

Le gisement de fer de l'Ouenza (Nor-Est algérien): Relation entre le minerai carbonaté et le minerai oxydé

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

*Centre universitaire de Jijel, B. P 98 Ouled Aïssa, 18000 *Jijel (Algérie)*

** Laboratoire de Géologie Appliquée- UPMC (PARIS VI), 4 *place Jussieu 75252 Paris Cedex 05 (France)*

Résumé - Le gisement de l'Ouenza est exploité pour son minerai principalement hématitique issu de l'oxydation au dessus du niveau hydrostatique d'un minerai primaire carbonaté.

Le minerai carbonaté est constitué par des sidérites et des ankérites dont les teneurs pondérales moyennes en fer sont respectivement de 42% et 19% de Fe. Le minerai oxydé montre des variations de teneur en fer d'un quartier à l'autre de la mine. Ces variations sont dues à la composition minéralogique et chimique du minerai primaire. Un minerai à sidérite dominante donne, après oxydation, un minerai riche et un minerai à ankérite dominante donne un minerai oxydé pauvre.

La cartographie en surface des zones à minerai oxydé riche donnerait une image sur la localisation du minerai sidéritique.

Les réserves en minerai oxydé étant en voie d'épuisement, un substitut avantageux est représenté par le minerai carbonaté dont les caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et chimiques sont déterminées.

Mots-clés - Algérie - Ouenza - Gisement - Minerai - Fer - Sidérite - Hématite - Cartographie.

Ouenza Iron Deposit (NE Algeria) : Relationship between carbonate and oxidized ore

Abstract - In the Ouenza iron deposit, two well differentiated zones are distinguished : an unaltered zone and an oxidation zone. All the natural outcrops and mining works are in the latter zone.

The unaltered ore is composed of mixtures of siderites and ankerites. Fine-grained gray ankerite and siderite replace limestones, whereas sparry white ankerite and blond siderite are emplaced in veins. Microprobe analyses established the presence in these iron carbonates of small quantities of Mn and Mg. The average main oxide components in the ankerites are 24 wt% FeO, 26 wt % CaO and in the siderites are 53 wt % FeO, 1 wt % CaO.

The oxidized ore is composed of hematite, goethite and small quantities of limonite. The bulk composition vary considerably, but it is always Fe-rich, with Fe ranging from 45 to 63 wt %. Textural study reveals that the present mineralogic association is of secondary origin, resulting from supergenic alteration in the oxidation zone of original deposits composed fundamentally of Fe-carbonates.

Ouenza deposit exhibits simple vertical zonation caused by the alteration of primary minerals. Spatial changes in the composition of the primary and supergene ore are noted. Compositional variation in the primary ore is attributed to the proportions of siderites and ankerites. The distribution of the alteration assemblages is controlled primarily by the initial mineralogy and composition of the primary ore, flow rates of ground water and the permeability of the ores and host carbonates and aquifer position. The cartography of zones with rich oxidized ore could provide a practical tool for sideritic ore prospecting.

Key words - Algeria - Ouenza - Deposit - Ore - Iron - Siderite - Hematite - Cartography.

INTRODUCTION

Les gisements de l'Ouenza et de Boukhadra sont situés près de la frontière algéro-tunisienne à plus de 160 km au Sud de la ville de Annaba à laquelle ils sont reliés par une ligne ferroviaire électrifiée (Fig. 1). La production annuelle des deux mines est presque entièrement consommée par le complexe sidérurgique d'El Hadjar, situé dans la ville de Annaba (Algérie NE). Pour l'année 1997, sur les 1 600 000 tonnes de minerai produites par les deux mines, plus de 98% ont été consommés par l'usine d'El Hadjar (Ferphos, 1997).

Les réserves géologiques, jusque là mal connues, étaient de 75 et 20 millions de tonnes respectivement pour les gisements de l'Ouenza et Boukhadra (Popov, 1976). Elles dépasseraient les 100 millions de tonnes pour Ouenza (Ferphos, 1991). Ces réserves de la mine de l'Ouenza en minerai moyennement riche (teneur en Fe > 50%) ont été estimées à presque 50 millions de tonnes (Ferphos, 1991).

Avec le développement des moyens d'exploitation, la production annuelle n'a cessé d'augmenter entraînant ainsi l'épuisement des réserves facilement accessibles (Fig. 2). Afin de garantir l'approvisionnement en fer de l'usine d'El Hadjar d'une part et de prolonger l'activité des centres miniers de l'Ouenza et de Boukhadra d'autre part, de nouveaux quartiers ont été ouverts et du minerai à plus basse teneur a été exploité.

La plus grande partie des réserves en minerai oxydé ayant été exploitée, il est opportun de s'intéresser davantage au minerai carbonaté situé sous le niveau hydrostatique (altitude 555 m). En effet, la morphologie des corps minéralisés, leurs dimensions et leurs extensions en profondeur ainsi que la minéralogie et le chimisme du minerai demeurent mal connus. Des gisements similaires, Djerissa en Tunisie et Bilbao en Espagne, ont d'ailleurs été exploités pour leur minerai carbonaté (Adjali-Aissaoui, 1990; Gil, 1991). Une éventuelle exploitation du minerai carbonaté à l'Ouenza et Boukhadra nécessite que des tests d'enrichissement soient réalisés avant de passer à une étude plus détaillée permettant une meilleure connaissance du minerai.

LES CORPS MINÉRALISÉS

Contrôles de la minéralisation

Plusieurs métallotectes ayant contrôlé la distribution du minerai de fer dans l'édifice calcaire de l'Ouenza ont été signalés (Madre, 1969; Thibiéroz et Madre, 1976; Bouzenoune, 1993).

Tout le minerai de fer du gîte de l'Ouenza est en effet encaissé dans les calcaires aptiens. Plusieurs autres massifs de la région recèlent des minéralisations ferrifères également encaissées par les calcaires aptiens et albiens; il en est ainsi dans les massifs de Boukhadra, Djerissa, Hameima, Slata, Boujaber, M'Zouzia (Rouvier *et al.*, 1985). Ce contrôle stratigraphique n'est d'ailleurs pas spécifique aux massifs de la frontière algéro-

