

MINÉRAIS CUPRIFÈRES ET ROCHES ENCAISSANTES A MUSOSHI, PROVINCE DU SHABA, RÉPUBLIQUE DU ZAIRE (*)

par J. CAILTEUX (**)

(4 fig. dans le texte et 3 planches)

RÉSUMÉ

Le gisement de Musoshi est un corps minéralisé stratiforme de cuivre appartenant au *Roan Inférieur*.

L'étude pétrographique de la partie supérieure du Roan Inférieur, jusque et y compris la zone cuivreuse révèle une succession de sédiments de composition arkosique qui peuvent se diviser en quatre types lithologiques (A, B, C et D).

Les caractéristiques essentielles de ces types lithologiques sont les croissances authigènes de feldspath potassique, d'albite et de biotite, avec ou sans présence de ces minéraux sous forme détritique.

La minéralisation sulfurée est en relation d'une part avec la lithologie potassique, et d'autre part avec la perméabilité de la roche avant sa consolidation. Elle montre en outre une forte altération supergène du gisement près de la surface, altération qui se traduit par une transformation de la chalcopryrite et de la bornite successivement vers les covellines, la digénite et la djurléite.

ABSTRACT

The Musoshi orebody is a mineralised stratiform body of copper belonging to the Lower Roan.

Petrographic study of the upper part of the Lower Roan, up to and including the copper-bearing zone, reveals a succession of sediments of arkosic composition which can be divided into 4 lithological types.

The essential characteristic of these rocks is the presence of authigenic potash feldspar, albite and biotite, with or without these minerals in detrital form.

The sulphide mineralisation is related on the one hand with the potash-bearing lithology, and on the other hand with the permeability of the rock before its consolidation. There is, in addition, a strong supergene weathering of the orebody near to the surface, a weathering expressed by the transformation of chalcopryrite and bornite successively into the covellites, digenite and djurléite.

(*) Communication présentée le 5 juin 1973, manuscrit déposé le 13 juin 1973.

(**) Université de Liège, Laboratoires de Géologie, avenue des Tilleuls 45, B-4000 Liège.

INTRODUCTION

A. LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE MUSOSHI

Musoshi est un des gisements de cuivre de la province du Shaba en République du Zaïre.

Il est situé à environ 80 km au sud-est de Lubumbashi (fig. 1), et est exploité par la Société de Développement Industriel et Minier du Zaïre (SODIMIZA).

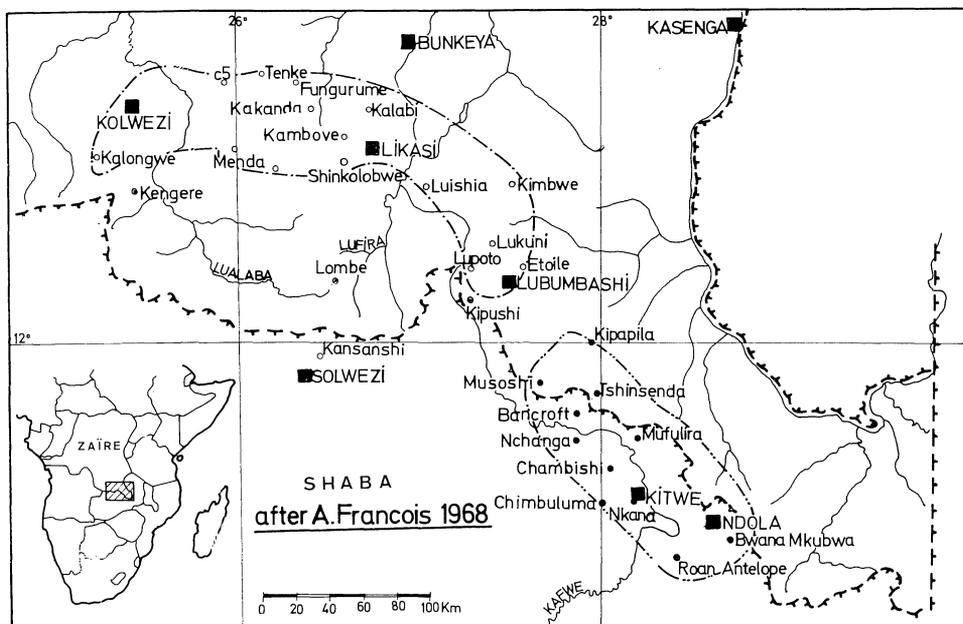


Fig. 1. — Situation géographique de Musoshi et localisation des bassins cuprifères zambien et du Shaba.

Le gisement principal est à l'ouest de Musoshi, et s'étend selon la stratification sur une longueur approximative de 10 km.

Les deux parties les plus riches s'allongent sur 3.000 et 2.300 mètres, avec une épaisseur moyenne de 15 mètres.

Les réserves sont estimées à 110 millions de tonnes à raison d'une teneur en cuivre de 2,10 %.

B. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

1. — Stratigraphie

Selon l'usage (L. CAHEN 1954), nous appellerons *soubassement* l'ensemble des roches consolidées que l'on observe au Shaba en-dessous de la *couverture*, c'est-à-dire

des couches sédimentaires généralement horizontales, plus ou moins meubles, et dont l'âge va du Carbonifère supérieur au Pléistocène.

Le soubassement ne contient guère de fossiles à l'exception de stromatolites; la géochronologie indique qu'il est Précambrien (L. CAHEN et N. SNELLING — 1966; L. CAHEN et J. LEPERSONNE — 1966); on n'y connaît donc qu'une lithostratigraphie.

La lithostratigraphie du soubassement est basée en premier lieu sur l'existence d'une discordance majeure située à la base du *Katangien*. Celui-ci est un ensemble de couches épais de plusieurs milliers de mètres, défini par le fait qu'il a été plissé pendant l'orogénèse *Lufilienne* (environ 600 Ma.), tandis qu'il a échappé aux orogénèses antérieures.

En-dessous de la discordance, on trouve au nord-ouest des terrains plus ou moins métamorphiques ayant subi l'orogénèse *Kibarienne* (environ 1.300 Ma) (L. CAHEN, J. DELHAL et S. DEUTSCH — 1967).

A la limite sud du Shaba d'autre part, la discordance qui affleure à nouveau, découvre des terrains qui sont souvent très affectés par le métamorphisme et dont l'âge est antérieur au Kibarien (L. CAHEN — 1970).

— *Le soubassement*

Nous nous conformerons ici, au point de vue de la nomenclature stratigraphique, aux recommandations de la Commission Internationale de Stratigraphie telles qu'elles ont été présentées dans le « *Preliminary Report on Lithostratigraphic Units* » (1972).

Nous subdiviserons donc l'ensemble « Katangien » en deux parties, soit de haut en bas :

a. — *Le supergroupe du Kundelungu* à caractère marin et dont le faciès est bien connu et reconnaissable.

A sa base, on trouve une puissante tillite glaciaire qui sert d'horizon repère dans cette région.

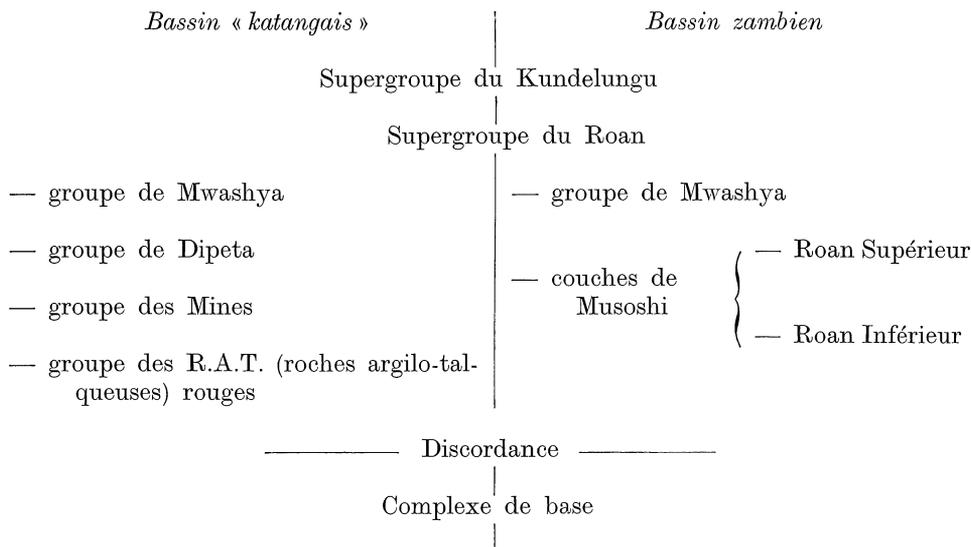
b. — *le supergroupe de Roan*, comprenant à son sommet le *groupe de Mwashya*, à caractère lagunaire.

