

Caractérisation minéralogique et géochimique des sphalérites de l'Algérie

Abderrahmane HENNI*

* Office National de la Recherche Géologique et Minière,
B.P. 102 Boumerdès 35 000 (Algérie)

Résumé: Le but de ce travail a été l'étude des caractéristiques typomorphiques et le comportement géochimique de certains éléments traces (Fe, Cd, Ge, etc...) dans la sphalérite des trois gisements polymétalliques de Kherzet Youcef, Aïn Kahla Nord et Boucaïd. La sphalérite est le minéral le plus répandu dans la plupart des gisements polymétalliques de l'Algérie. Elle constitue le principal minéral de zinc qui renferme des métaux plus au moins rares (Cd, Ge, ...).

Les résultats des analyses minéralogiques et physico-chimiques ont permis de mettre en évidence certaines particularités typomorphiques de la sphalérite et définir les formes de présence et les modes de distribution des éléments traces (Fe, Cd, Ge, Ba...). Deux nouvelles phases de germanium ont été mises en évidence dans la sphalérite collomorphe de Boucaïd.

Mots clés: Minéralisation Pb-Zn - Sphalérite - Éléments traces - Distribution - Structure cristalline - Isomorphisme - Inclusions - Phases germanifères.

Mineralogical and geochemical characterisation of sphalerite of Algeria

Abstract: The aim of this work has been the study of typomorphic characteristics and the geochemical behaviour of certain trace elements (Fe, Cd, Ge, ...) in sphalerite of three polymetallic deposits: Kherzet Youcef, Aïn Kahla North and Boucaïd. Sphalerite is the most common mineral in the polymetallic deposits of Algeria. It is composed of the principle mineral of zinc which contains metals almost rare (Cd, Ge, ...).

The results of mineralogical and physico-chemical analyses show certain typomorphic particularities of the sphalerite and define the forms of presence and the distribution modes of trace elements (Fe, Cd, Ge, Ba...). Two new phases of germanium have been discovered in the colloidal sphalerite of Boucaïd.

Key-words: Pb-Zn Mineralization - Sphalerite - Trace elements - Distribution - Crystalline structure - Isomorphism - Inclusions - Germaniferous phases.

I - INTRODUCTION

La sphalérite est le minéral prépondérant des minerais Pb-Zn des gisements de Kherzet Youcef, Aïn Kahla Nord et Boucaïd. En plus du zinc, la sphalérite renferme certains minéraux de germanium et cadmium.

L'étude des caractéristiques minéralogiques et géochimiques de la sphalérite à l'échelle régionale présente un grand intérêt pour la recherche minière.

La sphalérite, en tant qu'indicateur géochimique, peut fournir des informations complémentaires sur la composition des solutions et leurs évolutions lors de la formation des gisements polymétalliques.

II - APERCU GEOLOGIQUE

Gisement de Kherzet Youcef

Le gisement de Kherzet Youcef est situé dans

la province métallogénique du Hodna (Fig. 1). Il se trouve à 5,5 km au Nord-Ouest du village d'Aïn Azel sur le flanc nord de la structure anticlinale de Hadjar-Labioud.

La minéralisation est localisée dans les dépôts du Barrémien supérieur qui sont constitués d'une alternance de calcaires, marno-calcaires et dolomies (Glaçon, 1967). Le gisement est limité à l'Est par la faille de Kherzet Youcef de direction Nord - Sud (Fig. 2). Le corps de minerai est constitué de plusieurs couches minéralisées, localisées uniquement au voisinage de la faille. Le nombre de ces couches et leur puissance augmentent en direction de la faille. La minéralisation s'étire vers l'Ouest sur 50-150m avec une épaisseur moyenne de 2-3m. Le gisement est de type stratiforme. La minéralisation a affecté de préférence les couches dolomitiques bréchiques. Les sulfures sont disséminés ou remplissent des fissures, des pores et des cavités dans les dolomies (Henni, 1984; Touahri, 1987).

Le minerai est de composition simple. Les minéraux métallifères sont la sphalérite, la galène

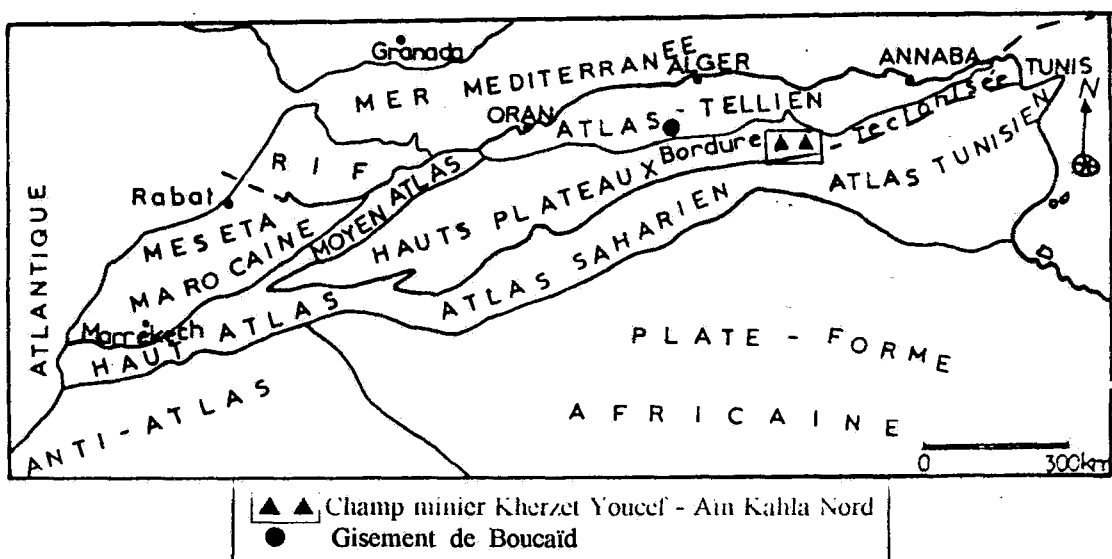


Fig. 1 - Les grands ensembles structuraux du Maghreb (d'après Guardia, 1976)
Main structural units of Maghreb (Guardia, 1976)