LE GISEMENT DE FER DE L'OUENZA (ALGÉRIE NE) : RELATION ENTRE LE MINÉRAI CARBONATÉ ET LE MINÉRAI OXYDÉ

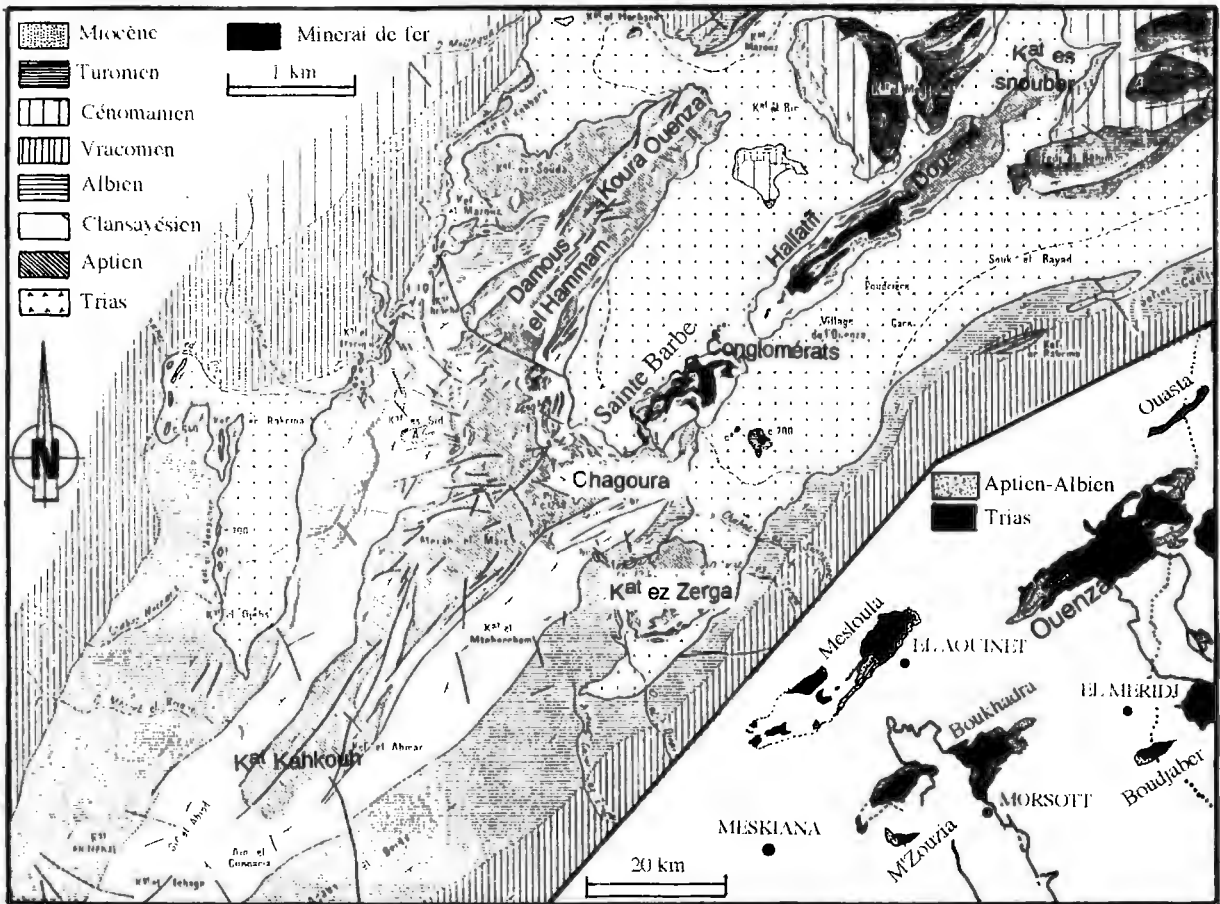


Fig. 1 - Carte géologique du massif de l'Ouenza (Dubourdiou, 1956)

Geological map of the Ouenza mountain (Dubourdiou, 1956)

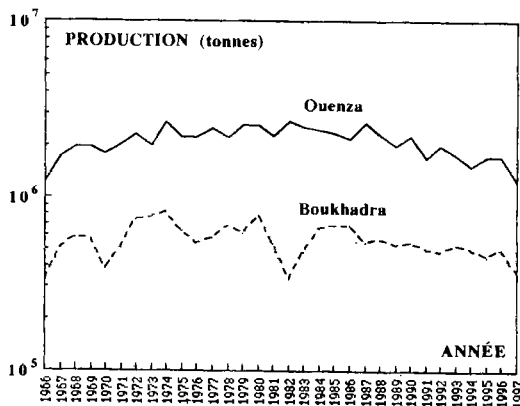


Fig. 2 - Évolution de la production annuelle dans les mines de l'Ouenza et Boukhadra

Evolution of the annual production in Ouenza and Boukhadra deposits

tunisienne, on le trouve aussi dans la province basco-cantabrique au Nord de l'Espagne, où les gisements de Reocin et de Bilbao recèlent également des concentrations ferrifères encaissées dans les faciès carbonatés urgoniens.

Le contrôle lithologique est représenté par les calcaires de l'Ouenza dans lesquels trois membres ont été distingués (Thibiéroz et Madre, 1976, Chikhi-Aouimeur, 1980) :

- membre inférieur des calcaires à polypiers,
- membre moyen des calcaires lithographiques à miliolites et rudistes,
- membre supérieur des calcaires à débris d'organismes.

Le fer a été considéré comme exclusivement localisé dans les calcaires lithographiques à miliolites et rudistes du membre moyen (Madre, 1969). Dans le détail, il apparaît cependant que le contrôle par le calcaire lithographique n'est pas aussi rigoureux qu'il avait été préalablement envisagé. En effet, d'autres faciès peuvent encaisser la minéralisation. Ainsi, la particularité du quartier Sainte Barbe est justement l'apparition d'un minerai hématitique emballant des éléments calcaires (Bouzenoune, 1993). Ce minerai est localisé entre les calcaires à débris du terme supérieur et les marnes grises supérieures qui

forment la charnière de l'antiforme (Fig. 3). Dans le quartier Koudiat ez Zerga ainsi que dans les quartiers de l'arête NW (Damous el Hammam et Koura Ouenza), le minerai peut remplacer tous les types de calcaires quelles que soient leurs positions lithostratigraphiques (Bouzenoune, 1993).

L'interprétation des relevés cartographiques ne montre pas de relations entre la fracturation et la distribution du minerai. Les corps minéralisés ont une allure générale allongée NE-SW conforme à celle de l'encaissant calcaire (Fig. 3).

