

## LES SULFURES DU GISEMENT CUPRIFÈRE STRATIFORME DE MUSOSHI, SHABA, ZAÏRE

J. CAILTEUX (\*)

### RÉSUMÉ

Le gisement de Musoshi est situé en territoire zaïrois ; mais au point de vue géologique, il appartient à la sous-province zambienne du Copperbelt d'Afrique Centrale.

C'est un gisement stratiforme ; la minéralisation y est localisée dans des couches quartzo-feldspathiques, fortement potassiques, appartenant au Roan inférieur.

La présente étude consiste en une synthèse des informations qui ont pu être rassemblées sur la minéralisation cuprifère, à l'aide d'échantillons prélevés en plusieurs points de la mine et dans un sondage.

Les sulfures primaires sont la pyrite, la chalcoppyrite et la bornite, disposées selon une zonalité verticale dans cet ordre, du haut vers le bas stratigraphiquement. De la carrollite a aussi été trouvée. La minéralisation est soumise à une altération météoritique très importante au voisinage de la surface, qui se traduit par une altération des sulfures primaires en covellines normale et « blaubleibender », idaïte, digénite, djurléite et chalcocine.

### ABSTRACT

The Musoshi deposit is located in Zairian territory. But from a geological point of view, it belongs to the Zambian sub-province of the Central African Copperbelt.

Musoshi is a stratiform deposit where mineralization is emplaced in highly potassic quartzo-feldspathic beds belonging to the Lower Roan.

The present study summarizes the information obtained about copper mineralization from samples taken at various locations within the mine and also from a bore-hole.

Primary sulfides are pyrite, chalcoppyrite and bornite, found stratigraphically in that order from top to bottom. Carrollite has also been found. Supergene alteration changed primary sulfides into normal and "blaubleibender" covellites, idaite, digenite, djurleite and chalcocite. These changes have been quite important close to the topographic surface.

### I. INTRODUCTION

Situé à 80 km au sud-est de Lubumbashi (Shaba, Rép. du Zaïre), le gisement cuprifère stratiforme de Musoshi appartient à la région nord-ouest de la sous-province Zambienne du Copperbelt africain.

---

(\*) Laboratoires de Concentration des Minerais, Université de Liège.

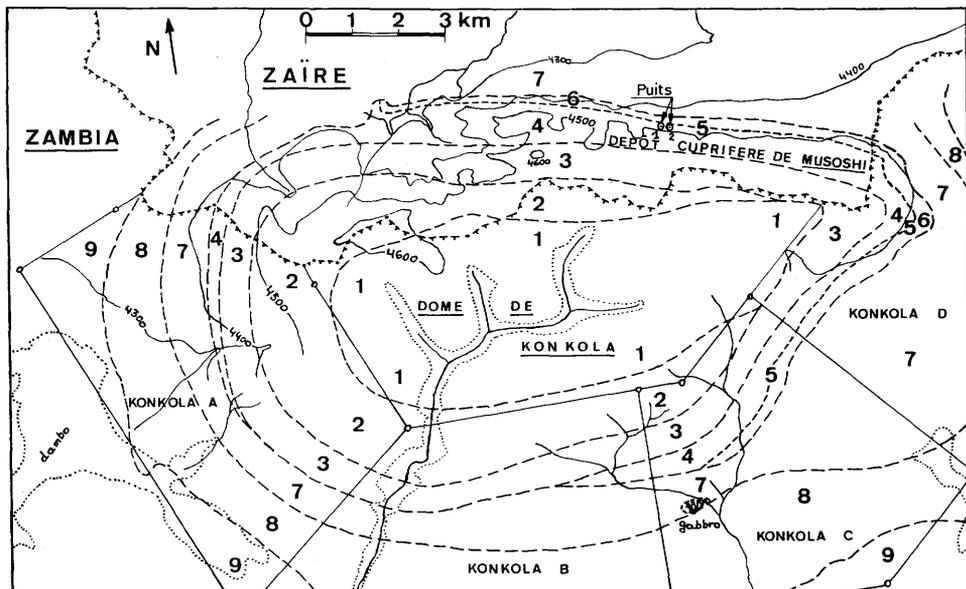


FIG. 1. — Carte géologique de Musoshi-Konkola (documentation Sodimiza).

