

GÉOLOGIE ET GÉOCHIMIE DU GISEMENT DE KIPUSHI, ZAÏRE

M. M. INTIOMALE (*) et R. OOSTERBOSCH (*)

RÉSUMÉ

Le gisement Zn, Pb, Cu de Kipushi, dont la structure est actuellement connue jusqu'à 1 000 m de profondeur, représente une minéralisation sulfurée de substitution dans des formations sédimentaires carbonatées (dolomies et schistes dolomitiques) du Kundelungien inférieur (Précambrien IV) le long d'une faille transversale bordant l'effondrement local du flanc d'un anticlinal redressé.

La minéralisation s'est propagée dans les formations encaissantes à la faveur des joints de stratification tectonisés et des cassures conjuguées à ces joints, plus particulièrement le long du lieu de rencontre de la faille avec le contact lithostratigraphique de dolomies et de schistes dolomitiques. Elle s'est en outre propagée dans les dolomies suivant des cheminées appendiculaires à la zone failleuse.

La minéralisation primaire sulfurée, présumée d'origine hypogène, est très complexe, et la répartition des différentes associations minérales dans le gisement est interprétée comme résultant essentiellement de la superposition de venues cuprifères sur une venue zincifère.

La venue zincifère a d'abord formé un gisement pyrite-arsénopyrite-blende-galène, avec Cu, Cd, Bi, Ge, Ga en quantités mineures. Outre l'amas filonien formé *per ascensum* le long de la faille, elle a formé *per descensum* des pipes dans les dolomies du mur du filon. Elle a été suivie par des venues Cu-Fe, en deux pulsations au moins, dont la deuxième n'est pas montée aussi haut que la première dans le gisement. Chacune de ces venues cuprifères a comporté deux phases : une phase précoce ayant mis en place des filons de chalcopryrite cobaltifère, avec molybdénite subordonnée, et une phase tardive ayant formé de la bornite argentifère. Les venues cuprifères ont remanié le gisement Zn-Pb en concentrant certaines phases minérales, et en en formant de nouvelles.

ABSTRACT

The zinc, lead, and copper deposit at Kipushi, whose structure is known down to 1 000 m of depth, represents a sulfide mineralization replacing sedimentary carbonate formation (dolomite and dolomitic shale) belonging to the lower *Kundelungan* (Precambrian IV), along a transversal fault bordering the locally collapsed crest of an anticline.

The mineralization spread into the wallrock formations along the bedding planes, which were tectonically opened, and along conjugate fractures. More abundantly, the mineralization spread along the intersection of the fault with the lithostratigraphic contact between the

(*) Générale des Carrières et des Mines, Département géologique, Likasi, province du Shaba, Zaïre.

dolomite and the dolomitic shale. It also spread within the pipes connected with the faulted zone, and developed within the dolomite.

The primary sulfide mineralization, presumed to be of hypogen origin, is very complex, and the distribution of the different mineral associations in the deposit, is interpreted as essentially the result of the superposition of a copper-bearing mineralization on a zinc-bearing mineralization.

To begin with, the zinc-bearing mineralization has formed a pyrite-arsenopyrite-sphalerite-galena deposit, with Cu, Cd, Bi, Ge, and Ga in minor quantities. Besides the main orebody formed *per ascensum* along the fault, it also formed *per descensum* pipes in the dolomite of the wallrock. This was followed by a copper-iron mineralization brought during at least two major stages, the second of which does not rise as high as the first one in the deposit. Each of these copper-bearing stages consisted of two phases : one early phase responsible for the veins of cobaltiferous chalcopyrite with subordinate molybdenite, and a late phase responsible for the silver-bearing bornite. The copper-bearing mineralization has reworked the zinc-lead deposit by concentrating certain mineral phases and by forming new ones.

I. INTRODUCTION

La découverte du gisement de zinc, plomb et cuivre de Kipushi, situé à une trentaine de kilomètres à l'ouest-sud-ouest de Lubumbashi (anciennement Elisabethville), est due à G. Grey, chef de mission à la Tanganyika Concessions Ltd., et date de 1899. Ce gisement se signalait par des affleurements cuprifères faisant l'objet d'une petite exploitation de surface par les Zaïrois.

Les premiers travaux de prospection systématique ont débuté à la fin de 1922, et les premiers sondages en 1924. L'exploitation à ciel ouvert a été inaugurée en 1925, et l'exploitation souterraine, au niveau 65 sous la surface, en 1926.

Actuellement la prospection systématique a atteint le niveau 850, et les sondages ont reconnu le minerai jusqu'au niveau 1 000.

L'importance quantitative du gisement peut être apprécié d'après le tonnage de minerai sulfuré contenu dans le corps principal du gisement jusqu'à la profondeur de 700 mètres, tonnage qui se monte à 14 millions de tonnes de minerai à 18 % de zinc, 10 % de cuivre, 1 % de plomb et 160 g/t d'argent.

La présente étude s'appuie sur nos propres recherches et sur les travaux des géologues qui se sont succédé à Kipushi depuis le début de l'exploitation de la mine, à savoir, dans l'ordre chronologique G. Briart, P. Maury, L. Pesch, L. Borra, A. Moureau, G. Lerule, ainsi que sur les recherches minéralogiques et métallogéniques de J. F. Vaes, qui a découvert la reniérite (1948), et J. Francotte, qui a découvert la briartite et d'autres minéraux germanifères (1962) et sur les recherches géologiques de A. François.

Parmi les minéralogistes de différents laboratoires européens qui ont apporté des contributions importantes à la connaissance de la minéralisation, il faut citer J. Thoreau (1928), M. Legraye (1932), G. Masuy (1938), L. Briart (1950), H. Strunz, B. H. Geier et E. Seelinger qui ont découvert la gallite (1958), W. Deutzmann (1961), R. Ottenburgs (1964), J. Moreau (1965), W. Viaene (1968), M. Scheibenstock qui a découvert des sulfures gallifères (1972), W. De Vos (1973), P. Bartholomé (1973), G. H. Moh (1973).

La plupart des analyses dont il est question dans le présent travail ont été faites par M. Mayaux (*), M. Muller (*), O. Baguet (*), Van Vaerenbergh (*), P. Delcomenne (*).

(*) Générale des Carrières et des Mines, Département géologique, Likasi, province du Shaba, Zaïre.

II. ENVIRONNEMENT LITHOLOGIQUE

Le gisement se situe au sein des formations du *Kundelungu* et du *Mwashya*, dont nous donnons ci-après la stratigraphie de détail :

Série du Kundelungu supérieur

- Assise K.s. 1.2.2 ⁽¹⁾ : Schistes et grès micacés chloriteux microgréseux feldspathiques un peu calcaro-dolomitiques, à stratification régulière, gris-bleu verdâtre.
- Assise K.s. 1.2.1 : dénommée *calcaire rose* ⁽²⁾. Dolomie blanche, microgrenue, massive, une peu micacée et albitifère 8 m
- Assise K.s. 1.1 : dénommée *Petit Conglomérat du Kundelungu*. Schiste micacé chloriteux, gréseux, feldspathique, conglomératique, un peu calcaro-dolomitique, vert, à petits éléments de dolomite mésocristalline enveloppés de chlorite verte (rumpfite) 32 m

Série du Kundelungu inférieur

- Assise K.i. 2 : Schistes grésiquartzitiques feldspathifères micacés et chloriteux, à grain fin, gris-bleu foncé, à stratification lamellaire granoclassée, entrecroisée, avec passes de grès-quartzites feldspathiques, dolomitiques, gris clair, à grain moyen 60 m
- Assise K.i. 1.3 : Schistes finement micacés, chloriteux, verdâtres, à petites lentilles chloriteuses millimétriques 100 m
- Assise K.i. 1.2.3 : dénommée *Série Récurrente* (en abrégé : *S.R.*). Alternance de schistes finement micacés et chloriteux, dolomitiques, verdâtres, et de dolomies microcristallines violacées. Au niveau 850 où la puissance de l'assise est de 230 m, on a compté 83 alternances. Les bancs de schistes ont en moyenne une épaisseur de 1,15 m et les bancs de dolomies, 1,35 m. Il y a un banc de dolomies de 25 m de puissance situé stratigraphiquement à 180 m au-dessus de la base de la série.
- Assise K.i. 1.2.2 : dénommée *Calcaire de Kakontwe*. C'est une succession de dolomies que l'on peut diviser en trois sous-assises 600 à 680 m

⁽¹⁾ Coordinator's note: In Shaba, the French term *assise* is applied to lithostratigraphic units, most of which would probably be given the rank of *Formations* in the international system of stratigraphic nomenclature.

⁽²⁾ Coordinator's note: In Zaïre, the name of lithostratigraphic units, e.g. *Calcaire rose*, *Série Récurrente*, *Calcaire de Kakontwe*, have often been given a long time ago before any study of unweathered outcrops could be made. They do not always correspond well with the true lithologic nature of the beds. Note however that the *Calcaire de Kakontwe* is dolomitic only in the neighbourhood of the Kipushi deposit.

- Sous-assise supérieure : Dolomies gris foncé à noir, à stratification fine et irrégulière, à texture hétéroblastique, avec joints phylliteux et carbonés, et à microstructure concrétionnée ou pseudo-oolithique. 100 m
On y observe des laies lenticulaires de cherts noirs bourrés d'organites tubulaires.
- Sous-assise moyenne : Dolomies gris-bleu à gris clair, en gros bancs, à microstructure pseudo-oolithique ou moutonnée 200 m
Les 150 m supérieurs de cette sous-assise sont le plus souvent pseudo-oolithiques et les 50 m inférieurs sont le plus souvent à microstructure moutonnée.
- Sous-assise inférieure : Dolomie beige clair ou violacé, en gros bancs. La base de cette sous-assise est mal connue.
- Assise K.i. 1.1 : dénommée *Grand Conglomérat du Kundelungu*. Tillite à pâte chloriteuse, gréseuse, calcaro-dolomitique grise ou carbonée, noire, et à éléments de quartzites et de micaschistes 100 à 200 m

Série du Mwashya

- Assise R. 4.2 : Schistes phylliteux, microgréseux, carbonés à stratification régulière rubanée.
- Assise R. 4.1 : Dolomies plus ou moins siliceuses en gros bancs, avec niveaux oolithiques siliceux et niveaux hématitifères.

Des précisions sur la composition minéralogique du *Kakontwe* et des dolomies de la *Série Récurrente* seront données plus loin. Les structures pseudo-oolithiques que l'on observe dans le *Kakontwe supérieur* et le *Kakontwe moyen* ont probablement une origine algaire et peuvent être définies comme des oncolites.

Les compositions minéralogiques des schistes dolomitiques de la *Série Récurrente* varient d'un banc à l'autre, entre les deux compositions extrêmes définies comme suit :

	Dolomite	Micas	Chlorite	Quartz
I	41,6	22,1	3,8	32,4
II	8,5	5,3	37,5	48,6

La signification géochimique de ces compositions sera donnée plus loin.

III. GÉOLOGIE DU SITE DU GISEMENT

(fig. 1, 2, 3)

La structure du gisement est simple. Une cassure transversale interrompt, à angle droit, la continuité du flanc d'un anticlinal très redressé, en le recoupant depuis les couches du Mwashya jusqu'un peu au-delà de la *Série Récurrente*. La

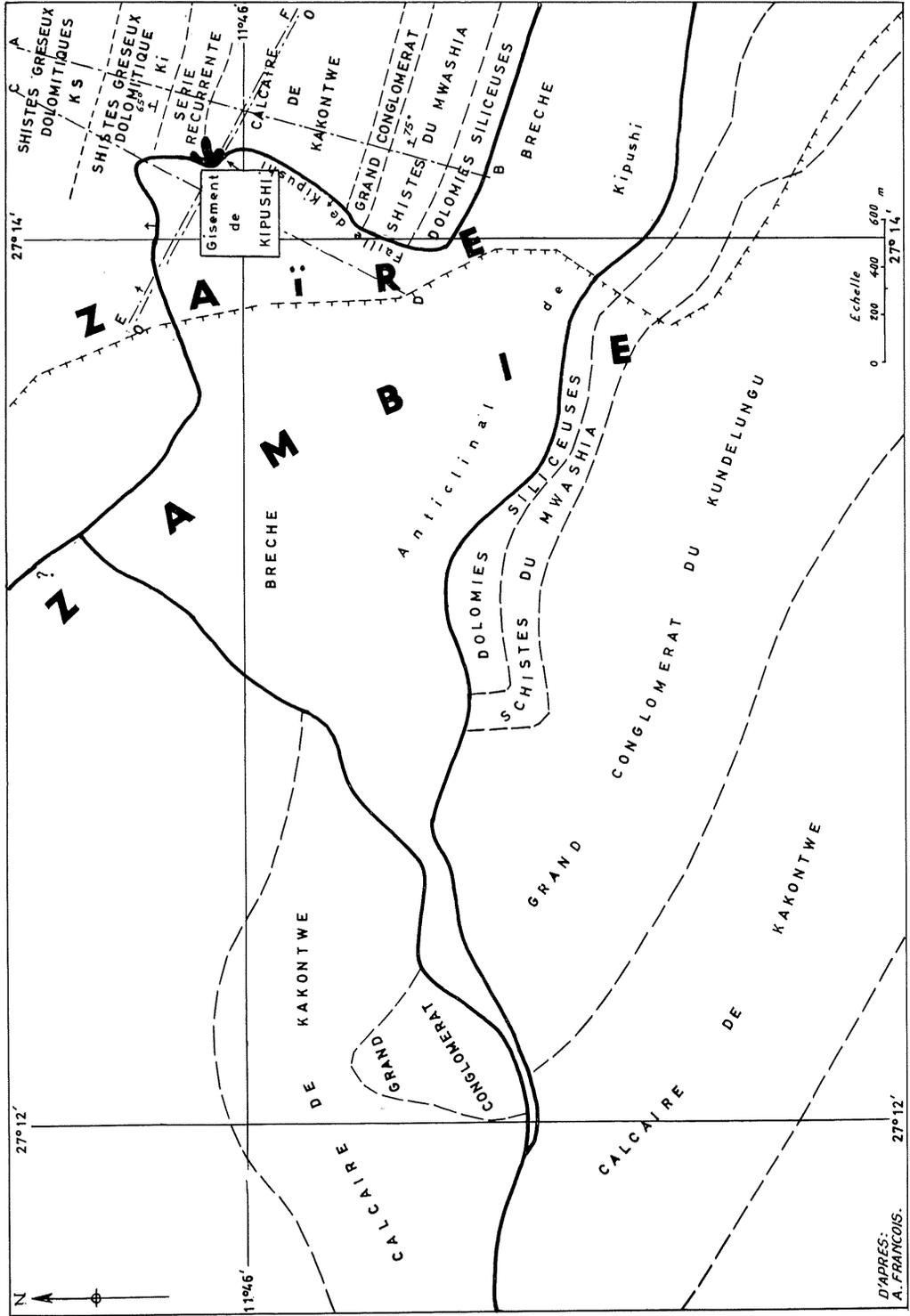


FIG. 1. — Plan de surface.