et la marcasite (pyrite rare). La gangue est formée de dolomite, de calcite, parfois de barytine. La matière organique (bitume) est largement répandue et remplit les fissures et les géodes. Elle est associée, en particulier, aux sulfures (Henni et Parparova, 1983; Henni, 1993).

Gisement d'Aïn Kahla Nord

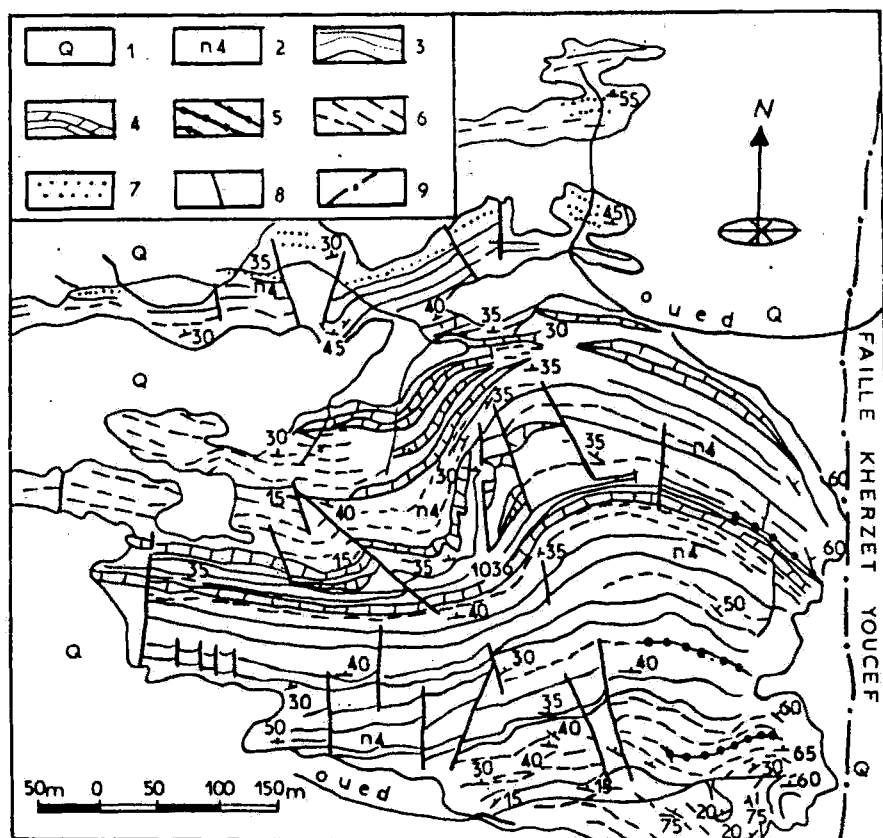
Le gisement est localisé dans le même champ minier que Kherzet Youcef et distant de ce dernier de 3 Km vers l'Ouest. La minéralisation est encaissée dans des roches carbonatées jurassiques.

La composition minérale est simple et identique à celle de Kherzet Youcef. La sphalérite est prépondérante. La minéralisation est de type stratiforme.

Gisement de Boucaïd

Le gisement polymétallique de Boucaïd se trouve à 250 km au Sud - Ouest d'Alger. Il se situe sur la partie la plus haute de la chaîne montagneuse de l'Ouarsenis (Atlas Tellien) (Fig. 1).

Le gisement de Boucaïd est constitué des massifs de Belhairat, Batha, Abdelkader, Grand



1: Quaternaire, 2: Barrémien, 3: Alternance de roches carbonatées et argileuses, 4: Roches carbonatées (calcaire, dolomie), 5: Corps minéralisés affleurants, 6: Dolomies minéralisées, 7: Grés, 8: Failles secondaires et fractures, 9: Faille de Kherzet Youcef

Fig. 2 - Schéma géologique du gisement de Kherzet Youcef (Rudis, 1967) modifié
Geological sketch of Kherzet Youcef deposit (Rudis, 1967) modified

Pic et Rokba. Ces massifs sont formés de roches sédimentaires jurassiques affleurant, sous forme de pointements isolés, au milieu des terrains créacés. La majorité des amas minéralisés connus sont encaissés dans les roches carbonatées du Lias moyen et supérieur. Leur morphologie est très variée. Les formes les plus fréquentes sont: des filons, des colonnes, des amas et des strates. Le corps minéralisé de Boudinar (massif de Belkheirat) représente un gîte de type stratiforme constitué de minerai (Pb-Zn) bréchique, massif ou d'imprégnation, dans une gangue barytique (Henni, 1973).

Les principaux minéraux sont la sphalérite, la galène, la pyrite et la marcasite. Les minéraux de la gangue sont la barytine, la calcite, parfois la dolomite. Le minerai est souvent de texture colloforme, rubanée, localement métacolloïdale, tâchée et bréchique.

