

MINÉRALOGIE DU GISEMENT DE KIPUSHI SHABA, ZAÏRE

W. DE VOS (*), W. VIAENE (*), J. MOREAU (**)
avec des analyses à la microsonde par
J. WAUTIER (***)

RÉSUMÉ

Le gisement de Kipushi est caractérisé par une minéralisation sulfurée très riche en cuivre et en zinc. Outre ces éléments majeurs, le minerai contient localement des concentrations en Pb, Ge, Ga, Mo, W et V.

La première partie du travail est consacrée à un aperçu général des paragenèses essentielles du gisement : six types de minerais ont été reconnus suivant le rapport métal/soufre et suivant l'abondance relative des minéraux principaux : chalcopyrite, bornite, chalcosite, tennantite, blende et pyrite.

La deuxième partie est centrée sur l'étude des minéraux germanifères et gallifères et leur paragenèse. On rencontre à Kipushi les trois sulfures germanifères reniérite, briartite, germanite. Associés à ceux-ci, on trouve la mawsonite, la tungsténite, une sulvanite germanifère et un sulfure de Cu, Ge, Zn, V non identifié.

Le gallium, dont la présence est liée à celle du germanium, se concentre essentiellement dans la gallite qui forme des textures de démixtion avec la blende et la chalcopyrite. On trouve également des teneurs appréciables de gallium dans la briartite et la chalcopyrite.

ABSTRACT

The Kipushi deposit consists mainly of copper and zinc sulphides with local concentrations of Pb, Ge, Ga, Mo, W, and V.

In the first part of this paper, the most important parageneses and textures of the ores are given. Six types are described in terms of their metal/sulphur ratio and the relative abundance of the principal minerals: chalcopyrite, bornite, chalcocite, tennantite, sphalerite and pyrite.

In the second part, the germanium and gallium minerals and their parageneses are studied in more detail. The germanium minerals renierite, briartite and germanite are encountered. Associated with them are mawsonite, tungstenite, a germanium-bearing sulvanite and an as yet unidentified sulphide of Cu, Ge, Zn and V, all as accessory minerals.

Gallium is mostly associated with the germanium-bearing minerals and occurs mainly as gallite. Exsolution textures of gallite are found in sphalerite, chalcopyrite and possibly in briartite. Gallium is also found in solid solution in briartite and chalcopyrite.

(*) Lab. voor Mineralogie, K.U.L., Sint Michielsstraat, 6, 3000 Leuven.

(**) Lab. de Minéralogie et Géologie appliquée, U.C.L., Bâtiment Mercator, place L. Pasteur, 3, 1348 Louvain-la-Neuve.

(***) Lab. de Pétrographie, U.C.L., Bâtiment Mercator, place L. Pasteur, 3, 1348 Louvain-la-Neuve.

INTRODUCTION

Le gisement de Kipushi est situé à une trentaine de kilomètres au sud-ouest de Lubumbashi, dans la province de Shaba, République du Zaïre. Il est localisé dans le flanc nord d'un anticlinal. Les formations sédimentaires ont, à l'endroit du gisement, une direction N 65° W et un pendage de 75° et 80° N. L'extrémité nord-ouest de cet anticlinal est coupée par une importante faille transversale de direction N 45° E.

La minéralisation, essentiellement constituée de sulfures massifs de cuivre et de zinc, se développe principalement dans les dolomies massives de l'assise de Kakontwe (Kundelungu inférieur), au voisinage de la faille, et accessoirement, dans les schistes dolomitiques sus-jacents (*Série Récurrente*) ainsi que dans les lambeaux de grès, schistes et calcschistes, probablement d'âge Kundelungu inférieur, appliqués contre les dolomies, le long de la faille.

La description géologique du gisement de Kipushi fait l'objet d'une publication par MM. Intiomale et Oosterbosch, dans ce même volume. Le but de notre travail est de présenter une revue de la minéralogie du gisement, en insistant principalement sur les découvertes des dernières années. D'excellents travaux antérieurs ont déjà décrit la minéralogie des niveaux supérieurs. Parmi ceux-ci, citons les travaux de Thoreau (1928), Legraye (1931), Masuy (1938), Briart (1951), Deutzmann (1961). Mentionnons encore les travaux inédits de Francotte (1963), Ottenburgs (1964), Scheibenstock (1972).

Dans une première partie, nous décrirons succinctement la minéralogie des massifs riches en sulfures de cuivre et de zinc. Nous aborderons, dans une seconde partie, la description des zones du gisement caractérisées par une abondance relative d'éléments plus particuliers tels que le germanium et le gallium et où s'est développée une minéralogie inhabituelle.

Nous nous limiterons à l'étude de la minéralisation hypogène, car nous ne disposons d'aucun renseignement sur la distribution des minéralisations oxydées et cimentées des niveaux supérieurs à 290 m. Les échantillons que nous avons examinés proviennent de niveaux compris entre 290 et 850 m. Ils sont représentatifs des différentes parties du gisement à l'exception du minerai de la *Série Récurrente* pour lequel nous n'avons eu que très peu d'échantillons. Ce sont surtout les niveaux inférieurs (de 700 à 850 m) que nous avons étudiés. Localement, on peut y observer l'influence de l'oxydation et de la cimentation.

I. MINÉRALISATION DE CUIVRE ET DE ZINC

Comme nous l'avons dit, la minéralisation de Kipushi est essentiellement formée de sulfures massifs de cuivre et de zinc. On peut y reconnaître plusieurs types de minerais suivant la nature des minéraux majeurs. Une première distinction peut être faite sur la base de l'abondance relative des éléments cuivre et zinc. Dans le minerai zincifère comme dans le minerai cuprifère, il est possible ensuite de subdiviser les associations minérales en fonction des teneurs en fer et en soufre. On a constaté, en effet, que la teneur en fer varie parallèlement à la teneur en soufre. La présence

de pyrite caractérise les parties riches en Fe et S, tandis que la bornite et la chalcosite, surtout, témoignent de la pauvreté en ces deux éléments. On arrive ainsi à distinguer qualitativement six types principaux de minerai, chacun d'entre eux ayant ses propres paragenèses et particularités texturales.

On peut schématiser les types de minerais de la façon suivante :

Rapport métal/soufre	Minerai de cuivre	Minerai de zinc
< 1	« Chalcopyrite-Pyrite » (Cu, Fe)	« Blende-Pyrite » (Zn, Fe)
= 1	« Chalcopyrite » + localement amas de sulfures de Ge et Ga (Cu)	« Blende-Chalcopyrite » (Zn, Cu)
> 1	« Bornite » (Cu)	« Blende-Bornite » (Zn, Cu)

Ce sont les massifs de « Blende-Pyrite » qui s'individualisent le mieux. Ils apparaissent au mur du gisement dans la dolomie de Kakontwe, dans laquelle ils forment des apophyses. Les zones à « Chalcopyrite-Pyrite » sont également assez bien délimitées en bordure du gisement, en contact avec la roche encaissante. Elles y forment des poches de dimensions assez réduites. Quant aux quatre autres types de minerai, ils constituent le gros du gisement le long de la faille et ne sont pas bien individualisés. On ne peut pas les délimiter avec précision, car il y a souvent des passages progressifs entre eux.

Pour chaque type de minerai, nous passerons en revue les minéraux et leurs textures. Ensuite, nous décrirons brièvement les minéraux de gangue.

A. Le minerai cuprifère

1. LE TYPE « CHALCOPYRITE-PYRITE »

Ces deux sulfures constituent l'essentiel de ce type de minerai. On y rencontre en outre du mispickel. Les minéraux accessoires sont : la blende, la tennantite, la reniérite. Localement, on trouve de la marcassite, de la pyrrothite, de l'hématite et des minéraux de bismuth. Il n'y a pas de galène.

Les textures sont généralement du type « limites mutuelles ». On n'observe pas de textures dites de démixtion. Le minerai est recoupé par des veinules supergènes remplies de gœthite, hématite, chalcosite, digénite, bornite et covellite ; dans beaucoup de cas, il s'agit d'ailleurs de « blaubleibender covelline ».