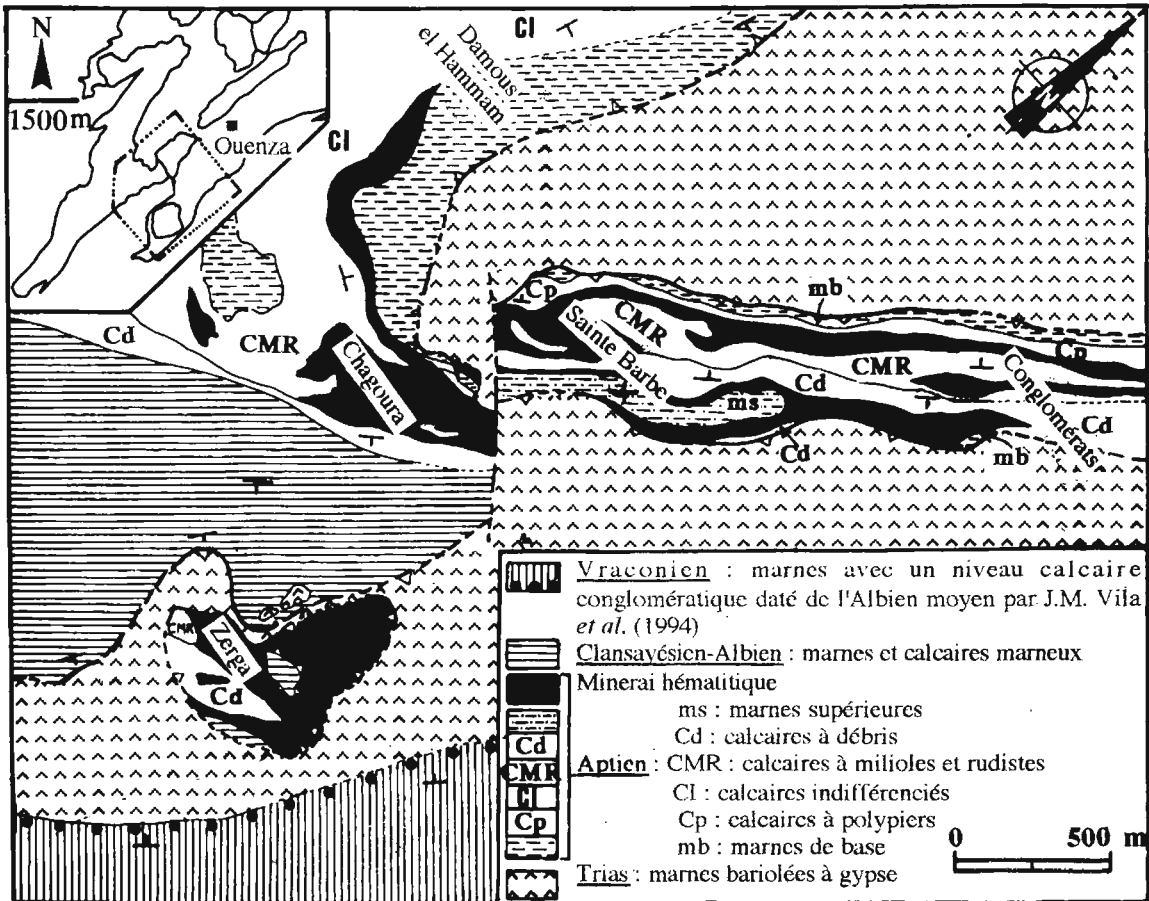


Fig. 3 - Carte géologique de la partie SE du gisement de l'Ouenza montrant la distribution des différents types de calcaire et des principaux affleurements du minerai ferrifère oxydé
Geological map of the SE part of Ouenza deposit showing the distribution of limestones and the main outcrops of oxidized iron ores

Par contre, dans les gisements de Djerissa et de Hameima, trois types de corps minéralisés se sont développés à partir des failles (Adjali-Aissaoui, 1990; Sinkovec, 1968). Des corps filoniens en relation directe avec les accidents de direction N60, N160 au Djebel Djerissa et N100-120 au Djebel Hameima, des corps en amas contrôlés par les failles de direction N60 et N120-130 à Djerissa et N100-120 à Hameima et enfin des corps stratiformes en relation avec les failles N60 et N160 à Djerissa.

Morphologie des corps et position lithostratigraphique

L'allure générale des corps minéralisés et leurs dimensions sont très variables, et de plus en plus complexes en allant du NE vers le SW. On passe ainsi d'une morphologie plutôt concordante en grand, au niveau de Hallatif, où les contacts minerais-calcaires sont plus ou moins parallèles à la stratification, à une morphologie en lentilles ou en amas à contours irréguliers au niveau des quartiers de Sainte Barbe, Chagoura sud et Koudiat ez Zerga (Fig. 3).

Dans la partie NE de la mine s'individualisent deux à trois corps minéralisés stratoïdes qui peuvent être suivis depuis Douamis jusqu'à Conglomérats. Leur position stratigraphique est particulièrement bien visible au niveau de la carrière de Conglomérats et Hallatif (Fig. 3). J. Thibiéroz et M. Madre (1976) distinguent :

- un corps inférieur situé à la base stratigraphique des calcaires à milioles et rudistes, puisant de 5 à 20 m et continu de Douamis à Sainte Barbe,
- un horizon intermédiaire, d'extension latérale très limitée, apparaît entre 20 et 30 m au dessus de la base des calcaires à milioles et rudistes,
- le troisième corps est localisé dans les 12 derniers mètres de cette unité calcaire.

Les corps minéralisés sont engagés dans la structure en antiforme inverse des calcaires aptiens. Cependant, sur le flanc sud-est de l'antiforme, on ne retrouve que le corps de la base de la série qui est recoupé par un accident NE-SW, par la suite minéralisé en barytine, fluorine et galène (Fig. 4).

Les relations spatio-temporelles entre les corps minéralisés, l'encaissant et la déformation sont très importantes pour la recherche de nouveaux corps ou l'extension de ceux déjà exploités. En effet, à l'Ouenza, les corps minéralisés situés sur l'arête SE entre Sainte Barbe et Koudiat es Snouber ont subi un déversement vers l'extérieur de la structure en même temps que les couches aptiennes (Thibiéroz et Madre 1976; Aoudjehane *et al.*, 1992; Bouzenoune, 1993). Ce déversement est attesté par la conservation d'horizons de minerai sur la voûte antiforme (Fig. 4 B). Ces reliques sont visibles à Sainte Barbe, niveaux 660, 675, 697, 788 (observation faite en Septembre 1991). D'autre part, les accidents NE-SW, minéralisés en Ba, F, Pb, Cu recourent les corps minéralisés ferrifères renversés (Fig. 4). L'ennoyage du corps minéralisé inférieur sous le Trias combiné au rejet vertical de la faille, estimé à une centaine de mètres, permet de supposer une extension du minerai ferrifère du flanc sud-est de l'antiforme au delà des affleurements, sous le Trias. Cette continuité pourrait être vérifiée par géophysique (prospection électrique) ou par sondage (Rouvier, 1990; Aoudjehane, 1990).

La géométrie des couches aptiennes renversées sous le Trias extravasé est importante pour délimiter des zones susceptibles d'être exploitées pour la sidérite au delà du flanc sud-est de l'anti-forme.

La concordance des corps minéralisés n'est apparente qu'à une échelle hectométrique. Dans le détail, les limites du minerai sont sécantes et discordantes sur les strates aptiennes.

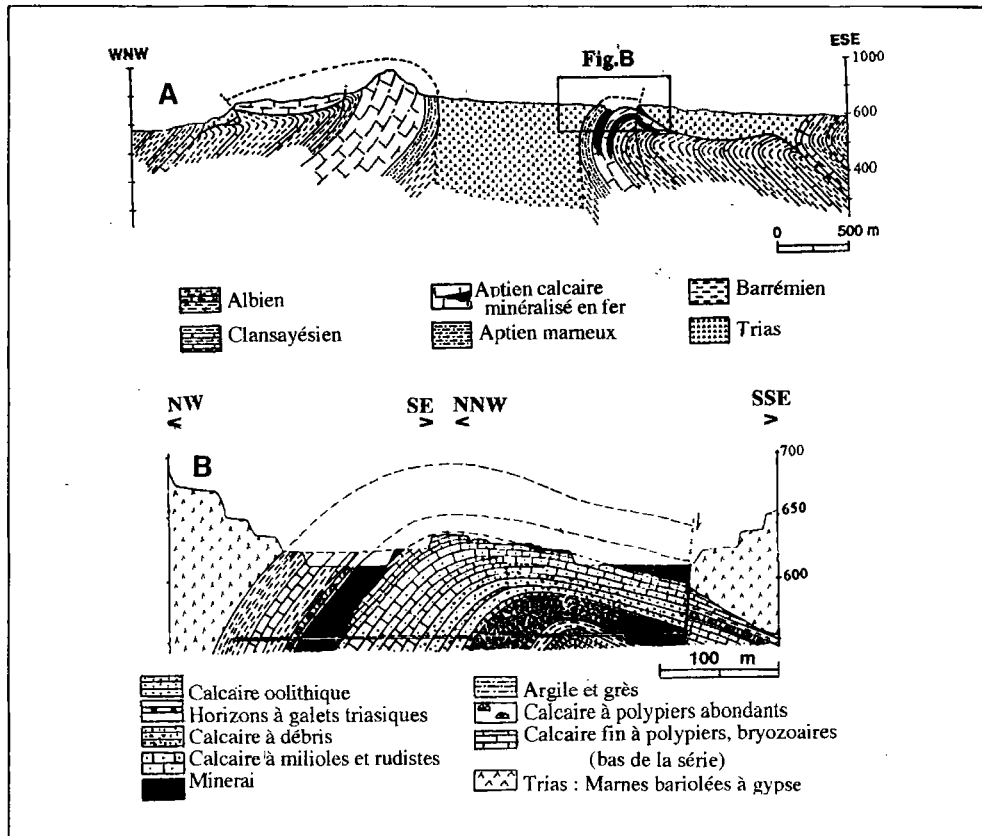


Fig. 4 - Coupes géologiques montrant la position et le mode d'occurrence du minerai ferrifère oxydé dans la structure anticlinale du massif de l'Ouenza.