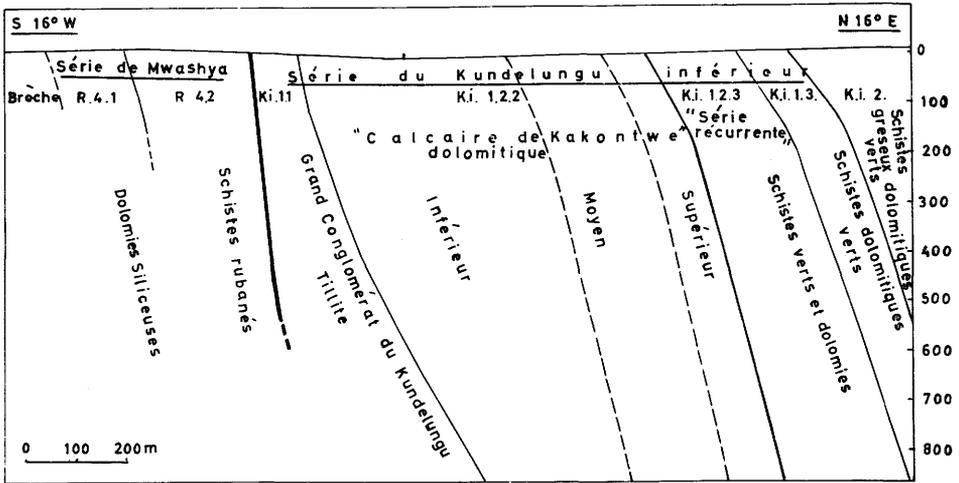


FIG. 2. — Coupe géologique AB.

surface de faille, d'allure redressée elle aussi, présente, entre 130 et 1 000 m de profondeur, une légère concavité, tant dans le sens horizontal que dans le sens vertical. La partie supérieure de la faille, au-dessus de 130 m de profondeur, est légèrement couchée par rapport à sa partie inférieure. Sur la lèvre orientale de l'accident s'appuient, vers les extrémités nord et sud, de *petits lambeaux* de formations du Kundelungu, c'est-à-dire de dolomies du *Kakontwe*, de schistes et de dolomies de la *Série Récurrente* et de schistes gréseux supérieurs, le tout formant des *brèches cyclopiennes* dont les éléments peuvent atteindre jusqu'à 30 m de longueur. Ces éléments sont pratiquement jointifs, et leurs contacts mutuels, schisteux et plus ou moins dolomitiques, sont imprégnés de carbone amorphe. Du côté sud de la faille, c'est-à-dire au droit du *Kakontwe inférieur* la brèche peut atteindre une centaine de mètres de puissance.

Sur les brèches, ou bien directement sur le *Kakontwe* de la lèvre orientale de la faille, s'appuie un *grand lambeau* de schistes gréseux dolomitiques du Kundelungu supérieur. Ce lambeau, d'une centaine de mètres d'épaisseur, s'étend sur toute la largeur du *Kakontwe*, et les couches qui le constitue présentent la même direction et le même pendage que le *Kakontwe* lui-même.

Enfin le grand lambeau (voir fig. 3) est flanqué, à l'ouest, par une importante brèche à éléments de dolomie cristalline blanche, cimentés par de la dolomite macrocristalline, de la chlorite verte et du talc. L'origine des éléments de cette brèche n'est pas claire. On a suggéré qu'ils seraient les témoins de certaines couches de dolomies stratigraphiquement sous-jacentes au *Mwashya*, et proviendraient de la zone axiale de l'anticlinal de Kipushi. Dans cet ordre d'idées, l'attention a porté sur un petit massif de « Gabbro saussuritisé » qui a été recoupé au sein de la brèche au niveau 240, à 130 m à l'ouest de la faille de Kipushi. Ce gabbro pourrait en effet représenter un lambeau du sill basique que l'on connaît ailleurs sous le *Mwashya inférieur*. Suivant une autre interprétation, les dolomies cristallines de la brèche seraient des témoins des dolomies de la *Série Récurrente*.

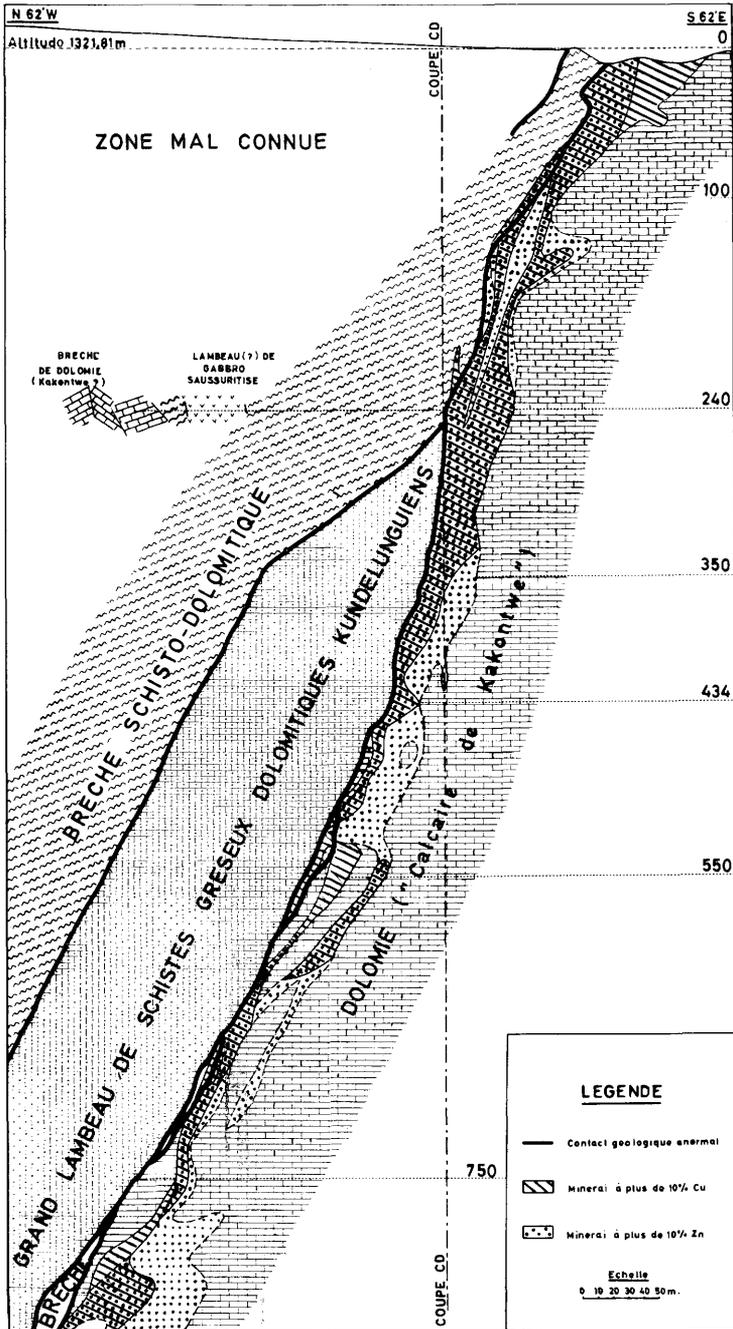


FIG. 3. — Coupe géologique EF.

Précisons que le *grand lambeau* de schistes dolomitiques n'atteint pas la surface et ne se développe qu'à partir de 240 m de profondeur. Au-dessus de cette profondeur la brèche dolomitique chlorito-talqueuse s'appuie directement sur la lèvre orientale de l'accident de Kipushi, soit directement sur le *Kakontwe*, soit sur les brèches cyclopéennes contiguës.

Dans le contexte structural qui vient d'être décrit, la minéralisation est liée strictement à l'accident représenté par le contact anormal et les brèches cyclopéennes, et forme donc un gisement filonien. Elle n'affecte pas la brèche dolomitique chlorito-talqueuse.

Plus au large du gisement, les structures géologiques ne sont connues que par les levés de surface et par quelques travaux souterrains poussés à l'ouest du lambeau. C'est ainsi qu'il s'avère que la faille de Kipushi ne se prolonge ni au nord ni au sud du gisement, mais constitue un tronçon de la bordure d'une imposante zone cataclastique contiguë à l'axe de l'anticlinal et affectant le flanc nord de celui-ci. Le massif cataclastique serait occupé par des lambeaux de *Calcaire de Kakontwe*, de la *Série Récurrente* et de schistes supérieurs du Kundelungu empâtés dans de la brèche chlorito-talqueuse. Si tous les éléments du massif cataclastique appartiennent bien aux *Séries du Kundelungu*, et qu'aucun ne représente des formations de la *Série de Mwashya*, alors on pourrait envisager que le petit amas de gabbro recoupé au niveau 240 soit intrusif dans l'amas de brèche.

IV. STRUCTURE GÉNÉRALE DU GISEMENT

(fig. 4, 6, 8, 10, 12, 15)

Comme il a déjà été dit, la minéralisation affecte la zone failleuse qui interrompt la continuité du flanc nord de l'anticlinal de Kipushi au droit du *Calcaire de Kakontwe* et de la *Série Récurrente*. Elle y a, à tous les niveaux, sa plus forte puissance au lieu de rencontre du contact du *Kakontwe* et de la *Série Récurrente* avec la faille, et ce lieu apparaît donc comme le chenal minéralisateur. A partir de ce chenal, la minéralisation s'est introduite dans le *Kakontwe* à la faveur de la faille elle-même, ainsi que d'un faisceau de cassures subparallèles à la faille et d'un faisceau de cisaillements subparallèles à la stratification, et a formé, par substitution, un massif⁽³⁾ de minerai à hautes teneurs en sulfures, qui constitue la partie la plus importante du gisement. Elle a aussi affecté les petits lambeaux dolomitiques faisant partie des brèches cyclopéennes, et particulièrement ceux qui sont situés au voisinage du chenal minéralisateur. Enfin, elle s'est répandue dans la *Série Récurrente*, en diffusant surtout dans les schistes dolomitiques de cette série par substitution de la dolomite, et en donnant du minerai à basses teneurs. Par contre, le *grand lambeau* de schistes gréseux dolomitiques a été assez peu affecté par la minéralisation, sauf le long de la bordure jouxtant la faille et le long de quelques accidents intérieurs partant de celle-ci.

Une vue d'ensemble de la morphologie du minerai dans le *Calcaire de Kakontwe* et les brèches cyclopéennes est donnée de manière suffisamment approchée par les

(3) Coordinator's note: The term "massif" is used here to designate a part of the orebody.

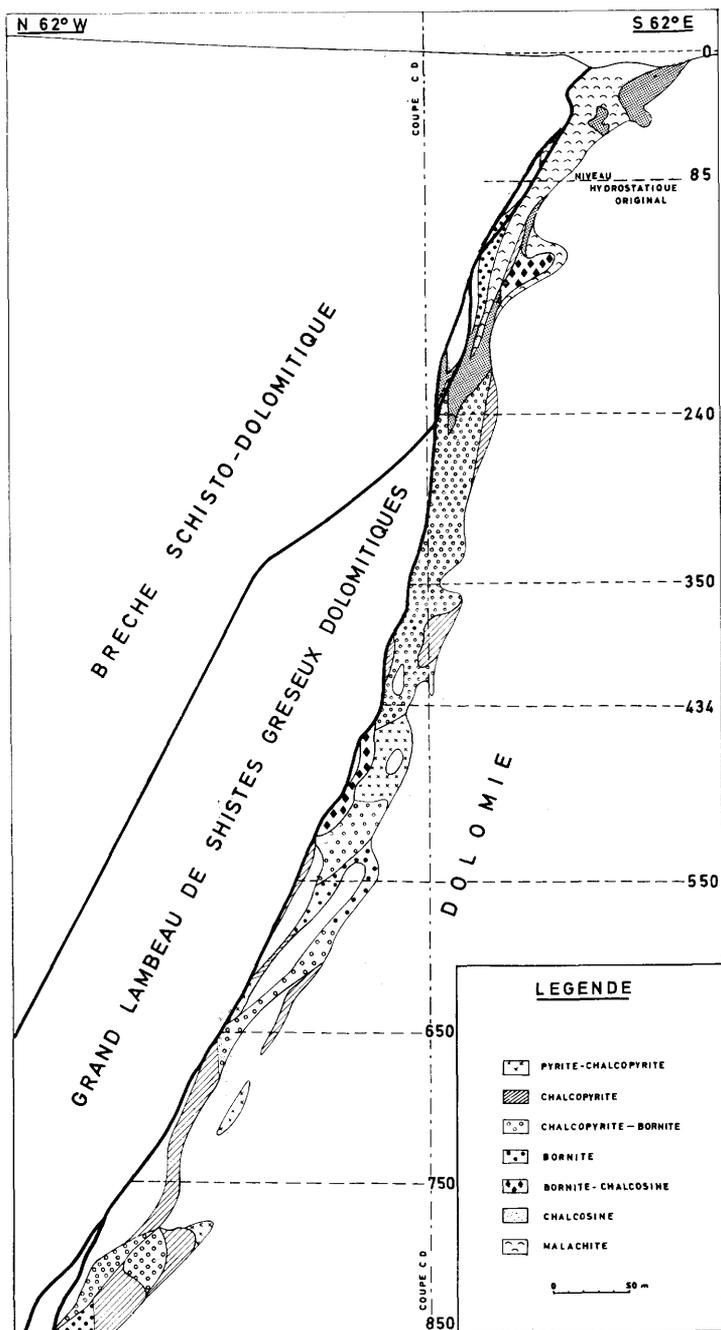


FIG. 4. — Coupe EF. Distribution minéralogique Cu, Fe.

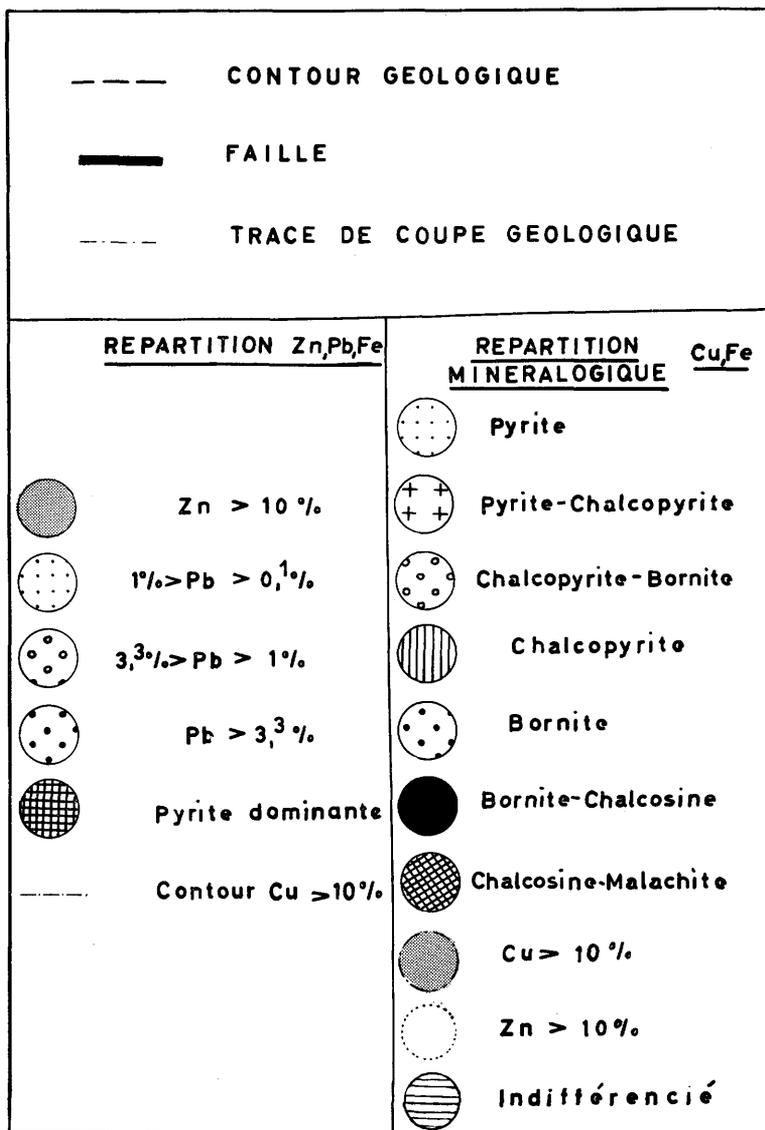


FIG. 5. — Légende générale pour les figures 6 à 15.

contours du minerai contenant plus de 10 % Cu ou 10 % Zn. En effet, les épontes du minerai riche sont, le plus souvent, nettement tranchées, l'enveloppe microfilonienne ne donnant que du minerai à teneurs beaucoup moindres.