III- METHODES ANALYTIQUES

L'examen microscopique a porté sur plus de 200 sections polies.

Mesure de la réflectance

Les mesures du pouvoir réflecteur de la sphalérite ont été effectuées sur le micro-photomètre MPV-2 (Leitz) dans l'intervalle spectral de 420 à 680 nm.

Mesure de la densité

La mesure de la densité a porté sur 17 échantillons de sphalérite de Kherzet Youcef. La méthode utilisée est celle du gradient thermique.

Analyse par la diffraction des rayons X

Les analyses ont été effectuées sur 40 échantillons de sphalérite des trois gisements étudiés.

Les mesures du paramètre de la maille cristalline ont été réalisées en utilisant la cathode de cuivre. Les intervalles des angles sélectionnés sont: $2\theta = 125 - 127^\circ$ et $140 - 142^\circ$ pour une vitesse de $0,5^\circ/\text{min}$. Chaque échantillon a été analysé trois fois de suite. L'étalon externe utilisé a été le germanium métallique ($a_0 = 5,6571 \text{ \AA}$).

Analyses physico-chimiques

L'analyse spectrale quantitative a été menée sur 13 échantillons de sphalérite pour le dosage des éléments: cadmium, germanium, argent, cuivre.

L'analyse spectrale au laser a été effectuée sur le micro-spectro-analyseur au laser MSL - 2 (Zeiss). Elle a été utilisée pour le dosage des éléments cadmium, fer et manganèse dans 40 échantillons de sphalérite de Kherzet Youcef.

Analyse au microscope électronique

L'examen au MEB (*Cambridge*), effectué au laboratoire du BRGM (Orleans, France), a porté sur 5 échantillons de sphalérite de Kherzet Youcef.

Analyse à la microsonde

L'analyse à la microsonde (*Castaing-Cameca*) a été menée sur 9 échantillons de sphalérite à l'Institut de Recherche en Géologie (VSEGII) de Leningrad. Les principaux éléments dosés sont:

le zinc, le fer, le cadmium, le germanium, le soufre, le cuivre et le manganèse. La distribution du fer et du cadmium a été réalisée sur 4 échantillons par une analyse ponctuelle (140 points analysés) par balayage sur des cristaux de sphalérite de Kherzet Youcef à la microsonde électronique de type *Camebax* automatique au laboratoire du BRGM.

La distribution du germanium et du baryum a été étudiée en détail dans la sphalérite de Boucaïd à la microsonde électronique de type Géoscan (Chaire de géochimie de l'Université d'Etat de Léningrad).

IV - DESCRIPTION MICROSCOPIQUE DES SPHALERITES

L'observation microscopique d'une centaine d'échantillons de sphalérite a permis de déterminer les différentes espèces minérales, leurs relations mutuelles et leurs évolutions dans le temps et l'espace (Henni, 1984).

Sphalérite de Kherzet Youcef

L'étude microscopique détaillée du minerai (Pb-Zn) a mis en évidence l'existence de deux générations de sphalérite.

La première génération de sphalérite s'est développée en même temps que la minéralisation disséminée à marcasite. Elle forme une masse finement cristalline (0,1-0,8 mm), parfois, des agrégats ou des phénocristaux. Les structures allotriomorphe et hypidiomorphe sont les plus caractéristiques.

La deuxième génération de sphalérite se rencontre sous forme de deux variétés: la première,

de distribution irrégulière, forme, la plupart du temps, des masses collomorphes et des couches rubanées et concentriques de différentes teintes (brun - foncé à jaune - clair). La partie centrale de ces structures est souvent occupée par de la dolomite ou de la marcasite. La deuxième variété est plus abondante dans les espaces vides (pores, cavités) du minerai. Elle présente une structure grenue. Les cristaux remplissent les pores, forment des druses et tapissent les parois des cavités. Ils sont idiomorphes (0,2-0,5 mm) et d'habitus tétraédrique.

La couleur de la sphalérite varie du brun - foncé au jaune-clair et reflète une structure zonée des cristaux. Les réflexions internes varient de l'incolore au brun-clair. La sphalérite est optiquement isotrope. L'absence de la modification hexagonale (*Wurtzite*) a été vérifiée en section polie.

Sphalérite d'Aïn Kahla Nord

La sphalérite est le minéral principal du gisement d'Aïn Kahla Nord. Elle est présente sous forme de menus cristaux allotriomorphes (0,03-0,5 mm) de répartition irrégulière dans les dolomies. La sphalérite est pure et claire.

Sphalérite de Boucaïd

Autant que dans les autres gisements, la sphalérite est le minéral prépondérant surtout dans le corps de minerai de Boudinar. Elle est observée sous forme d'agrégats cryptocristallins (collomorphes) ou holocristallins. La variété collomorphe est la plus précoce et cimente des fragments de pyrite ou recoupe ses filonnets. Elle forme des séquences rubanées de différentes teintes (du crème au rouge-brun).

La sphalérite cristalline constitue des amas importants de cristaux de couleur brun clair à foncé. Sa structure est allotriomorphe avec de gros grains (0,2 à 0,5 mm).

V- RESULTATS

Les mesures de la densité de la sphalérite de Kherzet Youcef se caractérisent par un écart important entre les valeurs minimales ($d=3,9194$) pour la sphalérite précoce de teinte foncée et celles maximales de la variété tardive, plus claire ($d = 4,1606$).

