb, Sr, Ba dans le cortex des diapirs de Trias salifère: exemple du diapir de Sakiet - Koucha (Tunisie septentrionale). Comparaison avec d'autres massifs tunisiens et avec les cap-rocks de la Gulf Coast (USA). *Thèse Doct. Univ. P et M. Curie (Paris VI)*, 212 p.
- Jayarman, N. 1940.** Origin of celestite in the Cretaceous beds of Trichy. *Quart. Journ. Indian. Inst. Sci.*, vol. 3, p. 25 (M.A. 9-34).
- Kulke, H. 1972.** Le rocher de sel de Djelfa (Atlas saharien algérien). Géologie et morphologie. *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord*, Alger, 63, p. 81-134.
- Kulke, H. 1975.** Blastèses de silicates et de magnésite dans les roches carbonatées du Trias salifère de l'Atlas (Afrique du Nord). *Congrès Intern. Sédiment. Nice*, p. 115-126.
- Kulke, H. 1979.** Sédimentation, diagenèse et métamorphisme léger dans un milieu sursalé : exemple du Trias maghrébin. *Sc. Terre, Nancy*, t. 23, p. 39-74.
- Landes, K.K. 1929.** The strontium occurrence near La Conner, Washington. *Amer. Min.*, vol. 14, p.408.

LE GISEMENT DE CELESTINE DU TRIAS EXTRUSIF DE BENI-MANSOUR (BEJAIA, ALGERIE)

- Machel, H.G. 1985.** Cathodoluminescence in calcite and dolomite and its chemical interpretation. *Geosci. Can.*, vol.12 n°4, p 139-147.
- Moulla, S. et Thibiéroz, J. 1994 a.** Sulfates et carbonates du gisement de célestine dans le Trias extrusif de Béni-Mansour (Béjaïa, Algérie). *15e Réunion Sc. Terre, Nancy*, p. 77.
- Moulla, S. et Thibiéroz, J. 1994 b.** Traces, cathodoluminescence et inclusions fluides des carbonates et des sulfates du gisement de célestine du Trias extrusif de Béni-Mansour (Algérie). *Prem. Journ. Prosp. min., ONM, Tunis*, p.105-107.
- Otmanine, A. 1987.** Les minéralisations en fluorine, barytine, Pb, Zn et Fe sidéritique autour du fossé de Tébessa - Morsott. Relations entre paléogéographie alboraptienne, diapirisme, structure et métallogénie. *Thèse 3ème Cycle, Univ. P. et M. Curie (Paris VI)*, 204 p.
- Perthuisot, V. 1978.** Dynamisme et pétrogenèse en Tunisie septentrionale. *Presse de l'École Normale Supérieure, Paris*, 312 p.
- Perthuisot, V. et Saliot, P. 1978.** Néofonnations silicatées dans le Trias des diapirs tunisiens. Rôle des solutions hydrothermales. *Sc. Terre, Nancy*, t. 23, p. 75-83.
- Perthuisot, V. et Guilhaumou, N. 1983.** Les diapirs triasiques du domaine vocontien : phases diapiriques et hydrothermales en domaine péri-alpin. *Bull. Soc. géol. Fr.*, t.25, p. 397-410.
- Prikryl, J.D., Posey, H.H. et Kyle, J.R. 1988.** A petrographic and geochemical model for the origin of calcite cap - rock at Damon Mound Salt dome, Texas, USA. *Chem. Geol.*, vol.74, p. 6-97.
- Rebelle, M., 1986.** Sédimentologie, géochimie et palynologie du bassin évaporitique du Zechstein à partir des données de sub surface (Mer du Nord, Hesse-R.F.A.). *Thèse Doct. Univ. Paris-Sud, Orsay*, 304 p.
- Rouvier, H., Perthuisot, V. et Mansouri, A. 1985.** Pb-Zn deposits and salt bearing diapirs in southern Europe and North Africa. *Econ. Geol.*, vol. 80, p. 666-687.
- Smati, A. 1986.** Les gisements de Pb-Ba et de Fe du Jebel Sata (Tunisie du Centre Nord): minéralisations épigénétiques dans le Crétacé néritique de la bordure d'un diapir du Trias. Gisements de Sidi Amor ben Salem et de Sata fer. *Thèse Doct. 3ème Cycle, Univ. P. et M. Curie (Paris VI)*, 250 p.
- Sommer, S.E. 1972.** Cathodoluminescence in carbonates, 1. Characterization of cathodoluminescence from carbonate solid solution. *Chem. Geol.*, vol. 9, p 257-273.
- SO.NA.RE.M. 1971.** Travaux de recherche et de prospection géologiques effectués sur le gisement de strontium de Béni-Mansour. Rapport interne, Boumerdès.
- Speer, J.A. 1983.** Cristal chemistry and phase relation of orthorhombic carbonates in R.J.Reeder Ed., «Carbonates mineralogy and chemistry». *Rev. Mineralogy*, vol. 11, p. 145-190.
- Wildi, W. 1983.** La chaîne tello-rifaine d'Algérie (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Rev. Géol. dyn. Géogr. phys.*, vol. 24, p. 201-297.