En-dessous de ce groupe, il n'est pas possible d'établir une lithostratigraphie unique pour l'ensemble de la province, car la sédimentation s'est produite dans deux bassins sédimentaires ayant des caractères différents (fig. 1), mais qui tous les deux contiennent des minéralisations cuprifères stratiformes.

La corrélation entre ces deux bassins est encore incertaine, étant donné que l'on ne peut suivre le passage progressif de l'un à l'autre (L. CAHEN — 1970).

Le Roan zambien repose en discordance sur un complexe de base, par l'intermédiaire d'un poudingue de base, surmonté d'arkoses et de grès. Dans le bassin « katangais » par contre, on ne peut observer les assises les plus anciennes du Roan sauf à proximité des Monts Kibara, mais par analogie, on pense que la base de celui-ci est également formée de poudingues, arkoses et grès (L. CAHEN et J. LEPERSONNE — 1967).

Donc, la stratigraphie du Shaba peut se schématiser de la façon suivante :



D'après CAHEN (1970), le Roan Supérieur de Zambie correspond dans le bassin du Shaba à l'ensemble des groupes de Dipeta et des Mines, tandis que le Roan Inférieur doit être mis en corrélation avec les R.A.T. rouges.

— la couverture

Après les dépôts du Kundelungu, le Shaba étant passé dans le domaine continental, la sédimentation est devenue très intermittente, si ce n'est au Tertiaire.

Cependant, la majeure partie de ces nouveaux sédiments a été enlevée par l'érosion lors de la pénéplation Miocène.

2. — Tectonique

Après les dépôts des supergroupes du Roan et du Kundelungu dans une phase géosynclinale, la tectonique Lufilienne a plissé les sédiments selon un arc est-ouest long de 500 km. (arc Lufilien), dont la convexité est dirigée vers le nord.

Il faut remarquer que le socle ancien a lui aussi participé à cette tectonique, qui s'y est superposée aux déformations antérieures.

Dans le secteur sud-est de l'arc, les plis ont une direction nord-ouest/sud-est, et s'annoyent en s'écartant des massifs anciens (fig. 2) (M. GYSIN — 1937).

Ceux-ci apparaissent sous forme de dômes à Konkola, Luina et Mokambo, et sont constitués de roches cristallophylliennes injectées de granite (intrusif ou d'anatexie) (MENDELSON — 1961).

C. HISTORIQUE

Le gisement de Musoshi, qui fait l'objet de ce travail, est situé sur le flanc nord du dôme de Konkola, c'est-à-dire sur la partie sud du synclinal compris entre les deux dômes de Konkola et de Luina (fig. 2).

Les études qui y ont été faites sont peu nombreuses; elles se résument à quelques publications de M. LECOMPTE, M. GYSIN, A. JAMOTTE et J. F. VAES.

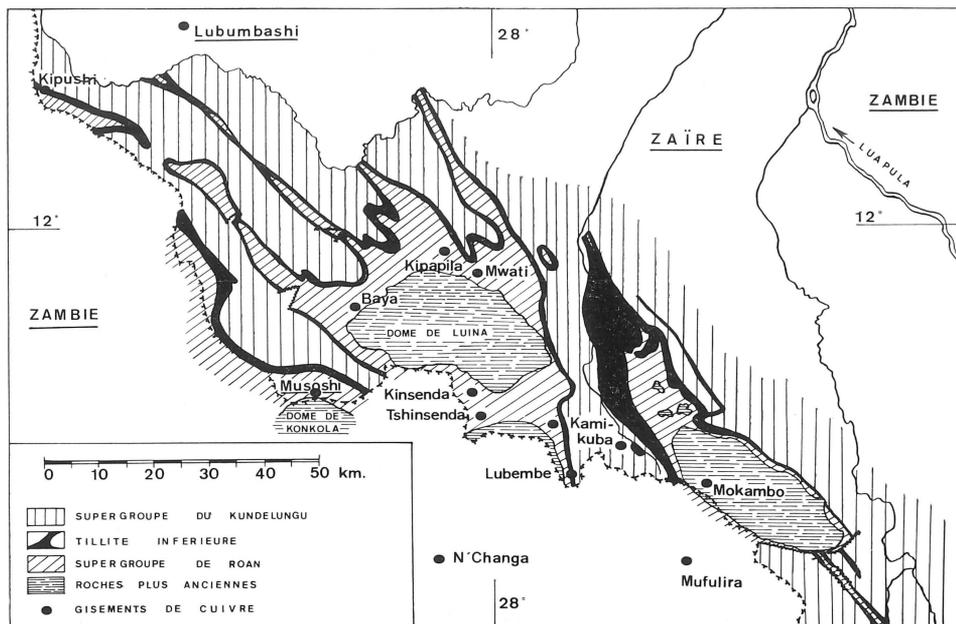


Fig. 2. — Carte géologique du sud-est du Shaba (d'après M. GYSIN — 1937).

Pour M. LECOMTE (1933), tout le granite du massif de Mokambo a un caractère intrusif dans les sédiments Roan et Kundelungu, sous forme de batholite.

M. GYSIN (1937) conclut à l'existence de deux générations de granites, la première étant formée de granites « anciens » sur lesquels les sédiments Roan se sont déposés, tandis que la deuxième comporterait des granites « jeunes » post-Roan.

A. JAMOTTE (1939 et 1946) a trouvé des arguments qui appuyaient l'hypothèse de M. GYSIN concernant l'existence de deux générations de granites.

La tendance actuelle est au rejet de l'existence du granite jeune, les études ultérieures qui se sont succédées (surtout du côté zambien) n'ayant jamais pu établir le caractère intrusif d'un granite dans le supergroupe de Roan (MENDELSON — 1961).

La géochronologie (L. CAHEN, J. DELHAL, S. DEUTSCH, N. GRÖGLER, D. LEDENT et P. PASTEELS — 1970) donne des âges apparents de :

$$\left\{ \begin{array}{l} 1975 \pm 20 \text{ M.a. pour le granite de Mufulira-West (Zambie)} \\ 1973 \pm 60 \text{ M.a. pour le granite de Mokambo} \end{array} \right.$$

D'autre part on connaît dans le dôme de Konkola un âge de 800 M.a. (pegmatites à microcline intrusives dans le Roan inférieur).

On peut encore signaler un travail récent sur le métamorphisme du Roan à Musoshi, par J. F. VAES (1962).

Ce dernier arrive à la conclusion que le métamorphisme est sélectif (certains types de métamorphismes se produisant dans certains genres de roches), et ne peut être provoqué que par des fluides minéralisants circulant dans les fissures capillaires des roches.

Ces fluides qui ont suivi les couches, ont déposé leurs minéraux dans les lits dont les caractères chromatographiques conviennent à leur composition. Il apporte des arguments en faveur de l'origine métamorphique des minéraux suivants : oligiste, rutile, apatite, monazite, zircon, scapolite, pyrite, chalcopryrite et bornite.

ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE
DE LA PARTIE SUPÉRIEURE DU ROAN INFÉRIEUR

A. REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Deux séries d'échantillons ont été examinées dans ce travail. La première provient d'un sondage carotté foré pour reconnaître le gisement, et a permis l'étude lithologique qui va suivre. La deuxième consiste en échantillons prélevés en galerie, notamment dans la zone minéralisée en cuivre (au niveau — 50 m). Elle a servi à identifier les minéraux métallifères et à définir leurs relations mutuelles.

Dans l'étude pétrographique, nous avons utilisé systématiquement de l'alizarine rouge pour distinguer la dolomite de la calcite (FRIEDMAN — 1959) et du cobaltinitrite pour distinguer le feldspath potassique du plagioclase (LADURON — 1966).

B. DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES UNITÉS

L'observation a mis en évidence l'existence de quatre types lithologiques (A, B, C, et D), que l'on peut caractériser par les minéraux constitutifs, leur origine détritique ou non, et leur évolution au sein du sédiment.

Presque toutes les roches analysées sont arkosiques (pélito-, micro-, psammo-arkoses et arkoses, parfois subgrauwackoïdes ou grauwackoïdes) (fig. 3).