<b>KUNDELUNGU</b>	<b>9</b>	Tillite, shale et calcaire interstratifiés, calcaire.
<b>MWASHIA</b>	<b>8</b>	Shale straticulé ; petits bancs de dolomie.
<b>ROAN SUPÉRIEUR</b>	<b>7</b>	Shale straticulé avec grès, roches dolomitiques et cherteuses, altéré en talcschiste, hautement fracturé et ferrugineux en Konkola A et B. Contient du shale carboné appelé LBS par RCBC West de Mutonda, et des intrusions de gabbro.
<b>ROAN INFÉRIEUR</b>	<b>6</b>	Grès et grès feldspathique, et arkose.
	<b>5</b>	« Ore shale ».
	<b>4</b>	Grès argileux, shale gréseux, arkose (12 unités).
	<b>3</b>	Quartzite feldspathique ; conglomérat localement.
	<b>2</b>	Conglomérat, grès et arkose grossière.
<b>SOCLE</b>	<b>1</b>	Granite porphyrique gris, quelque peu gneissique.

Les couches qui l'encaissent sont datées du Roan inférieur, et reposent en discordance de transgression sur le dôme de Konkola, constitué de roches éruptives et métamorphiques plus anciennes. Une importante partie du gisement se trouve en territoire zairois sur le flanc nord du dôme, et présente un pendage nord (fig. 1). Les roches y sont généralement de type arkosique, de granulométries diverses, caractérisées principalement par des apports détritiques de quartz, feldspaths sodiques ou potassiques et micas, ainsi que par des croissances diagénétiques de quartz et feldspath sodique, ou de quartz, feldspath potassique et (?) biotite. La minéralisation sulfurée imprègne essentiellement des strates à quartz, feldspath potassique, biotite, authigènes et détritiques, dont la granulométrie varie de 20 à 250 microns (J. Cailteux, 1973). Ces strates constituent ce que l'on appelle improprement « ore shale » ; leur épaisseur moyenne est de 15 m. Sous ces strates, on

trouve une stampe de même nature mais non minéralisée, épaisse de 0,5 à 1,5 m. Celle-ci surmonte un conglomérat constituant le sommet d'une zone aquifère.

Les minéraux du gisement peuvent être classés en sulfures primaires et supergènes.

Le lecteur trouvera dans ma publication précédente (J. Cailteux, 1973) les références relatives à la géologie de cette région.

## II. LES SULFURES PRIMAIRES

La pyrite, la chalcoppyrite, la bornite et la carrallite constituent les habituels minéraux dits « primaires » des gisements cuprifères de l'Afrique Centrale. A Musoshi on n'en trouve que des résidus au niveau - 50 m, tandis qu'à - 100 ou - 150 m ils sont abondants. Les paragenèses sont classiques ; cependant, certaines textures ne manquent pas d'intérêt. On observe aussi une zonalité stratigraphique