La pyrite et le mispickel sont généralement idiomorphes. On observe des cristaux isolés ainsi que des amas de cristaux. Les grains de pyrite sont parfois enfermés dans des cristaux idiomorphes de mispickel ; l'inverse est également vrai. Ces deux minéraux sont souvent corrodés par la chalcopyrite.

La pyrrothite est rare. Elle forme de petites inclusions isolées au sein de la chalcopyrite. La marcassite se rencontre sporadiquement avec la pyrite. Dans les plans de clivage de la marcassite peuvent se développer de la chalcosite et de la gœthite, et plus rarement de la chalcopyrite. L'hématite forme des agrégats dans

les sulfures et présente souvent un aspect squelettique qui pourrait être le résultat du remplacement par des sulfures.

Dans quelques échantillons du niveau 575, on a observé du bismuth natif ainsi que plusieurs autres minéraux de bismuth. Ils sont difficiles à déterminer parce qu'ils forment des agrégats de grains très fins. Pour cette raison, il fut impossible de recourir aux rayons X pour la détermination. Sur la base de propriétés optiques, les espèces suivantes ont pu être reconnues : le bismuth natif, la bismuthinite, la cosalite, l'aikinite et la wittichénite. Il n'est pas impossible qu'il y ait également de l'emplectite.

2. LE TYPE « CHALCOPYRITE »

La chalcopryrite est, ici, le seul minéral principal. En moindre quantité on trouve de la blende, tennantite, bornite, et localement assez bien de galène. Tous ces minéraux forment avec la chalcopryrite des textures du type « limites mutuelles ». Il existe de nombreux minéraux accessoires : pyrite, mispickel, chalcosite, digénite, stromeyerite, linnéite, shungite, reniérite, et d'autres minéraux de germanium et gallium.

Le mispickel forme au sein de la chalcopryrite une texture d'aspect myrmékite : elle est caractérisée par la présence de nombreux petits grains de mispickel, généralement idiomorphes (photo 1). La tennantite peut être présente. Cette texture est très répandue dans ce type de minerai, ainsi que dans les types « Blende-Pyrite » et « Blende-Chalcopryrite ».

Le minerai présente souvent des textures zonées. Plusieurs variantes ont été observées : auréole de chalcopryrite séparant la tennantite des minéraux de gangue (photo 2) et inversement, frange de chalcopryrite autour du mispickel dans la tennantite. On a pu observer les séquences suivantes : mispickel au centre, blende, tennantite et chalcopryrite à l'extérieur, ainsi que mispickel, chalcopryrite, tennantite, blende. Ces textures zonées sont peut-être le résultat de phénomènes de réaction entre minéraux et solutions minéralisantes.

La chalcopryrite est parfois remplacée par la bornite et la chalcosite, la bornite développant des flammèches dans la chalcopryrite. Ici également on a observé une texture zonée : chalcopryrite au centre, bornite, chalcosite. Un échantillon montre un réseau régulier d'inclusions de chalcopryrite de même orientation optique dans la bornite (photo 3), l'ensemble étant d'ailleurs traversé par des veinules de chalcosite avec stromeyerite. Une telle structure est difficile à interpréter. Il pourrait s'agir d'un remplacement de bornite par la chalcopryrite, à moins qu'il ne s'agisse d'une texture de démixtion. Cette deuxième hypothèse semble cependant moins probable.

La linnéite se présente en cristaux idiomorphes, atteignant 1 mm de côté. Elle est corrodée par la bornite, galène, chalcopryrite et tennantite, mais la forme cristalline peut être conservée. Il pourrait s'agir ici de carrollite, une linnéite cuprifère, que l'on ne peut pas identifier sans analyse chimique.

La shungite a une structure cellulaire ou lamellaire. Ses caractères et ses modes d'occurrence ont été décrits par Francotte et Jedwab (1963). Elle est parfois très intimement mélangée avec des sulfures comme la chalcosite et la bornite (photo 4).

Dans ce type de minerai on rencontre souvent des sulfures germanifères. En certains endroits la concentration en germanium est très élevée, ce qui se traduit par la présence de sulfure germanifère massif. Le gallium apparaît également dans ces zones. La minéralogie de ces zones germanifères et gallifères sera étudiée dans la deuxième partie.

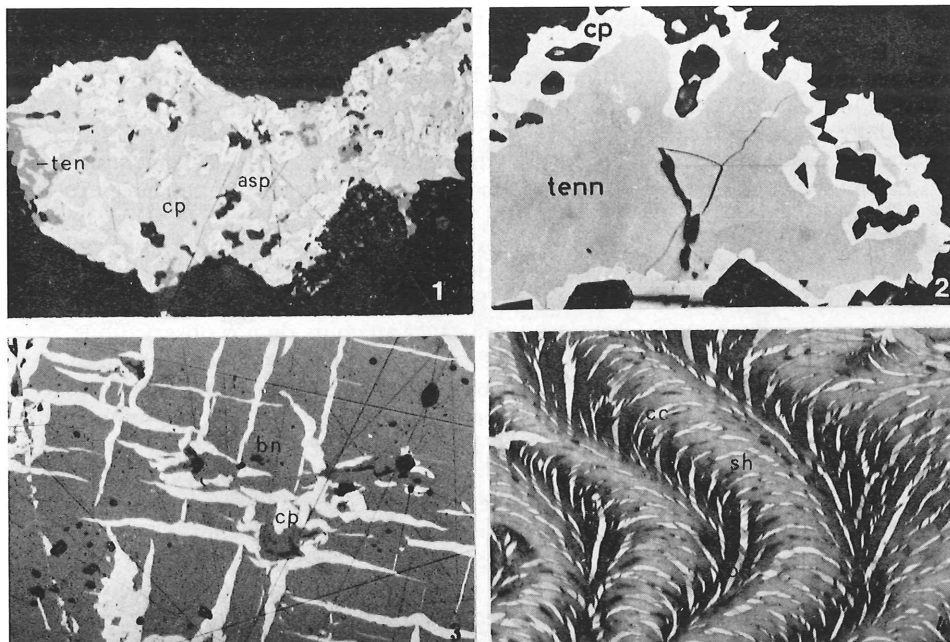


PHOTO 1. — Grains de mispickel (*asp*) au sein de la chalcopyrite (*cp*), avec un peu de tennantite (*ten*). Le fond noir est de la blende. Niveau 850, section 21 ($\times 275$).

PHOTO 2. — Tennantite (*ten*) auréolée de chalcopyrite (*cp*). Le fond noir est la gangue. Niveau 550, section 5 ($\times 250$).

PHOTO 3. — Bornite (*bn*) contenant des inclusions orientées de chalcopyrite (*cp*). Niveau 850, section 21 ($\times 180$).

PHOTO 4. — Lamelles courbées de shungite (*sh*). Celle-ci montre un pléochroïsme de réflexion très net (alternance des zones sombres et claires). La shungite renferme des inclusions de chalcosite (*cc*) et de bornite (*bn*). Niveau 850, section 25 ($\times 180$).

3. LE TYPE « BORNITE »

La bornite est ici le minéral principal. Les minéraux associés sont la blende, chalcosite, tennantite, galène, bétéchtinite. Accessoirement, on trouve aussi de la stromeyerite, covellite, digénite, reniérite, shungite, mispickel, linnéite, molybdénite et très rarement mawsonite, tungsténite et deux minéraux vanadifères.

La blende, tennantite et chalcosite forment avec la bornite des textures du type « limites mutuelles ».

La bétéchtinite ne se rencontre que dans le minerai riche en bornite. Elle se présente en grands grains arrondis. Elle est surtout associée à la bornite, tennantite, chalcosite, galène et parfois la blende. Elle apparaît sous deux aspects différents. Le plus souvent elle forme des textures du type « limites mutuelles » avec les autres minéraux. En plusieurs endroits cependant, apparaissent de petites veinules de bétéchtinite, atteignant 1 cm de longueur et 0,1 mm de largeur. Ces veinules sont formées d'un seul cristal ou éventuellement de quelques cristaux de bétéchtinite. Elles recoupent tous les autres minéraux et sont donc postérieures à ceux-ci. Ces

veinules de bétéchtinite peuvent être séparées de la bornite par une frange de chalcosite.