Les valeurs du pouvoir réflecteur de la sphalérite de diverses associations paragénétiques sont assez proches. D'après les données obtenues, il ressort que pour la variété de teinte sombre ($Fe = 0,85\%$), dans l'intervalle de 420 à 680 nm, sa réflectance diminue de 19,3% à 15,7%. Le pouvoir réflecteur le plus faible caractérise la variété de couleur jaune-clair ($R = 18,4-16,2\%$) et diffère de 0,2% à 0,5% des valeurs signalées dans la littérature (Picot et Johan, 1977).

L'analyse qualitative menée aux rayons X sur une vingtaine d'échantillons de sphalérite de Kherzet Youcef a confirmé la présence unique de la modification cubique.

Les diagrammes de diffraction aux rayons X des sphalérites de Boucaïd ont révélé la présence des pics caractéristiques du sulfure de cadmium. La variété collomorphe forme sur ces diagrammes des pics correspondants aux deux modifications de sulfure de cadmium: α CdS- hawleyite (cubique), β CdS-grenockite (hexagonale). Par contre, dans la sphalérite cristalline, seules les diffractions caractéristiques de α CdS ont été constatées.

Le calcul du paramètre a_0 a été effectué suivant les réflexions 620 et 533. Les valeurs obtenues montrent que ce paramètre varie de 5,4103 à 5,4151 pour les sphalérites de Kherzet Youcef et de 5,4002 Å à 5,4093 Å pour celles de Boucaïd.

Les valeurs obtenues du paramètre a_0 augmentent de la génération I (a_0 moy=5,4111+0,0005) à la génération II (a_0 moy=5,4134+0,0002). Elles sont en corrélation positive avec la teneur en cadmium de la sphalérite (tab. 1, fig. 3).

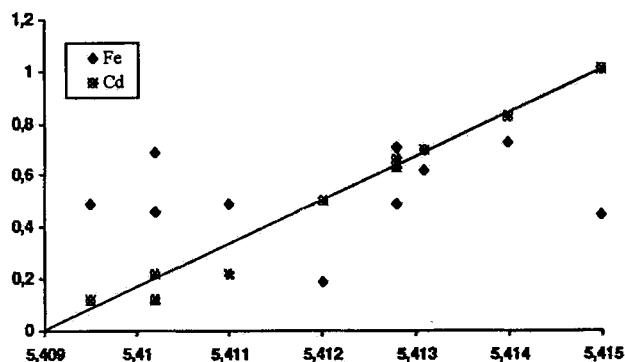


Fig. 3 - Relations entre le paramètre a_0 de la maille élémentaire et les teneurs en fer et cadmium dans la sphalérite de Kherzet Youcef (Génération I et II confondues)

Relation between a_0 parameter of elementary mesh and iron and Cadmium concentrations in Kherzet Youcef Sphalerite

Les écarts constatés entre les valeurs théoriques, calculées d'après la formule de Skinner (1961), et celles expérimentales sont peu significatives. Parmi ces dernières, certaines sont légèrement supérieures aux valeurs théoriques.

La composition chimique des sphalérites a été déterminée par l'analyse spectrale quantitative, l'analyse au laser, la microscopie électronique et la microsonde (tabl. 2).

Les résultats de l'analyse spectrale quantitative ont montré que les teneurs globales en Cd, Ge,

Tableau 1- Variation du paramètre a_0 en fonction des teneurs en fer et cadmium dans la sphalérite de Kherzet Youcef
Variations of a_0 parameter vs iron and Cadmium concentrations in Kherzet Youcef Sphalerite

N°	Gén.	Echant.	Fe (%)	Cd (%)	a_0 exo.	a_0 théor (Selon Skinner 1961)	a_0 théor - a_0 exo	a_0 moy exo
1	I	219	0,69	0,22	5,4102	5,4109	+0,0007	5,4111+0,0005
2		248	0,46	0,12	5,4102	5,4103	+0,0001	
3		237	0,62	0,70	5,4131	5,4136	+0,0005	
4		10-I-K	0,49	0,12	5,4095	5,4103	+0,0008	
5		5-8-5	0,71	0,66	5,4128	5,4134	+0,0006	
6		5-8-5	0,49	0,22	5,4110	5,4108	-0,0002	
7	II	10-C	0,73	0,83	5,4140	5,4143	+0,0003	5,4134+0,0002
8		13-3-1	0,45	1,01	5,4150	5,4151	+0,0001	
9		238	0,19	0,50	5,4120	5,4122	+0,0002	
10		215	0,49	0,63	5,4128	5,4131	+0,0003	

Cu, Ag, augmentent des générations précoces aux plus tardives (sphalérite de Kherzet Youcef) (tabl.2). La teneur de Cd est supérieure à 1% dans l'ensemble des échantillons. Dans certains d'entre eux, la teneur en argent est de 1%. La concentration du Ge est de 1 % dans un seul échantillon de sphalérite.

L'analyse de la sphalérite de Boucaïd a révélé la présence des éléments suivants: Cd (1 %), Ge (0,001-0,1%), Cu (0,005-0,07 %).

Le dosage des éléments Cd, Fe et Mn a été effectué sur le micro-spectro-analyseur au laser.

Les résultats obtenus des analyses sus-mentionnées ont montré que ces sphalérites sont similaires par la qualité des éléments qu'elles renferment (Cd, Mn, Fe) et ne diffèrent que par leurs quantités. Le Cadmium prédomine, surtout, dans la sphalérite de Kherzet Youcef (tabl. 2).