L'amas filonien du *Kakontwe* comporte généralement un étranglement situé à une distance stratigraphique sous la *Série Récurrente* de l'ordre de 100 à 150 m, et correspondant à la zone de transition du *Kakontwe supérieur* au

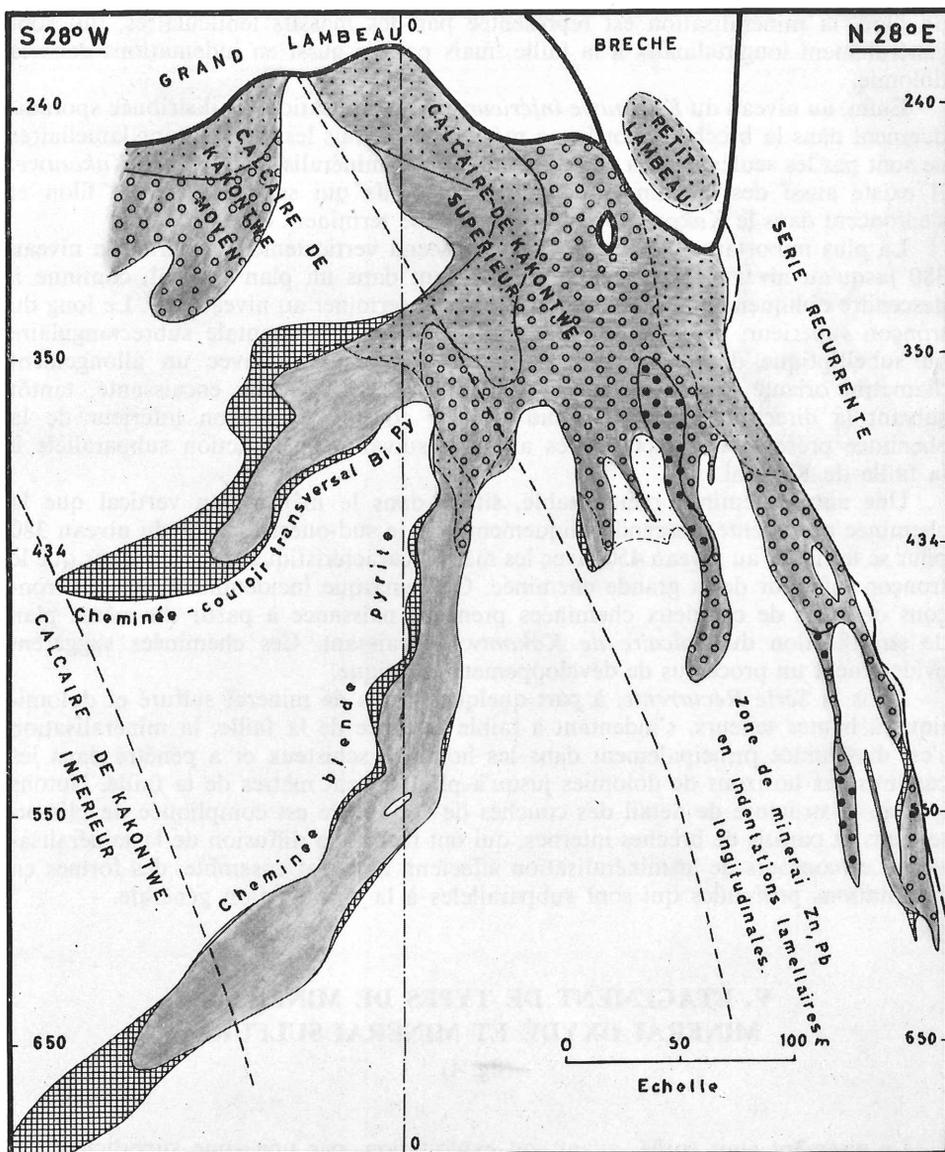


FIG. 6. — Coupe CD. Répartition Zn—Pb.

Kakontwe moyen. Le massif situé au nord de l'étranglement est le plus important, et atteint une trentaine de mètres de largeur dans les niveaux supérieurs du gisement. Il pousse des indentations lamellaires de sulfures massifs, subparallèles aux couches finement stratifiées du *Kakontwe supérieur*, jusqu'à une centaine de mètres de la faille. Au niveau du *Kakontwe moyen*, c'est-à-dire au sud de l'étranglement

du filon, la minéralisation est représentée par des massifs lenticulaires, qui sont généralement longitudinaux à la faille, mais parfois aussi en indentations dans la dolomie.

Enfin, au niveau du *Kakontwe inférieur*, la minéralisation est distribuée sporadiquement dans la brèche cyclopéenne méridionale. Mais les indentations lamellaires ne sont pas les seules formes de pénétration de la minéralisation dans le *Kakontwe*. Il existe aussi des cheminées de sulfures massifs qui se détachent du filon et s'enfoncent dans le *Kakontwe moyen*, où elles se terminent en profondeur.

La plus importante de ces cheminées descend verticalement à partir du niveau 380 jusqu'au niveau 550, puis, tout en restant dans un plan vertical, continue à descendre obliquement en direction SW pour se terminer au niveau 700. Le long du tronçon supérieur, la cheminée présente une section horizontale subrectangulaire ou subelliptique d'une trentaine de mètres de diamètre, avec un allongement diamétral orienté tantôt suivant la stratification de la roche encaissante, tantôt suivant la direction nord-ouest-sud-est. Par contre, le tronçon inférieur de la cheminée présente une section très allongée suivant une direction subparallèle à la faille de Kipushi.

Une autre cheminée remarquable, située dans le même plan vertical que la cheminée précédente, descend obliquement vers le sud-ouest à partir du niveau 380 pour se terminer au niveau 450, avec les mêmes caractéristiques géométriques que le tronçon inférieur de la grande cheminée. On remarque incidemment que les tronçons obliques de ces deux cheminées prennent naissance à partir du même plan de stratification du *Calcaire de Kakontwe* encaissant. Ces cheminées suggèrent évidemment un processus de développement karstique.

Dans la *Série Récurrente*, à part quelques filons de minerai sulfuré et dolomitique à hautes teneurs, s'indentant à faible distance de la faille, la minéralisation s'est disséminée principalement dans les horizons schisteux et a pénétré dans les cassures des horizons de dolomies jusqu'à plus de cent mètres de la faille. Notons ici que la structure de détail des couches de cette série est compliquée de plissements et parfois de brèches internes, qui ont facilité la diffusion de la minéralisation. Les contours de la minéralisation affectent, dans cet ensemble, des formes en indentations profondes qui sont subparallèles à la stratification générale.

V. ÉTAGEMENT DE TYPES DE MINÉRAIS : MINÉRAI OXYDÉ ET MINÉRAI SULFURÉ

(fig. 4)

Le gisement était coiffé, avant son exploitation, par une zone superficielle de minerai oxydé d'une centaine de mètres de hauteur. Elle était composée, en ordre principal, de cérusite, malachite, smithsonite, calamine, cuprite, gœthite, hématite et turgite, et accessoirement par les minéraux suivants :

- oxydes : massicot, zincite, pyrolusite ;
- carbonates : aurichalcite, azurite, hydrozincite ;
- sulfates : brochantite, chalcantite, beaverite, anglésite ;
- phosphates : veszelyite, pseudomalachite, vivianite, autunite ;
- arséniates : pyromorphite, olivénite, conichalcite ;

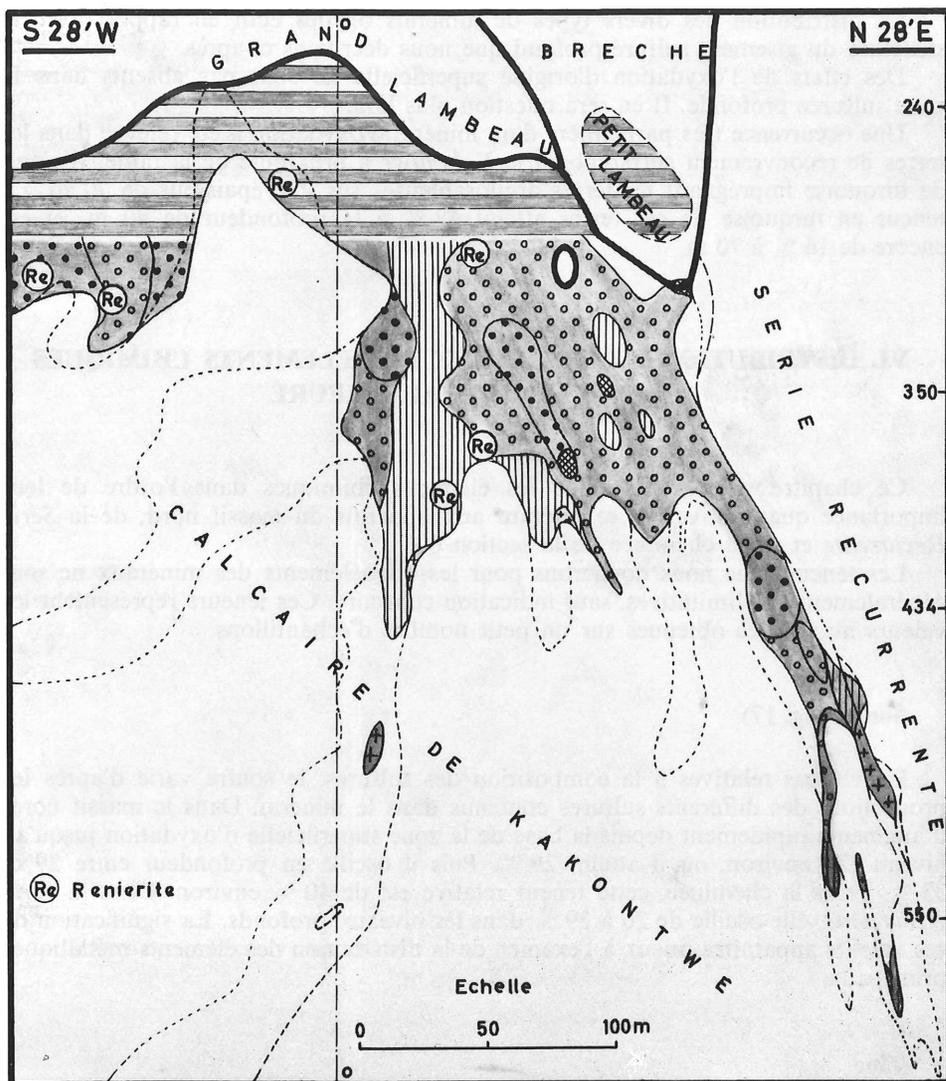


FIG. 7. — Coupe CD. Répartition minéralogique Cu—Fe.

- vanadates : vanadinite, cuprodescloizite ;
- chlorures : atacamite ;
- silicates : diopside, chrysocolle, willémitte.

La zone d'oxydation englobait aussi des masses de chalcocite de cimentation avec, accessoirement, du cuivre natif et de l'argent natif.

Il est à noter que le niveau hydrostatique se situait, à l'époque de l'ouverture des travaux d'exploitation, à 85 m de profondeur, c'est-à-dire, à une quinzaine de mètres au-dessus de la base de la zone d'oxydation.

La distribution des divers types de minerais oxydés était en rapport avec la structure du gisement sulfuré profond que nous décrivons ci-après.

Des effets de l'oxydation d'origine superficielle ne sont pas absents dans la zone sulfurée profonde. Il en sera question plus loin.

Une occurrence très particulière d'un minéral d'oxydation a été relevée dans les terres de recouvrement surplombant le *Kakontwe* à proximité de la faille. Il s'agit de turquoise imprégnant les terres argilosableuses sur une épaisseur de 70 m. La teneur en turquoise de ces terres atteint 48 % à la profondeur de 40 m, et est encore de 16 % à 70 m.

VI. DISTRIBUTION ET GÉOCHIMIE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES DANS LE MINÉRAI SULFURÉ

Ce chapitre passera en revue les éléments chimiques dans l'ordre de leur importance quantitative, en se référant aux minerais du massif nord, de la *Série Récurrente* et de la cheminée de la section 00.

Les teneurs que nous donnerons pour les oligoéléments des minéraux ne sont généralement pas limitatives, sauf indication contraire. Ces teneurs représentent les valeurs maximales obtenues sur un petit nombre d'échantillons.

Soufre (fig. 17)

En valeurs relatives à la composition des sulfures, le soufre varie d'après les proportions des différents sulfures contenus dans le minerai. Dans le massif nord, il augmente rapidement depuis la base de la zone superficielle d'oxydation jusqu'au niveau 170 environ, où il atteint 29 %. Puis il oscille en profondeur entre 29 et 33 %. Dans la cheminée, cette teneur relative est de 40 % environ. Dans la *Série Récurrente*, elle oscille de 26 à 29 % dans les niveaux profonds. La signification de ces valeurs apparaîtra mieux à l'examen de la distribution des éléments métalliques principaux.

Zinc

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 6, 8, 10, 12, 15, 16)

En valeurs absolues, les teneurs moyennes en zinc par niveau, dans la zone d'oxydation du massif nord, sont inférieures à celles du cuivre. Puis elles augmentent rapidement dans la zone sulfurée, et dépassent définitivement celles du cuivre à partir du niveau 210. La courbe des teneurs moyennes présente deux maxima remarquables, le premier au niveau 350 et le second au niveau 750.

Les cheminées du *Kakontwe moyen* sont exclusivement composées de blende, en association avec la pyrite.

La *Série Récurrente* est pauvre en blende. Contrairement aux sulfures de cuivre, qui s'y trouvent surtout en fine dissémination dans les schistes, la blende n'y existe que dans du remplissage de cassures.