Il est intéressant de remarquer que, dans le cas où la galène apparaît avec la bétéchtinite, la chalcosite est absente, sauf parfois sous forme de fines veinules secondaires, ne venant pas en contact avec la bétéchtinite. La galène peut former des textures myrmékites dans la bornite en contact ou non avec la bétéchtinite.

La composition de la bétéchtinite $Pb_2Cu_{20}FeS_{15}$ ⁽¹⁾ étant comprise entre celle de la bornite, Cu_5FeS_4 , de la chalcosite, Cu_2S et de la galène, PbS , on peut en déduire que la bétéchtinite ne peut être simultanément en équilibre avec ces trois minéraux. Comme dans le cas de Kipushi la bornite est toujours présente, il est nécessaire que l'un des deux minéraux, la galène ou la chalcosite, soit absent en présence de la bétéchtinite. Ceci s'est avéré exact au cours de nos observations.

Nous avons effectué une série d'expériences visant à étudier la stabilité thermique de la bétéchtinite. Différents échantillons de minerai contenant de la bétéchtinite ont été chauffés dans des tubes de quartz, scellés sous vide à des températures comprises entre 130 et 400 °C. Dans tous les essais, la bétéchtinite s'est dissociée en bornite contenant des taches minuscules d'un minéral blanc, probablement de la galène et/ou de la chalcosite. La température de dissociation se situe donc en dessous de 130°, du moins pour l'association minérale considérée.

La stromeyerite se présente en veinules formées d'agrégats de petits cristaux en forme de feuilles de laurier ; elle est aussi intimement mélangée à la chalcosite. Elle semble être dans tous les cas d'origine secondaire.

La molybdénite forme rarement et localement des amas dans le minerai à bornite, au niveau 290 dans un apophyse du massif nord dans la dolomie de Kakontwe, et au niveau 750 dans la *Série Récurrente*. Elle est accompagnée accessoirement de tennantite, reniérite, stromeyerite, chalcosite, bétéchtinite, blende et pyrite. La molybdénite se présente en agrégats fibreux, parfois rayonnants. La bornite contient aussi des lamelles de molybdénite orientées en tous sens. On rencontre aussi des grains de bornite auréolés par des agrégats de fines lamelles de molybdénite. Capitant *et al.* (1963) ont montré que la molybdénite de Kipushi du niveau 290 était particulièrement riche en rhénium (jusqu'à 1,67 %).

Le minéral germanifère le plus important dans le minerai à bornite est la reniérite. Elle se présente en grains isolés et contient accessoirement de petites inclusions d'un minéral vanadifère. Ce minéral ainsi qu'un autre minéral vanadifère, la mawsonite et la tungsténite seront décrits dans la deuxième partie. La concentration en germanium n'est jamais très importante dans ce type de minerai.

La linnéite (ou la carrollite) est également présente dans le minerai à bornite, sous forme de petits cristaux idiomorphes éventuellement corrodés par la bornite et la chalcosite.

Enfin, on rencontre fréquemment des lamelles de chlorite dans les amas de bornite et de chalcosite.

(1) Composition de la bétéchtinite de Kipushi d'après les analyses effectuées par F. DIMANCHE (communication personnelle).

B. Le minerai zincifère

1. LE TYPE « BLENDE-PYRITE »

Ces deux sulfures sont les minéraux essentiels. En moindre quantité on trouve du mispickel et de la chalcopryrite, de la tennantite et de la galène. Ce dernier minéral peut localement prendre un grand développement, et dans ce cas, la pyrite est rare. La briartite et la shungite sont rares. Comme nous l'avons déjà dit, ce type de minerai forme des massifs bien individualisés. La pyrite est surtout concentrée à la périphérie de ces massifs, contre la dolomie.

La pyrite se présente en cristaux idiomorphes, éventuellement corrodés par d'autres sulfures. Ainsi, peut-on voir la blende remplacer la pyrite suivant les plans {001}. On peut observer des textures zonées avec pyrite au centre, chalcopryrite, tennantite et blende.

La blende montre des réflexions internes rouges lorsqu'elle est associée à la pyrite. Sa teneur en fer atteint 6 à 7 %. En certains endroits elle est corrodée par la chalcosite : ainsi a-t-on pu observer des restes squelettiques de blende dans la chalcosite. Très probablement il s'agit ici d'une texture supergène. On retrouve cette texture jusqu'au niveau 850.

La galène et la tennantite forment avec la blende des textures du type « limites mutuelles ». La blende est parfois séparée des minéraux de gangue par une frange de chalcopryrite ou de mispickel.

La chalcopryrite n'est pas abondante. Généralement elle forme des textures du type « limites mutuelles » avec la blende mais elle se présente également en fines inclusions dans celle-ci, y formant des réseaux réguliers ou irréguliers. Cette texture est classiquement interprétée comme étant formée par démixtion. La chalcopryrite et le mispickel peuvent former des textures du type myrmékite comme dans le minerai à chalcopryrite.

2. LE MINERAI À « BLENDE-CHALCOPYRITE »

Ce type de minerai ressemble très fort au minerai à chalcopryrite déjà décrit. La seule différence est ici l'abondance de la blende. Celle-ci montre des réflexions internes, jaune à brun : la teneur en fer est plus basse que dans le type « Blende-Pyrite ». Les minéraux accessoires et les textures sont les mêmes que pour le type à chalcopryrite. La blende contient parfois des inclusions de chalcopryrite.

La gallite se rencontre localement dans la blende, y formant de magnifiques textures de démixtion suivant trois directions cristallographiques.

3. LE TYPE « BLENDE-BORNITE »

Les associations minérales sont semblables à celles du minerai à bornite mais la blende joue ici un rôle prépondérant. La blende montre des réflexions internes de teinte très pâle, ce qui indique une très faible teneur en fer. La gallite se rencontre également dans ce type de minerai.

C. Les minéraux de gangue

Nous n'avons pas fait une étude systématique des minéraux de gangue. Aussi notre description n'a aucune prétention d'être complète. Les minéraux suivants,

cités en ordre décroissant ont pu être observés : dolomite, calcite, quartz, chlorite, séricite, shungite et rarement la sidérite.

Les carbonates et spécialement la dolomite, constituent la grande masse de la gangue et sont d'une manière générale remplacés par les sulfures. En plusieurs endroits et spécialement dans des veinules, apparaissent des rhomboédres idiomorphes entre les sulfures. Il s'agit ici d'une recristallisation.

Le quartz et la chlorite se rencontrent essentiellement dans des veinules avec des sulfures. La chlorite forme toujours des lamelles idiomorphes spécialement dans le minerai à bornite. Il s'agit d'une chlorite magnésienne incolore (pennine ou clinocllore).

La séricite se rencontre surtout dans la dolomie et rarement en contact avec les sulfures. La shungite apparaît aussi bien dans le minerai que dans la dolomie. Elle semble être un minéral originel des roches encaissantes.

II. LES MINÉRAUX GERMANIFÈRES ET GALLIFÈRES ET LEUR PARAGÉNÈSE

Les associations que nous venons de décrire dans la première partie concernent la grosse masse du minerai.

Mais, Kipushi est aussi caractérisé par la présence d'éléments plus rares comme le germanium, le gallium, le wolfram et exceptionnellement le vanadium et l'étain. Ces éléments peuvent se concentrer localement et former des minéraux indépendants. Sporadiquement même, ces minéraux constituent la masse du minerai ; c'est le cas, notamment, de la reniérite. On connaît deux concentrations importantes de ces éléments, l'une au niveau 290 et l'autre au niveau 750. Ces concentrations qui ont la forme de poches ou de lentilles, se localisent vers le centre du gisement dans la masse principale du minerai riche en cuivre. Aux autres niveaux, ces éléments rares ou leurs minéraux ne se rencontrent qu'accessoirement et sporadiquement.

Les concentrations importantes en éléments rares renferment les minéraux suivants : reniérite, tennantite, chalcopryrite, blende, briartite, germanite, gallite, bornite, tungsténite et un sulfure de cuivre, fer, gallium.