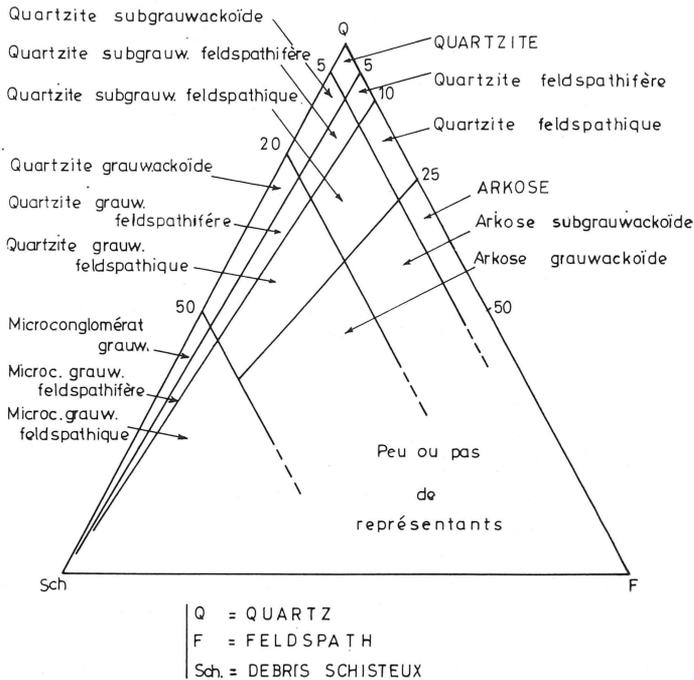


Fig. 3. — Diagramme utilisé pour la nomenclature des roches examinées (PETTIJOHN, POTTER, SIEVER — 1972).

Certaines de ces mêmes couches ont cependant été appelées « silt », « siltstone », et « sandy silt ».

En fait ces sédiments sont caractérisés par un apport détritique principalement quartzo-feldspathique.

Les proportions relatives du quartz et du feldspath ne varient guère. Le troisième minéral important est le mica (muscovites et biotites), en majorité détritique.

1. *Type lithologique — A —*

Regroupe les échantillons numérotés 1 à 19 (fig. 4).

Il s'agit de roches, à grains allant de 60 à 1.000 microns, caractérisées par la dominance de feldspath potassique et de quartz, la matrice étant constituée pour une grande partie de micas authigènes et détritiques.

À plusieurs niveaux, on rencontre des roches à gros éléments détritiques (quartz, feldspaths et muscovite), et dont la matrice est elle-même arkosique; elle se compose en effet principalement de grains de feldspaths, quartz et micas, de granulométrie semblable.

Les minéraux rencontrés sont :

<i>détritiques</i>	<i>non détritiques</i>
— fragments de conglomérats et de micro-conglomérats	
— feldspaths potassiques (microcline et orthose)	— feldspath potassique
— quartz	— quartz
— muscovite	
— biotite	— biotite
<i>Accessoires</i> : — ilménite	— goethite
— tourmaline	— rutile
— sphène	— tourmaline
— épidote	— hématite
— zircon	
— apatite	
— rutile	
— séricite	

a. *Les fragments de conglomérats et micro-conglomérats*

Ce sont des débris bien roulés, formés de grains eux-mêmes souvent arrondis de quartz avec parfois quelques feldspaths potassiques, et assemblés en une texture quartzitique.

b. *Le feldspath potassique*

Il s'agit principalement de microcline, tout de suite reconnaissable grâce à sa macle. On trouve cependant aussi l'orthose. Le feldspath potassique apparaît très souvent en grains bien roulés, démontrant par là son origine détritique. Au sein des gros éléments, on remarque fréquemment des résidus de quartz et parfois aussi d'orthose.

Autour d'un certain nombre de feldspaths détritiques, on observe une zone de croissance qui constitue le feldspath potassique authigène. Ces croissances sont plus importantes autour des plus petits grains et sont inexistantes autour des gros éléments.

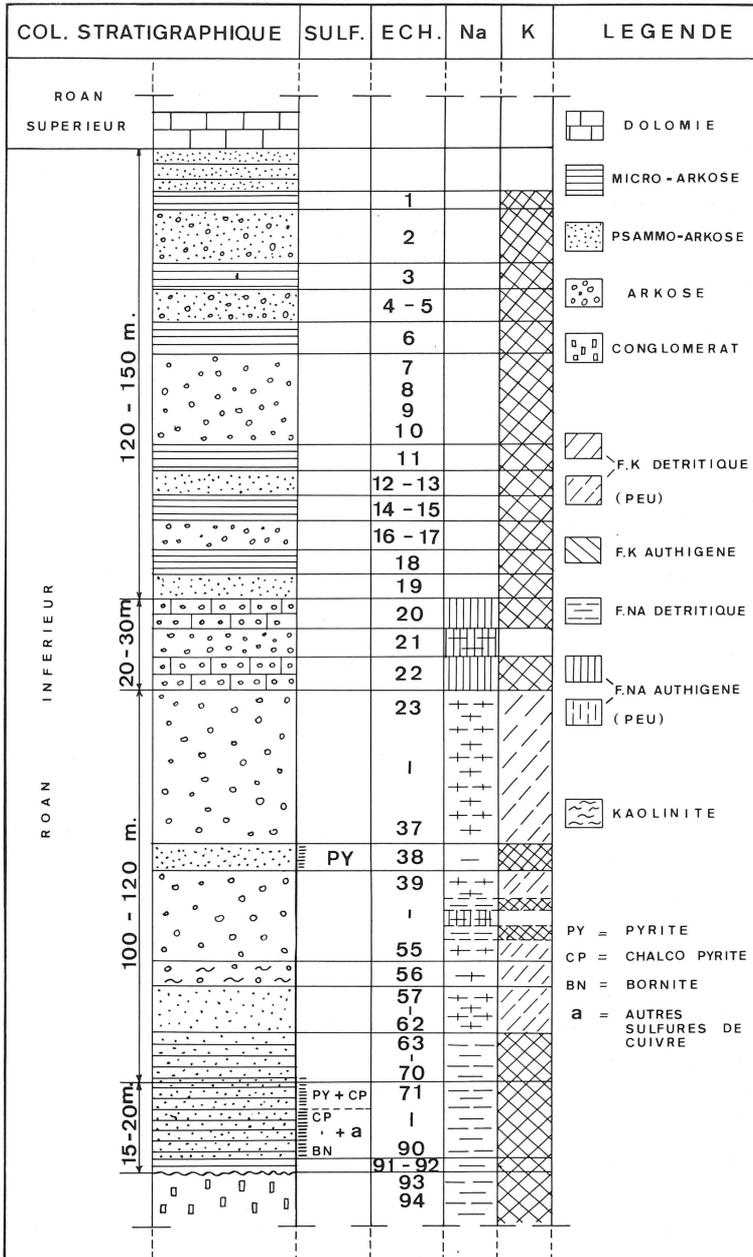


Fig. 4. — Colonne stratigraphique de la partie supérieure du Roan inférieur à Musoshi, adaptée d'après les documents fournis par la SODIMIZA.

Erratum : vers le bas de la colonne des échantillons, lire 58 au lieu de 62 et 59 au lieu de 63.

c. *Le quartz*

Ce minéral peut se présenter en grains un peu arrondis à bien roulés, c'est-à-dire détritiques, et souvent d'extinction ondulante. On le trouve encore dans les fragments conglomératiques, dont il est le principal constituant. Enfin, il apparaît en résidus corrodés dans certains feldspaths potassiques.

Dans ces sédiments, on reconnaît des croissances siliceuses, autour de grains détritiques de quartz (parfois cataclasés), notamment dans les lits psammo- et micro-arkosiques. On y remarque que les contours de certains cristaux de quartz sont fort découpés. Dans les auréoles quartzueuses, surtout à leur limite avec le grain détritique, on a pu observer de petites inclusions légèrement verdâtres qui semblent être de la tourmaline.

d. *La muscovite*

Elle est largement distribuée et constitue en fait le plus abondant des micas, aussi bien dans les parties grossières que finement grenues. Elle peut être associée à la biotite détritique. On la trouve en paillettes détritiques, souvent très grandes et étroites, allongées selon la stratification. Quelques-unes ont été ployées lors du tassement du sédiment.

La muscovite existe également sous forme de *séricite*, comme altération des grains de feldspath potassique. On observe toutes les transitions, depuis le feldspath non ou peu altéré, jusqu'aux grains roulés presque complètement séricitisés. Parfois sur ces derniers, on aperçoit encore le feldspath initial en petites plages résiduelles de même extinction, que met en évidence la lame témoin. On reconnaît aussi les quartz corrodés résiduels qui existaient dans le feldspath.

e. *La biotite*

Peut être détritique ou authigène.

Comme détritique, elle apparaît en paillettes idiomorphes cassées, sur lesquelles les clivages sont bien visibles. Souvent cette biotite est associée à la goethite, que l'on trouve selon les clivages.

Comme authigène, elle a une forme trapue dans laquelle on ne distingue pas de clivage, et est peu pléochroïque. On l'observe surtout dans les parties finement grenues, et ses grains sont alignés selon la stratification, mais sont orientés en tous sens.

Dans le premier cas, sa couleur en nicols non croisés est un brun-rouge à brun-verdâtre, et dans le second elle est brun clair.

f. *La tourmaline*

Est franchement détritique, et apparaît en gros débris arrondis et cassés. La tourmaline authigène semble exister dans les auréoles quartzueuses.

g. *L'épidote, le sphène, le zircon, et l'apatite*

Comme pour la tourmaline, ces minéraux sont peu fréquents.