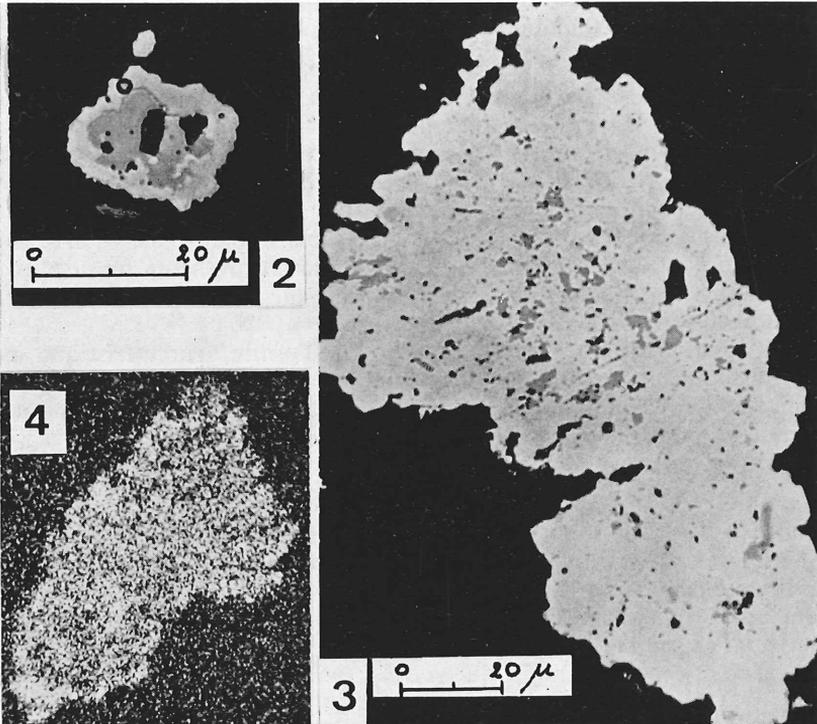


FIG. 2. — Grain polyframboïdal de pyrite, avec chalcoppyrite au centre (Ech. Mu 72 LM, lumière réfléchie, immersion dans l'huile).

FIG. 3. — Grain de pyrite polyframboïdale contenant plusieurs inclusions bien visibles de chalcoppyrite, ainsi que des paquets d'inclusions submicroscopiques (peu visibles) (Ech. Mu 72 LM, lumière réfléchie, immersion dans l'huile).

FIG. 4. — Analyse par microsonde de la distribution du cobalt dans le grain de la figure 3.

verticale des assemblages minéralogiques, bien connue dans les gisements de Zambie.

1. La *pyrite* se présente principalement en grains de 1 à 300 microns, d'allure framboïdale (ou polyframboïdale), notamment dans les lits les plus fins du sédiment.

Son aspect est assez hétérogène ; on peut y relever de fréquentes inclusions de *chalcoppyrite*, nettement visibles au microscope et confirmées par la microsonde (fig. 2 et 3). Une seconde hétérogénéité, parfois à peine décelable, apparaît sous la forme d'un grand nombre d'inclusions submicroscopiques, groupées en plusieurs paquets distincts, et dont il n'a pas été possible de déterminer formellement la nature. Tout au plus, la microsonde y indique-t-elle la présence de cuivre. Il semble qu'il s'agisse de *chalcoppyrite* ou *bornite* finement disséminée.

La *pyrite* est aussi observée en cristaux idiomorphes allant jusqu'à 1 mm et plus de diamètre, répartie dans les lits plus grossiers. Le cuivre y est inexistant en dehors des inclusions de *chalcoppyrite*, bien visibles. Remarquons encore que, pour les grains analysés, le cobalt s'y trouve à une concentration généralement inférieure à 1 %, et se distribue de façon homogène, sauf au contact de la *chalcoppyrite* où sa teneur devient plus importante. Dans les grains framboïdaux par contre, on aperçoit un léger enrichissement de cobalt au pourtour (fig. 4), comme cela a été signalé à Kamoto (P. Bartholomé, F. Kateksha et J. Lopez-Ruiz, 1971).

2. La *chalcoppyrite* est également hétérogène. Ses grains vont de 5 à 250-300 microns. Comme la *pyrite*, elle contient une multitude de petites inclusions. Ici cependant, on les distingue parfaitement à fort grossissement : elles sont arrondies et de couleur orange. Il s'agit sans doute de *bornite*. Il est important de noter que même la *chalcoppyrite* incluse dans la *pyrite* framboïdale présente souvent ces taches de *bornite*. On remarque encore que ces inclusions sont inexistantes aux bords des grains de *chalcoppyrite* ; cependant, les analyses à la microsonde n'ont pas permis de mettre en évidence une bordure à la fois plus riche en fer et plus pauvre en cuivre. Ceci n'est pourtant pas un critère suffisant pour rejeter la *bornite*, vu la ténuité des inclusions vis-à-vis de la *chalcoppyrite*.