Dans le minerai à bornite et chalcosite (minerai type « Bornite ») avec faible teneur en germanium, on rencontre très accessoirement de la mawsonite, et deux sulfures germanifères et vanadifères dont l'un est toujours associé à la reniérite.

Comme la plupart de ces minéraux, la reniérite exceptée, ne se rencontrent qu'en petits grains ou en association intime, il a été nécessaire de recourir à la microsonde électronique pour l'analyse. L'appareil utilisé était le type AMX de la firme A.R.L. Les conditions de travail étaient les suivantes : échantillons polis et métallisés au carbone, tension 20 kV, courant échantillon 25 mA, cristaux LiF pour le V, Fe, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Sn et W et ADP pour S et Mo. Les étalons étaient : les métaux purs : cuivre, fer, zinc, wolfram, germanium, molybdène, étain ; un alliage Cu-Ga (23 % Ga) ; un ferro-vanadium (80,19 % V) ; le mispickel, la pyrite, et un échantillon de reniérite (analyse 1, tableau I).

Les analyses quantitatives ponctuelles ont été effectuées à courant de sonde digitalisé constant (Martin, Wautier et de Béthune, 1972) et ont été corrigées au moyen du programme EMPADR VII (Rucklidge et Gasparrini, 1969) qui com-

prend aussi bien les corrections de fond continu et de temps mort que les corrections d'absorption de fluorescence et de numéro atomique.

Nous décrivons en premier lieu les minéraux germanifères et ensuite les minéraux gallifères.

A. Les minéraux germanifères et les minéraux associés

LA RENIÉRITE

C'est le minéral germanifère le plus important dans le gisement de Kipushi. Bien que les analyses chimiques ne montrent que des variations de composition assez limitées, la formule de la reniérite fait encore l'objet de discussion. Viaene et Moreau (1968) ont proposé la formule $\text{Cu}_{2,4}\text{Fe}_{1,2}\text{Ge}_{0,5}\text{S}_4$. Springer (1969) cependant, préfère la formule (Cu, Fe, Zn, Ge, As, Ga) S_{1-x} avec $x=0,05$. Une étude cristallographique de la structure est actuellement en cours pour essayer de résoudre ce problème.

Les caractères de la reniérite sont bien connus (voir p.e. Ramdohr, 1969). Signalons seulement que l'anisotropie est faible à distincte. La reniérite montre aussi des macles polysynthétiques bien que cela ne soit pas une règle générale.

La reniérite apparaît dans des paragenèses riches en cuivre. Elle remplace la germanite. Elle se rencontre en amas massifs et en inclusions fusiformes, parfois idiomorphes, dans la blende, bornite, chalcoppyrite et briartite (photo 5). Ces inclusions sont souvent le résultat d'une démixtion.

LA MAWSONITE

Un minéral en apparence fort semblable à la reniérite a été rencontré au niveau 290. Ses propriétés optiques et l'analyse chimique ont montré qu'il s'agissait de mawsonite.

En sections polies la mawsonite a une couleur orange comme la reniérite mais se caractérise par un pléochroïsme de réflexion plus important qui varie de l'orange au brun beige. L'anisotropie, entre nicols croisés, est très forte : du jaune orange au bleu verdâtre. La mawsonite peut montrer des macles polysynthétiques.

La composition chimique est donnée dans le tableau I (analyse 2). Elle est en bon accord avec celle publiée par Markham et Lawrence (1965) qui ont décrit pour la première fois la mawsonite. La composition de la mawsonite peut être représentée par la formule $\text{Cu}_6\text{Fe}_2\text{SnS}_8$ qui a aussi été proposée par Springer (1968).

A Kipushi, la mawsonite apparaît dans des associations riches en cuivre qui comprennent essentiellement : bornite, chalcosite, tennantite et accessoirement reniérite, bétéchtinite, chalcoppyrite, blende, tungsténite (en très fines lamelles dans la bornite et la chalcosite), stromeyerite et un sulfure de Cu-Ge-V. La mawsonite forme des grains isolés, parfois idiomorphes, d'un diamètre maximum de 0,3 mm, au sein de la chalcosite.

LES MINÉRAUX VANADIFÈRES

Déjà en 1962 Francotte dans une note inédite signalait la présence d'un minéral germanifère non défini, qu'il désignait par la lettre Y. Ce minéral est intimement associé à la reniérite. Il forme au sein de celle-ci des inclusions arrondies de

0,05 à 0,1 mm de diamètre. Ces inclusions peuvent elles-mêmes contenir des inclusions de chalcopryrite et bornite. Ce minéral Y se rencontre dans des paragenèses riches en cuivre : bornite, chalcosite, tennantite, reniérîte, stromeyerite, bétéchtinite, mawsonite, blende. La chalcosite est totalement ou partiellement supergène comme d'ailleurs la stromeyerite.

Les propriétés optiques de ce minéral Y sont : couleur brun beige, dureté de polissage un peu supérieure à celle de la reniérîte mais inférieure à celle de la blende. Pouvoir réflecteur comme celui de la reniérîte ; isotrope.

La composition chimique de ce minéral est donnée dans le tableau 1 (analyses 10, 11 et 12). On peut remarquer la présence de vanadium.

Geier et Otteman (1970) ont décrit un minéral semblable à Tsumeb et l'ont considéré comme une germanite vanadifère. Cette interprétation s'appuie sur le calcul du nombre d'atomes par unité formulaire. Si ce calcul est effectué sur une base de 8 atomes, on obtient effectivement des valeurs qui montrent des similitudes à celles obtenues pour la germanite (nos 4 et 5). D'autre part si l'on effectue le calcul du nombre d'atomes sur la base de 6, on obtient des valeurs qui conduisent approximativement à une formule du type $\text{Cu}_2(\text{Ge}, \text{Zn}, \text{V})\text{S}_3$. Or, dans l'étude du système Cu-Ge-S (Viaene *et al.*, 1968), on a pu mettre en évidence l'existence d'un composé Cu_2GeS_3 . Le problème pourrait être résolu par une étude aux rayons X. Malheureusement, la dimension des grains est telle qu'il est impossible de prélever suffisamment de substance pour faire un diagramme Debye-Sherrer.

Le minéral Y a surtout été observé au niveau 290. Il a aussi été rencontré aux autres niveaux 750 et 850.

Dans les mêmes associations minérales, on a pu observer au niveau 290 une sulvanite germanifère et arsénicale. Les propriétés optiques sont semblables à celles de Y. La teinte est un peu plus jaune et la dureté légèrement supérieure. Cette sulvanite forme des grains irréguliers en contact avec la reniérîte, bornite, blende. La composition chimique de cette sulvanite est donnée dans le tableau I (analyse n° 13). La formule de ce minéral est $\text{Cu}_3(\text{As}, \text{Ge}, \text{V}, \text{Zn})\text{S}_4$. Un diagramme des poudres a montré, à côté des raies de la bornite et de la blende, les raies les plus intenses de la sulvanite.

LA GERMANITE

La germanite est le minéral germanifère le plus important dans le gisement de Tsumeb, Namibie. A Kipushi, par contre, c'est la reniérîte qui est le principal vecteur du germanium. Jusqu'ici la germanite n'y avait pas encore été décrite. Au cours de cette étude nous avons pu la détecter dans les zones riches en germanium aux niveaux 290 et 750.

La germanite se présente sous deux aspects : l'un homogène et l'autre hétérogène.

La germanite homogène

Ce type de germanite n'a été reconnu qu'au niveau 750. La paragenèse est la suivante : reniérîte, chalcopryrite avec inclusions de gallite, tennantite et chalcopryrite sans inclusions. Cette germanite a une couleur homogène : rose-brun.

La composition chimique est donnée dans le tableau 1 (analyse 4). Elle renferme peu de wolfram. Par comparaison avec les analyses de germanite de Tsumeb (Geier et Otteman, 1970a) on peut noter, dans celle de Kipushi, une faible teneur en

arsenic et une teneur plus élevée en fer. La formule de la germanite a été discutée par Viaene et Moreau (1968) et par Springer (1969). Etant donné les grandes variations de teneurs des différents éléments entre toutes les analyses publiées, il semble prudent d'adopter la formule proposée par Springer (1969) (Cu, Fe, Zn, W, Mo, V, Ge, As, Ga) S_{1-x} avec $x=0,05$.