Tableau 2- Teneurs des éléments Fe, Cd, Ge et Cu dans la sphalérite de Kherzet Youcef
Concentrations of Fe, Cd, Ge and Cu elements in Kherzet Youcef Sphalerite

Elément	Analyse	Nbre	Sphalérite I (%)	Nbre	Sphalérite II (%)
Fer	Spectrale Quant.	6	$\frac{0,4 - 0,71}{0,63}$ (moy.)	4	$\frac{0,19 - 0,73}{0,46}$ (moy.)
	Spectrale Laser	17	$\frac{1,2 - 3,2}{1,97}$ (moy.)	17	$\frac{1,0 - 2,1}{1,66}$ (moy.)
	Microsonde	7	$\frac{0,18 - 1,27}{0,67}$ (moy.)	6	$\frac{0,11 - 0,72}{0,53}$ (moy.)
Cadmium	Spectrale Quant.	6	$\frac{0,12 - 0,70}{0,34}$ (moy.)	4	$\frac{0,50 - 1,04}{0,50}$ (moy.)
	Spectrale Laser	17	$\frac{0 - 1,90}{0,36}$ (moy.)	17	$\frac{0,1 - 2,40}{0,81}$ (moy.)
	Microsonde	8	$\frac{0,18 - 1,21}{0,6}$ (moy.)	6	$\frac{0,11 - 0,72}{0,53}$ (moy.)
Germanium	Spectrale Quant.	7	$\frac{1300 - 4800 \text{ ppm}}{2800}$ (moy.)	6	$\frac{830 - 2440 \text{ ppm}}{1930}$ (moy.)

L'analyse au microscope électronique à balayage (MEB) a permis la reconnaissance et la localisation des régions à analyser à la microsonde. La plupart des inclusions observées dans la sphalérite sont de la marcasite ou de la dolomite. La sphalérite présente une structure zonée et diversement colorée.

Ces examens au MEB, sous électrons rétrodiffusés, ont révélé la présence des éléments suivants: fer, cadmium, germanium et cuivre (très rare). Certaines zones, relativement riches en germanium, ont été reconnues sans que des inclusions germanifères soient mises en évidence. Par contre, des porteurs minéralogiques de germanium ont été observés dans la sphalérite de Boucaïd.

Toutes les informations obtenues au MEB ont été utilisées, par la suite, dans l'étude des particularités de la composition élémentaire des sphalérites à la microsonde.

L'analyse à la microsonde a porté sur les sphalérites des trois gisements étudiés. Les éléments reconnus et dosés sont le zinc, le fer, le cadmium, le soufre, le cuivre, le manganèse et le germanium.

Le cadmium (0,09-1,47%), le fer (0,11-1,27%) et le germanium (0,03-0,08%) sont des éléments présents dans toutes les sphalérites. Le germanium n'a toutefois pas été décelé dans la sphalérite d'Ain Kahla Nord.

Les quantités de Zn et S varient respectivement de 63,3% à 68,5% et de 30,3% à 35,1%. Les teneurs élevées en zinc caractérisent surtout les sphalérites de teinte claire.

Ces résultats ont été utilisés pour le calcul des formules cristallographiques correspondantes

(Hurlbut et Klein, 1977) (tabl. 3).

VI - DISTRIBUTION DES ELEMENTS

Distribution du fer

Les teneurs en fer de la sphalérite ne dépassent guère 1,27% et descendent, parfois, jusqu'à 0,11%. Une tendance à la réduction du fer a été constatée de la génération précoce (0,18-1,27%) à la plus tardive (0,11-0,72%). La sphalérite précoce est de couleur brune à brun-clair, la plus tardive est jaune-clair.

D'après ces données, les trois sphalérites présentent des teneurs identiques en fer et peuvent être rapportées au type de sphalérite faiblement ferrifère.

Distribution du cadmium

Le cadmium est présent dans la sphalérite de Boucaïd sous la forme isomorphe et la phase CdS. Cette dernière n'a pas été identifiée dans la sphalérite de Kherzet Youcef. Ce comportement différent du cadmium confirme l'écart défini entre les paramètres des mailles cristallines de ces sphalérites.

Pour des teneurs similaires en fer des deux sphalérites, la quantité de cadmium substituant le zinc dans la sphalérite de Boucaïd a été calculée d'après les données du paramètre a_0 . Les valeurs obtenues ne dépassent guère les 0,096%. Dans un seul échantillon, la teneur a atteint 0,28%. Ces valeurs sont proches de celles obtenues à la microsonde (tabl. 3). Il ressort, en outre, que la quantité de cadmium isomorphe est peu importante et représente 10 à 30% de sa teneur globale dans la sphalérite de Boucaïd.

Tableau 3- Composition et formules cristallichimiques des sphalérites
Composition and crystallochemical formulae of Sphalerite