Une association fréquente est *chalcoppyrite-bornite*, caractéristique par ses textures suggérant une exsolution. Les inclusions rondes y persistent généralement dans la *chalcoppyrite*, quoique moins denses qu'ailleurs. Elles disparaissent cependant lorsque les plages de *bornite* deviennent majoritaires.

Remarquons que la *pyrite* n'est pas rare dans la *chalcoppyrite*, qui la remplace (fig. 6).

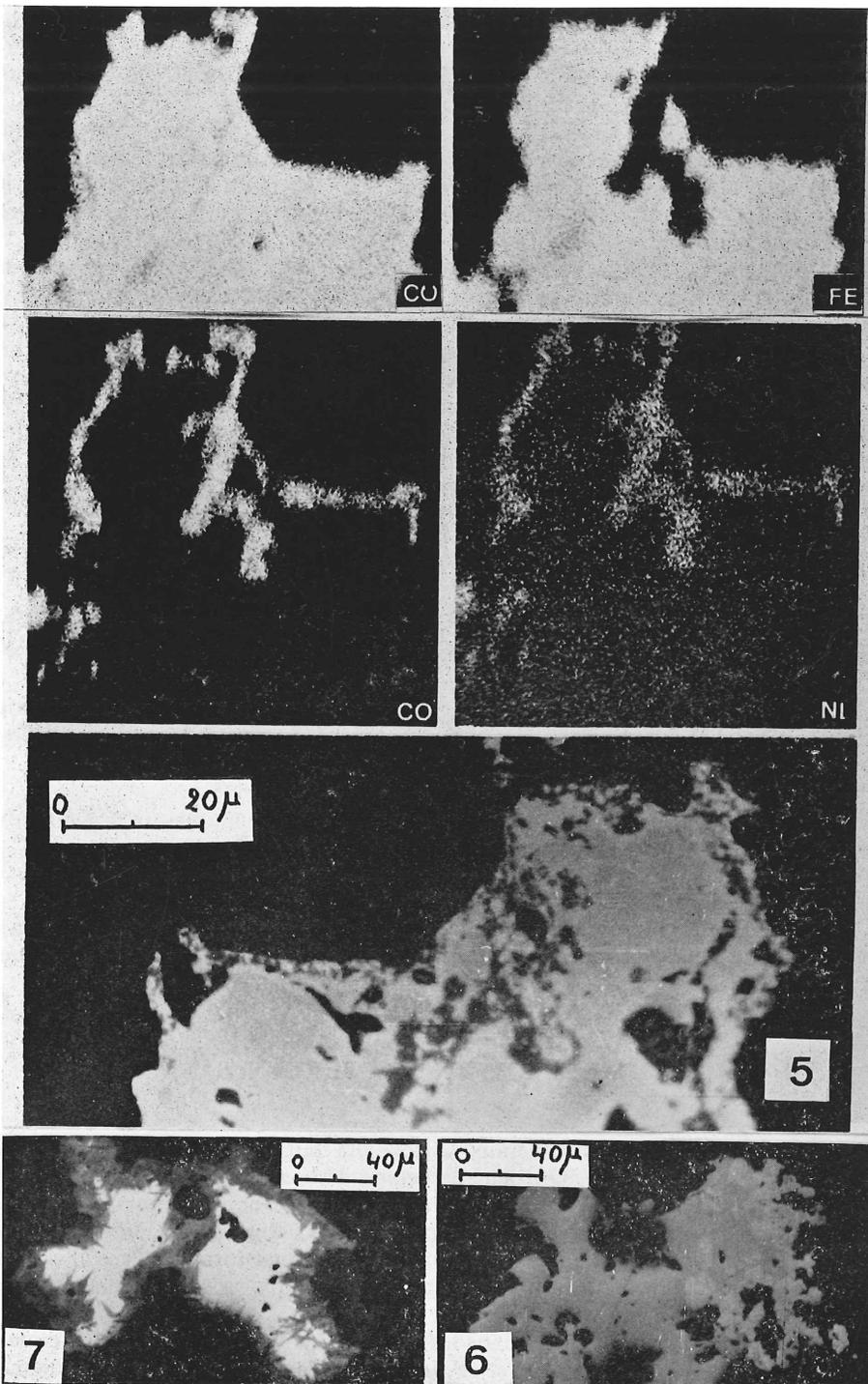
3. La *carrollite* a été trouvée récemment dans nos échantillons grâce à la microsonde. La figure 5 la montre notamment en association avec la *covelline*, en bordure d'un grain de *chalcoppyrite*. Les tests microsonde de cette figure sont explicites. Ils indiquent aussi qu'une certaine quantité de nickel se présente dans la *carrollite*.