Ce type de germanite se rencontre dans la reniérîte qui la remplace le long des plans {001} ou {111} (photo 6). Ce remplacement a aussi été signalé à Tsumeb (Sclar et Geier, 1957, photos 15-16). Il est à remarquer que la tungsténite est ici absente.

Germanite hétérogène

Cette forme de germanite apparaît aux deux niveaux 290 et 750 dans le minerai riche en cuivre. La paragenèse est la suivante : reniérîte, tennantite, blende avec inclusions de gallite, chalcopyrite, germanite et accessoirement bornite, tungsténite, shungite. La bornite est souvent secondaire.

La couleur de ce type de germanite varie de gris bleu à rose, ce qui semble indiquer une composition hétérogène. Le pouvoir réflecteur et la dureté de polissage sont environ ceux de la reniérîte. Entre nicols croisés le minéral est isotrope.

La composition chimique est donnée dans le tableau 1 (analyse 5). A remarquer la haute teneur en wolfram. De fortes teneurs en cet élément ont déjà été signalées dans certaines germanites de Tsumeb (Geier et Ottemann, 1970a). L'analyse 5 montre peu d'arsenic, contrairement à ce qui a été observé pour les germanites wolframifères de Tsumeb. Des profils effectuées à la microsonde électronique à travers des grains de germanite hétérogène ont montré que les teneurs en Fe, Zn et W varient assez fort d'un endroit à l'autre et que ces éléments se substituent l'un à l'autre.

La germanite est remplacée par la reniérîte (photo 7) suivant certaines directions. De très fines lamelles de tungsténite, que l'on rencontre toujours avec la germanite hétérogène, sont généralement orientées suivant ces directions de remplacement. Aux endroits où la germanite hétérogène est remplacée par la reniérîte, on peut observer dans ce dernier minéral des lignes de clivages avec des figures d'arrachement triangulaires comme dans la galène. Il n'est pas impossible qu'il s'agisse d'un héritage de la germanite car ces lignes de clivages traversent plusieurs grains de reniérîte différemment orientés. Il faut cependant faire remarquer que l'on n'a jamais observé de clivage dans la germanite.

TUNGSTÉNITE

Comme nous venons de le voir, la germanite hétérogène est toujours accompagnée de fines lamelles de tungsténite WS_2 (photo 8). La présence de ce minéral a été confirmée par analyse qualitative à la microsonde électronique (les lamelles sont en effet trop fines pour une analyse quantitative) et par les propriétés optiques. Celles-ci se caractérisent par un pléochroïsme de réflexion important et une très forte anisotropie comme c'est d'ailleurs le cas aussi pour la molybdénite. Ce dernier minéral n'a cependant pas été reconnu dans les paragenèses à germanite. Les lamelles de tungsténite ont une largeur de quelques microns et une longueur de 0,5 mm. Elles se rencontrent dans la reniérîte à proximité des plages de germanite hétérogène et sont généralement orientées suivant les directions de remplacement de la germanite. Il est vraisemblable que ces lamelles ont précipité lors

de ce remplacement car la germanite hétérogène renferme des teneurs appréciables en wolfram alors que la reniérite ne semble pas accepter cet élément dans son réseau.

Geier et Ottemann (1970a) notent également la présence de lamelles de tungsténite dans le minerai à germanite de Tsumeb.

Signalons aussi que nous avons observé très rarement la tungsténite avec la bornite et la chalcosite. Une photo de cette association a déjà été publiée par Moh (1973).

LA BRIARTITE

La briartite $\text{Cu}_2(\text{Fe}, \text{Zn})\text{GeS}_4$ et ses paragenèses ont été décrites pour la première fois par Francotte *et al.* (1965) dans du minerai de Kipushi et de Tsumeb. En 1972, Geier et Ottemann ont apporté de nouvelles données sur les propriétés et les modes d'occurrence de la briartite de Tsumeb. Ainsi que Francotte *et al.* (1965) l'ont déjà noté, on trouve à Kipushi deux variétés de briartite, l'une riche en fer et l'autre en zinc (photos 9 et 10). Ces deux variétés sont intimement associées. La variété riche en fer a une couleur grise plus claire que celle riche en zinc. Des analyses de ces deux types de briartite sont données dans le tableau 1 (analyses n^{os} 6, 7, 8).

Ottenburgs et Goethals (1972) ont montré qu'il existait à 700 °C une solubilité totale entre les termes extrêmes $\text{Cu}_2\text{FeGeS}_4$ et $\text{Cu}_2\text{ZnGeS}_4$. La présence côte à côte de variétés riches en zinc et en fer de briartite indique qu'il existe probablement un solvus à plus basse température et que ce dernier a été atteint au cours de l'évolution du minerai. Si ce solvus était connu, il nous donnerait une possibilité d'estimer la température de formation de ces deux types de briartite. L'application de ce thermomètre géologique serait cependant rendue difficile par suite de l'existence dans la briartite de lamelles orientées de chalcoppyrite (photo 8). Ces lamelles sont causées par exsolution. La solubilité de la chalcoppyrite dans la briartite, bien que limitée à environ 5 % à 700 °C (Viaene et Moreau, 1968a) exerce certainement une influence sur le solvus. L'exsolution des lamelles de chalcoppyrite dans la briartite s'est produite après la naissance de macles dans ce dernier minéral. Il n'est pas possible de dire si ces macles sont en relation avec une transformation cristallographique de la briartite.

Nous avons également observé une briartite riche en gallium. Cette variété sera décrite dans le paragraphe suivant.

B. Les minéraux gallifères

A Kipushi, la distribution du gallium est étroitement associée à celle du germanium. Le gallium peut être un élément essentiel de certains minéraux et entre également en solution solide dans la composition d'autres minéraux.

Dans la gallite, le gallium est un élément essentiel. Sa composition théorique est CuGaS_2 . La gallite forme de très fines aiguilles de démixtion suivant les plans {001} dans la blende. Il y a aussi quelques petits grains de gallite associés à la blende. Signalons que les textures de démixtion blende-gallite renferment souvent

un peu de chalcopryrite. Ce type d'occurrence de la gallite est analogue à celui décrit par Strunz *et al.* (1958) dans le minerai de Tsumeb. Un point particulier est cependant à noter : les grains de blende, renfermant des aiguilles de gallite extrêmement fines et à peine visibles avec les plus gros grossissements, sont anisotropes avec des teintes d'anisotropie vertes. Il s'agit probablement d'un phénomène semblable à celui observé par Ramdohr (1969) sur des grains de blende avec de fines inclusions de stannite.

La chalcopryrite peut également renfermer des inclusions de gallite orientées (photos 11 et 12). Dans ce cas elle est associée à la reniérite, la tennantite, la chalcopryrite sans inclusion et la gallite en grains. Il existe toute une gradation depuis des grains à chalcopryrite à petites inclusions trapues de gallite jusqu'à des grains à très fines et très nombreuses inclusions allongées. Dans les cas extrêmes il n'est presque plus possible de distinguer la chalcopryrite et les inclusions (photo 13). De tels grains sont caractérisés par un pléochroïsme de réflexion très important et une anisotropie particulièrement forte avec des teintes variant du bleu au jaune. Ces grains de chalcopryrite à inclusions de gallite renferment également des lamelles anisotropes d'un minéral non identifié (X), dont il sera question ci-après, ainsi que des lamelles de reniérite (photo 12).