N° Ordre	Général.	N° Echant.	Zn %	Fe %	Cd %	Ge %	S %	Total %	Formules Cristallochimiques	Fe /Zn
KHERZET YOUCEF										
1	I	234	65,3	1,27	0,85	-	32,6	100,02	(Zn _{97,1} Fe _{2,2} Cd _{0,7}) S	0,019
2		249	63,3	1,21	0,22	-	35,1	99,83	(Zn _{97,6} Fe _{2,2} Cd _{0,2}) S	0,019
3		220	65,9	0,87	-	-	34,2	100,97	(Zn _{98,5} Fe _{1,5}) S	0,013
4		S-43	67,1	0,71	0,23	-	32,2	100,24	(Zn _{98,3} Fe _{1,5} Cd _{0,2}) S	0,011
5	II	13-3-1	68,5	0,39	1,47	0,05	30,3	100,71	(Zn _{98,05} Fe _{0,65} Cd _{1,23} Ge _{0,07}) S	0,006
6		13-3-2	68,2	0,11	0,79	0,03	31,8	100,93	(Zn _{99,11} Fe _{0,19} Cd _{0,66} Ge _{0,04}) S	0,002
7		236	65,2	0,85	2,12	-	32,5	100,67	(Zn _{96,7} Fe _{1,48} Cd _{1,82}) S	0,013
8		237	65,2	0,41	0,32	-	33,1	99,03	(Zn _{99,0} Fe _{0,72} Cd _{0,28}) S	0,006
9		234	67,1	0,19	0,81	0,02	32,2	100,32	(Zn _{99,0} Fe _{0,3} Cd _{0,7}) S	0,003
10		249	64,6	0,18	-	-	35,3	100,08	(Zn _{99,7} Fe _{0,3}) S	0,003
11		220	67,0	0,32	0,09	-	33,5	100,91	(Zn _{99,4} Fe _{0,5} Cd _{0,1}) S	0,005
AIN KAHLA NORD										
12		E-7-1	67,1	0,14	0,16	-	32,9	100,30	(Zn _{99,66} Fe _{0,24} Cd _{0,1}) S	0,002
13		E-8-1	66,9	0,37	0,16	-	33,0	100,43	(Zn _{99,22} Fe _{0,68} Cd _{0,1}) S	0,005
BOUCAID										
14		B-18-1	65,3	0,39	0,29	0,05	34,4	100,43	(Zn _{98,93} Fe _{0,70} Cd _{0,3} Ge _{0,07}) S	0,006
15		B-19-1	65,3	0,49	0,26	0,08	34,4	100,53	(Zn _{98,80} Fe _{0,90} Cd _{0,2} Ge _{0,1}) S	0,007

Distribution du fer et du cadmium dans les cristaux de sphalérite

L'étude de la distribution du fer et du cadmium a été effectuée sur des plages propres de sphalérite de Kherzet Moïcef, choisies au préalable sous le microscope, puis, photographiées en lumière naturelle et polarisée.

Les résultats de l'analyse ponctuelle à la microsonde ont permis d'identifier et de quantifier les éléments Fe, Cd, Ge, et Cu. Les régions étudiées se caractérisent par des variations fréquentes en fer (0,03-2,05%), cadmium (0,03-1,8%), germanium (0,01-0,03%) et cuivre (0,01-0,03%).

L'analyse de deux profils, réalisée dans les limites d'un grain de sphalérite, a permis de définir des zones identiques et d'élaborer une carte de distribution du fer et du cadmium (fig. 4a, b). La répartition de ces éléments est constatée, non seulement suivant la direction transversale, mais aussi le long des zones. Dans cette dernière, les variations du fer et du cadmium sont peu importantes.

Une certaine corrélation a été mise en évidence dans leur répartition du centre du cristal vers sa périphérie. Elle est caractérisée par une augmentation du cadmium et une tendance à la diminution du fer. Néanmoins, cette tendance est souvent compliquée par des zonalités rythmiques. Dans ces dernières, la variation de la composition de la sphalérite a permis de distinguer des macro et microzones.

L'analyse détaillée de certaines macrozones de colorations différentes (brun-foncé à jaune-clair) a démontré que les zones foncées sont caractérisées par une teneur élevée en fer, alors,