Geological cross-sections showing the position and mode of occurrence of the oxidized iron ore in the Ouenza anticlinal structure.

A - Coupe interprétative du double déversement des séries albo-aptiennes. (*Interpretative cross-section of the overturned Cretaceous series on the two flanks of the Ouenza diapir*).

B - Coupe schématique de l'antiforme (série renversée) de l'arête sud-est de l'anticlinal de l'Ouenza (Quartier Conglomérats) (Thibiéroz et Madre, 1976) (*Schematic cross-section of the SE anticline (Conglomerats zone) (Thibiéroz et Madre, 1976)*).

Dans la partie sud-ouest de la mine (Sainte Barbe, Chagoura, Zerga), le caractère concordant du minerai tend à disparaître et c'est plutôt la morphologie en amas irrégulier qui prédomine. Le corps minéralisé inférieur distingué à Hallatif est toujours visible à Sainte Barbe. Son mur, plus ou moins rectiligne, coïncide avec la base des calcaires à milioles et rudistes et présente un contact franc avec les calcaires à polypiers. Son toit présente par contre une limite irrégulière et sinueuse montrant parfois des indentations dans les calcaires à milioles et rudistes, ce qui témoigne du caractère discordant

et épigénétique du minerai. En outre, des reliques de calcaires de 10 à 50 m d'extension horizontale subsistent toujours au sein de ce corps minéralisé (Fig. 3).

En montant dans la série stratigraphique, mais toujours dans l'Aptien, on note l'apparition d'un corps minéralisé dans les calcaires à débris (Fig. 3). D'une épaisseur de 10 à 50 m, ce corps peut être suivi latéralement sur une distance de 750 m tout au long de la carrière de Sainte Barbe. Il disparaît au SW à la faveur de l'accident Chagoura-Sainte Barbe, au NE on ne

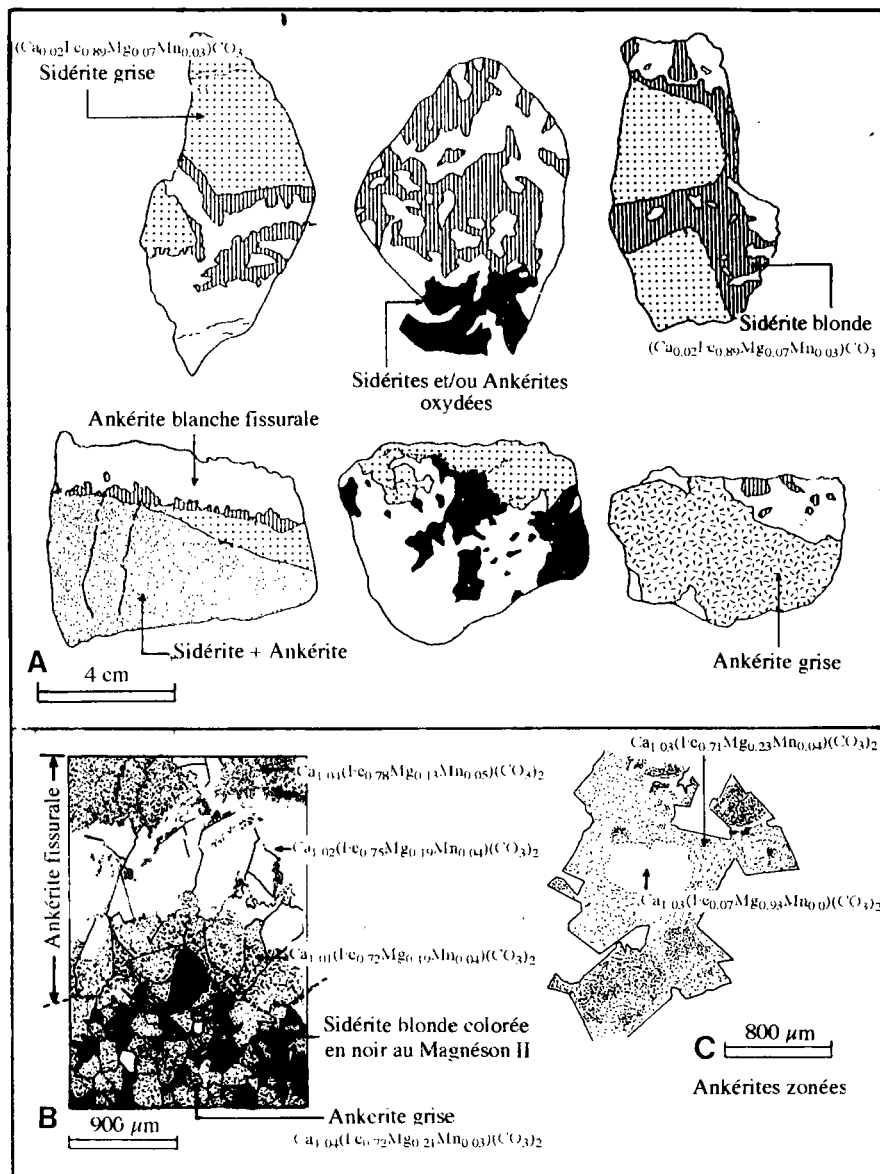


Fig. 5 - Aspects macroscopiques (A) et microscopiques (B) des relations texturales des différents carbonates de fer de l'Ouenza.

Macroscopic (A) and microscopic (B) views of the textural relationship of iron carbonates from Ouenza

à ankérite blanche (Fig. 5 A). Dans certains échantillons, les cristaux d'ankérite en place sont zonés. Le centre des cristaux est clair et présente des clivages nets alors que la bordure a un aspect sale à cause d'impuretés, et les clivages sont absents (Fig. 5 C). L'ankérite blanche est grenue, elle occupe la plus grande partie des fissures d'épaisseur centimétrique.

Au microscope, l'ankérite fissurale est spathique et se développe sous forme de plage allant jusqu'à 5000 μm et ayant une extinction ondulante. Elle présente généralement un aspect sale dû à la présence d'impuretés qui, parfois se concentrent en bandes parallèles donnant ainsi à l'ankérite un aspect concrétionné et zoné (Fig. 5 B).

le retrouve plus en surface au delà de la limite nord-est du quartier Conglomérats. Cette disparition se fait au même temps que disparaissent les marnes supérieures à la faveur d'un plongement de 30 à 40° vers le NE de l'axe de l'anti-forme.

Ce corps minéralisé est déversé avec les bancs calcaires aptiens. Il est également présent sur le flanc sud-est de l'antiforme. Son toit stratigraphique (la série est renversée), présente un contact franc avec les marnes supérieures qui se froissent et deviennent parfois discordantes sur le minerai. Ce comportement est probablement lié à l'effet du plissement sur des faciès à compétences distinctes. Par contre son mur est le plus souvent en contact tectonique avec les évaporites extravasées du Trias sous lesquelles il disparaît (Fig. 3). Comme à Hallatif, les mêmes interrogations et hypothèses s'imposent ici sur le prolongement vers le sud-est du minerai sous le Trias extravasé.

Au delà de l'accident Chagoura-Sainte Barbe, dans les quartiers hauts de la mine, on ne retrouve plus le caractère stratoïde du minerai. Il s'agit essentiellement d'amas à contours irréguliers présentant des contacts francs avec les calcaires. Le minerai s'est substitué aux calcaires d'une manière sélective en laissant des reliques de stérile baignant dans la masse hématitique (Fig. 3).