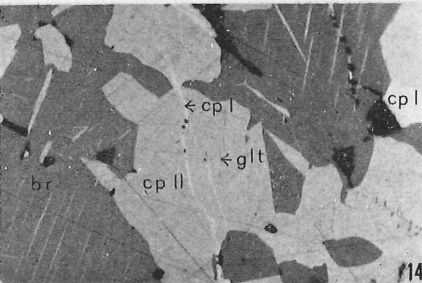
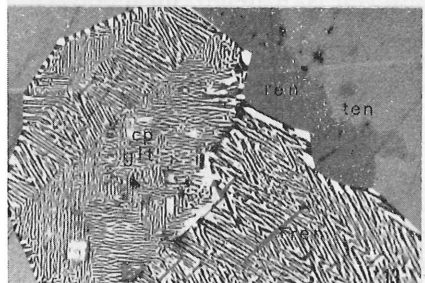
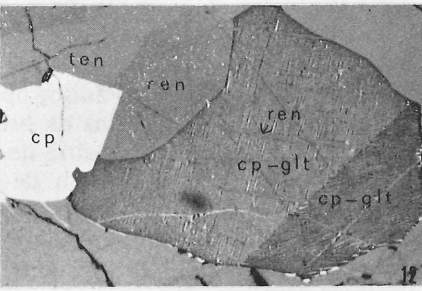
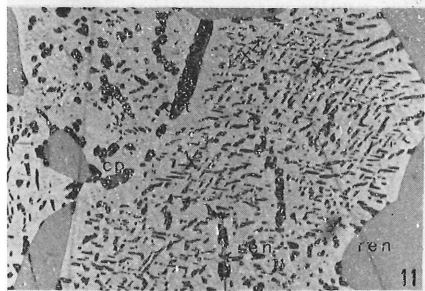
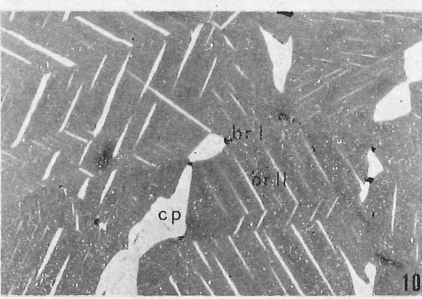
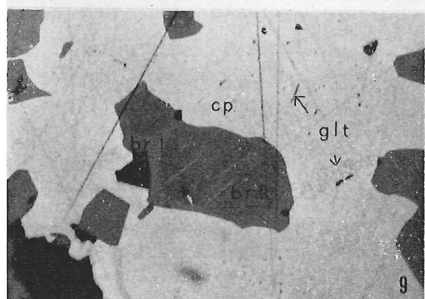
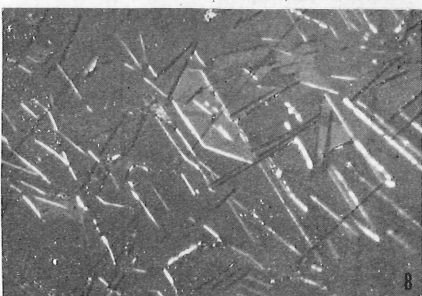
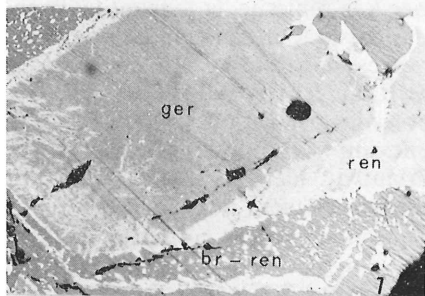
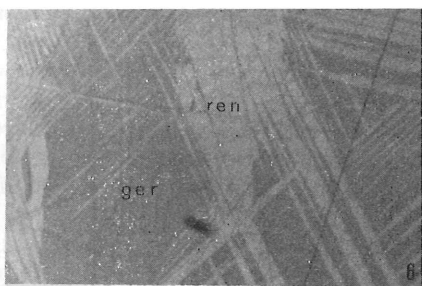
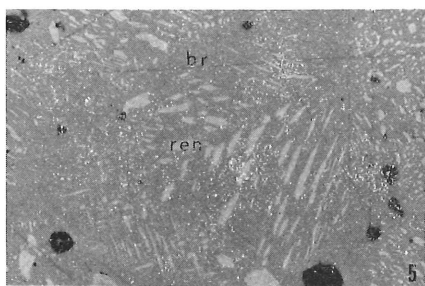
Les analyses de quelques grains de gallite montrent que ce minéral contient du fer ainsi qu'on peut le constater dans les analyses 14 et 15 du tableau 1. Il ne semble pas y avoir de doute que le fer remplace le gallium. Il n'est pas impossible que les fines inclusions de gallite au sein de la chalcopryrite renferment aussi du fer.

Le gallium entre dans la composition d'autres minéraux : un minéral non encore identifié que nous appellerons X, la briartite, et la chalcopryrite.

Le minéral X présente les propriétés suivantes : couleur gris rosâtre ; pléochroïsme de réflexion distinct ; forte anisotropie. Ce minéral se présente en inclusions dans les fines textures de démixtion chalcopryrite-gallite, ainsi que sous forme de petits grains dans des échantillons riches en reniérite et briartite du niveau 750. Des analyses qualitatives ont montré la présence de Cu, Fe, Ga et S. Malheureusement il n'a pas été possible de faire des analyses quantitatives.

Quelques briartites renferment du gallium. Ces briartites ont une dureté de polissage un peu plus élevée que celle des briartites ordinaires. Elles montrent, entre nicols croisés, une forte anisotropie avec teintes allant du bleu au jaune. Lorsqu'on observe certains grains de briartite gallifère avec les plus gros grossissements, on croit pouvoir reconnaître de très fines inclusions non identifiables. On peut dès lors se poser la question de savoir s'il s'agit réellement de briartite homogène ou de briartite avec de très fines inclusions de démixtion de gallite ou d'un autre minéral gallifère. Le tableau 1 donne la composition d'une telle briartite gallifère (analyse n° 9). Il s'agit d'ailleurs d'une briartite riche en zinc. Le gallium semble se substituer au fer et au zinc ainsi qu'au germanium, du moins s'il s'agit d'un minéral unique. Ce type de briartite gallifère a été rencontré aux niveaux 290 et 750. Au niveau 290, il est associé à la reniérite, blende avec inclusions de gallite, tennantite et accessoirement germanite wolframifère, tungsténite, chalcopryrite, bornite. Au niveau 750, la paragenèse comprend, outre la briartite gallifère, reniérite, germanite wolframifère, tennantite zincifère (environ 3 % de Zn) et accessoirement tungsténite.

Le gallium entre aussi dans la composition de la chalcopryrite, dans laquelle il se substitue au fer. Cette chalcopryrite gallifère se caractérise par une couleur plus brunâtre que la couleur jaune normale, ainsi que par une plus forte anisotropie



(photo 14). Une analyse (n° 16) de cette chalcopryrite est donnée dans le tableau 1. La paragenèse est briartite, tennantite, chalcopryrite gallifère, chalcopryrite normale.

DISCUSSION

Le minerai Kipushi peut être divisé en plusieurs types, dont chaque type a une distribution plus ou moins bien délimitée dans le gisement. Dans la masse principale du minerai, on a pu mettre en évidence, du moins au niveau 850, une certaine zonalité minéralogique : au centre une zone plus riche en cuivre avec bornite, une zone intermédiaire à chalcopryrite et en périphérie vers le nord, une zone à chalcopryrite-pyrite et vers le sud, une zone à blende, pyrite et galène. Il serait intéressant de pouvoir vérifier si cette zonalité se retrouve aux autres niveaux.