Ce minéral ne semble pas exister autrement qu'associé à la *chalcoppyrite*. A notre

FIG. 5. — Grain de *chalcoppyrite* avec *carrollite* et *covelline* en bordure (Ech. Mu 1516b, lumière réfléchie). Au-dessus, images obtenues à la microsonde pour le cuivre, fer, cobalt et nickel, dans le même grain de *chalcoppyrite*.

FIG. 6. — Remplacement de *pyrite* framboïdale par la *chalcoppyrite* (Ech. Mu 74 LM, lumière réfléchie).

FIG. 7. — Altération supergène de *chalcoppyrite* en *covelline* normale sur les bords du grain (Ech. Mu 84 LM, lumière réfléchie).



connaissance, sa présence n'avait pas été signalée antérieurement à Musoshi (voir fig. 5).

4. La *bornite*. Le microscope en fait apparaître de deux sortes, dont la granulométrie est équivalente à celle de la chalcopyrite.

La première, de couleur brune, s'altère rapidement à l'air, et peut même prendre des teintes bleutées. La seconde est plus orangée, faiblement anisotrope, ne s'altère pas (ou très peu) à l'air, et contient des lamelles irrégulières de chalcopyrite, dont la taille varie fortement d'un grain à l'autre. Selon toute apparence, l'idaïte est totalement absente.

Un examen à la microsonde n'a pas permis d'établir entre ces deux types une différence nette. On constate seulement que la première est une bornite normale, tandis que la seconde (bornite anormale) se montre légèrement plus riche en soufre (tableau 1). Il est vraisemblable cependant qu'au niveau microscopique, cette dernière n'est pas homogène, mais est constituée d'assemblages avec d'une part la chalcopyrite, et d'autre part la bornite normale, en quantités variables. Cette suggestion est renforcée par l'observation de divers degrés d'altération à l'air de plusieurs grains, pour une même période de temps. L'analyse risque donc d'en être faussée. Le tableau 1 reprend les résultats de quelques analyses de bornite.

### La zonalité

Comme il a été dit précédemment, le gisement de Musoshi est caractérisé par une zonalité stratigraphique verticale, plaçant la pyrite au sommet, la chalcopyrite au milieu et la bornite en dessous, stratigraphiquement parlant.

La transition d'une zone à l'autre est progressive, comme l'indique le tableau 2 suivant, reprenant les diverses paragenèses observées tout au long d'un sondage, de haut en bas stratigraphiquement.

On remarquera en particulier :

1° l'absence de pyrite idiomorphe au sommet, et son apparition simultanée avec celle des grains de chalcopyrite ;

2° la présence du minéral submicroscopique dans la pyrite framboïdale dès le premier échantillon ;

3° la coexistence des inclusions de bornite et de la chalcopyrite (en grains ou en inclusions), et la disparition des premières lorsque les grains de bornite prennent l'avantage.

## III. LES SULFURES SUPERGÈNES

Une description de ces minéraux a déjà été faite pour Musoshi au niveau -50 m (J. Cailteux, 1973). On peut en retenir l'observation d'un enrichissement progressif et général en cuivre, par altération supergène de chalcopyrite et bornite en idaïte, covellines normale et « blaubleibender », digénite et djurléite (ou/et chalcosine ?), avec départ de fer que l'on retrouve sous forme de gèthite. Cette altération aboutit localement à la cristallisation d'une seconde génération de chalcosine.