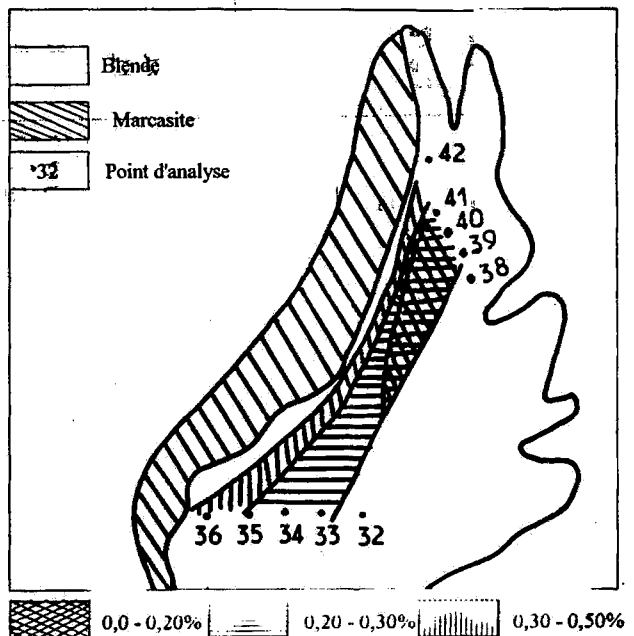


Fig. 4a - Carte de répartition du cadmium dans un cristal de sphalérite

Cadmium distribution in a sphalerite crystal

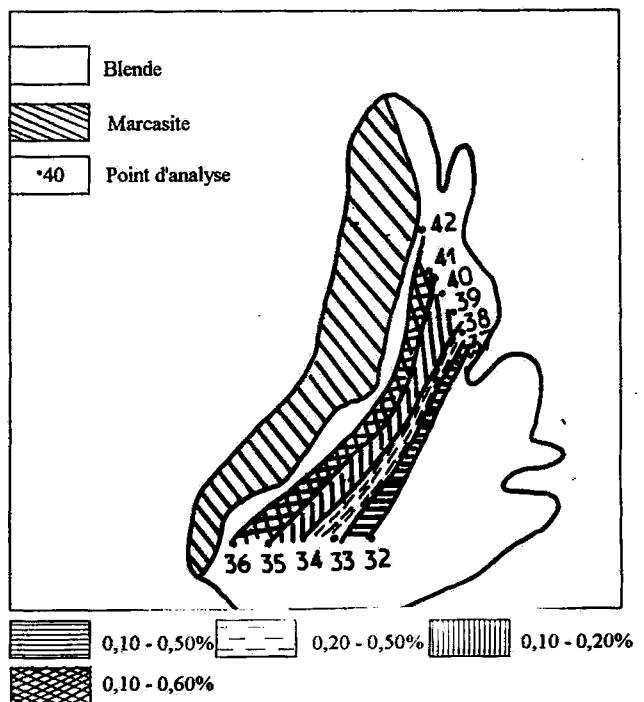


Fig. 4b - Carte de répartition du fer dans un cristal de sphalérite

Iron distribution in a sphalerite crystal

que les zones plus claires sont riches en cadmium

La variation de la composition d'une zone à une autre a été étudiée sur des cristaux exempts de toute déformation post-minérale. Il a été constaté qu'au cours des processus de croissance, les macrozones se sont distinguées par un passage brusque des zones claires aux plus foncées et inversement, un passage progressif des zones foncées aux plus claires. Cette tendance est confirmée par la carte de distribution du fer et du cadmium (fig. 4a,b).

Ainsi, dans la plupart des cas, le passage est brusque et net des zones centrales pauvres aux suivantes riches en fer et graduel dans le sens inverse. Par contre, la distribution du cadmium est caractérisée par un passage progressif des zones pauvres aux plus riches et brusque dans le sens inverse.

Dans les limites de macrozones plus larges et d'après les résultats obtenus, des microzones ont pu être individualisées. La présence de ces microzones complique énormément la structure des macrozones. La variation de la composition de la sphalérite, dans certains points des microzones, est très significative, tout en restant dans les limites définies de la macrozone. Les microzones sont caractérisées par une distribution aussi bien symétrique qu'asymétrique dextre ou senestre du fer et du cadmium.

Distribution du germanium

La variété collomorphe de la sphalérite de Boucaïd se distingue par une concentration élevée en germanium. Dans certains échantillons le germanium représente de 0,2% à 0,3 %.

Cette schalenblende est de constitution zonée et concentrique avec une abondance de fines inclusions, le plus souvent localisées suivant les zones de croissance (Henni, 1973).

L'analyse à la microsonde électronique a permis de reconnaître et de localiser dans les plages de sphalérite de nombreuses inclusions dont certaines sont constituées de deux parties disproportionnées. Les unes sont caractérisées par une concentration élevée en germanium, les autres en baryum et germanium. Leurs dimensions respectives sont de 4-8 et 10-15 microns (Henni, 1973; Henni *et al.*, 1976; Henni, 1984).

La distribution du baryum et du germanium dans ces inclusions a été étudiée suivant plusieurs lignes de balayage avec une vitesse de déplacement du faisceau électronique de 2 microns/min.

Il ressort que parmi les calculs cristallographiques effectués, deux résultats (analyses 1 et 2, tabl. 4) confirment la nature des deux phases présentes de germanium natif ($\text{Ge}_{0,90} \text{Ba}_{0,10}$) et de germanate de baryum ($\text{Ba}_{3,8} \text{GeO}_6$).

Tableau 4 - Composition des phases de germanium
Germanium phases composition

PHASES	Eléments %					
	Ge	Ba	Zn	S	Total	S / Zn
1 - Ge	61,12	12,57	21,58	9,15	104,42	0,424
2 - Ba - Ge	5,64	39,89	31,39	12,17	89,09	0,387
3 - Ba - Ge	7,00	31,36	32,30	12,98	83,16	0,401
4 - Ba - Ge	29,90	23,35	20,10	13,99	87,34	0,696

ZnS théorique : Zn = 67 %, S = 33 %

VII - INTERPRETATION DES RESULTATS

L'estimation quantitative de l'influence globale des éléments traces sur les propriétés des sphalérites a permis de clarifier certaines de leurs spécificités.

- Les mesures de densité réalisées sur la sphalérite de Kherzet Youcef ont permis de définir une corrélation négative avec la teneur en fer. Il en résulte que la densité décroît avec la teneur en fer dans les sphalérites.

- Les valeurs obtenues de la réflectance sont similaires pour les sphalérites (précoce et tardive) et confirment les limites du pouvoir réflecteur dans la différenciation des sphalérites peu ferrifères.

- L'analyse des données (fig. 3) a démontré que la maille élémentaire de la sphalérite est influencée, surtout, par le cadmium. L'influence du fer est limitée en raison des dimensions voisines des ions de Zn^{2+} (0,70 - 0,83 Å) et de Fe^{2+} (0,75 - 0,83 Å).

- La différence notable des rayons ioniques du Zn^{2+} et du Cd^{2+} (0,92-1,03 Å) doit, en principe, masquer l'influence du Fe^{2+} sur la structure cristalline des sphalérites.

Il faut souligner aussi, que le paramètre a_0 de la sphalérite de première génération, relativement pauvre en cadmium, est plus faible que celui de la génération tardive, riche en cadmium.