Les quartiers Hallatif, Conglomérats, Sainte Barbe, Chagoura et Zerga représentent les principaux gîtes de la mine de l'Ouenza où l'étude des corps minéralisés est facilitée par l'exploitation sélective qui s'y développe. D'autres quartiers sont actuellement en étude par Ferphos : il s'agit de l'arête NW (Damous el Hammam-Koura Ouenza) et de Koudiat el Kahkouh. Les données disponibles révèlent l'existence de minerais mais ne permettent pas de tracer les contours des corps minéralisés et d'en déduire leur morphologie.

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE ET CHIMIQUE DU MINÉRAI

Le minerai ferrifère, actuellement exploité, situé au dessus du niveau hydrostatique (altitude 555 m), est constitué principalement par des oxydes de fer. Il résulte de l'oxydation des carbonates de fer qui remplacent les calcaires néritiques aptiens. Les réserves en minerai oxydé étant en voie d'épuisement, la pétrographie, la minéralogie et la chimie du minerai carbonaté doivent être déterminées dans la perspective d'une exploitation des carbonates comme cela a été le cas à Djerissa (Tunisie) et Bilbao (Espagne). La caractérisation minéralogique et chimique des carbonates de fer est en effet une étape indispensable pour mieux connaître ce minerai carbonaté et en déduire les traitements adéquats pour son enrichissement.

Le minerai carbonaté

Pétrographie et minéralogie

Le minerai carbonaté présente le plus souvent un aspect bréchiq, il est constitué principalement de sidérites et d'ankérites avec des proportions variables (Fig. 5).

Les sidérites sont de couleurs grise ou blonde. La sidérite grise se présente en grains fins de taille inférieure à 0,5 mm. De texture massive, elle est toujours affectée par des fissures d'ouverture variant de 0,5 à 3 cm lui conférant un aspect bréchiq (Fig. 5 A). Ces fissures sont remplies par de la sidérite blonde (et/ou ankérite blanche), constituée par un agrégat de cristaux de taille allant jusqu'à 5 mm, qui peut également se présenter en grains isolés dans une masse ankéritique (Fig. 5).

Les ankérites sont de couleurs grise et blanche. L'ankérite grise se présente soit sous forme de plages engrenées de 200 à 2000 µm, soit en rhomboèdres de 400 µm. La masse ankéritique est souvent affectée par des fissures

Le minéral carbonaté de Ouenza contient parfois du quartz authigène en fines baguettes bipyramidées pouvant aller jusqu'à plusieurs millimètres de longueur. La calcite est très rare, elle n'a été observée qu'en inclusions fines héritées du calcaire remplacé dans les cristaux de quartz. Cependant des relations calcite-sidérite-hématite ont été signalées à l'Ouenza (Madre, 1969). A Djerissa, une filiation directe calcite-ankérite-sidérite a été également mise en évidence (Adjali-Aissaoui *et al.*, 1988).

Caractérisation chimique des différents carbonates

Les sidérites analysées montrent une même gamme de composition chimique; elles contiennent 87 à 95 moles % de $(\text{Fe}+\text{Mn})\text{CO}_3$, 5 à 10 moles % de MgCO_3 et 0 à 5 moles % de CaCO_3 (Fig. 6). Les compositions chimiques des différentes ankérites sont également très voisines. Les ankérites à texture fine sont constituées de 45 à 55 moles % de CaCO_3 , 35 à 45 moles % de $(\text{Fe}+\text{Mn})\text{CO}_3$ et 5 à 10 moles % de MgCO_3 (Fig. 6). Dans tous les cas, le rapport Fe/Mg est supérieur à 0,25, les échantillons analysés correspondent bien à des ankérites (Deer *et al.*, 1962). Les ankérites zonées ont un centre dolomitique composé de 40 à 50 moles % de MgCO_3 , 50 à 60 moles % de CaCO_3 et 0 à 10 moles % de $(\text{Fe}+\text{Mn})\text{CO}_3$. Par contre, la bordure des cristaux a une composition chimique identique à celle des autres ankérites (Fig. 6).

La chimie des éléments majeurs ainsi que les isotopes stables (O, C) ne font apparaître aucune différence significative entre les sidérites grises à texture fine et les sidérites blondes à texture spathique. Il en est de même pour les ankérites (Bouzenoune *et al.*, 1995; Bouzenoune et Lécolle, 1997). Le caractère très ferrifère des ankérites de l'Ouenza est frappant car toutes les ankérites analysées ont un rapport Fe/Mg supérieur à 2 et en moyenne autour de 4. Les teneurs en Mg et Mn aussi bien dans les ankérites que dans les

sidérites sont du même ordre de grandeur, elles sont comprises entre 4 et 10 moles % de MgCO_3 et 1 à 3 moles % de MnCO_3 . Par contre le centre dolomitique des ankérites zonées est plus appauvri en Mn (0 à 0,5 moles % de MnCO_3) et contient 0 à 10 moles % de FeCO_3 .

Les teneurs en Sr des carbonates de fer de l'Ouenza sont de 27 ppm dans les sidérites et 52 ppm dans les ankérites (Tableau I). Ces valeurs sont plus faibles que celles des calcaires encaissants (245 ppm en moyenne). Les teneurs en Al_2O_3 des calcaires et des carbonates de fer sont très basses (< 2 %), elles témoignent de la faible quantité d'argiles que ces carbonates contiennent. Les teneurs en Ba dans les carbonates de fer sont inférieures à 10 ppm. Le contenu en Zn varie entre 15 et 50 ppm avec une moyenne de 22,8 ppm dans les sidérites et 29 ppm dans les ankérites. Ces valeurs sont très comparables avec celles du gisement de Bilbao (tableau I). On note cependant que les teneurs du Sr, Ba et Zn obtenues par ICP (Inducted Coupled Plasma) sur les carbonates de fer de l'Ouenza sont supérieures à celles obtenues par Fluorescence X (Bouzenoune, 1993).

Le minéral oxydé

Les constituants minéralogiques

Le minéral exploité est constitué principalement par les produits d'oxydation des carbonates de fer, maintenant restreints à la zone située sous le niveau hydrostatique. Il s'agit essentiellement d'hématite, goéthite et autres ocres limonitiques. L'hématite est le constituant majeur du minéral oxydé, elle se présente sous plusieurs formes :

- pulvérulente de couleur bleu noire rougeâtre, il s'agit d'un minéral riche,
- en masses ternes sans cristaux apparents correspondant à un minéral pauvre,
- en minéral dur et homogène laissant souvent apparaître une trame rhomboédrique héritée du minéral carbonaté.