Aux niveaux plus profonds et dans les échantillons qui proviennent du sondage, le phénomène est moins complet, et se limite aux quelques chenaux d'écoulement

TABLEAU 1

Échantillons	Cu (%)	Fe (%)	S (%)	Total	Localité
$Cu_3FeS_4$	63,33	11,12	25,55	100,00	
Bornite normale	63,3	11,6	25,9	100,8	Musoshi
Bornite anormale	63,3	11,7	27,1	102,1	Musoshi
Bornite anormale (Sillitoe and Clark, 1969)	61,13	12,06	27,80	100,99	Mina Esmeralda (surface)
	61,20	12,63	27,49	101,32	Mina Esmeralda (niveau 100)
	60,8	11,4	26,2	98,4	Mina Esmeralda (niveau 100)
	61,1	11,5	29,0	101,6	Mina Esmeralda (niveau 100)
Bornite anormale (Von Gehlem, 1964)	61,5	11,5	26,5	99,5	Sommerkahl (Spessart)

TABLEAU 2

Échantillons	Grains de pyrite framboïdale	Inclusions : (1) submicroscopiques de chalcopyr. ou bornite (2) de chalcopyrite, dans pyrite framb.	Grains de pyrite idionorphe	Bornite en inclusions dans chalcopyrite	Grains de chalcopyrite	Grains bornite et mixtes chalcopyrite-bornite	Légende :
							Remarques
66	0	0	0	0	0	0	
67	+++	++ (1)	0	0	0	0	
68	+++	++ (1)	0	0	0	0	
69	+++	++ (1)	0	0	0	0	
70	0	0	0	0	0	0	
71	+++	++ (1 et 2)	+	+	+	0	
72	+++	++ (1 et 2)	+	+	+	0	
73	+++	++ (1 et 2)	0	++	+	0	Altération météoritique
74	+++	++ (1 et 2)	+	++	++	0	
75	++	++ (1 et 2)	+	++	++	0	
76	0	0	0	0	0	0	
77	++	++ (1 et 2)	+	-	-	-	Altération météoritique
78	+	++ (1 et 2)	+	+	+++	0	
79	+	0	+	++	+++	0	
80	0	0	+	++	+++	0	
81	-	-	-	-	-	-	Altération météoritique importante
82	0	0	0	+	+++	+	
83	0	0	0	++	+++	+	
84	0	0	0	0	+++	+	
85	-	-	-	-	-	-	} Altération météoritique importante
86	-	-	-	-	-	-	
87	0	0	0	0	+	+++	} Altération météoritique faible
88	0	0	0	0	+	+++	
89	0	0	0	0	+	+++	
90	0	0	0	0	+	+++	
91	0	0	0	0	0	0	