Si l'on essaie d'établir une séquence de cristallisation à partir des textures, en généralisant on peut admettre que la pyrite et le mispickel ont cristallisé en premier lieu. Qu'ensuite ont précipité la blende, puis la chalcopryrite, la tennantite et certains minéraux germanifères (germanite, briartite) et finalement les sulfures riches en cuivre (bornite, chalcosite) et la reniérîte. La détermination de cette séquence générale indique donc un appauvrissement en S et en Fe et un enrichissement en Cu. Plusieurs auteurs (p.e. Francotte, 1963 et Oosterbosch, communication personnelle) ont suggéré qu'il y aurait eu plusieurs phases de minéralisation. Cependant, nous pensons qu'il convient également de rechercher si les variations observées dans la minéralisation ne sont pas le résultat de l'évolution de paramètres

PHOTO 5. — *Texture de démixtion entre reniérîte (ren) et briartite (br). Niveau 750, section 6 (×275).*

PHOTO 6. — *Germanite « homogène » (ger) remplacée par la reniérîte (ren). Niveau 750, section 6 (×275).*

PHOTO 7. — *Germanite « hétérogène » (ger) remplacée par la reniérîte (ren). Briartite (br) avec inclusions de reniérîte. Niveau 750 (×350).*

PHOTO 8. — *Aiguilles de tungsténite dans reniérîte. Niveau 290. Nicols croisés (×250).*

PHOTO 9. — *Grain de briartite (br) au sein de la chalcopryrite (cp). La briartite est hétérogène : la partie centrale, sombre, est plus riche en zinc ; la bordure, plus pâle, est plus pauvre en zinc. La chalcopryrite renferme également de fines inclusions de gallite (glt). Niveau 750, section 6 (×275).*

PHOTO 10. — *Briartite (br) hétérogène (parties sombres et claires) renfermant des inclusions orientées de chalcopryrite (cp). Macles polysynthétiques dans la briartite. Niveau 750, section 6 (×275).*

PHOTO 11. — *Texture de démixtion entre la chalcopryrite (cp, blanc) et la gallite (glt, gris). Il y a en outre de la reniérîte (ren) et de la tennantite (ten). Niveau 750, section 6 (×275).*

PHOTO 12. — *Chalcopryrite (cp, blanc) avec inclusions de gallite (glt), de reniérîte (ren) et du minéral X. Niveau 750, section 6 (×275).*

PHOTO 13. — *Très fine texture de démixtion entre la chalcopryrite et la gallite avec inclusions de reniérîte (ren). Cette texture présente un très net pléochroïsme de réflexion. L'association renferme, en outre, de la reniérîte (ren), tennantite (ten) et de la chalcopryrite pure (cp). Niveau 750, section 6 (×275).*

PHOTO 14. — *Deux types de chalcopryrite : la chalcopryrite I (cp I) non gallifère et la chalcopryrite II (cp II) gallifère. La chalcopryrite II renferme, en outre, des inclusions de gallite (glt). Les parties sombres sont la briartite (br). Niveau 750, section 6 (×275).*

TABLEAU 1. — Analyses des minéraux germanifères et gallifères et des minéraux associés

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cu	40,65	43,87		43,67	45,96	34,40	33,94	32,37	32,86
Fe	13,90	12,32	12,15	11,74	3,42	10,70	11,80	9,65	1,91
Zn	3,06	0,10	—	1,13	2,86	2,62	2,44	6,00	11,72
W	—	—	—	0,12	6,59	—	—	—	—
Ga	0,54	—	—	0,05	0,21	0,59	0,71	0,42	6,15
Ge	8,00	0,01	—	11,93	12,49	17,30	17,04	15,86	13,72
V	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	1,44	0,98	—	—	—	—
Sn	—	13,67	10,4	—	—	—	—	—	—
As	0,95	0,07	—	—	0,40	0,07	0,09	0,04	0,10
S	31,95	29,46	33,0	32,08	29,97	31,76	31,51	33,62	31,40
Insol.	0,55	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	99,60	99,49	100,2	102,16	102,88	97,43	97,54	97,36	97,59

Nombre d'atomes calculés par unité formulaire

Cu	2,48	6,04	5,82	2,62	2,91	2,15	2,12	1,99	2,09
Fe	0,96	1,93	1,87	0,80	0,25	0,76	0,84	0,68	0,14
Zn	0,18	0,02	—	0,07	0,18	0,16	0,15	0,36	0,72
W	—	—	—	< 0,01	0,14	—	—	—	—
Ga	0,03	—	—	< 0,01	0,01	0,03	0,04	0,02	0,36
Ge	0,43	< 0,01	—	0,63	0,69	0,95	0,93	0,85	0,76
V	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mo	—	—	—	0,06	0,04	—	—	—	—
Sn	—	1,00	0,72	—	—	—	—	—	—
As	0,05	0,01	—	—	0,02	0,01	0,01	0,002	0,01
S	3,87	8,10	8,59	3,82	3,76	3,94	3,91	4,10	3,92
Total	8,	17,	17,	8,	8,	8,	8,	8,	8,

1. Reniërite (Louvain, Laboratoire de Traitement des Minerais. Analyse : O. Vandenberg). Pureté > 99 % (impuretés : gangue, chalcopryrite, blende).

2. Mawsonite ; niveau 290.

3. Mawsonite, North Lyell Mine, Tasmania (MARKHAM and LAWRENCE, 1965).

4. Germanite « homogène » ; niveau 750.

5. Germanite « hétérogène » ; niveau 290.

6. Briartite ; niveau 750.

7. Briartite ; niveau 750.

8. Briartite zinclifère ; niveau 750.

9. Briartite gallifère ; niveau 750.

physico-chimiques comme par exemple la température et l'activité des éléments et en particulier celle du soufre.

Un point qui mérite d'être noté est l'analogie qui existe entre les gisements de Kipushi et de Tsumeb (Namibie). Il s'agit de deux gisements localisés dans des dolomies, qui ont *grosso modo* des formes de filons subverticaux, profonds et aux contours très irréguliers. Alors qu'à Kipushi, le filon est localisé le long d'une faille dans laquelle on trouve des lambeaux de roches, provenant probablement d'horizons stratigraphiquement supérieurs au calcaire de Kakontwe, à Tsumeb, le minerai est accompagné d'une roche dénommée « pseudoaplite », sous forme de lambeaux, et dont le caractère magnétique est contesté (Strunz et Tennyson, 1967).

TABLEAU 1 (suite)

	10	11	12	13	14	15	16
Cu	45,17	45,29	43,92	49,57	33,06	33,26	33,91
Fe	0,66	0,70	1,76	0,34	5,98	6,36	25,09
Zn	5,80	5,90	6,11	2,61	0,24	0,20	0,18
W	0,10	0,05	0,12	—	—	—	—
Ga	0,10	0,08	0,06	—	26,83	27,69	3,19
Ge	11,23	11,22	12,14	6,74	0,43	0,14	0,68
V	2,49	2,48	2,07	2,64	—	—	—
Mo	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—
As	1,14	1,14	0,42	7,18	0,44	—	—
Insol.	31,63	31,24	31,47	31,73	32,02	32,66	32,65
	—	—	—	—	—	—	—
Total	98,31	98,10	98,06	100,81	99,00	100,32	95,70

Nombre d'atomes calculés par unité formulaire

Cu	2,82	2,11	2,84	2,13	2,76	2,07	3,04	2,05	2,04	2,07
Fe	0,05	0,04	0,05	0,04	0,13	0,10	0,02	0,42	0,44	1,74
Zn	0,35	0,26	0,36	0,27	0,37	0,28	0,16	0,01	0,01	0,01
W	<0,01	—	<0,01	—	<0,01	—	—	—	—	—
Ga	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	—	—	1,52	1,54	0,18
Ge	0,61	0,46	0,62	0,46	0,66	0,50	0,36	0,02	0,01	0,04
V	0,19	0,14	0,19	0,14	0,16	0,12	0,20	—	—	—
Mo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	0,06	0,05	0,06	0,04	0,02	0,01	0,37	—	—	—
S	3,91	2,93	3,88	2,91	3,90	2,92	3,85	3,94	3,96	3,96
Total	8,	6,	8,	6,	8,	6,	8,	8,	8,	8,

10. Minéral Y ; niveau 775.

11. Minéral Y ; niveau 775.

12. Minéral Y ; niveau 290.

13. Sulvanite ; niveau 500.

14. Gallite ; niveau 750.

15. Gallite ; niveau 750.

16. Chalcopyrite gallifère ; niveau 750.

Toutes les analyses, à l'exception de la première, ont été faites par microsonde électronique.

Minéralogiquement les deux gisements ont beaucoup de points communs : à côté des éléments essentiels Cu, Zn à Kipushi et Cu, Pb, Zn à Tsumeb, on rencontre les mêmes éléments accessoires Ge, Ga, W, Mo et V dans les mêmes minéraux et avec les mêmes textures. Il est probable que des processus analogues ont dû entrer en jeu lors de la formation de ces gisements. Tout ceci montre qu'il serait souhaitable qu'une étude comparative poussée puisse être faite entre les minéralisations de Tsumeb et Kipushi.