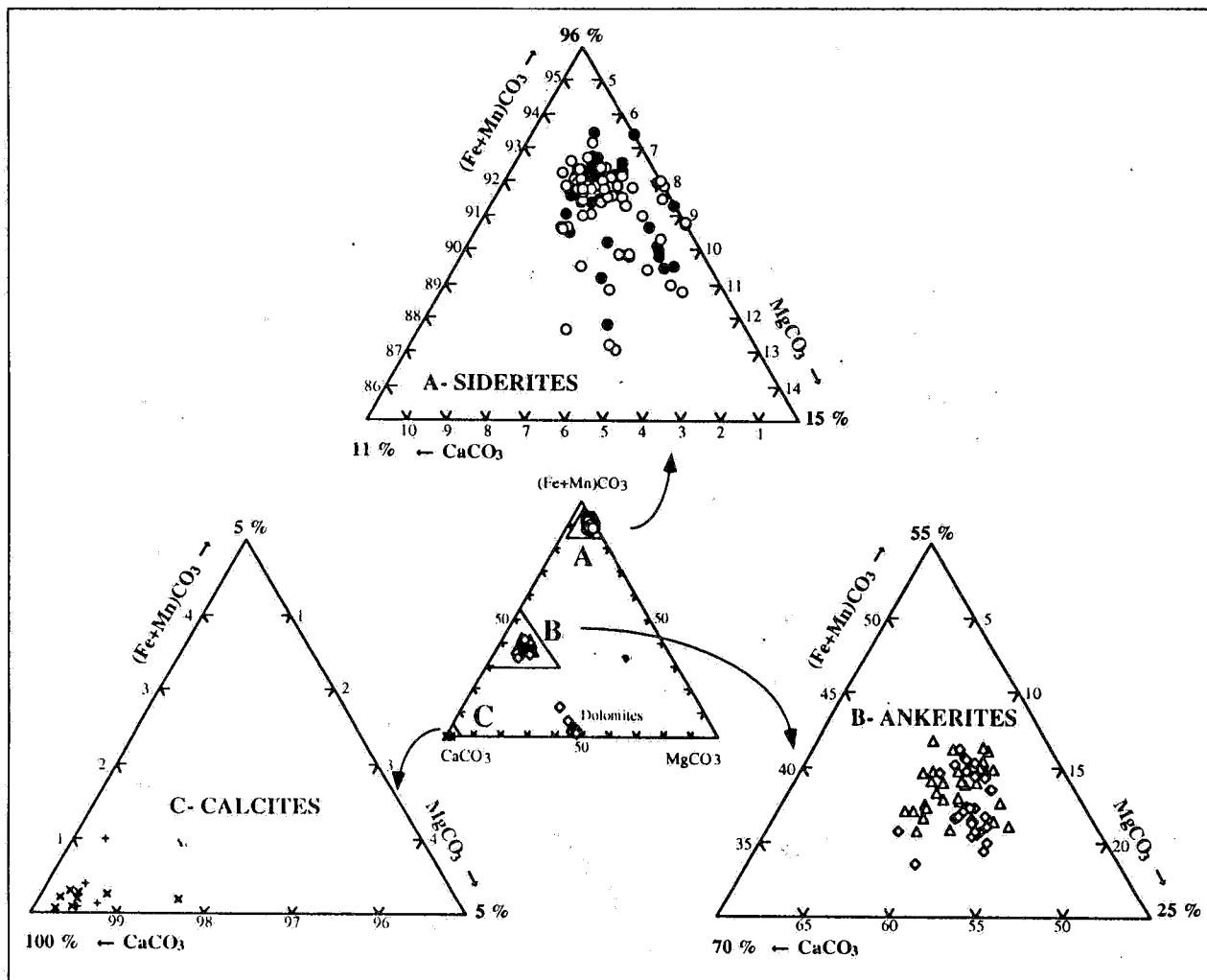


Fig. 6 - Composition chimique molaire des carbonates de l'Ouenza dans le diagramme $(\text{Fe}+\text{Mn})\text{CO}_3\text{-CaCO}_3\text{-MgCO}_3$

Ternary diagrams illustrating elemental molar composition of Ouenza carbonates.

Ankérite grise fine (\diamond) (*Fine-grained gray ankerite* (\diamond)), Sidérite grise fine (\bullet) (*fine-grained gray siderite*), Ankérite blanche spathique (Δ) (*white sparry ankerite*), Sidérite blonde (\circ) (*blond sparry siderite*), micrite (+) (*micrite*), calcite en inclusions dans le quartz (x) (Bouzenoune, 1993) (*calcite inclusions in quartz* (Bouzenoune, 1993)).

Tableau I- Composition chimique moyenne des minerais carbonaté et oxydé de quelques gisements de fer hydrothermaux métasomatiques
Average chemical composition of carbonate and oxidized ore from some hydrothermal metasomatic iron deposits

	FeO	MnO	CaO	MgO	Sr	Ba	Zn	Références
Sidérites (Ouenza)	52,99	1,58	0,78	2,35	27	<10	22,8	Bouzenoune (1993)
Sidérite (Djerissa)	54,06	1,38	3,44	3,68	70	34	25,5	Adjali-Aissaoui (1990)
Sidérite (Bilbao)	47,33	0,94	3,35	3,62	16	13	36	Gil (1991)
Ankérite (Ouenza)	23,71	1,2	25,73	3,52	52	<10	29	Bouzenoune (1993)
Ankérite (Djerissa)	8,95	3,12	33,81	14,05	88	56	55	Adjali-Aissaoui (1990)
Ankérite (Bilbao)	16,16	0,41	28,45	8,27	120	4	28	Gil (1991)
Minérai oxydé (Ouenza)	52-83	—	5,89	—	—	—	—	Ferphos (1991)
Minérai oxydé (Djerissa)	69,87	2,82	3,4	0,78	—	1,79	240	Mahjoubi (1978)
Minérai oxydé (Bilbao)	71,89	1,07	0,12	0,02	27	32	31	Gil (1991)

La goethite forme des encroûtements à surface mamelonnée, brillante et montre aussi des structures stalactiformes. Elle accompagne souvent l'hématite et elle est très fréquente dans les géodes et zones de fracture. Les ocres limonitiques correspondent à des argiles imprégnées de limonites presque toujours associés à la goethite en encroûtement notamment dans les zones bréchiques et de fracture.

En plus de ces produits oxydés, on trouve aussi dans le minerai exploité de la calcite blanche ou brune tardive en grands cristaux spathiques de 1 à 5 cm d'arête. Parfois, le minerai hématitique se charge en silice sous forme de petits cristaux bipyramidés de taille allant de 1 mm à 1 cm diminuant ainsi la qualité marchande du minerai.

Caractéristiques chimiques et économiques

Le minerai de l'Ouenza est un peu manganesifère (2 % en moyenne), pauvre en chaux (1,5 à 7 % de CaO) et parfois assez siliceux (1,8 à 9 % de SiO₂). La teneur en Al₂O₃ est faible (0,4 % en moyenne); elle reflète le caractère sélectif de la substitution qui se fait de préférence aux dépens des carbonates purs (Pohl *et al.*, 1986). Ces caractéristiques se retrouvent dans

l'ensemble des gisements de fer du type hydrothermal-métasomatique, sous type Bilbao (selon la classification de Zitzmann et Neumann-Redlin, 1976). Le gisement de Bilbao qui se trouve dans un contexte géologique légèrement différent de celui des gisements nord-africains se distingue par des teneurs en CaO et MgO plus faibles (Fig. 7). A l'Ouenza, le cuivre est un élément très abondant notamment dans les quartiers Hallatif et Douamis. Sa teneur, qui constitue parfois un obstacle à la commercialisation du minerai de fer, est localement à la limite de l'exploitation mais sa répartition est trop irrégulière. Cet élément est représenté essentiellement par des sulfosels de la série des «cuvres gris» où le pôle tétraédrite (Cu₃SbS₃) est largement dominant (Bouzenoune, 1993).