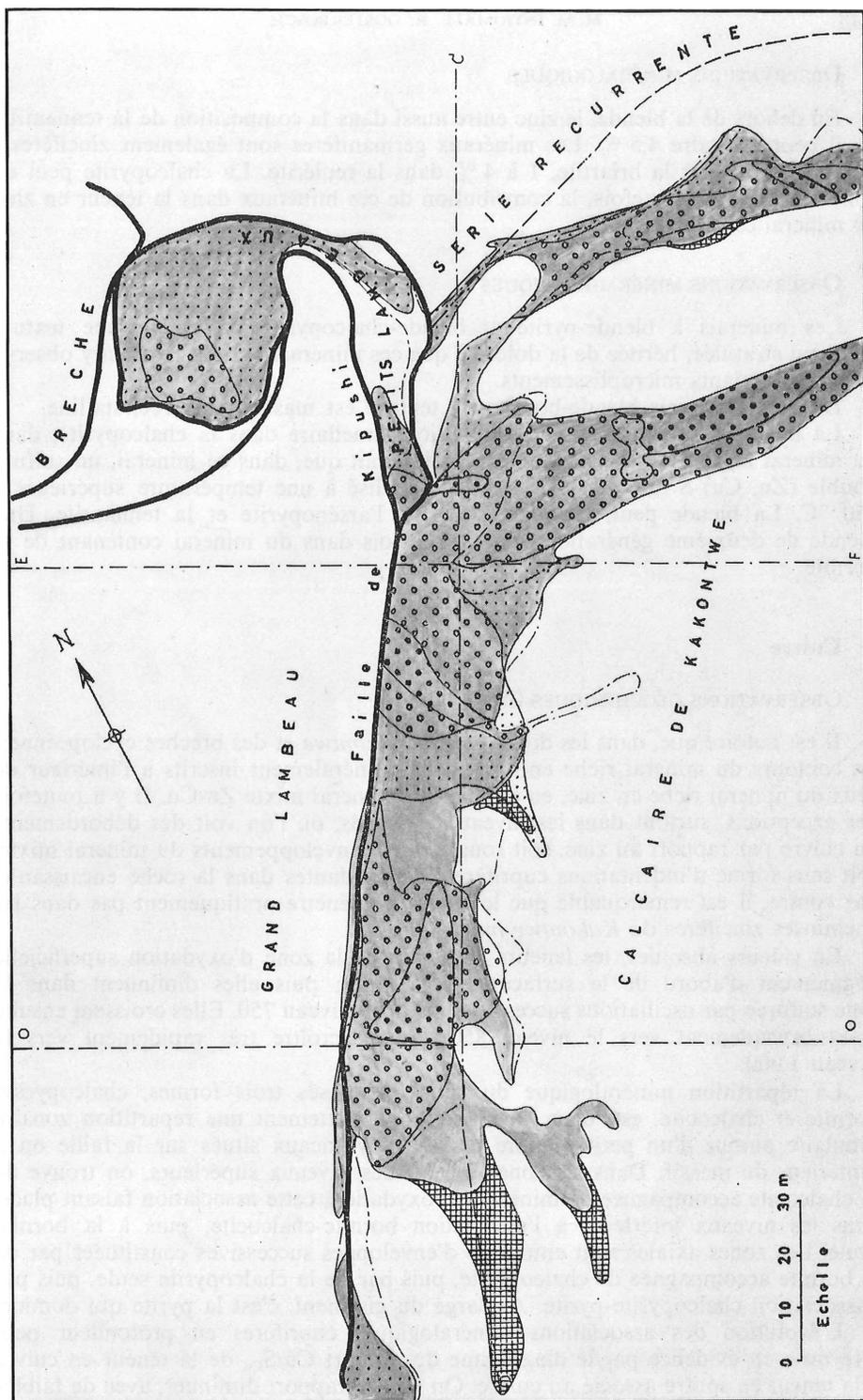


FIG. 8. — Niveau 350. Répartition Zn—Pb.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

En dehors de la blende, le zinc entre aussi dans la composition de la tennantite, où il peut atteindre 4,5 %. Les minéraux germanifères sont également zincifères : 7 à 12 % Zn dans la briartite, 1 à 4 % dans la reniérite. La chalcopryrite peut en contenir 0,08 %. Toutefois, la contribution de ces minéraux dans la teneur en zinc du minerai est négligeable.

OBSERVATIONS MINÉRAGRAPHIQUES

Les minerais à blende-pyrite et blende-chalcopryrite présentent une texture finement stratifiée, héritée de la dolomie que ces minerais remplacent. On y observe aussi d'abondants microplissements.

Dans les minerais blende-bornite, la texture est massive, macrocristalline.

La blende peut apparaître en exsolution lamellaire dans la chalcopryrite, dans du minerai à reniérite. Ce phénomène indiquerait que, dans ce minerai, un sulfure double (Zn, Cu) S riche en zinc aurait cristallisé à une température supérieure à 550 °C. La blende peut corroder la pyrite, l'arséno-pyrite et la tennantite. Une blende de deuxième génération apparaît parfois dans du minerai contenant de la bornite.

Cuivre

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 3 à 20)

Il est notoire que, dans les domaines du *Kakontwe* et des brèches cyclopéennes, les contours du minerai riche en cuivre sont généralement inscrits à l'intérieur de ceux du minerai riche en zinc, en donnant un minerai mixte Zn-Cu. Il y a toutefois des exceptions, surtout dans les niveaux profonds, où l'on voit des débordements du cuivre par rapport au zinc, soit sous forme d'enveloppements du minerai mixte, soit sous forme d'indentations cuprifères indépendantes dans la roche encaissante. Par contre, il est remarquable que le cuivre ne pénètre pratiquement pas dans les cheminées zincifères du *Kakontwe moyen*.

En valeurs absolues, les teneurs en cuivre de la zone d'oxydation superficielle augmentent d'abord de la surface vers la base ; puis elles diminuent dans la zone sulfurée par oscillations successives jusqu'au niveau 750. Elles croissent ensuite assez brusquement vers le niveau 850, pour décroître très rapidement vers le niveau 1 000.

La répartition minéralogique du cuivre sous ses trois formes, chalcopryrite, bornite et chalcocite, est, dans le massif nord, nettement une répartition zonaire tubulaire autour d'un petit nombre d'axes subverticaux situés sur la faille ou à l'intérieur du massif. Dans les zones axiales des niveaux supérieurs, on trouve de la chalcocite accompagnée de minéraux d'oxydation, cette association faisant place, dans les niveaux inférieurs à l'association bornite-chalcocite, puis à la bornite seule. Les zones axiales sont entourées d'enveloppes successives constituées par de la bornite accompagnée de chalcopryrite, puis par de la chalcopryrite seule, puis par l'association chalcopryrite-pyrite. Au large du gisement, c'est la pyrite qui domine.

L'évolution des associations minéralogiques cuprifères en profondeur peut être mise en évidence par le diagramme du rapport Cu/S_{Cu} de la teneur en cuivre à la teneur en soufre associé au cuivre. On voit ce rapport diminuer, avec de faibles

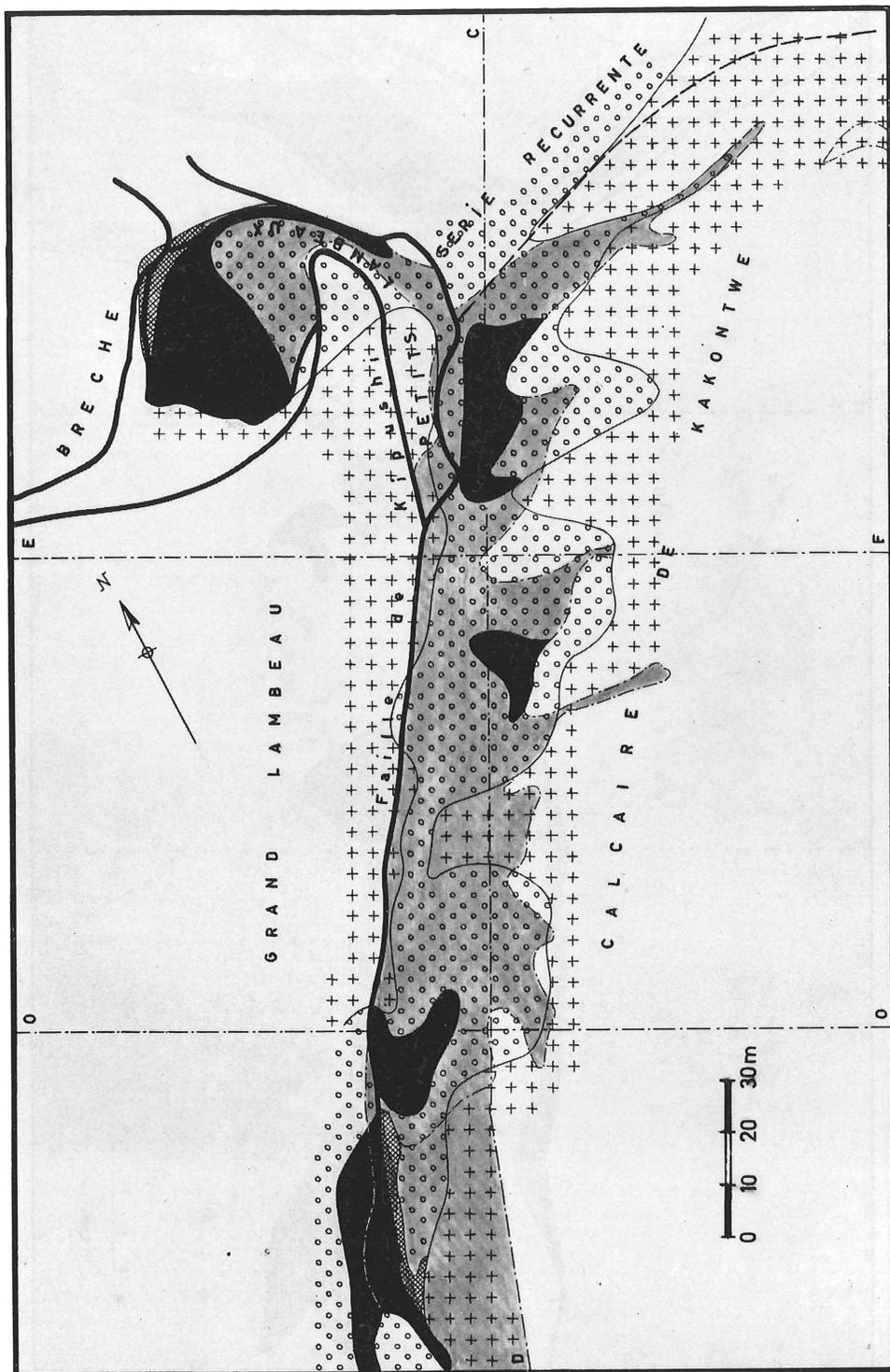


FIG. 9. — Niveau 350. Répartition Cu—Fe.

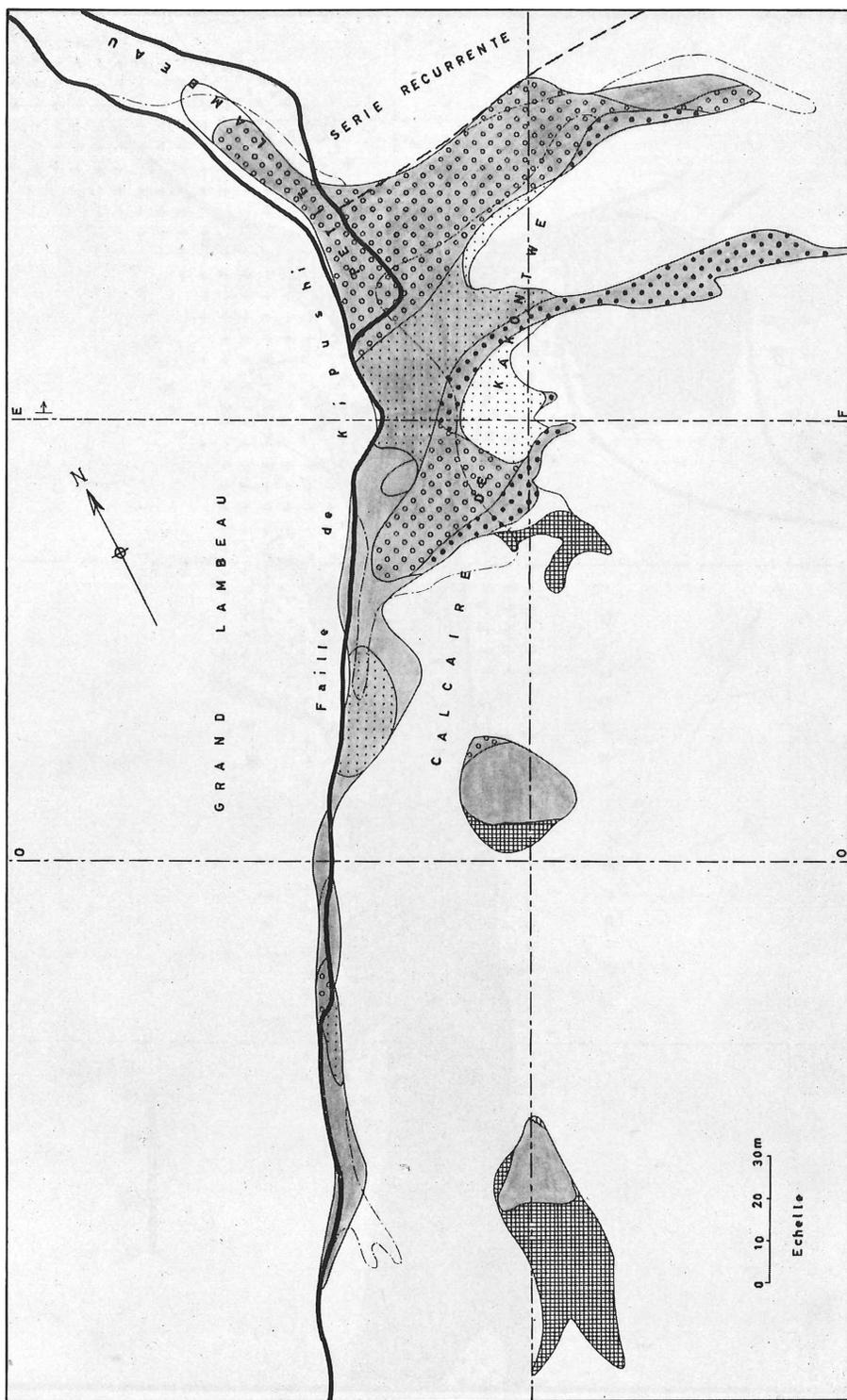


FIG. 10. — Niveau 434. Répartition Zn—Pb.

oscillations, de la surface jusqu'aux niveaux 550 à 650, où il a la valeur correspondant à celle de la chalcopryrite. Il augmente ensuite vers le niveau 850 jusqu'au domaine bornite-chalcopryrite, pour diminuer ensuite rapidement à la valeur de la chalcopryrite au niveau 975.

Il est important de noter que la répartition zonaire tubulaire des associations minérales cuprifères est indépendante de la répartition quantitative du métal, laquelle affecte davantage une distribution réticulaire filonienne. Ce fait est particulièrement bien observable en dessous du niveau 400.