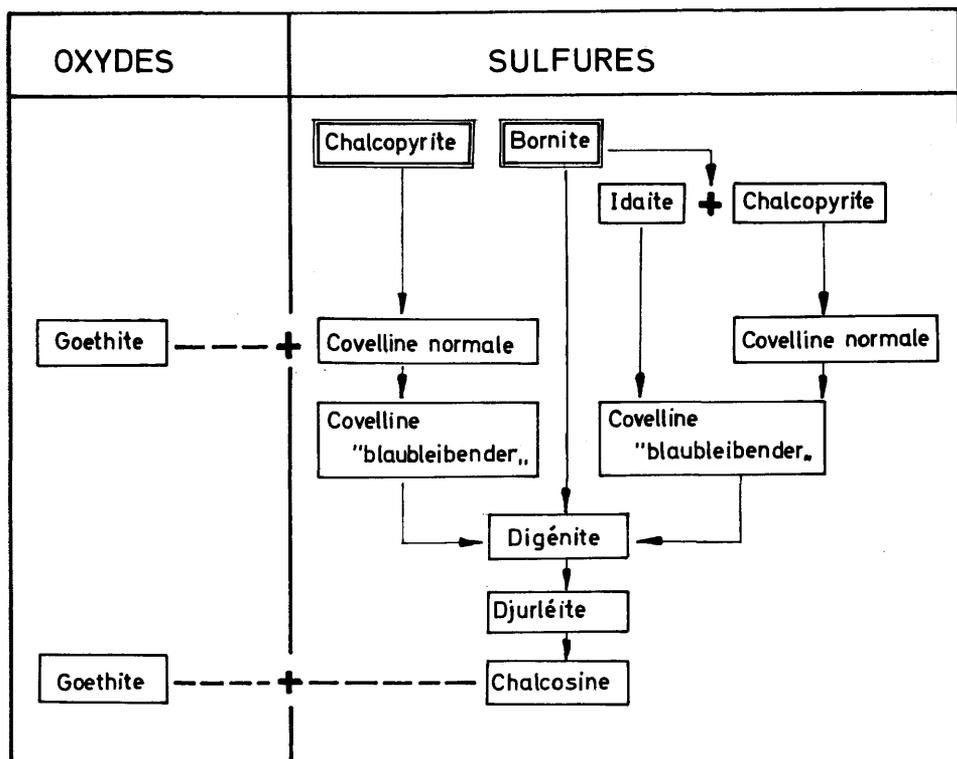


FIG. 8. — Schéma des transformations supergènes.

des eaux. Souvent les contours de la chalcopryrite y sont constitués de covelline normale (fig. 7), parfois accompagnée de goëthite. La bornite normale s'y transforme de préférence en digénite, tandis que l'anormale reste inaltérée.

Lorsque ces chenaux ont subi une altération plus intense, on constate un processus identique à celui auquel il est fait référence. La bornite anormale se transforme alors en chalcopryrite + idaïte.

On peut résumer ces observations sous la forme d'un diagramme (fig. 8) schématisant les diverses transformations supergènes qui se sont succédé à Musoshi.

Une remarque doit être formulée en ce qui concerne l'évolution de la chalcopryrite primaire. En effet, il faut signaler l'existence, quoique très peu fréquente, de l'association chalcopryrite (au centre)-digénite. Néanmoins, il est possible de déceler dans certains cas bien précis, de légères traces résiduelles de covelline « blaubleibender » au contact chalcopryrite-digénite. On peut donc supposer que cette association est le résultat d'un enrichissement en cuivre plus rapide de la partie supergène, se traduisant par la disparition progressive des minéraux intermédiaires.

Au sujet des produits d'oxydation, la goëthite mise à part, on ne relève que très rarement des traces de malachite ou chrysocolle dans les couches contenant la

minéralisation sulfurée, alors que les roches voisines inférieures en possèdent en quantité appréciable.

#### IV. CONCLUSIONS

Mon but ici n'est pas de discuter l'une ou l'autre théorie de la genèse de cette minéralisation cuprifère, et encore moins de ce type de gisement. Je me limiterai donc aux quelques constatations que suggèrent les observations qui viennent d'être décrites, si on les compare avec celles faites à Kamoto par Bartholomé (1962, 1963), et Bartholomé *et al.* (1973).

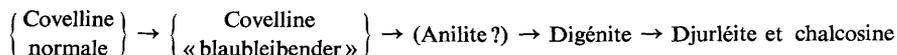
*Les sulfures primaires* naissent au cours de la diagenèse. La présence de chalcopryrite au sein des framboïdes de pyrite appuie fortement l'hypothèse d'une précipitation très hâtive du cuivre contenu dans l'eau du bassin de sédimentation, sous forme de sulfure, suite au dégagement de  $H_2S$ , suivie de celle du fer (P. Bartholomé et J. Lopez-Ruiz, 1974). Il en est de même pour le minéral en inclusions submicroscopiques (chalcopryrite ou bornite ?), ainsi que pour la bornite incluse dans la chalcopryrite de précipitation. Une seconde chalcopryrite est toujours associée à la bornite, et remplace la pyrite au cours d'une phase plus tardive. Cette chalcopryrite et la bornite sont contemporaines.

Au sujet du cobalt réparti dans la pyrite, P. Bartholomé, F. Katekesha et J. Lopez-Ruiz (1971) considèrent comme hypothèse la plus vraisemblable que le contenu en cobalt de l'eau interstitielle dans le sédiment non encore consolidé a changé durant la diagenèse.

A Musoshi, un processus semblable a sans doute provoqué l'enrichissement en cobalt des bords de la pyrite framboïdale. Peut-être la carrollite résulte-t-elle de la remobilisation du cobalt lors du remplacement plus tardif de la pyrite par la chalcopryrite.