RELATION MINÉRAI CARBONATÉ-MINÉRAI OXYDÉ

Les carbonates de fer, sidérite et ankérite, ont un champ de stabilité très restreint, ils ne peuvent cristalliser que dans des milieux caractérisés par des conditions réductrices (potentiel d'oxydo-réduction Eh faible, compris entre -0,25 et -0,35 volts), une pression partielle du CO₂ élevée et une très faible fugacité du soufre (Curtis *et al.*, 1968). L'augmentation du Eh en

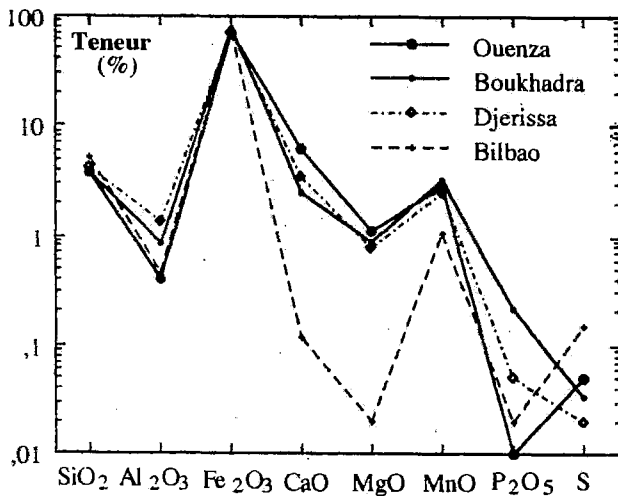


Fig. 7 - Comparaison des compositions chimiques des minerais ferrifères oxydés de l'Ouenza et Boukhadra, Algérie (Popov, 1976); Djerissa, Tunisie (Mahjoubi, 1978) et Bilbao, Espagne (Gil, 1991).

Comparative chemical composition of oxidized iron ore from Ouenza and Boukhadra, Algeria (Popov, 1976); Djerissa, Tunisia (Mahjoubi, 1978) and Bilbao, Spain (Gil, 1991)

présence d'eau et d'air oxyde le Fe²⁺ en Fe³⁺ et déstabilise la sidérite et l'ankérite en faveur des oxydes et hydroxydes.

A l'Ouenza le processus d'oxydation est contrôlé par le niveau de la nappe phréatique. Au dessous le minerai est carbonaté et au dessus il est entièrement oxydé. C'est l'oxydation du minerai primaire qui a permis de passer d'une teneur moyenne de 41% de Fe dans le minerai sidéritique à une teneur moyenne de 52% de Fe dans le minerai hématitique.

En facilitant la percolation des eaux météoriques, la fracturation a du jouer un rôle important dans cet enrichissement. Ceci est d'autant plus frappant si l'on compare les gisements très tectonisés (Ouenza) qui sont riches et les gisements plus calmes (Djerissa, Bilbao) qui le sont moins (Madre, 1969). Cet auteur fait remarquer aussi, mais sans que cela soit étayé par des analyses chimiques, que les zones de fractures lorsqu'elles affectent directement le

minerai le rendent très riche. L'observation sur le terrain montre quelques exceptions, par exemple, les oxydés présents dans les calcaires aptiens, à proximité des accidents majeurs (faille du Pic, accident Chagoura-Sainte Barbe), constituent souvent un minerai non marchand.

Les différentes carrières de la mine de l'Ouenza se distinguent par la quantité des réserves et par une composition hétérogène des minerais. Sur la base de la teneur en fer, les réserves ont été regroupées en trois catégories (Ferphos, 1991):

- un minerai moyennement riche dont la teneur en fer est supérieure à 50% de Fe. Il est essentiellement localisé dans les quartiers de Chagoura sud, Douamis, Sainte Barbe, Conglomérats et Hallatif,

- un minerai pauvre dont la teneur en fer est comprise entre 40 et 50 % de Fe, localisé dans les quartiers de Zerga et Chagoura nord,

- un minerai très pauvre dont la teneur en fer est inférieure à 40 % de Fe. Ce minerai se trouve surtout à Koudiat es Souda et dans la partie sud de Sainte Barbe.

Les analyses chimiques effectuées par Ferphos illustrent cette hétérogénéité de la composition du minerai (Bouzekria et Ounoughi, 1997). Les teneurs en fer varient d'un quartier à l'autre et au sein d'un même quartier (Fig. 8). On note aussi une diminution de la teneur en fer avec la profondeur.

Pour expliquer ces différences de teneur du minerai, M. Madre (1969) met l'accent sur le rôle joué par la fracturation et l'altération (oxydation au dessus du niveau hydrostatique) dans l'enrichissement du minerai. L'altération représente en effet un phénomène indispensable pour l'exploitation des gisements de sidérite en série carbonatée parce qu'elle détermine une coupure naturelle entre un minerai pauvre et un

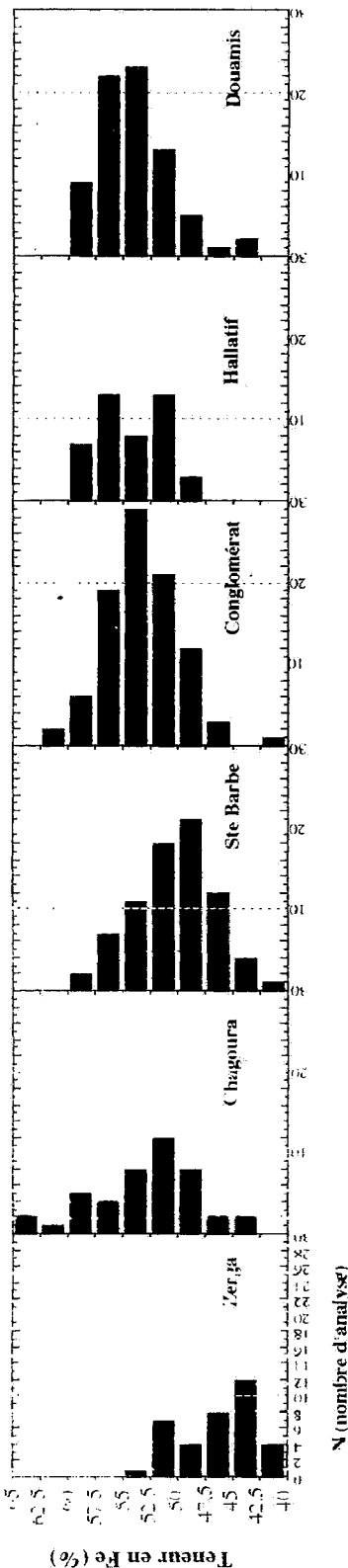


Fig. 8 - Variation de la teneur en fer du minerai oxydé dans les différents quartiers de la mine de l'Ouenza (les données sont d'après Ferphos, 1997).
Variation in the Fe weight percent of the oxidized iron ore in the Ouenza deposit (Data are from Ferphos, 1997).

minerai riche souvent seul exploitable. Cependant l'altération n'est vraisemblablement pas seule responsable des disparités des teneurs en fer du minerai au sein d'un gisement, car la composition minéralogique originelle joue également un rôle fondamental.

Le minerai carbonaté de l'Ouenza n'est pas homogène. Il est constitué principalement par deux phases carbonatées : la sidérite et l'ankérite dont les teneurs moyennes en fer sont respectivement de 42 % et 19 % de Fe (Bouzenoune et Lécalle, 1997). Les proportions relatives des deux carbonates sont très variables (Fig. 5). C'est cette inégalité dans les proportions des deux phases minérales, et par conséquent de la composition chimique globale du minerai carbonaté qui s'est traduite dans le minerai oxydé (Bouzenoune, 1993). Le minerai pauvre résulterait alors de l'oxydation d'un minerai carbonaté à forte teneur d'ankérite, tandis que le minerai riche serait issu de l'oxydation d'un minerai à forte teneur en sidérite.