Dans la *Série Récurrente*, les teneurs en cuivre sulfuré varient peu avec la profondeur. Aux niveaux inférieurs, on observe, comme dans le *Kakontwe*, que la répartition minéralogique associative est indépendante de la répartition quantitative du métal. En s'éloignant à la fois de la faille et de la base de la *Série Récurrente* on passe de la bornite à la chalcopryrite, et il est remarquable que le domaine de la bornite s'avance plus profondément dans la *Série Récurrente* à partir de la faille que dans le *Kakontwe*.

En proportions relatives, le cuivre domine généralement sur le zinc dans les minerais pauvres.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

Les analyses chimiques faites sur divers échantillons de chalcopryrite pure indiquent un rapport Cu/Fe atomique variant de 0,943 à 0,993, généralement un peu inférieur aux valeurs actuellement admises pour la chalcopryrite (0,99 à 1,01). Les tentatives pour déceler la présence de haycockite (où le rapport atomique Cu/Fe est de 0,81), de valériite ou de pyrrhotite dans ces échantillons ont été vaines.

Toutefois la valériite et la pyrrhotite ne sont pas absolument absentes. Le premier minéral a été observé sous forme de très fines inclusions dans de la chalcopryrite (à laquelle sont associés des sulfures bismuthifères). Sa présence pourrait indiquer qu'une chalcopryrite riche en fer se serait formée au-dessus de 225 °C.

Les analyses faites sur la bornite ont donné un rapport Cu/S en bonne concordance avec celui de la formule Cu_5FeS_4 , mais elles ont donné un excès de Fe inexpliqué.

La covellite et la chalcocite sont couramment observées en bordure de la chalcopryrite en voie de cémentation, tandis que l'idaïte Cu_5FeS_6 a été rarement observée dans cet environnement.

Le cuivre a été observé en oligoéléments dans les blends les plus ferrifères avec une teneur de 0,69 % Cu. D'autre part une blende vert clair, avec 0,18 % Fe et 0,018 % Ni a donné 0,58 % Cu. La variété verte se rencontre souvent dans le minerai germanifère à reniérite.

OBSERVATIONS MINÉRAGRAPHIQUES

La chalcopryrite se présente souvent en structures massives, plus ou moins finement cristallines. Elle forme avec la bornite et la blende des structures alignées, plus au moins grossièrement rubanées. La bornite associée à la chalcosine est le plus souvent massive.

Il est extrêmement fréquent de voir la chalcopryrite corroder l'arsénopyrite et la cobaltite. Par contre la pyrite paraît plus résistante à l'attaque du sulfure de cuivre. Il n'est pas tellement fréquent non plus de voir la chalcopryrite corroder

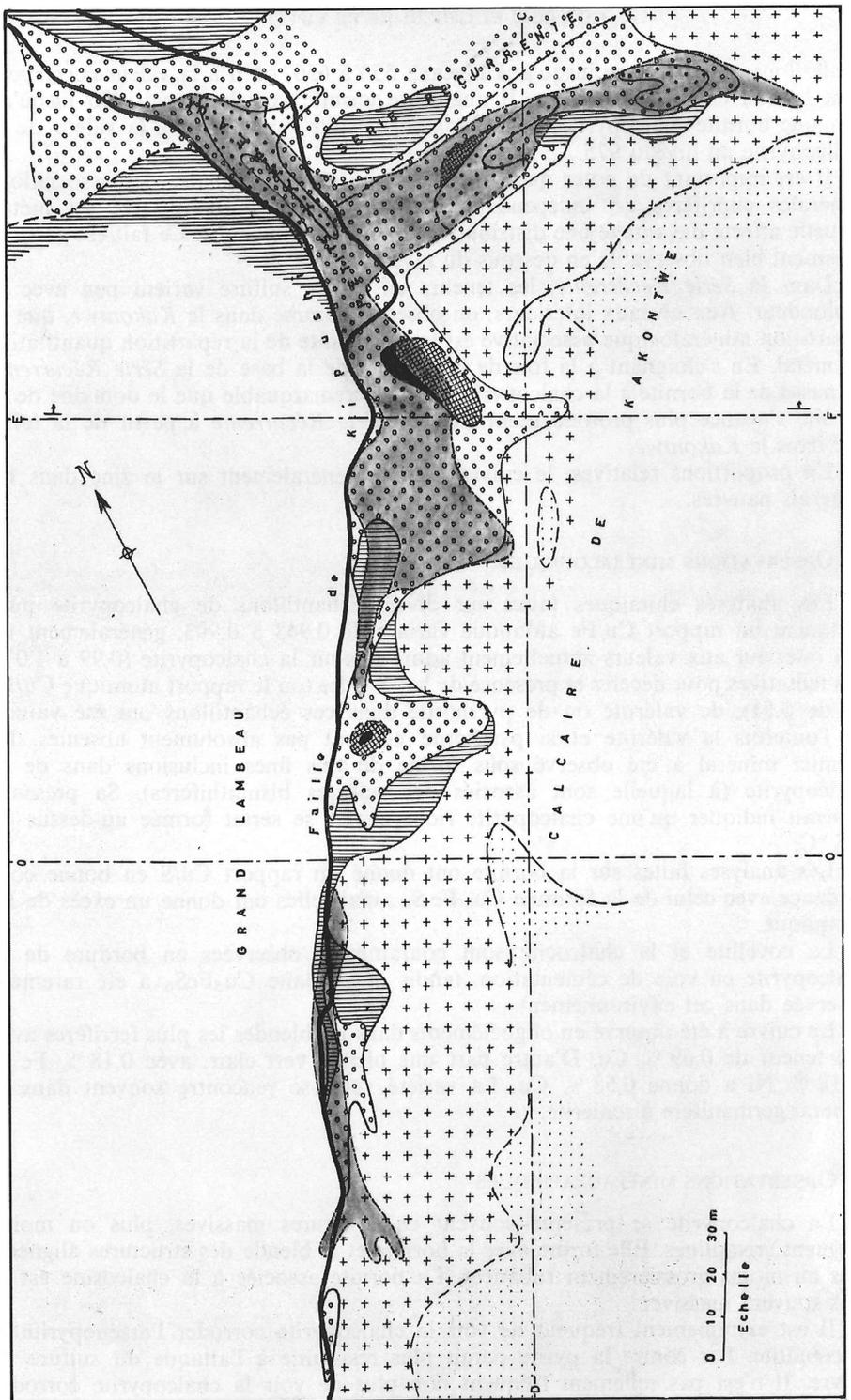


FIG. 11. — Niveau 434. Répartition Cu—Fe.

la blende, et il est curieux de voir dans une même préparation que certains cristaux de blende sont attaqués sélectivement. La chalcopryrite apparaît souvent en filonnets dans la tennantite.

Il est fréquent de voir de très petites inclusions arrondies de chalcopryrite dans la blende. Ces inclusions forment le plus souvent des alignements suivant le réseau cristallin de sulfure de zinc, mais on a également observé des lamelles parallèles.

La chalcopryrite existe aussi régulièrement en inclusion ou en pénétration de forme lamellaire ou lenticulaire dans la briartite (sulfure germanifère).

Certaines associations de chalcopryrite et de bornite paraissent indiquer une substitution réticulaire du second minéral par le premier. Sinon, les deux sulfures sont généralement en contact mutuel tel qu'il n'est pas possible d'y voir une succession. Ce n'est que dans les minerais fracturés que l'on voit nettement de la bornite de cémentation, faisant elle-même place à la chalcocite et à la covellite. En dehors de l'existence de fissures apparentes, la chalcocite peut apparaître en plages de formes quelconques, généralement arrondies, dans la bornite.

En présence de bornite, la linéite est corrodée.

Dans la zone failleuse du gisement, il est fréquent de voir la chalcocite se substituant à la blende.

Fer

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 5, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20)

La proportion du fer sulfuré dans le minerai dépend surtout de la composition des associations minérales cuprifères. Elle augmente de la surface jusqu'aux niveaux 550 à 650, puis diminue jusqu'au niveau 850 pour remonter à nouveau vers le niveau 1 000.

Les zones riches en fer correspondent aux zones riches en chalcopryrite ou en pyrite. Avec la chalcopryrite, elles affectent une allure filonienne. Quant à la pyrite, elle se concentre vers les extrémités des indentations zincifères du *Kakontwe supérieur*, ainsi que sur le pourtour et l'extrémité des cheminées zincifères du *Kakontwe moyen*. On observe en particulier que la gaine pyriteuse de ces cheminées est plus épaisse du côté sud que du côté nord. D'une façon générale, la pyrite tend à se concentrer dans les zones les plus éloignées du chenal minéralisateur.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

La pyrite est pratiquement le seul sulfure de fer existant dans le minerai. Toutefois une occurrence de pyrrotite a été observée sous forme de très petites inclusions dans de la chalcopryrite. De la marcassite existe en association avec la pyrite au voisinage de la zone failleuse du gisement, et ce, à la profondeur de 850 m.

Les blends ont des teneurs en fer variant de 0,15 à 6,7 %. Les blends les plus riches en fer, de teinte brun-rouge, se rencontrent dans les associations blende-pyrite voisinant la faille à l'extrémité sud du massif nord. Ailleurs, les blends en association avec la pyrite ou la chalcopryrite, ont des teneurs variant de 0,8 à 3,6 % et des teintes jaune clair à brun clair. La blende en association avec la bornite est incolore, avec des teneurs de 0,15 % Fe.

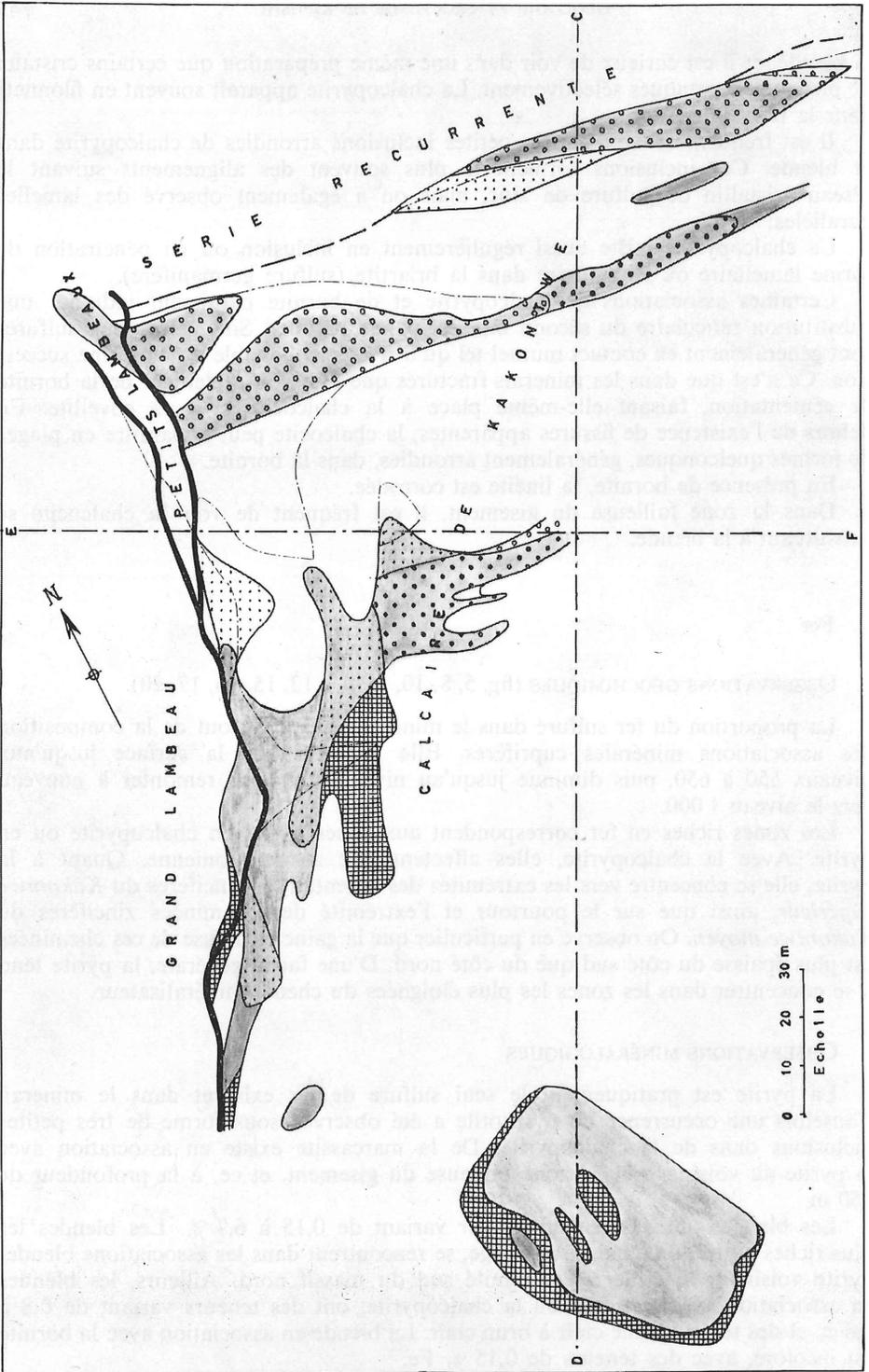


FIG. 12. — Niveau 550. Répartition Zn—Pb.

Le fer entre aussi dans la tennantite, où une teneur exceptionnelle de 9,57 % a été enregistrée. Il peut entrer aussi dans la composition de la gallite jusqu'à 2,5 %.

Plomb

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 5, 6, 8, 10, 12, 15, 16, 17, 18)

Les concentrations en galène occupent, au sein des minerais riches en zinc des zones allongées ou forment des amas, dont les contours sont analogues à ceux du minerai de zinc lui-même. Les minerais les plus riches en galène se rencontrent vers les extrémités des indentations lamellaires du *Kakontwe supérieur* où l'on observe parfois des débordements. Le plomb a ceci de commun avec le cuivre qu'il ne pénètre pas dans les cheminées zincifères du *Kakontwe moyen*.

Dans le massif nord, les variations du rapport Pb/Zn avec la profondeur présentent une certaine analogie avec celle du rapport Cu/S_{Cu}.

Dans la zone d'oxydation superficielle, la proportion de plomb dans le minerai est supérieure à celle qu'elle a dans le minerai sulfuré. Dans ce dernier le rapport Pb/Zn varie entre 0,03 et 0,08, tandis que dans le minerai oxydé elle varie entre 0,1 et 0,2.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

Le plomb se trouve habituellement sous forme de galène, et très accessoirement sous forme de bétechtinite (sulfure de cuivre, plomb et fer). Le plomb ne figure pratiquement pas comme oligoélément dans les sulfures de fer, cuivre ou zinc. Seule une tennantite a donnée 160 ppm Pb.

OBSERVATIONS MINÉRAGRAPHIQUES

La galène se trouve généralement en contact avec tous les autres sulfures d'une manière telle qu'il n'est pas possible d'y voir une succession. Toutefois elle apparaît quelquefois sous forme de filonnets dans la blende, l'arsénopyrite, la tennantite ou la bornite.