La bornite anormale est difficile à situer dans le mécanisme diagénétique. Les données concernant sa composition, ainsi que l'observation, sont insuffisantes pour formuler des certitudes. On peut cependant noter le fait intéressant de son association avec des lamelles de chalcopryrite, l'idaïte étant apparemment absente. Il semble logique de penser dès lors à une transformation de la bornite normale en anormale, avec production de chalcopryrite. R. H. Sillitoe et A. H. Clark (1969) font état d'une évolution semblable dans un cas d'oxydation de bornite et djurléite en malachite et gœthite. On peut dire qu'à Musoshi, il n'y a pas de relation directe entre la bornite anormale et les chenaux ayant subi l'altération supergène.

*Les sulfures supergènes* évoluent dans le sens d'une réduction.



D. T. Rickard (1972) trouve par expérimentation que la formation de « blaubleibender Covellin » entraîne la réduction à l'état solide d'un précipité initial de covelline normale, et donc que « la covelline blaubleibender est un intermédiaire métastable dans la réduction de la covelline normale vers la chalcosine ou djurléite, ou vice versa ».

Ceci rejoint parfaitement les observations faites à Musoshi.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à M. le Professeur P. Bartholomé, qui a bien voulu relire le manuscrit de cette note, ainsi qu'à M. le Docteur F. Dimanche. Leurs suggestions et conseils furent toujours judicieux.

Tous mes remerciements vont encore à M. J. Lopez-Ruiz, de l'Université de Madrid, pour les analyses à la microsonde de pyrite, chalcopyrite et carrollite, à MM. R. Lehnert et V. Leroy, du Centre de Recherche Métallurgique de Liège, pour celles de bornite, et enfin, à MM. Abe Yoshiharu et Kojima, du Département Géologique de la Sodimiza à Musoshi, pour leur collaboration lors de mes travaux sur le terrain.

Je désire associer à ces remerciements MM. les Professeurs P. Evrard, qui m'a introduit auprès de la Sodimiza, et R. Collée, pour avoir facilité la réalisation de cette étude.

## Bibliographie

- BARTHOLOMÉ, P. (1962). — Les minerais cupro-cobaltifères de Kamoto, Katanga-Ouest. I. Pétrographie ; II. Paragenèse. *Studia Universitatis « Lovanium »*. Faculté des Sciences, 14 et 16, Léopoldville (Kinshasa).
- BARTHOLOMÉ, P. (1963). — Sur la zonalité dans les gisements du Copperbelt de l'Afrique Centrale. *Symposium. Problems of Postmagmatic Ore Deposition*, vol. 1, Prague.
- BARTHOLOMÉ, P., KATEKESHA, F. and LOPEZ-RUIZ, J. (1971). — Cobalt zoning in microscopic pyrite from Kamoto, Rep. of the Zaire. *Miner. Deposita (Berl.)*, 6, 167-176.
- BARTHOLOMÉ, P. et al. (1973). — Diagenetic ore-forming processes at Kamoto, Katanga, Rep. of the Zaire. In : *Ores in Sediments*, Amstutz, G. C. and Bernard, A. J., eds. Springer-Verlag, Berlin, p. 21-41.
- BARTHOLOMÉ, P. et LOPEZ-RUIZ, J. (1974). — Origine diagénétique du gisement de Kamoto, République du Zaïre. *Real Sociedad Española de Historia Natural* (sous presse).
- CAILTEUX, J. (1973). — Minerais cuprifères et roches encaissantes à Musoshi, Province du Shaba (Rép. du Zaïre). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, vol. 96, p. 495-521.
- RICKARD, D. T. (1972). — Covellite formation in low temperature aqueous solutions. *Min. Deposita*, 7, p. 180-188.
- SILLITOE, R. H. and CLARK, A. H. (1969). — Copper and copper-iron sulfides as the initial products of supergene oxidation, Copiapó Mining District, Northern Chile. *Am. Mineral.*, 54, p. 1684-1710.