Cette étroite relation entre minerai carbonaté et minerai oxydé peut éventuellement être utilisée à des fins prospectives. La localisation des zones à minerai hématitique riche donnerait une vision d'ensemble sur la nature minéralogique et chimique originelle du minerai situé sous la zone d'oxydation. Un essai de cartographie géochimique de la teneur en fer du minerai oxydé au 1/5000 a d'ailleurs été réalisé sur le quartier Chagoura sud (Bouzekria et Ounoughi, 1997). Les cartes d'isoteneurs du fer ont permis de localiser les zones à minerai hématitique riche. Ces zones sont situées à une centaine de mètres au NW du prolongement de la faille du Pic. La généralisation de ce type de cartographie à une échelle plus détaillée (1/1000) sur l'ensemble des carrières de la mine permettrait de cerner la variation spatiale de la teneur en fer du minerai oxydé. L'image obtenue en surface sur le minerai oxydé pourrait refléter celle du minerai carbonaté situé sous le niveau hydrostatique.

CONCLUSION

Les essais métallurgiques par calcination effectués sur la sidérite sont encourageants puisqu'une fois calcinée la sidérite devient un oxyde à teneur en fer élevée (>50%) (Ferphos, 1991). Le minerai carbonaté a d'ailleurs été exploité à Djerissa (Tunisie) et Bilbao (Espagne). Dans ces conditions et étant donné que les réserves en minerai oxydé sont en voie d'épuisement, il devient alors impératif de s'intéresser davantage au minerai carbonaté et particulièrement à la sidérite puisqu'elle apparaît déjà comme un substitut avantageux du minerai oxydé. Par conséquent, la caractérisation minéralogique et chimique des carbonates est une étape indispensable pour mieux connaître ce minerai carbonaté et en déduire les techniques adéquates à son enrichissement. D'autre part, la variation spatiale des teneurs en fer du minerai oxydé pourrait être utilisée pour chercher les zones à minerai carbonaté riche.

BIBLIOGRAPHIQUES

- ADJALI-AISSAOUI, S., 1990. Structuration et genèse des gisements de fer carbonaté du Jebel Jerissa et du Jebel Hameima (NW de Tunisie). Pétrographie des carbonates, minéralogie et étude de la matière organique appliquées aux gîtes de couverture. *Thèse de Doctorat de 3e Cycle*, Université de Tunis, 193 p.
- ADJALI-AISSAOUI, S., MAHJOUBI, M. ET TLIQ, S., 1988. Origine épigénétique commune de la minéralisation en fer (sidérite) de deux gisements associés : stratiforme et karstique. Le cas du Jebel Jerissa (Tunisie). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, t. 306, Série II, p. 357-360.
- AOUDJEHANE, M., 1990. Structure et gîtologie des concentrations de Zn-Pb et Fe dans le Nord-Est Algérien. Exemple des gîtes de Ouenza, Ouasta et Bou Jaber. Analyses et recommandations de recherches. *Rapport interne EREM*, n° 2, 55 p., Boumerdès, Algérie.
- AOUDJEHANE, M., BOUZENOUNE, A., ROUVIER, H. ET THIBIÉROZ, J., 1992. Halocinèse et dispositifs d'extrusion du Trias dans l'Atlas saharien oriental. *Géologie méditerranéenne*, vol. XIX, n° 4, p. 273-287.
- BOUZEKRIA, R. ET OUNOUGH, M., 1997. Le gisement de l'Ouenza (Algérie orientale) : Pétrographie des minéralisations « polymétalliques » et cartographie géochimique du minerai ferrifère oxydé. *Mémoire d'Ingénieur*, Université de Constantine, 95 p.
- BOUZENOUNE A., 1993. Minéralisations périadiapiriques de l'Aptien calcaire : les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie orientale). *Thèse de Doctorat*, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 1 vol., 206 p.
- BOUZENOUNE A. ET LÉCOLLE, P., 1997. Petrographic and geochemical arguments for hydrothermal formation of the Ouenza siderite deposit (NE Algeria). *Mineralium Deposita*, vol. 32, p. 189-196.
- BOUZENOUNE, A., ROUVIER, H. ET THIBIÉROZ, J., 1995. Trias de l'Ouenza : contexte diapirique, zonation minéralogique et conséquences métallogéniques. *Bulletin du Service géologique de l'Algérie*, vol. 6, n° 1, p. 3-24.
- CHIKHI-AOUMEUR, F., 1980. Les rudistes de l'Aptien supérieur du Djebel Ouenza (Algérie NE). Paléontologie, contexte stratigraphique et paléogéographique. *Thèse de Doctorat de 3e Cycle*, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène (USTHB), Alger, 114 p.
- CURTIS, C. D. ET SPEARS, D. A., 1968. The formation of Sedimentary Iron Minerals. *Economic Geology*, vol. 63, p. 257-270.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. ET ZUSSMAN, J., 1962. Rock-forming minerals. *Longmans, Ed., Londres*.
- DUBOURDIEU, G., 1956. Étude géologique de la région de l'Ouenza (confins algéro-tunisiens). *Bulletin du Service de la Carte géologique de l'Algérie (N.S.)*, n° 10, 659 p.

LE GISEMENT DE FER DE L'OUENZA (ALGÉRIE NE) : RELATION ENTRE LE MINÉRAI CARBONATÉ ET LE MINÉRAI OXYDÉ

- FERPHOS, 1991.** *Rapport interne* (inédit).
- FERPHOS, 1997.** *Rapport interne* (inédit).
- GIL, P.P., 1991.** Las mineralizaciones de hierro en el anticlinal de Bilbao : Mineralogía, geoquímica y metalogénia. *Tesis doctoral*, Universidad. del País Vasco, Bilbao, 343 p.
- MADRE, M., 1969.** Contribution à l'étude géologique et métallogénique du Djebel Ouenza (Est Algérie). *Thèse de Doctorat de 3e Cycle*, Faculté des Sciences, Université de Paris, 78 p.
- MAHJOUBI, H., 1978.** Un exemple de gisement ferrifère en milieu récifal : la mine du jebel Jérissa (Tunisie). *Thèse de Doctorat de 3e Cycle*, Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie, 85p.
- 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*, vol.21, p. 228-233.
- POPOV, A., 1976.** Les gisements de fer en Algérie. *In*: Zitzmann A. Ed., The Iron Ore Deposits of Europe and adjacent Areas, vol. I, p. 83-89.
- ROUVIER, H., PERTHUISOT, V. ET MANSOURI, A., 1985.** Deposits and salt bearing diapirs in Southern Europe and North Africa. *Economic Geology*, vol. 30, n° 3, p. 666-687.
- ROUVIER, H., 1990.** Les concentrations liées aux diapirs évaporitiques des confins algéro-tunisiens. *Projet PNUD, rapport interne EREM*, 71 p., Boumerdès, Algérie.
- SINKOVEC, B., 1968.** Le gisement ferrifère de Djebel Hameïma en Tunisie. *Geoloski Vjesnik*, Zagreb, vol. 21, p.355-365.
- THIBIÉROZ, J. ET MADRE, M., 1976.** Le gisement de sidérite du djebel Ouenza (Algérie) est contrôlé par un golfe de la mer aptienne. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Afrique du Nord*. t.67, fasc.3-4, p.125-150.
- VILA, J. M., BENKHEROUF, F. ET CHARRIÈRE, A., 1994.** Interprétation du matériel triasique de la région de l'Ouenza (confins algéro-tunisiens) : un vaste « glacier de sel » sous-marin albien, à l'image des structures off-shore d'Aquitaine. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, t.318, série II, p.109-116.
- ZITZMANN, A. AND NEUMANN-REDLIN, CHR., 1976.** The genetic Types of Iron ore Deposits in Europe and adjacent Areas. *In* : Zitzmann A. Ed., The Iron Ore Deposits of Europe and adjacent Areas, vol.I, p.13-35.