La bétechtinite est toujours intimement associée à la bornite, dans du minerai contenant de la galène ou de la chalcocite, ou les deux. On a aussi observé de la bétechtinite se développant dans de la tennantite.

Arsenic

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 15, 19, 20)

Dans le massif nord, les teneurs moyennes en As varient entre 0,1 et 0,4 % dans les niveaux inférieurs à 500. Elles présentent un minimum dans les niveaux 650 à 750, un maximum au niveau 850, pour décroître ensuite vers le niveau 1 000. Dans la grande cheminée zincifère, les teneurs moyennes en arsenic sont plus élevées, mais elles paraissent évoluer suivant la profondeur de la même manière que dans le massif nord. Dans la *Série Récurrente* il y a moins de 0,1 % As.

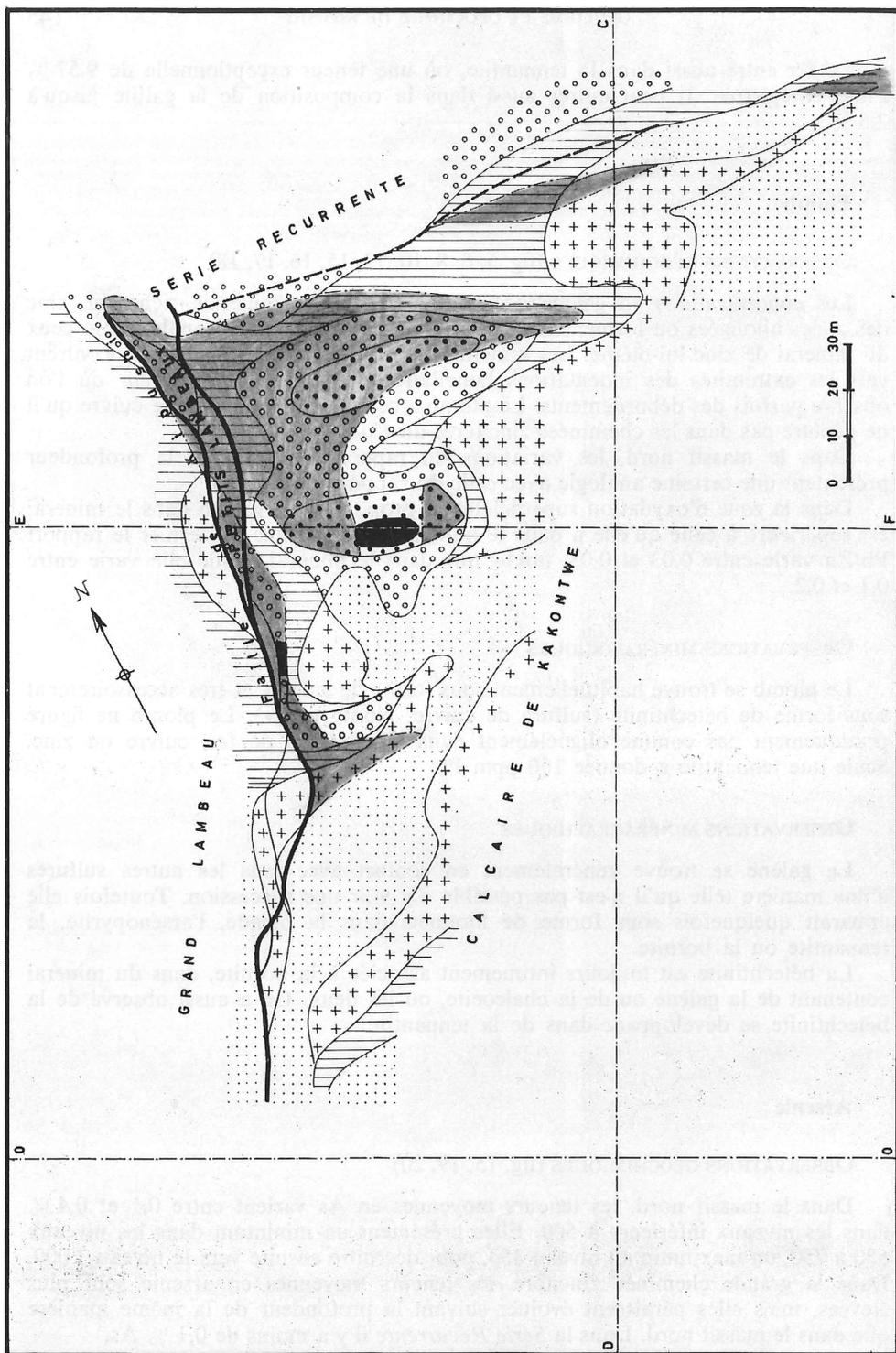


FIG. 13. — Niveau 550. Répartition minéralogique Cu—Fe.

Les zones riches en As (supérieures à 1 % As) présentent, dans les massifs contigus à la faille, une allure nettement filonienne. Par contre, dans les cheminées, elles tendent à occuper la périphérie.

En valeurs relatives, il y a généralement plus d'arsenic dans les épontes des minerais massifs qu'à l'intérieur de ces derniers.

L'arsenic apparaît presque exclusivement sous forme d'arsénopyrite et de tennantite, la première dans le minerai zincifère pyriteux et la seconde dans les minerais bornitifères. Les minerais mixtes Zn-Cu contiennent les deux composés arsénicaux.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

L'analyse des deux arsénopyrites a donné un rapport As/Fe atomique de 0,914 et 0,938. Ce sont donc des arsénopyrites pauvres en As, qui indiqueraient des températures de formation inférieures à 400 °C au plus.

Les tennantites sont généralement grises. Mais on connaît aussi une variété jaune verdâtre dans du minerai à molybdénite. Une occurrence d'énargite a été relevée dans de la chalcopyrite sous la forme de très petites inclusions idiomorphes.

L'arsenic entre dans la composition de la reniérite avec les teneurs variant de 0,7 à 1,7 % et comme oligo-élément dans la pyrite, la chalcopyrite et la bornite. Les analyses ont enregistré des teneurs maximales respectivement de 0,43 %, 0,31 % et 0,10 % dans les trois derniers sulfures.

OBSERVATIONS MINÉRAGRAPHIQUES

L'arsénopyrite apparaît en cristaux idiomorphes dans les minerais pyriteux, et dans les gangues dolomitiques ou schisto-dolomitiques. Dans les minerais cuprifères, les cristaux n'ont été bien conservés que dans les inclusions de quartz.

Pour la tennantite, les relations texturales avec les autres sulfures sont généralement telles qu'il est impossible de définir une succession.

Cadmium

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 19, 20)

Dans les niveaux inférieurs du massif nord, la teneur en cadmium de la blende est assez constante et voisine 0,5 %. Dans la grande cheminée zincifère, elle est de 0,38 % au niveau 650. Dans la *Série Récurrente* elle varie entre 0,5 et 1,2 %.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

Les teneurs en Cd de blends provenant du massif nord varient de 0,69 % à 0,38 % dans le même sens que les teneurs en Fe. Toutefois, une blende cuprifère verte, pauvre en fer a donné 0,58 % Cd.

Cobalt

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 19, 20)

Dans le massif nord et la *Série Récurrente*, les teneurs moyennes du cobalt dans les sulfures varient de 200 à 300 ppm. Certains minerais riches en cobalt

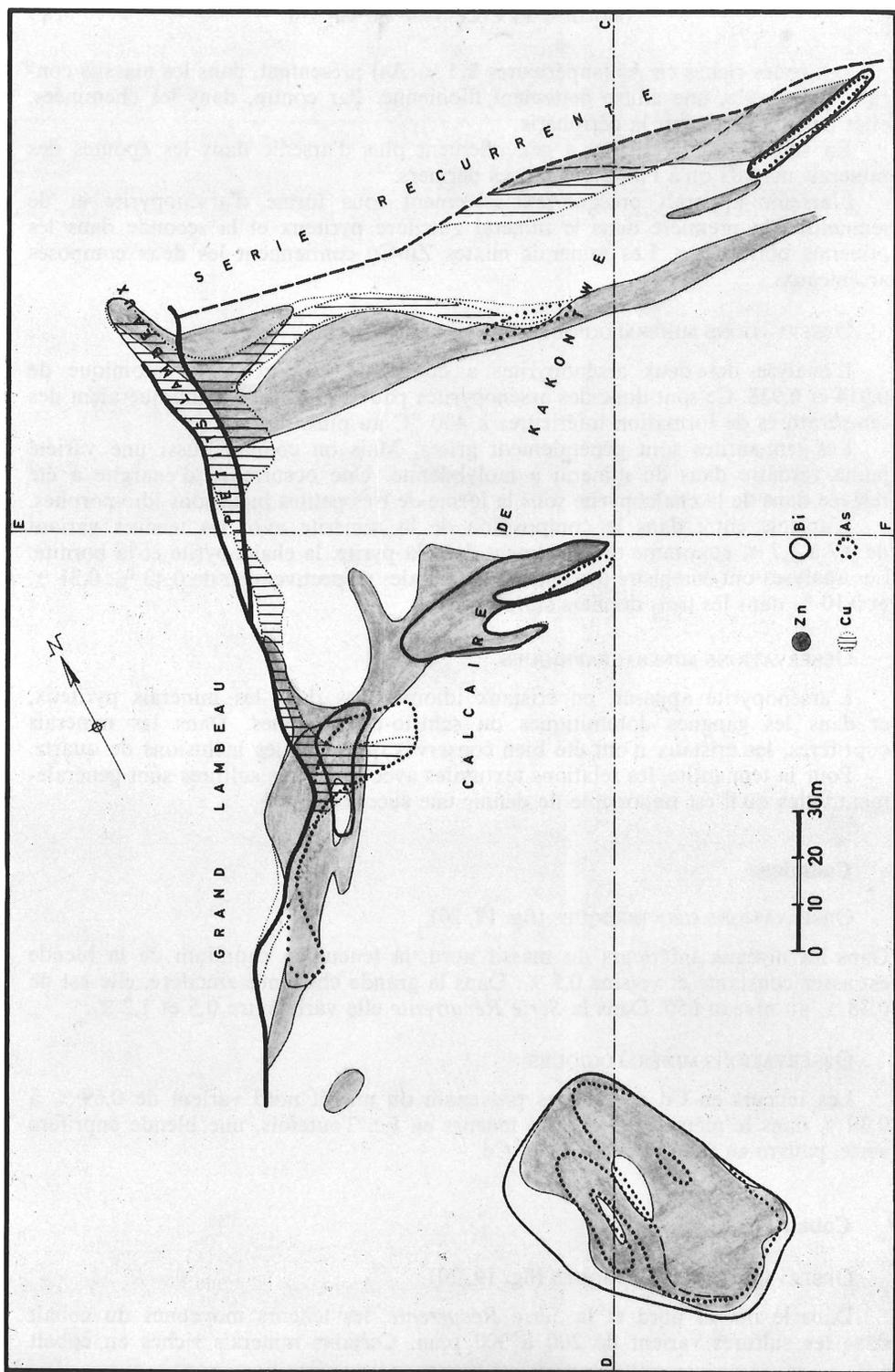


FIG. 14. — Niveau 550. Répartition Zn—Cu—Bi—As.

(jusqu'à 1,6 % dans les sulfures) sont en relations étroites avec du minerai riche en As.

Dans les minerais zincifères pyriteux de la grande cheminée, la teneur en Co n'est que de 50 ppm dans les sulfures. Dans la dolomie du *Kakontwe*, on ne trouve normalement que 20 ppm Co.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

Le cobalt apparaît sous forme de cobaltite dans les minerais à chalcopryrite et sous forme de linnéite ou de carrollite dans les minerais bornitiques.

Il entre comme oligo-élément dans la plupart des sulfures. La chalcopryrite peut en contenir une proportion aussi élevée que 0,56 %. Une teneur de 0,24 % a été obtenue dans une arsénopyrite. Dans les blends, les proportions de Co varient de 820 à 20 ppm, en sens inverse des teneurs en fer. Il est possible que la bornite en contienne jusqu'à 0,67 % en solution solide.

OBSERVATIONS MINÉRAGRAPHIQUES

Tandis que la carrollite apparaît en cristaux idiomorphes dans la bornite, la linnéite est généralement corrodée par ce sulfure de cuivre.

Molybdène

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 15)

Au niveau 550, la teneur moyenne en molybdène est de 150 ppm dans le massif nord et de 33 ppm dans la grande cheminée zincifère. La distribution du métal dans le massif nord présente une allure filonienne le long de la zone failleuse et dans les indentations du minerai dans le *Kakontwe*.

Des poches de minerai riche en molybdénite ont été exploitées dans les niveaux supérieurs du gisement : au niveau 190, dans la zone failleuse au droit du *Kakontwe supérieur*, et au niveau 290, au sommet d'une cheminée qui se détache du massif nord. Au niveau 750, des poches ont été trouvées dans un banc de dolomie de la *Série Récurrente*, groupées dans un rayon assez restreint, et localisées surtout le long des contacts bréchiés de cette dolomie avec les schistes encaissants.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

Le molybdène entre comme oligo-élément seulement dans la bornite jusqu'à concurrence de 0,4 %, et peut-être dans la chalcopryrite jusqu'à 0,66 %.

OBSERVATIONS MINÉRAGRAPHIQUES

Dans toutes les occurrences de minerais riches en molybdénite, celle-ci est intimement mélangée avec la bornite et la tennantite. Au niveau 190, le minerai contenait aussi du graphite, de la covellite, de la digénite et de l'argent natif.

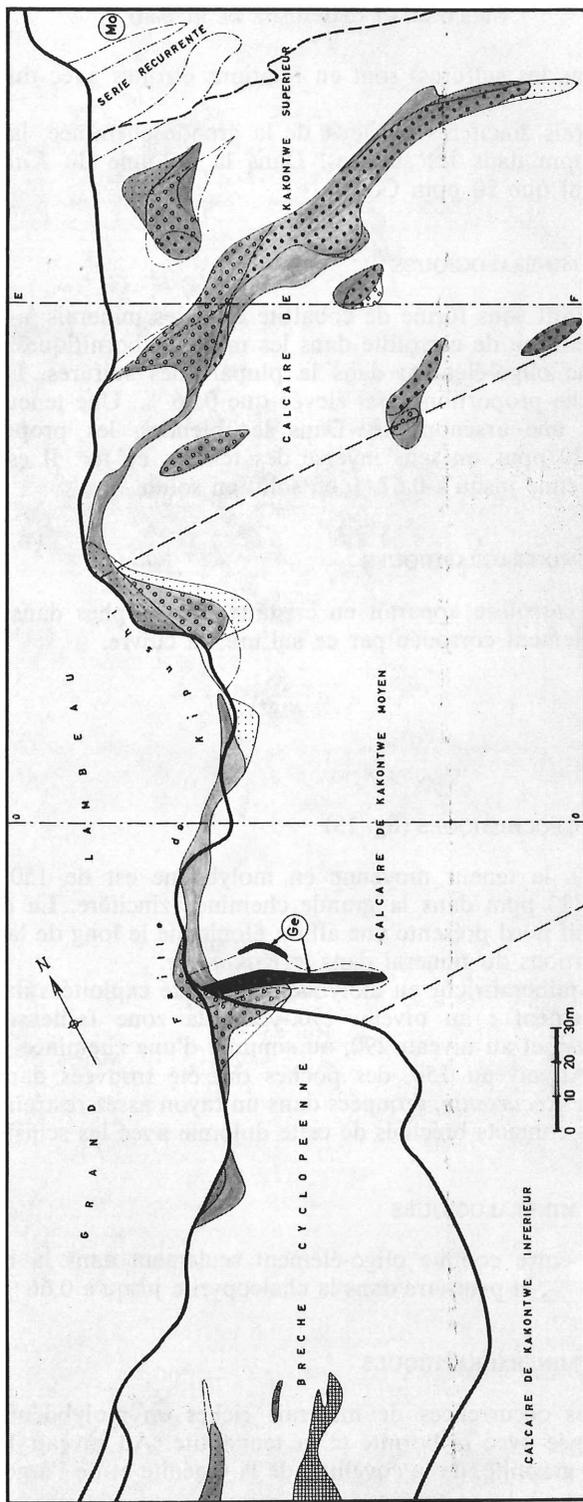


FIG. 15. — Niveau 750. Répartition Zn—Pb—Cu.