L'épidote et le sphène se présentent toujours en grains très bien roulés, tandis que le zircon et l'apatite s'observent souvent en inclusions dans le quartz.

h. *L'ilménite*

Ce minéral, quoique parfois peu arrondi, semble détritique. Il arrive d'observer

une succession de lits riches et plus pauvres en ilménite. Parfois on le trouve en gros débris. L'ilménite se transforme en leucoxène et rutile, avec départ de fer.

i. *L'hématite*

Est authigène et souvent associée à l'ilménite.

j. *Le rutile*

Se présente d'une part en aiguilles dans le quartz détritique, et d'autre part en grains arrondis brun-rougeâtres provenant de l'altération de l'ilménite.

k. *La goethite*

Elle s'est individualisée comme épigénie de cristaux idiomorphes de pyrite, s'est propagée dans les fissures, ou a cristallisé en lamelles dans les clivages de la biotite, de la muscovite et du feldspath potassique. Elle ponctue aussi souvent ce dernier.

2. *Type lithologique* — B —

Concerne les échantillons numérotés 20 et 22 (fig. 4).

Ces sédiments se caractérisent par des éléments détritiques de quartz et de feldspath potassique, que lie un ciment dolomitique contenant quelques grains d'albite authigène.

Les minéraux rencontrés sont :

<i>détritiques</i>	<i>non détritiques</i>
— fragments de conglomérats	— dolomie
— feldspaths potassiques (microcline et orthose)	— albite
— quartz	— feldspath potassique
— biotite	— biotite
<i>Accessoires</i> : — ilménite	— quartz
— sphène	— goethite
— rutile	— rutile
— zircon	— tourmaline?
— épidote	— hématite
— séricite	

On remarque l'absence de muscovite détritique.

a. *Le feldspath potassique*

Il présente les mêmes particularités que celles décrites pour le type lithologique-A, y compris les couronnes de croissance authigènes souvent importantes. Cependant, on observe en plus une corrosion de ces cristaux feldspathiques par la dolomie, qui s'infiltré dans les clivages et fractures.

Signalons l'existence de perthites détritiques (planche 1, fig. 1).

b. *Le quartz*

Comme pour le type lithologique-A, le quartz est détritique et authigène (planche 1, fig. 1).

c. *La dolomie*

Ce minéral constitue le ciment de la roche et apparaît comme une mosaïque de grains aux contours anguleux mais non de forme rhomboédrique.

Par places, on remarque des grains qui sont plus grands et plus allongés.

d. Les minéraux tels que *la biotite, la séricite, l'ilménite, le sphène, le rutile, l'hématite, le zircon et l'épidote*, se présentent de la même manière que celle mentionnée dans le type lithologique-A.

Il en va de même pour les fragments de *conglomérats*.

e. *L'albite*

Apparaît le plus souvent en cristaux idiomorphes. On y remarque de nombreuses inclusions, de forte biréfringence, se situant notamment dans la partie centrale des grains (Pl. 1, fig. 2). Parmi ces inclusions, on dénombre surtout la biotite authigène (?) et aussi la tourmaline (?), cette dernière se présentant en petits rectangles incolores légèrement verdâtres.

f. *La goethite*

On ne la trouve que comme ponctuation des feldspaths potassiques.

3. *Type lithologique — C —*

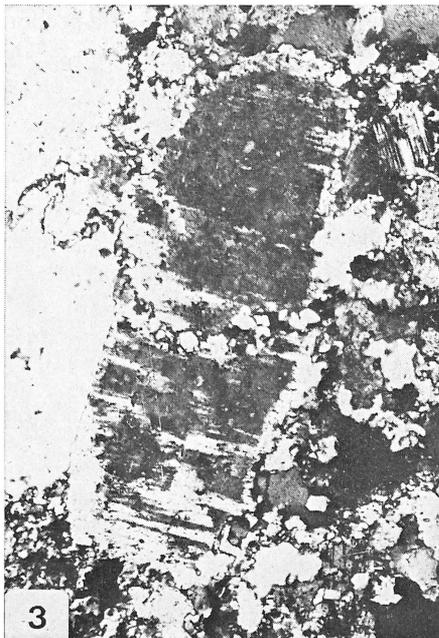
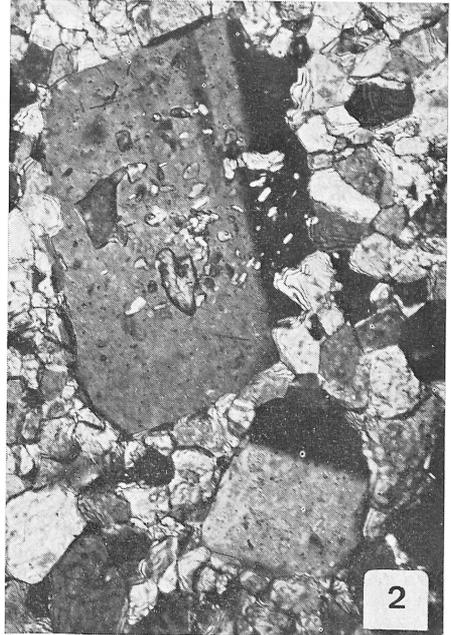
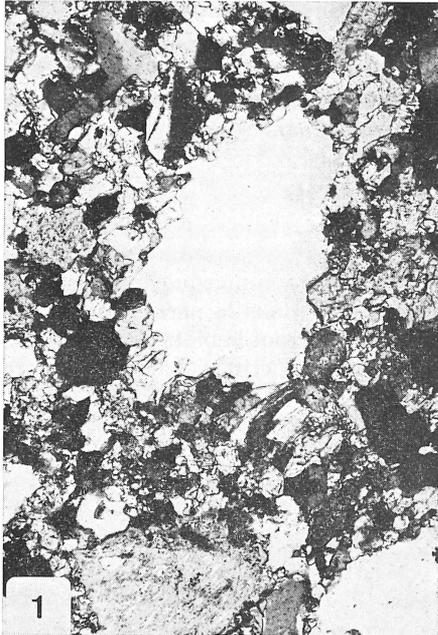
Celui-ci s'étend sur une assez forte épaisseur.

Il groupe les échantillons numérotés 21, 23 à 37, 39 à 41, 43 à 53, 55 à 58 (fig. 4).

Les sédiments de ce type lithologique ont un aspect macroscopique plus clair que les précédents, et on peut les caractériser par des grains détritiques de quartz, albite et muscovite, allant jusqu'à 5 mm, tandis que la matrice est formée d'éléments détritiques de taille plus petite. La dolomie continue à exister, mais en faible proportion. Il s'agit pour la plupart de cristaux isolés, parfois calcitiques.

Les minéraux rencontrés sont :

<i>détritiques</i>	<i>non détritiques</i>
— fragments de conglomérats et de granite	— albite
— cleavelandite	— dolomie
— albite	— calcite
— quartz	— goethite
— muscovite	— quartz
<i>Accessoires</i> : — ilménite	— rutile
— rutile	— kaolinite
— feldspaths potassiques (microcline et orthose)	— hématite
— apatite	
— zircon	
— épidote	
— tourmaline	
— séricite	



a. *Les fragments de conglomérats et de granite*

Dans certains échantillons, en plus des débris de conglomérats qui nous sont devenus communs, on trouve de gros morceaux de « granite ». En effet, ces fragments, composés de quartz, d'albite (proche de l'oligoclase) et de cleavelandite, montrent une texture magmatique.

b. *L'albite*

En tant que détritique, il s'agit soit de débris d'albite, soit de cleavelandite (variété d'albite, caractéristique par ses macles courtes) résultant du remplacement d'un grain initial de feldspath potassique ou de quartz, et dont il reste parfois des fantômes ou des résidus (planche 1, fig. 3 et 4).

La cleavelandite est souvent piquée de goethite; l'allure roulée de ses grains montre que sa formation est antérieure au dépôt.