L'équation de la corrélation entre les valeurs du paramètre a_0 et les teneurs en éléments traces dans les sphalérites ferrifères a été établie par Skinner (1961) et confirmée par Boyle et Jambor

(1963) et Chadlun (1967). Compte tenu de nos résultats sus-mentionnés, cette équation a été modifiée et adaptée à nos sphalérites, faiblement ferrifères et relativement riches en cadmium. Elle prend la forme suivante: $a_0 = 5,4095 + 0,0058 \% CdS$ (Henni, 1984).

L'analyse de l'ensemble des données obtenues a permis de définir la présence de certains éléments dans la structure de la sphalérite par un isomorphisme isovalent du type $Zn^{2+} \leftarrow Cd^{2+}$ (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+}), commun aux sphalérites. En plus, le cadmium est présent sous forme de phase CdS dans la sphalérite de Boucaïd.

Le germanium a été constaté dans la sphalérite de Boucaïd sous forme d'inclusions de phases de germanium natif et de germanate de baryum (Henni, 1984). Sa présence dans la sphalérite de Kherzet Youcef s'opère, probablement, suivant le schéma: $2Zn^{2+} \leftarrow Ge^{4+}$

VIII - CONCLUSION

Ce travail expérimental a permis de dégager parmi les impuretés fréquentes, celles susceptibles d'être à l'origine de variations des propriétés optiques et physico-chimiques des sphalérites.

Certaines de ces propriétés ont été vérifiées et précisées en fonction de l'influence du fer et du cadmium. Les principaux résultats obtenus sont les suivants:

- détermination des différentes formes de présence des éléments Fe, Cd, Ge et Ba dans la sphalérite;

- établissement d'une corrélation positive entre les variations du paramètre de la maille

crystalline et les teneurs en cadmium dans la sphalérite ainsi que la mise au point de l'équation correspondante:
 $a_0 = 5,4095 + 0,0058 \% \text{ CdS}$,

- élaboration d'une corrélation dans la distribution du fer et du cadmium dans les macro-microzones de la sphalérite de Kherzet Youcef.

- mise en évidence de deux nouvelles phases germanifères (germanium natif, germanate de baryum - Ba_4GeO_6) dans la sphalérite collomorphe de Boucaïd.

Remerciements: L'auteur exprime ses sincères remerciements à Messieurs R. Black (Musée National d'Histoire Naturelle de Paris), J. Hernandez (Institut de Minéralogie et Pétrographie de l'Université de Lausanne) et N. Meisser (Conservateur du Musée Géologique de Lausanne) pour avoir bien voulu relire son manuscrit et lui faire part de leurs remarques.

BIBLIOGRAPHIE

- Boyle, R. et Jambor, G., 1963. The geochemistry and geothermometry of sphalerite in the lead-zinc-silver lodes of the Keno Hill-Galena Hill Area, Yukon. *Can. Miner.* V.7, pt.3.479-476.
- Chadlun, T.N., 1967. Quelques résultats de l'étude de la composition de la sphalérite en tant que géothermométrie. (En russe). *Vestnik., Université Leningrad*, n° 6.
- Glaçon, J., 1967. Recherche sur la géologie et les gîtes métallifères du Tell Sétifien (Algérie). *Bul. Serv. Carte Géol. Algérie*, nouvelle série n° 32, Vol. 2, 750 pages.
- Guardia, P., 1975. Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. *Thèse Université de Nice*, 289 p.
- Henni, A., 1973. Répartition des éléments rares dans les minerais sulfuré et oxydé et quelques aspects de la genèse du gisement polymétallique de Boucaïd (Algérie). (En russe) *Thèse Master of Science, Université d'Etat de Leningrad*, 122 p.
- Henni, A., Buldakov, I.V. et Sorokin, N.D., 1976. Etude préliminaire des inclusions de phases germanifères dans la wurtzite et leurs origines. "Problèmes de géochimie et typomorphisme des minéraux". (En russe). *Vipuck 1. Ed. Université d'Etat Leningrad*. 120-125.
- Henni, A. et Parparova, G.M., 1983. Les bitumes des dépôts carbonatés du barème du champ minier Pb-Zn de Kherzet Youcef (Algérie). (En russe). *Vestnik, Ed. Université Leningrad*, N°24, 93-98.
- Henni, A., 1984. La minéralogie, les particularités géochimiques et la genèse du gisement de Kherzet Youcef (Algérie). (En russe). *Thèse de Doctorat, Université d'Etat de Leningrad*. 284 p.
- Henni, A., 1993. Etude géochimique de la matière organique associée à la minéralisation Pb-Zn du gisement de Kherzet Youcef (Algérie). *Bull. Serv. Géol. Algérie*, Vol. 4, n° 1, pp 41 - 53.
- Hurlbut, C. S. et Klein, C., 1977. Manual of mineralogy (after James D. Dana) 19th Edition, John Wiley and sons, New York.
- Picot, P. et Johan, Z., 1977. Atlas des minéraux métalliques. *Mém. BRGM*. 403p.
- R.U.D.I.S., 1967. Etude géologique du gisement de Kherzet Youcef (1964-1965). Sonarem, rapport inédit.
- Skinner, B.J., 1961. Unit cell edges of Natural and synthetic sphalerites. *Amer. Miner.*, V.46, 1399-1411.
- Touahri, B., 1987. Géochimie et métallogénie des minéralisations à plomb et zinc du Nord de l'Algérie. *Thèse Doctorat, Université P.M.Curie*, et pub. (*Mém. SGA/ORGM*, 1991 n° 4, 260 p, 1991).