Mercure

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

Des teneurs en Hg de l'ordre de 0,04 % ont été observées dans les blends de provenance indéterminée. Une série de blends à teneurs décroissantes en fer a donné des teneurs erratiques en Hg variant entre 30 et 135 ppm.

Des traces de mercure, inférieures à 10 ppm ont été observées dans l'analyse spectrographique de dolomies du *Kakontwe moyen* (au niveau 700).

Argent

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 19, 20)

Dans la zone d'oxydation superficielle du massif nord on a observé à la base, une concentration de l'argent, dont la proportion par pour cent de cuivre atteint 24 ppm, alors qu'elle n'est que de la moitié dans les niveaux proches de la surface. Dans la zone sulfurée, la teneur en Ag oscille entre 11 et 24 ppm par pour cent de cuivre, avec un maximum de 24 ppm au niveau 290 et de 16 ppm au niveau 850.

Dans la grande cheminée zincifère, la teneur par pour cent de cuivre est de 16 ppm aux niveaux 550 et 650. Dans la *Série Récurrente*, cette teneur est de 25 ppm au niveau 750 et descend à 3,5 ppm au niveau 850. La variation des teneurs en argent ne s'explique pas entièrement par les variations minéralogiques du cuivre.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

L'argent apparaît sous sa forme native dans la zone d'oxydation superficielle. On le rencontre en placages dans les masses de chalcocite de céméntation. La stromeyerite est le seul sulfure spécifiquement argentifère reconnu dans le gisement.

C'est la bornite et la tennantite qui sont les porteuses d'argent dans le minerai sulfuré primaire. La bornite peut en contenir 2 640 ppm en solution solide, et la tennantite 3 250 ppm. Viennent ensuite la galène avec 210 ppm, la chalcopyrite avec 160 ppm, la pyrite avec 55 ppm et l'arsénopyrite avec 5 ppm. Il est à remarquer que les bornites qui apparaissent nettement comme étant dues à la céméntation de la chalcopyrite, ne sont pas argentifères.

L'argent entre aussi comme oligo-élément dans la bétéchtinite $\text{Cu}_{20}\text{FePb}_2\text{S}_{15}$, dont un échantillon a donné 1,5 % Ag.

OBSERVATIONS MINÉRAGRAPHIQUES

La stromeyerite se rencontre dans la bornite ou en association avec elle, dans du minerai qui contient aussi de la chalcocite.

Germanium

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES (fig. 15)

Dans les niveaux inférieurs du massif nord et de la *Série Récurrente*, les teneurs moyennes des sulfures en germanium varient peu : 30 à 80 ppm. Elles sont de 40 à 50 ppm dans la grande cheminée zincifère.

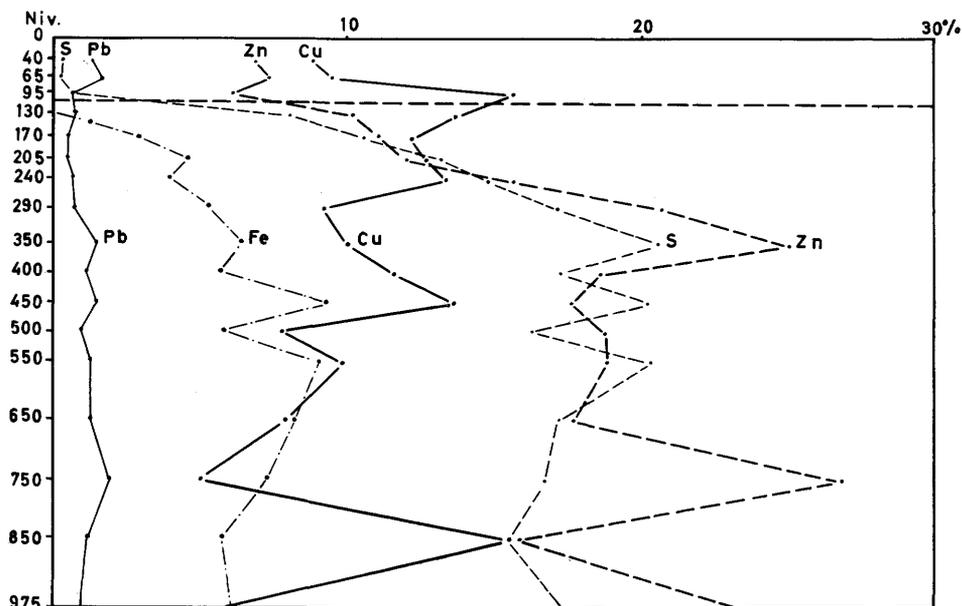


FIG. 16. — Variations de la composition du minerai avec la profondeur.

Toutefois des concentrations importantes de germanium sous forme de reniérîte ont été reconnues pour la première fois dans les niveaux supérieurs du gisement, entre les niveaux 275 et 400. Elles étaient localisées surtout au sommet du *Kakontwe moyen*, et le long de la bordure est du minerai mixte Zn-Cu, c'est-à-dire au mur du filon. Des concentrations moins importantes sont réparties aussi le long de la faille, toujours au droit du sommet du *Kakontwe moyen*.

Un filon à reniérîte et briartite a aussi été repéré entre les niveaux 725 et 775, à la jonction de deux indentations, l'une zincifère et l'autre cuprifère, émanant de la faille de Kipushi au niveau de la base du *Kakontwe moyen*.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

Les minéraux les plus riches en Ge reconnus jusqu'à maintenant sont les sulfures mixtes de Cu, Fe, Zn, Ge, briartite et reniérîte, le premier contenant de 14,9 à 16,9 % Ge et le second 6,4 à 8,7 % Ge.

D'autres sulfures complexes de cuivre, fer et zinc avec germanium, moins bien caractérisés ont été observés : il s'agit d'un minéral « Y » (J. Francotte), brun, à 11,8 % Ge, et un minéral « Z » (J. Francotte), bronzé, à 11,1 % Ge. On a également identifié de la germanite.

Le germanium entre aussi comme oligo-élément dans la plupart des autres sulfures communs : 100 ppm dans la pyrite, 80 ppm dans la chalcopryrite, 85 ppm dans la bornite et la blende, 21 ppm dans l'arsénopyrite, et peut-être aussi dans la galène avec 38 ppm.

Des recherches sur la susceptibilité magnétique de la reniérîte ont montré que cette propriété est d'intensité très variable, de très faible à très élevée (jusqu'à

10. 10⁶ u.c.g.s.), suivant les individus cristallins, et que la distribution statistique est indépendante de la teneur en Fe.

OBSERVATIONS MINÉRAGRAPHIQUES

La briartite se trouve communément en inclusions arrondies de 1 à 5 microns dans les blendes massives que l'on rencontre dans le *Kakontwe moyen* le long de la faille ou dans les cheminées du mur du gisement. Ces blendes contiennent jusqu'à 750 ppm de germanium.

Dans le filon germanifère des niveaux 725 à 775, la briartite et la reniérite se présentent sous différents types d'association avec la chalcoppyrite, la bornite et la tennantite. On connaît de simples associations en mosaïque chalcoppyrite-tennantite-briartite, des inclusions de briartite dans la tennantite, et des textures de démixtion de briartite dans la chalcoppyrite, de reniérite dans la chalcoppyrite, la briartite ou la germanite, ainsi que dans le minéral « X » gallifère de M. Scheibstock (voir paragraphe suivant).

Gallium

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES

Le gallium est répandu, tant dans le minerai que dans ses épontes, en teneurs d'une quinzaine de ppm.

Les concentrations de gallium sont erratiques. Toutefois, un champ gallifère à hautes teneurs a été observé en association avec le filon germanifère des niveaux 725 à 775 (et dont il a été question dans le paragraphe du germanium). Le minerai y atteint une teneur moyenne de 0,25 % (avec 0,7 % de germanium).

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

La gallite CuGaS_2 est le sulfure gallifère le plus important qui ait été découvert dans le gisement de Kipushi. Il existe un autre sulfure complexe de cuivre et fer, avec 13 % Ga, gris violet (minéral « X » de M. Scheibstock). Les deux minéraux figurent en association étroite avec des sulfures germanifères.

Le gallium entre dans la composition de la briartite avec des teneurs variant entre 0 et 3,5 %. Par contre, il est rare dans la reniérite (exceptionnellement 0,54 %).

Dans la zone gallifère citée ci-dessous, le gallium entre dans la composition de la chalcoppyrite jusqu'à concurrence de 0,5 % au moins. Les chalcoppyrites gallifères ont une teinte rougeâtre en section polie. Le gallium se sépare du réseau de la chalcoppyrite sous une phase de démixtion dont la composition est à l'étude. Dans la même zone gallifère, les blendes peuvent contenir 0,2 % Ga. Le gallium entre aussi comme oligo-élément dans la bornite, avec 80 ppm et la pyrite avec 40 ppm.

OBSERVATIONS MINÉRAGRAPHIQUES

La gallite se rencontre en texture de démixtion dans la blende, avec ou sans démixtion simultanée de chalcoppyrite. On a estimé que la démixtion de gallite et de chalcoppyrite dans la blende indiquerait que la température de formation du sulfure complexe de Zn, Cu et Ga serait supérieure à 550 °C.

On trouve aussi la gallite en démixtion lamellaire dans la chalcopryrite, dans laquelle il peut y avoir démixtion simultanée de reniérîte. Enfin on connaît des inclusions lamellaires ou granulaires de gallite dans la reniérîte.

Le minéral « X » de M. Scheibstock apparaît en démixtion lamellaire dans de la chalcopryrite, dans laquelle il y a aussi démixtion lamellaire de gallite.

Bismuth

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES

La teneur moyenne en bismuth dans le massif nord s'élève à 20 ppm (au niveau 550). Elle est plus élevée dans la grande cheminée, avec 100 ppm.

Dans le massif nord, les concentrations les plus élevées (un peu plus de 100 ppm) sont nettement liées aux zones filoniennes arsénifères.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

Plusieurs sulfures bismuthifères ont été identifiés dans du minerai riche en chalcopryrite et arsénopyrite au niveau 575. Il s'agit surtout de la cosalite $Pb_2Bi_2S_5$, de la bismuthinite Bi_2S_3 , du bismuth natif et accessoirement de la wittichenite Cu_3BiS_3 , de l'emplectite $CuBiS_2$ et de l'aikinite $PbCuBiS_3$.

Le bismuth entre comme oligo-élément dans la tennantite, avec 160 ppm, la blende avec 84 ppm, et la galène, avec 9 ppm.

Sélénium

Le minerai de Kipushi est très peu sélénifère. Le massif nord contient, au niveau 550, une moyenne de 4 ppm, et la cheminée zincifère 15 ppm. Dans le massif nord, les concentrations les plus élevées ont une allure filonienne.

La pyrite peut contenir 50 ppm de sélénium, et la chalcopryrite 26 ppm.

Rhénium

Le rhénium existe dans le minerai à molybdénite en teneurs anormalement élevées, atteignant 3 300 ppm. Des analyses à la microsonde électronique ont localisé des teneurs de 1,67 % pour 33,3 % de Mo dans du minerai provenant du niveau 190. On soupçonne l'existence d'un minéral spécifiquement rhénifère avec plusieurs dizaines de % de rhénium.

Le rhénium entre comme oligo-élément dans la pyrite avec 6 ppm.

Tungstène

Le tungstène n'a été signalé qu'occasionnellement. Il apparaît comme oligo-élément dans la germanite.

L'existence de tungsténite WS_2 a été mise en évidence dans de la chalcocite massive provenant du niveau 280, sous forme de démixtion lamellaire réticulaire.

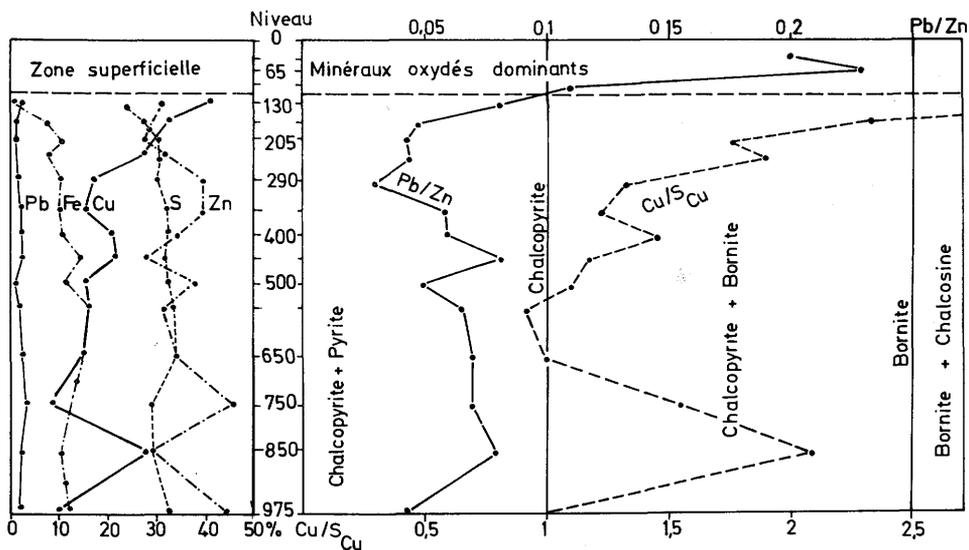


FIG. 17

FIG. 18

FIG. 17. — Variation de la composition moyenne des sulfures avec la profondeur.

FIG. 18. — Variation des caractéristiques géochimiques de la minéralisation avec la profondeur.

La présence de tungstène a également été observée à l'analyse spectrographique d'un minerai à molybdénite du niveau 190.

Nickel

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES

Le nickel n'est pas un élément significatif dans le minerai de Kipushi. Les teneurs sont généralement inférieures à 50 ppm tant dans le minerai que dans ses épontes. Une teneur exceptionnelle de 330 ppm a été obtenue dans une poche arsénifère (au niveau 550).

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

On a exceptionnellement reconnu de la bravoïte (Ni, Fe) S₂.