En tant qu'authigène, l'albite s'individualise dans la matrice, et même devient idiomorphe lorsque associée à la dolomie. On trouve encore l'albite authigène sous forme de croissance autour des grains détritiques de cleavelandite (planche 1, fig. 3).

c. *Le quartz*

Existe comme minéral détritique et authigène. On l'a remarqué cristallisant dans les fissures de feldspaths (planche 1, fig. 3). Il est également résiduel dans la cleavelandite.

d. *La dolomie*

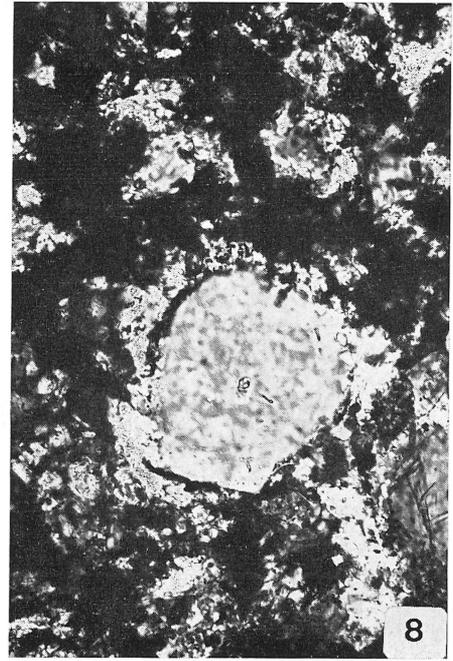
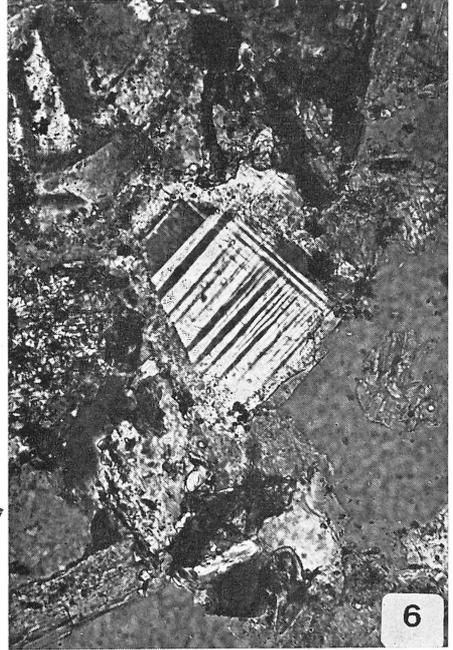
Elle cristallise souvent en cristaux idiomorphes rhomboédriques. On y remarque de nombreuses inclusions de quartz et albite. Elle est fréquemment associée à la goethite qui souligne ses étapes successives de croissance (planche 2, fig. 5). La coloration des carbonates indique parfois la présence de calcite dans la dolomie.

e. *La muscovite*

On la trouve en grandes paillettes détritiques, ou en petite quantité sous forme de séricite

PLANCHE I

- Fig. 1 : Ech. Mu 20 — Lumière transmise 60 ×.
Grain de quartz authigène (blanc) entouré de dolomie.
Dans la partie inférieure, on reconnaît une perthite détritique avec couronne de croissance feldspathique.
- Fig. 2 : Ech. Mu 20 — Lumière transmise 60 ×.
La dolomie entoure deux grains d'albite, dont le plus gros montre des inclusions de biotite et tourmaline (?).
- Fig. 3 : Ech. Mu 26 — Lumière transmise 60 ×.
Grain détritique de cleavelandite accompagné d'une zone de croissance albitique.
Le quartz authigène a cristallisé dans une fracture de ce grain.
- Fig. 4 : Ech. Mu 28 — Lumière transmise 60 ×.
Détails de la cleavelandite; on reconnaît les macles courtes et les résidus quartzeux.



f. *Le feldspath potassique*

Existe en tant que grains détritiques, mais il est très rare.

g. Les minéraux tels que *l'apatite, l'épidote, la tourmaline, le rutile, l'ilménite, l'hématite, et le zircon* se présentent de la même manière que celle mentionnée dans le type lithologique-A, sauf qu'ici la tourmaline authigène ne semble pas exister.

h. *La goethite*

Comme précédemment, elle provient d'une altération météoritique récente, mais ici, en plus, elle marque les étapes de croissance de la dolomie (planche 2, fig. 5). Cette dernière observation semble impliquer l'existence d'une goethite antérieure à la première.

i. *La kaolinite*

Sur plusieurs échantillons (notamment le N° 56), on remarque un début d'altération de l'albite en kaolinite.

4. *Type lithologique — D —*

Regroupe les échantillons numérotés 38, 42, 54 et 59 à 94 (fig. 4).

Cette quatrième unité s'identifie strictement au type lithologique-A, à la différence que l'on voit apparaître des sulfures à certains niveaux. Il y a absence totale de dolomie et de calcite.

On remarque que la granulométrie dans chaque échantillon est assez régulière et constante, sauf pour Mu 94. Ce dernier en effet est formé d'énormes cristaux de feldspath potassique (dont le diamètre peut aller jusque 1,5 cm) liés par une matrice arkosique homogène.

PLANCHE II

- Fig. 5 : Ech. Mu 26 — Lumière transmise 60 ×.
Cristaux de dolomie (blancs) dont les étapes de croissance sont marquées par la goethite (noire).
Quelques grains de quartz (blancs) sont aussi visibles.
- Fig. 6 : Ech. Mu 60 — Lumière transmise 150 ×.
Au centre, microcline détritique avec couronne de croissance potassique contenant de nombreuses inclusions.
- Fig. 7 : Ech. Mu 94 — Lumière transmise 60 ×.
Microcline détritique contenant une myrmékite et des résidus d'orthose séricitisés. Une couronne de croissance potassique enrobe le tout.
- Fig. 8 : Ech. Mu 70 — Lumière transmise 150 ×.
Au centre, quartz détritique avec zone de croissance siliceuse.
La goethite (noire) entoure le grain roulé et donc semble antérieure à la croissance siliceuse.

f. *La goethite*

On la trouve parfois comme épigénie de grains framboïdaux et idiomorphes de pyrite, ou en association avec les sulfures de cuivre.

Elle ponctue les feldspaths potassiques.

Une goethite antérieure semble avoir pris naissance avant les auréoles quartzeuses (fig. 8, planche 2).

En résumé :

On peut rassembler en un schéma (fig. 4) les différents phénomènes importants qui caractérisent cette succession stratigraphique.

C. DESCRIPTION DES SULFURES DE CUIVRE

Nous avons rencontré dans les roches de Musoshi, au niveau — 50 m, les sulfures de cuivre suivants : chalcopyrite, bornite, idaïte, « blaubleibender Covellin », covelline normale, digénite, djurléite et chalcosine.

1. *La chalcopyrite*

Légèrement anisotrope, jaune.

Elle apparaît à plusieurs reprises en flots entourés de la digénite et la djurléite, ou parfois de la « blaubleibender Covellin ».

La forme la plus courante de la chalcopyrite sont les fines lamelles, parfaitement rectilignes, disposées selon trois directions principales dans la bornite (planche 3, fig. 9 et 10). Ces lamelles sont associées à la bornite et à l'idaïte, mais on les trouve aussi se continuant plus loin dans la « blaubleibender Covellin » et même dans la digénite et la djurléite.

La chalcopyrite peut encore se présenter dans la bornite en noyaux d'allure graphique et aux contours irréguliers (planche 3, fig. 11).

2. *La bornite*

Il s'agit de la bornite ordinaire, qui au microscope apparaît orange et isotrope.

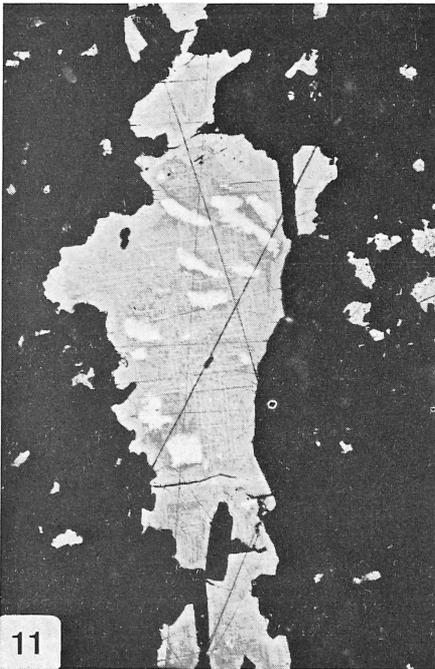
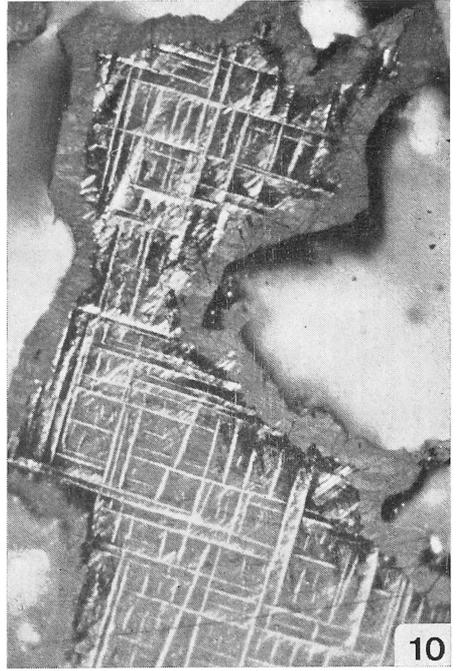
Elle est associée à la chalcopyrite, suivant la description précédente, et comme elle est entourée de digénite et djurléite, ou de « blaubleibender Covellin », digénite et djurléite (planche 3, fig. 9 et 10).

Remarques : La bornite a encore été trouvée (rare) en association avec la digénite, sous la forme d'une plage uniforme juxtaposée à une plage identique de digénite, le tout offrant un contour hexagonal.