Lors de la formation du minerai de Kipushi, le remplacement de la dolomie par les sulfures semble avoir joué un rôle important. D'autre part, nous avons mentionné qu'en plusieurs endroits les carbonates se sont développés de façon idiomorphe suggérant une recristallisation des minéraux de gangue et des roches encaissantes. La question est de savoir quel rôle a joué éventuellement la diagenèse et/ou le métamorphisme et dans quelle mesure les textures sont interprétables.

Certains minéraux comme la tungsténite et certains assemblages comme pyrite-bornite indiquent des valeurs élevées de l'activité du soufre (Holland, 1965). Vu la valeur nécessaire pour former la tungsténite, il ne serait pas étonnant de trouver de la scheelite dans les minéraux de gangue.

Des textures du type démixtion se rencontrent surtout avec des minéraux de structure tétraédrique : inclusions de chalcopyrite, briartite ou gallite dans la blende, inclusions de briartite dans la reniérte et vice versa, inclusions de gallite et briartite dans la chalcopyrite et vice versa. Les déterminations des relations d'équilibre entre tous ces minéraux et en particulier des solvus ne sont pas encore suffisamment poussées pour pouvoir en tirer des informations relatives aux conditions physico-chimiques de l'origine du minerai et de son évolution.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement le Fonds national de la Recherche scientifique et la Direction de la Société Gecamines de nous avoir donné la possibilité de visiter et d'étudier le gisement de Kipushi. Nos remerciements vont également à MM. Oosterbosch, Leruite et Intiomale, géologues de la Gécamines, qui nous ont guidé dans la mine et avec qui nous avons eu des échanges de vues fructueux. Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers M. F. Dimanche (Université de Liège) pour les discussions que nous avons eues avec lui et envers M. Blackburn qui a adapté le programme de correction pour les analyses à la microsonde.

Bibliographie

- BRIART, L. (1951). — Contribution à l'étude de la minéralisation du gisement de Kipushi au point de vue des éléments secondaires et notamment de l'argent. Travail de fin d'études, non publié.
- CAPITANT, M., FRANCOU, J., PICOT, P. et TROLY, G. (1963). — Hautes teneurs en rhénium dans une molybdénite de Kipushi. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 257, p. 3443-3444.
- DEUTZMANN, W. (1961). — Etude des minéralisations du gisement « Prince Léopold », Kipushi-Katanga. *Ac. roy. Sc. Outre-Mer*, 7, 451-452.
- FRANCOU, J. (1963). — Essai d'une étude métallogénique. Lab. de Min. et de Géol. appl., Louvain. Note n° 38, non publié.
- FRANCOU, J. et JEDWAB, J. (1963). — Traces d'organites (?) dans la Shungite de Kipushi. *Bull. Soc. Géol. Belg.*, 72, p. 393-400.
- FRANCOU, J., MOREAU, J., OTTENBURGS, R. et LEVY, C. (1965). — La briartite, $Cu_2(Fe, Zn)GeS_4$, une nouvelle espèce minérale. *Bull. Soc. Franç. Min. Crist.*, 88, p. 432-437.
- GEIER, B. H. and OTTEMANN, J. (1970a). — New primary Vanadium-, Germanium-, Gallium- and Tin Minerals from the Pb-Zn-Cu deposit Tsumeb, South-West Africa. *Min. Deposita*, 5, 29-40.
- GEIER, B. H. and OTTEMANN, J. (1970b). — New secondary Tin-Germanium and primary Tungsten- (Molybdenum-, Vanadium-) Germanium minerals from the Tsumeb ore-deposit. *N. Jb. Miner. Abh.*, 114, p. 89-107.
- GEIER, B. H. und OTTEMANN, J. (1972). — Briartit, das dritte Germaniumsulfidmineral aus der Erzlagerstätte Tsumeb. *N. Jb. Miner. Abh.*, 118, p. 97-109.
- HOLLAND, H. D. (1965). — Some applications of thermochemical data to problems of ore deposits. II: Mineral assemblages and the composition of ore forming fluids. *Econ. Geol.*, 60, p. 1101-1166.
- LEGRAYE, M. (1931). — Quelques relations entre les sulfures du gisement « Prince Léopold ». *Ann. Soc. Géol. Belg.*, Publ. spéc. rel. Congo, t. LV, p. C 7-C 15.

- MARKHAM, N. L. and LAWRENCE, L. J. (1965). — Mawsonite, a new copper-iron-tin-sulphide from Mt. Lyell, Tasmania. *Amer. Min.*, 50, p. 900-908.
- MARTIN, H., WAUTIER, J. and DE BETHUNE, P. (1972). — Normalizing X-ray counting with regard to integrated probe current rather than time for quantitative electron probe micro-analysis. *Proc. 6th int. Conf. X-ray Optics and Microanalysis, Osaka, 1971*. Univ. Tokyo Press, p. 191-197.
- MASUY, G. (1938). — Etude des minerais de cuivre du gisement « Prince Léopold » (Kipushi) de l'U.M.H.K. Comité spécial du Katanga. *Ann. du Serv. des Mines*, t. IX, p. 50-73.
- MOH, G. H. (1973). — Das Cu-W-S System und seine Mineralien, sowie ein neues Tungstenit-Vorkommen in Kipushi (Katanga). *Min. Deposita*, 8, p. 291-300.
- OTTENBURGS, R. (1964). — Metallogenetische en geochemische studie van het blende-erts te Kipushi (Katanga). Thèse de doctorat, Leuven (non publié).
- OTTENBURGS, R. et GOETHALS, H. (1972). — Synthèse et polymorphisme de la briartite. *Bull. Soc. Franç. Min. Crist.*, 95, p. 458-463.
- RAMDOHR, P. (1969). — *The Ore Minerals and their Intergrowths*. Pergamon Press, Oxford.
- RUCKLIDGE, J. and GASPARRINI, E. L. (1969). — *Electron Micro-Probe Analytical Data Reduction EMPADR VII*. Dept. of Geology, Univ. of Toronto, Toronto, Ontario, Canada (December 1969).
- SCHIBENSTOCK, M. (1972). — Bijdrage tot de mineralogische en metallogenetische studie van het erts te Kipushi, Shaba. Thèse de licence, Leuven (non publié).
- SCLAR, C. B. and GEIER, B. H. (1957). — The paragenetic relationships of germanite and renierite from South-West Africa. *Econ. Geol.*, 52, p. 612-631.
- SPRINGER, G. (1968). — Electronprobe analyses of stannite and related tin minerals. *Min. Mag.*, 36, p. 1045-1051.
- SPRINGER, G. (1969). — Microanalytical investigations into Germanite, Renierite, Briartite and Gallite. *N. Jb. Min., Mh.*, p. 435-441.
- STRUNZ, H., GEIER, B. H. und SEELIGER, E. (1958). — Gallit, CuGaS_2 , das erste selbständige Galliummineral, und seine Verbreitung in den Erzen des Tsumeb- und Kipushi Mine. *N. Jb. Min., Mh.*, p. 241-264.
- STRUNZ, H. und TENNYSON, C. (1967). — Schaurteit, ein neues Germanium-Mineral von Tsumeb (Südwest Afrika) und seine Paragenese. *Festschrift Dr. W. T. Schaurte, Techn. Univ. Berlin*, p. 33-47.
- THOREAU, J. (1928). — Le gisement « Prince Léopold » (Kipushi, Katanga). Etude des minéralisations de profondeur. *Mémoires de l'Institut géologique de l'Université de Louvain*, t. IV, p. 263-285.
- VIAENE, W. et MOREAU, J. (1968). — Contribution à l'étude de la germanite, de la reniérite et de la briartite. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 91, p. 127-143.
- VIAENE, W. et MOREAU, J. (1968a). — Etude à 700 °C de la section à 50 % de S dans le système Cu-Fe-Ge-S. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 266, p. 2037-2039.
- VIAENE, W., VERKAEREN, J. et MOREAU, J. (1968b). — Le système Cu-Ge-S à 700 °C et à 600 °C. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 266, p. 1451-1454.