Il arrive d'observer des mouchetures de « blaubleibender Covellin » au sein de la bornite.

3. *L'idaïte*

Orange et anisotrope (vert pâle à 45°), dont la formule serait Cu_5FeS_6 (J. OTTE-MANN und G. FRENZEL — 1971). Selon Cl. LEVY (1967), l'idaïte est un terme extrême pour $x = 1$ d'une série du type $Cu_{2+x}Sn_{1-x}FeS_4$. On aurait alors pour l'idaïte la composition Cu_3FeS_4 .



On observe ici que l'idaïte se présente sous forme de lamelles très fines dans la bornite, surtout le long des lamelles de chalcopyrite et obliquement à celles-ci (planche 3, fig. 9 et 10).

4. La « blaubleibender Covellin » et la Covelline normale.

Ces deux minéraux sont fortement biréfléctents et anisotropes (surtout la covelline normale), et peuvent se différencier en immersion par leur couleur d'un bleu profond (pour la « blaubleibender Covellin ») ou rouge violet (pour la covelline normale) (G. FRENZEL — 1959).

On observe la « blaubleibender Covellin » formant un anneau autour des plages de bornite (planche 3, fig. 9 et 10), ou également sur celle-ci. Elle apparaît encore en grains isolés dans la gangue. Souvent elle est entourée d'un anneau de digénite et djurléite (pl. 3, fig. 9-10).

La covelline normale apparaît en taches ou barres dans la digénite et la « blaubleibender Covellin ». On l'a remarquée aussi en association avec la chalcopyrite dont elle continue les lamelles.

Remarques :

- a. La « blaubleibender Covellin » s'associe plus volontiers à la bornite que la covelline normale, qui elle préfère la chalcopyrite.
- b. Dans le coin supérieur droit des fig. 9 et 10 (planche 3), on observe la disparition des lamelles de chalcopyrite dont il ne reste plus que des fantômes dans la « blaubleibender Covellin ».
- c. Les covellines sont absentes lorsque la chalcosine est présente dans l'échantillon.

5. La digénite

Nous ne pouvons préciser avec exactitude la composition de cette digénite. Aussi nous réservons ce terme « digénite » à un minéral isotrope et bleu en lumière réfléchie, qui a une composition intermédiaire entre celles de la djurléite et de la covelline.

On observe souvent cette digénite entourant la bornite et la « blaubleibender Covellin » (pl. 3, fig. 9 et 10), ou même parfois la chalcopyrite.

PLANCHE III

- Fig. 9 : Ech. Mu 18 — Lumière réfléchie 375 × (Im.).
Lamelles de chalcopyrite (claires) sur bornite.
Autour de la bornite, on distingue une zone à « blaubleibender covellin », puis à l'extérieur, une zone à digénite-djurléite.
- Fig. 10 : Ech. Mu 18 — idem — nicols croisés.
L'idaïte apparaît nettement le long des lamelles de chalcopyrite.
On distingue très bien la zone plus foncée à « blaubleibender covellin ».
- Fig. 11 : Ech. Mu 14 — Lumière réfléchie 75 ×.
En clair, chalcopyrite en lamelles formant un véritable treillis sur la bornite, et en allure graphique.
- Fig. 12 : Ech. Mu 17 — Lumière réfléchie 60 ×.
Cristallisations de chalcosine (blanche) dans les fissures de la roche.

6. *La djurléite*

Ce minéral est blanc bleuté, et légèrement anisotrope.

Il est toujours intimement associé à la digénite. Tantôt cette dernière est dominante tandis que la djurléite forme des mouchetures, tantôt la djurléite est presque pure, et c'est la digénite qui se présente sous forme d'aiguilles ou mouchetures sur la djurléite. Il ne semble pas y avoir association chalcosine-djurléite.

7. *La chalcosine*

Elle est blanche un peu bleutée, et légèrement anisotrope.

Elle est peu abondante, et ses associations avec les autres sulfures de cuivre paraissent inexistantes.

On ne l'a observée que dans les échantillons Mu 14, 16 et 17, où elle est accompagnée de goethite, et a cristallisé dans les fissures (planche 3, fig. 12).

Signalons qu'il nous est très difficile de pouvoir affirmer avec certitude qu'il s'agit bien de chalcosine. En effet, les caractères d'anisotropie, de couleur, de réflectivité, de dureté, etc..., ne différencient guère la djurléite de la chalcosine. Notre distinction se base surtout sur les phénomènes suivants :

1. — Les échantillons Mu 16 et 17 et une partie (= une strate) de Mu 14, se caractérisent par l'absence totale des covellines et la présence de chalcosine, alors que les autres échantillons, et notamment la seconde partie de Mu 14, comprennent les covellines, et pas de chalcosine.

2. — Les plages de chalcosine sont pures, alors que la djurléite contient toujours des résidus de digénite.

3. — La chalcosine a cristallisé dans les fissures de la roche (pl. 3, fig. 12).

ESSAIS DE RÉFLECTIVITÉ

Le pouvoir réflecteur standard choisi comme référence donnait à 589 m μ :

$$R_0 = 25,0 \% \pm 0,5$$

Les sulfures de cuivre examinés ont fourni les pouvoirs réflecteurs suivants :

<i>chalcosine</i> :	28,5 %	<i>digénite</i> :	20,5 %
	29,1 %		21,2 %
	29,2 %		21,0 %
	29,0 %		

LES MINÉRAUX QUI ACCOMPAGNENT LES SULFURES DE CUIVRE

1. *La pyrite*

Elle n'est pas fréquente en présence des sulfures de cuivre dans les parties fortement altérées. Quelques rares grains d'allure cubique sont associés à la « blaubleibender Covellin » ou à la digénite, et résultent vraisemblablement d'une remobilisation du fer.

2. *La goethite*

Elle se présente généralement autour des sulfures de cuivre, ou consiste en ramifications au sein de ceux-ci.

3. *Le rutile*

Les grains de rutile proviennent de la transformation complète de l'ilménite, et sont assez souvent associés aux sulfures de cuivre tels la covelline, la digénite et la djurléite.

SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

A. LA ROCHE MAGASIN

Nous avons vu que les caractères lithologiques de la partie supérieure du Roan Inférieur, jusque et y compris le corps minéralisé, peuvent se ramener à un type arkosique.

Les apports détritiques proviennent du complexe de base, comportant le granite de Konkola qui est proche, ainsi que des sédiments métamorphisés dans lequel il s'est intrudé.

L'évolution diagénétique des roches étudiées peut se résumer par les observations suivantes :

- cristallisation du quartz authigène, notamment autour de quartz détritiques.
- cristallisation de la dolomie et recristallisation en rhomboèdres.
- cristallisation de feldspath potassique autour de feldspaths potassiques détritiques.
- cristallisation d'albite quasi pure en auréoles de croissance autour de l'albite détritique, ou en cristaux de néoformation.
- cristallisation de biotite.
- cristallisation de rutile par transformation de l'ilménite.
- cristallisation de tourmaline (?).
- cristallisation de goethite (?).
- cristallisation des sulfures.
- cristallisation d'hématite.

Les caractères acquis par les sédiments au cours de leur diagenèse semblent avoir été modifiés par des processus post-diagénétiques, plus particulièrement par une altération météoritique sans doute encore en cours à l'heure actuelle.

L'existence d'échantillons kaolinisés, les traces de malachite et chrysocolle qui ont été signalées (SODIMIZA), la cristallisation de la goethite dans les fissures ou comme épigénie de pyrite, sont autant d'arguments prouvant l'importance de cette altération.

On relève quelques fractures qui ne sont pas liées à la minéralisation sulfurée.

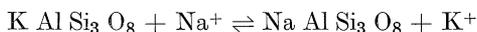
B. LES CRISTALLISATIONS AUTHIGÈNES K ET NA DANS LE ROAN INFÉRIEUR

Rappelons les grandes phases de ces croissances :

- Type lithologique — A* : — présence de feldspath potassique détritique
 — croissance de feldspath potassique
 — présence de biotite authigène
 — absence d'albite détritique et authigène
- Type lithologique — B* : — présence de feldspath potassique détritique
 — croissance de feldspath potassique
 — présence de biotite et d'albite authigènes
 — absence d'albite détritique
- Type lithologique — C* : — peu de feldspath potassique détritique
 — pas de biotite ni de feldspath potassique authigènes
 — présence d'albite détritique
 — croissance d'albite
- Type lithologique — D* : — présence de feldspath potassique détritique
 — croissance de feldspath potassique
 — présence de biotite authigène
 — peu d'albite détritique et absence d'albite authigène

On remarque tout d'abord que la cristallisation de la biotite authigène semble liée aux cristallisations potassiques.

Ces transformations des feldspaths ne doivent pas être imputées au métamorphisme comme le prétend J. F. VAES (1962), mais bien à la diagenèse. En effet, les variations observées font penser que l'eau du bassin dans lequel les différents types lithologiques se déposaient, et qui circulait dans les sédiments non encore consolidés, a été à un certain moment saturée en potassium, précipitant le feldspath potassique et dissolvant l'albite, puis à un autre moment, était saturée en sodium et précipitait l'albite, tandis que le feldspath potassique était dissout.



Les précipitations de quartz qui se manifestent dans tous les types lithologiques, montrent que ces eaux ont toujours été saturées en silice.

La biotite se présente disposée en des zones parallèles à la stratification, mais son orientation est plus ou moins quelconque. Les roches étudiées ne montrent aucune trace de processus déformatifs. La schistosité transversale est absente. Il est intéressant de noter que J. BELLIERE (1961) a effectué des observations identiques dans les sédiments mwashyens au sud-ouest de Lubumbashi.

Cette biotite pourrait être un produit du métamorphisme ; en effet, les isogrades du bassin zambien montrent que l'on a un phénomène de métamorphisme régional (A. R. DRYSDALL, R. L. JOHNSON, T. A. MOORE and J. G. THIEME — 1972), qui se caractérise par une succession de larges zones parallèles à grenat, actinolite-épidote, biotite, chlorite,...

Musoshi semble se trouver dans le prolongement de la zone à biotite, qui se poursuivrait vers le nord-ouest, puisqu'elle a été observée dans la région de Lubumbashi (BELLIERE J. — 1961).

Le fait que la biotite apparaisse avant la schistosité peut s'expliquer par la

nature particulièrement peu fluante de la roche. Toutefois, bien que la biotite ne soit pas en général un minéral diagénétique, il ne nous paraît pas exclu que, dans le cas particulier du gisement de Musoshi, elle se soit formée au moins en partie pendant la diagenèse comme les feldspaths authigènes.

C. REMARQUES A PROPOS DE CERTAINS MINÉRAUX

1. *Albite*

On distingue en fait trois albites différentes.

La première est d'origine magmatique et constitue une partie de l'apport détritique en provenance du granite. Son indice de réfraction montre qu'elle est proche de l'oligoclase.

La deuxième est la cleavelandite, résultant de la transformation du quartz et du feldspath potassique, et qui elle aussi vient du granite.

La troisième est l'albite authigène quasi pure.

2. *Dolomie*

Les traces de calcite que nous avons observées dans la dolomie tout au long du type lithologique-C, font penser que la dolomie est secondaire comme remplacement épigénétique de la calcite primaire. Il faut néanmoins remarquer que le type lithologique-B, caractérisé par une importante proportion de dolomie, ne présente pas de calcite. Cette dolomie pourrait donc éventuellement être interprétée comme primaire, faute de preuves du remplacement de la calcite.

3. *Tourmaline*

A. G. DARNLEY (1966) signale que la tourmaline détritique est très répandue dans tous les types de sédiments détritiques du copperbelt zambien, et qu'elle est généralement englobée dans une zone d'accroissement secondaire. La tourmaline de Musoshi est essentiellement détritique et ne présente pas de zone de croissance ultérieure. Cependant, l'existence d'une tourmaline secondaire n'est pas exclue. Dans les cristaux authigènes d'albite ainsi que dans les auréoles authigènes quartzieuses, nous avons en effet relevé une série d'inclusions incolores à légèrement verdâtres, de forte biréfringence, qui pourraient fort bien être cette tourmaline; mais il est difficile de se prononcer avec certitude, vu la petitesse des cristaux. Remarquons encore que J. F. VAES (1962) signale la présence de petits cristaux du même type dans les auréoles de feldspath potassique.

4. *Goethite*

Une goethite antérieure à celle d'origine météoritique semble exister. Elle serait diagénétique puisqu'elle a été trouvée d'une part précédant la précipitation quartzieuse en auréole autour des grains détritiques, d'autre part participant aux phases de croissance du carbonate. Ce phénomène n'est pas courant. Il est encore possible de l'expliquer par une épigénie de pyrite framboïdale (donc une altération météoritique récente), celle-ci s'étant déposée très tôt dans le sédiment.

5. *Ilménite*

Nous avons vu que ce minéral se transformait en rutile.

Il est significatif de voir l'ilménite disparaître dans les niveaux où l'on observe des sulfures, pour réapparaître dès que ceux-ci n'existent plus. Ce processus de transformation de l'ilménite en rutile s'est donc produit plus rapidement dans les niveaux sulfurés, suite aux conditions réductrices qui y ont régné durant la diagenèse.

6. *Topaze, monazite et apatite*

A. JAMOTTE (1939) signale la présence de topaze et monazite dans les roches de Musoshi. Il décrit la topaze comme de minuscules grains incolores. Quant à la monazite, il la rencontre en grains altérés ou non. A aucune reprise il ne mentionne l'existence de l'apatite.

J. F. VAES (1962) par contre parle d'apatite, mais ne dit rien au sujet de la topaze. Pour lui, la monazite est beaucoup moins fréquente que l'apatite, mais dans les roches arénacées on peut en trouver. Il décrit ce minéral comme ayant une couleur jaune-miel, et se présentant presque toujours cristallisé en de petits cristaux idiomorphes, identiques à ceux de la série des Mines. La monazite ne se trouverait que dans les roches contenant de l'apatite. Il suggère que ces deux minéraux se sont formés dans la même période du métamorphisme.

Pour notre part, nous avons observé une apatite d'allure détritique, mais jamais la topaze ni la monazite ne nous est apparue.

D. MINÉRALISATION ET LITHOLOGIE

Rappelons que ce gisement est stratiforme et qu'il est constitué de minéralisations en sulfures de fer et cuivre qui se sont produites en liaison avec un type de roches bien déterminé, dominé par les croissances potassiques. Il est caractéristique de voir par exemple que l'échantillon Mu 38 (type lithologique-D), qui est compris entre des couches de type lithologique-C, soit seul porteur de pyrite (fig. 4).

On remarque aussi que les sulfures se distribuent selon certains lits, les plus fins et les plus grossiers en étant dépourvus. On ne les trouve en effet que dans les psammo-arkoses, les micro-arkoses et les microconglomérats grauwoackoïdes feldspathiques. Ceci suggère une relation de la minéralisation avec la perméabilité que devait avoir la roche avant sa consolidation.

E. ÉVOLUTION DES SULFURES DE CUIVRE

Les observations qui ont été faites permettent de conclure ce qui suit sur l'évolution des sulfures de cuivre.

L'allure annulaire de la « blaubleibender Covellin » autour des plages de bornite fait penser à une évolution de la bornite vers la « blaubleibender Covellin ». Cette dernière se transforme en digénite qui l'entoure.

Il semble que la djurléite soit plus fréquente à l'extérieur des grains qu'à l'intérieur, ce qui laisse supposer une évolution de la digénite vers la djurléite.

Sur les plages de bornite, on observe souvent des lamelles de chalcopyrite accompagnées d'idaïte. D'après J. OTTEMANN et G. FRENZEL (1971), la bornite se décompose

par l'altération supergène en chalcopyrite plus idaïte, avec évolution rapide de l'idaïte vers la « blaubleibender Covellin ». Ceci expliquerait l'assemblage observé. Notons cependant que nous ne pouvons pas exclure tout-à-fait la possibilité d'une origine primaire pour cette chalcopyrite, par cristallisation simultanée avec la bornite suite à une immiscibilité.

La chalcopyrite en lamelles se prolonge parfois dans la « blaubleibender Covellin » et même la digénite, et évolue vers la covelline normale qui se transforme rapidement en « blaubleibender Covellin ».

Quant à la chalcosine, sa présence dans les fissures de la roche fait penser à une cristallisation primaire de seconde génération, par remobilisation des sulfures de cuivre. Remarquons que son association très fréquente avec la goëthite se situe bien dans le contexte de ce phénomène.

En résumé, il se produit au niveau — 50 m, un enrichissement progressif et général en cuivre, par altération supergène de chalcopyrite et bornite en idaïte, covellines, digénite et djurléite, avec départ de fer que l'on retrouve sous forme de goëthite. L'aboutissement de cette altération serait la cristallisation primaire de deuxième génération de la chalcosine. Il semble raisonnable de supposer que la bornite est un minéral primaire de première génération, au même titre que la chalcopyrite rencontrée en noyaux dans la digénite-djurléite, soit en allure graphique dans la bornite, soit encore en grains purs. La minéralisation est cependant trop altérée pour pouvoir tirer des conclusions plus précises sur les sulfures primaires. Aussi serait-il fort intéressant d'étudier ces minéraux à une profondeur telle que l'altération supergène devienne faible.

F. CONCLUSIONS SUR L'ORIGINE DU GISEMENT

Étant donné l'imperfection des classifications génétiques en vigueur, et l'imprécision des termes « épigénétique » et « syngénétique », il est difficile de définir le gisement de Musoshi.

On peut cependant affirmer que les sulfures de fer et de cuivre sont diagénétiques. La pyrite et sans doute aussi la chalcopyrite, cristallisent en premier lieu; la première résulte de la transformation d'un monosulfure de fer (BERNER — 1970) et la deuxième provient de la précipitation de l'ion Cu^{++} en solution dans l'eau du bassin. Les autres sulfures de cuivre (sauf peut-être la bornite), sont plus récents que la chalcopyrite.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie tout particulièrement Monsieur P. BARTHOLOMÉ, Professeur à l'Université de Liège, ainsi que Monsieur F. DIMANCHE, pour l'aide scientifique qu'ils ont apporté à cette étude.

Les remerciements de l'auteur s'adressent encore à Monsieur P. BARTHOLOMÉ, pour le soin et l'attention avec lesquelles il a bien voulu lire et corriger le manuscrit de cette note.

BIBLIOGRAPHIE

- BARTHOLOMÉ, P., 1958. — On the paragenesis of copper ores. *Studia Universitatis « Lovanium »*. *Faculté des Sciences*, **4**, Léopoldville (Kinshasa).
- BARTHOLOMÉ, P., 1962. — Les minerais cupro-cobaltifères de Kamoto, Katanga-Ouest. I. — Pétrologie, 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. Symp. — *Problems of postmagmatic ore deposition*, vol. **1**, Prague, pp. 317-321.
- BARTHOLOMÉ, P., 1969. — Kamoto (Katanga) et White Pine (Michigan) : deux gisements stratiformes de cuivre. *Acad. Royal Sci. Outre-mer. Bull. des Séances (Bruxelles)*, pp. 397-410.
- BELLIÈRE, J., 1961. — Manifestations métamorphiques dans la région d'Élisabethville. *Publ. de l'Université de l'État à Élisabethville (Lubumbashi)*, vol. **1**.
- BERNER, R. A., 1970. — Sedimentary pyrite formation. *American Journal of Science*, vol. **268**, January, pp. 1-23.
- BROWN, A.-C., 1971. — Zoning in the White Pine copper deposit, Ontonagon County, Michigan. *Econ. Geol.*, **66**, pp. 543-573.
- CAHEN, L., 1954. — Géologie du Congo Belge. Vaillant-Carmanne, Liège.
- CAHEN, L. and SNELLING, N. J., 1966. — The geochronology of equatorial Africa. Amsterdam. North-Holland Publ. Cy., 195 p.
- CAHEN, L. and LEPERSONNE, J., 1967. — The Precambrian of the Congo, Rwanda and Burundi. Rankama K., ed., *The Precambrian*, vol. **3**. New-York. Interscience.
- CAHEN, L., DELHAL, J. and DEUTSCH, S., 1967. — Rubidium-strontium geochronology of some granitic rocks from the Kibarian belt (Central Katanga, Rep. of the Congo). *Ann. Mus. Roy. Afr. Centr.*, in-8°, *Sc. Géol.*, **59**.
- CAHEN, L., DELHAL, J., DEUTSCH, S., GRÖGLER, N., LEDENT, D. and PASTEELS, P., 1970. — Three contributions to the geochronology and petrogenesis of granitic rocks in the Copperbelt of Zambia and Southeast Katanga Province (Rep. of the Congo). *Ann. Mus. Roy. Afr. Centr.*, Série in-8°, *Sc. Géol.*, n° **65**.
- CAHEN, L., 1970b. — État actuel de la géochronologie du Katangien. *Ann. Mus. Roy. Afr. Centr.*, série in-8°, *Sc. Géol.*, n° **65**, pp. 7-14.
- DARNLEY, A. G., 1960. — Petrology of some Rhodesian copperbelt orebodies and associated rocks. *Bull. Inst. Min-Met. London*, **638**, pp. 137-173.
- DIMANCHE, F., 1972. — Évolution minéralogique de quelques sables titanifères d'Afrique du Sud. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. **95**, pp. 183-190.
- DIMANCHE, F., 1973. — Structures complexes à chalcosine, djurléite, digénite et covellines dans les blindes cuprifères de Kipushi (Rép. du Zaïre), (à paraître).
- DRYSDALE, A. R., JOHNSON, R. L., MOORE, T. A., and THIEME, J. G., 1972. — Outline of the Geology of Zambia. *Geologie en Mijnbouw* — vol. **51**, pp. 265-276.
- FRANÇOIS, A., DEMESMAEKER, G., et OOSTERBOSCH, R., 1963. — La tectonique des gisements cuprifères stratiformes du Katanga (Gisements stratiformes de cuivre en Afrique, Symposium éd. par J. Lombard et P. Nicolini, 2^e partie). *Assoc. des Services Géologiques Africains, Paris*, pp. 47-115.
- FRENZEL, G., 1959. — Idait und « blaubleibender Covellin ». *Neues Jahrb. Mineral. Abh.* **93**, pp. 87-132.
- FRENZEL, G., 1961. — Der Cu-Uberschuss des blaubleibender Covellin. *Neues Jahrb. Mineral., Monatsh.* **9**, pp. 199-204.
- FRIEDMAN, G. M., 1959. — Identification of carbonate minerals by staining methods. *Journal of sedimentary Petrology*, vol. **29**, n° 1, pp. 87-97.
- GYSIN, M., 1936. — Les minerais de cuivre du Katanga. *Ann. Serv. Mines, C.S.K.*, Tome VII.

- GYSIN, M., 1937. — Recherches géologiques et pétrographiques dans le Katanga méridional. *Mém. Inst. Roy. Col. Belge, Sc. Nat. et Méd.*, Tome VI — fasc. 1.
- HILLS, J. H. — The geology and mineralogy of the Chibuluma copper-cobalt deposit. University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- JAMOTTE, A., 1939. — Contribution à l'étude géologique du gisement cuprifère de Musoshi. *Publ. Ass. Ing. Polytechnique de Mons*, n° 74, fasc. 5.
- JAMOTTE, A., 1946. — Étude lithologique graphique de l'étage des dolomies du Roan Supérieur au sondage Kinsenda n° 23. *Ann. du Serv. Mines* (Comité Spécial du Katanga), Tome XI.
- KASTNER, M. and WALDBAUM, 1968. — Authigenic Albite from Rhodes, Department of Geological Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts. *The American Mineralogist*, vol. 53.
- KATEKESHA, F., 1970. — Le corps minéralisé supérieur de Kamoto. Thesis — Université de Liège.
- KULLERUD, G., 1965. — Covellite stability relations in the Cu-S system. *Freiberg. Forsch.*, C 186, pp. 145-160.
- LADURON, D., 1966. — Sur les procédés de coloration sélective des feldspaths en lame mince. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, T. 89, pp. 281-294.
- LARSEN, G. and CHILINGAR, G. V., 1967. — Diagenesis in sediments. *Developments in sedimentology* — 8, pp. 91-125. Elsevier Publishing Company; Amsterdam, London, New-York.
- LECOMPTE, M., 1933. — Le batholite de Mokambo et ses alentours. *Mém. Inst. Géol. Université de Louvain*, T. VII, fasc. 3, pp. 127-224.
- LEVY, C., 1967. — Contribution à la minéralogie des sulfures de cuivre du type Cu_3XS_4 . *Mém. du B.R.G.M.* — N° 54.
- MENDELSON, F., 1961. — The geology of the Northern Rhodesian Copperbelt. London, Macdonald and Co. (Publishers) Ltd.
- MORIMOTO, N. and GYOBU, A., 1971. — The composition and stability of digenite. *American Miner.*, 56, pp. 1889-1909.
- OTTEMANN, J. und FRENZEL, G., 1971. — Neue Mikrosonden-Untersuchungen an Idait, Covellin und blaubleibendem covellin. *N. Jb. Miner. Mh.*, 2, pp. 80-89.
- PETTIJOHN, POTTER, SIEVER, 1972. — Sand and sandstone. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New-York.
- ROSEBOOM, E. H., 1962. — Djurléite, a new mineral. *American Miner.*, 47, pp. 1181-1184.
- TEODOROVICH, G. I., 1961. — Authigenic minerals in sedimentary rocks. Consultants Bureau, New-York.
- UYTENBOGAARDT, W. and BURKE, E. A. J., 1971. — Tables for microscopic identification of ore minerals. Elsevier Publishing Company; Amsterdam, London, New-York.
- VAES, J. F., 1962. — A study of the metamorphism of the Roan sediments at the Musoshi copper deposit and its consequences. *Mus. Roy. Afr. Centr. — Tervuren, Belgique. Ann. Sci. Géol.* n° 43.
- VAN DER PLAS, L., 1966. — The identification of detrital feldspars. *Developments in sedimentology*, 6. Elsevier Publ. Comp.; Amsterdam, London, New-York.