Le nickel entre comme oligo-élément dans plusieurs sulfures, dont la carrollite. Les teneurs maximales suivantes ont été obtenues dans les minéraux communs : 180 ppm dans une blende cuprifère verdâtre, 120 ppm dans la pyrite, 100 ppm dans la bornite, 35 ppm dans la tennantite, 32 ppm dans l'arsénopyrite.

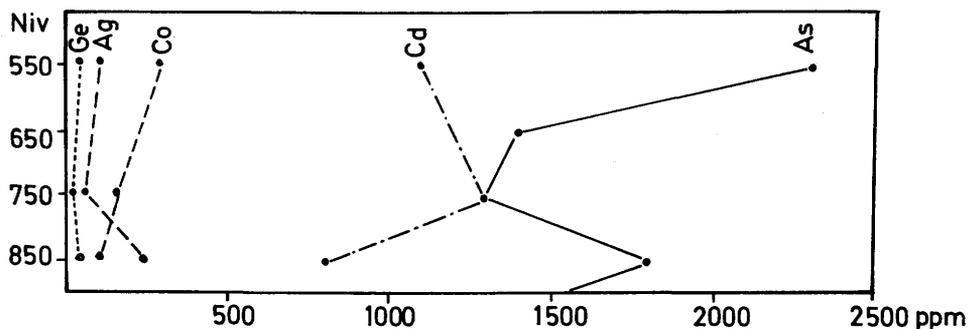


FIG. 19. — Variations de la teneur du minerai du massif nord en oligo-éléments.

Etain

L'étain n'a été décelé par l'analyse spectrographique qu'à l'état de traces dans certaines pyrites, chalcopyrites et blendes.

Dans un reniérîte on a pu doser 0,16 % d'étain, et 0,5 % dans une briartite.

Antimoine

L'antimoine est rare. Une tennantite a donné 0,1 %, une galène 58 ppm et le minerai à molybdénite 0,6 % Sb.

Vanadium

Quoique le vanadium ait été observé sous forme de vanadinite et de cupro-desclozite dans la zone d'oxydation superficielle, il n'est signalé qu'à l'état de traces dans les analyses spectrographiques des sulfures communs. Il est inférieur à 10 ppm dans les dolomies encaissant le minerai.

Dans le filon germanifère des niveaux 725 et 775, un sulfure complexe de cuivre, germanium et zinc contenant 4 % V a été identifié (minéral « Y » de M. Scheibstock).

Tellure

La présence de tellure n'a été identifiée qu'une fois sous la forme de tétradymite $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$.

Uranium

Quoique l'on ait signalé la présence d'autunite dans la zone d'oxydation superficielle, aucune radioactivité n'a été observée dans les minerais sulfurés.

VII. GÉOCHIMIE DES ÉLÉMENTS CONTENUS DANS LES FORMATIONS LITHOLOGIQUES ENCAISSANT LE FILON

Magnésium

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES

L'assise de *Kakontwe*, telle qu'elle est généralement connue ailleurs qu'à Kipushi, est constituée pour la plus grande part de calcaires. A Kipushi l'assise est dolomitisée jusqu'à une distance d'au moins 200 m de la faille. Le degré de dolomitisation varie de banc à banc, sans d'ailleurs qu'il y ait un rapport géométrique étroit avec les massifs de minerais. Toutefois, la métasomatose magnésienne est plus poussée dans le *Kakontwe supérieur* où la pénétration de la minéralisation est plus profonde, que dans le *Kakontwe moyen*.

C'est ainsi que dans le *Kakontwe supérieur* le rapport MgO/CaO moléculaire varie de 0,93 à 1,18, les valeurs les plus élevées se trouvant dans les bancs compris entre les grandes indentations de minerai zincifère. Dans le *Kakontwe moyen* l'indice de dolomitisation varie entre 0,83 et 0,95 pour les dolomies situées à une même distance de la faille.

Dans les dolomies de la *Série Récurrente*, le rapport moléculaire MgO/CaO, assez constant pour tous les bancs, est de 1,05 % environ.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

A l'intérieur et aux abords des minerais sulfurés, on observe la présence de muscovite, de phlogopite et de chlorite de la variété clinochlore. Une certaine zonalité dans la distribution des phyllites magnésiennes apparaît dans les schistes de la *Série Récurrente*. Quand ils ne sont pas minéralisés, les bancs de schistes proches de l'assise de *Kakontwe* sont plus dolomitiques et plus micacés que ceux qui sont plus proches du sommet de l'assise de la *Série Récurrente*. Par contre ces derniers sont plus chloriteux et plus quartzeux. Les compositions extrêmes I et II données au premier chapitre illustrent ces constatations. Une certaine proportion des micas des bancs de schistes inférieurs est constituée de phlogopite. Le talc se développe d'une part dans la brèche dolomitique du massif cataclastique qui flanque le gisement à l'ouest, et d'autre part dans les dolomies de la *Série Récurrente* à une centaine de mètres de la zone minéralisée. Il n'y a pas de talc dans le *Kakontwe*. La talcification paraît donc en auréole du gisement.

On note aussi que, dans le *grand lambeau* de schistes gréseux dolomitiques, la phlogopite ne se développe qu'au voisinage du chenal minéralisateur.

De la montmorillonitisation a été observée localement dans les schistes de la *Série Récurrente* au voisinage du chenal minéralisateur, tant dans les formations en place que dans la brèche du massif cataclastique du toit du gisement.

OBSERVATIONS TEXTURALES

Les dolomies du *Kakontwe* sont en général mésocristallines, et la cristallinité n'a pas de relation apparente avec la minéralisation. Toutefois, un processus de recrystallisation se constate dans deux circonstances particulières : dans les man-

chons pyriteux des corps zincifères, et aux abords des brèches cyclopéennes du sud du gisement.

Les manchons pyriteux des massifs de blende sont en effet constitués d'une brèche de la dolomie encaissante cimentée par de la dolomite en cristaux de plusieurs millimètres. Aux abords des *brèches cyclopéennes*, les dolomies sont également microbréchiformes, les éléments microcristallins étant cimentés par de la dolomite à texture fibroradiée. Ces restructurations de la dolomie encaissante doivent sans doute être interprétées dans l'un et l'autre cas comme l'effet d'une dissolution partielle.

Silicium

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES

Dans le *Kakontwe*, la silicification quartzreuse est subordonnée en importance à la dolomitisation. Comme pour celle-ci, le degré de silicification varie avec les bancs, entre 3 et 50 %, avec une moyenne de 20 % dans le *Kakontwe supérieur*, et entre 1 et 10 % dans le *Kakontwe moyen*. Dans les dolomies de la *Série Récurrente*, la teneur en quartz varie de 3 à 20 %.

Rappelons que la silicatisation talqueuse n'affecte les formations dolomitiques qu'en auréole du gisement, à l'exception toutefois du *Kakontwe* qui est dépourvu de talc.

OBSERVATIONS TEXTURALES

Le quartz est en général disséminé dans la roche dolomitique ainsi que dans les filonnets dolomitiques qui la recoupe. Dans le *Kakontwe supérieur*, existent des laies et des lentilles cherteuses noires alignées suivant la stratification. Ces éléments siliceux, quartz et cherts, subsistent dans le minerai massif.

Rappelons ce qui a été dit dans le paragraphe de l'arsenic, à savoir que le quartz paraît avoir protégé les cristaux d'arsénopyrite de la corrosion par les autres sulfures.

Carbone

Le carbone amorphe est répandu comme pigment dans les formations supérieures du *Kakontwe*, et moins abondamment dans le *Kakontwe moyen*. Il imprègne

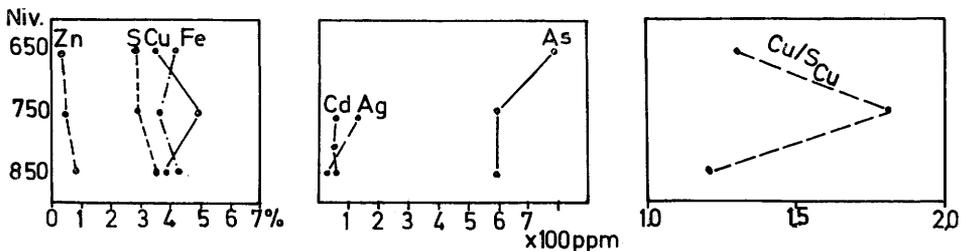


FIG. 20. — Variations des caractéristiques de la minéralisation dans la série récurrente.

les éléments de schistes et grès schisteux contenus dans les *brèches cyclopéennes*, et s'est également diffusé dans les dolomies en place aux abords de ces brèches, en formant une auréole autour de celles-ci.

Dans les minerais massifs de toutes compositions, le carbone se trouve sous forme d'inclusions de shungite, qui ont généralement subi une fragmentation, avant d'être cimentées par les sulfures. En sections polies, certains de ces fragments paraissent amorphes, et d'autres présentent des zones d'extinction moutonnées ou ondulées.

Le spectre de diffraction X de la shungite de Kipushi rappelle celui du graphite.

Fer

Dans le *Kakontwe* le fer carbonaté se présente en teneur assez constante de 0,18 %.

Un fait intéressant est l'apparition de magnétite dans les schistes gréseux du lambeau des niveaux inférieurs. C'est aussi à ces niveaux que l'on voit apparaître des associations minérales, bornite, sulfures germanifères, molybdénites, qui sont absentes aux niveaux immédiatement supérieurs.

Manganèse

Dans le massif nord, au niveau 550, le manganèse a une teneur moyenne de 0,03 % et est trois fois moins abondant que dans la dolomie encaissante où les teneurs atteignent 0,1 %.

Des teneurs de 0,1 % et plus ont été obtenues dans le minerai zincifère pyriteux de la grande cheminée.

Eléments alcalins

OBSERVATIONS GÉOCHIMIQUES

A une centaine de mètres de la faille, les dolomies du *Kakontwe moyen* contiennent du sodium en teneur assez constante de 360 ppm.

OBSERVATIONS MINÉRALOGIQUES

Des plagioclases sodo-calciques de néoformation apparaissent, avec de la phlogopite dans les schistes gréseux du *grand lambeau* ainsi que dans la *brèche cyclopéenne*, dans les parages du chenal minéralisateur. On en observe aussi dans les dolomies et les schistes de la *Série Récurrente*.

Baryum

La barytine n'a été que très rarement observée. La seule occurrence reconnue se trouve dans la *brèche cyclopéenne* du sud du gisement au niveau 800.

L'analyse spectrographique du *Kakontwe* dénonce la présence de baryum en traces.

Strontium

Des teneurs de 400 à 500 ppm ont été relevées dans le *Kakontwe moyen*.

Bore

La tourmaline de néoformation figure en quantité mineure dans toutes les formations schisteuses, et ne joue aucun rôle significatif.

Titanium

Le titane a été relevé en traces dans l'analyse spectrographique de la plupart des roches et minerais. Il ne paraît pas avoir de rôle significatif.

Phosphore

Des teneurs de l'ordre de 0,1 % P_2O_5 ont été relevées dans les formations de la zone failleuse, et de l'apatite a été identifiée. Rappelons à ce propos que de la turquoise a été observée dans les terres de recouvrement.

Fluor

La fluorite a été observée dans le *Kakontwe* du mur du filon au niveau 170 et au niveau 850. Il est probable que l'on puisse la rencontrer quelle que soit la profondeur.

Chlore

Des cubes de NaCl ont été observés dans des inclusions fluides du quartz.

VIII. INTERPRÉTATION MÉTALLOGÉNIQUE

Le gisement de Kipushi est particulier à deux titres, d'abord par la singularité de son environnement géologique, et ensuite par la complexité des associations minérales qui y sont représentées.

Au point de vue structural, le gisement, d'allure filonienne, paraît simple, parce qu'il est lié à un seul accident tectonique bien caractérisé ; mais l'existence de champs cataclastiques attribuables en partie à des effondrements et peut-être aussi

à des intrusions, de blocs sédimentaires recristallisés et métamorphisés, témoigne de phénomènes hydrothermaux dont la minéralisation métallifère n'est que l'un des aspects. Un effet particulier de l'hydrothermalisme doit avoir été la dissolution de formations sédimentaires carbonatées. Les observations des structures conduisent à considérer de façon plus précise que les apports métalliques ont eu lieu après, ou tout au plus pendant que la dissolution hydrothermale produisait des *brèches cyclopéennes* le long de l'accident, puisque les lambeaux de ces brèches sont eux-mêmes métallisés. Mais, le grand champ cataclastique contigu représente une phase de l'hydrothermalisme postérieure à la métallisation, puisque le *grand lambeau* formant la lèvre ouest de l'accident est un témoin du flanc de l'anticlinal avant la dislocation de celui-ci dans le champ cataclastique.

Pour reconstituer la suite des événements qui ont marqué la mise en place des sulfures métalliques, nous retenons les traits majeurs suivants de la structure et de la composition des minerais :

1. la localisation de la minéralisation la plus importante au sommet de l'assise de *Kakontwe*, mettant en évidence le chenal minéralisateur ;

2. les cheminées de blende pyriteuse qui se détachent du filon, descendent dans les dolomies du mur et se terminent en profondeur, indiquant pour ces corps minéralisés une progression descendante de la minéralisation ;

3. une certaine indépendance de la structure filonienne du minerai riche en cuivre par rapport à celle du minerai riche en zinc, indépendance qui devient surtout bien apparente dans les niveaux inférieurs du gisement ;

4. la concentration du plomb en bordure des concentrations cuprifères ;

5. la distinction entre la bornite primaire qui est argentifère et la bornite de cémentation qui ne l'est pas ;

6. les variations verticales de la richesse en bornite primaire, avec les deux maxima, le premier dans les niveaux supérieurs et le second dans les niveaux profonds ; à ces maxima sont associées les concentrations particulières du germanium et du molybdène ;

7. les équilibres géochimiques entre les minéraux zincifères et les minéraux cuprifères, marqués notamment par l'association de la blende ferrifère avec la pyrite et la chalcopirite et celle de la blende non ferrifère avec la bornite ; la première association présente une structure héritée de la dolomie de la gangue, tandis que la seconde présente une structure massive de néoformation ;

8. la zonalité tubulaire des associations minérales des sulfures de cuivre comparée à la structure filonienne des zones cuprifères riches.

Nous interprétons ces constatations de la façon suivante :

La mise en place du minerai primaire, d'origine hypogène, s'est faite en plusieurs venues successives :

I. une venue Fe, As, Zn, Pb, avec Cu, Cd, Bi, Ge, Ga subordonnés. Cette venue a comporté deux phases :

I.a : une phase précoce Fe, As, Bi, Zn (Cu, Cd, Ge, Ga), et

I.b : une phase tardive Pb.

La phase précoce a donné naissance, par gravité, aux cheminées descendantes dans la dolomie du mur du gisement ;

II. au moins deux venues cuprifères successives, dont la deuxième n'est pas montée au-dessus des niveaux inférieurs du gisement. Chacune de ces venues a comporté :

II.a : une phase précoce de chalcopryrite cobaltifère, et

II.b : une phase tardive de bornite argentifère.

La phase précoce s'est introduite à partir de la faille dans un réseau de cassures quelque peu indépendant du réseau des venues zincifères. La phase tardive est montée le long de chenaux internes quelque peu indépendants de la faille.

Les venues cuprifères ont remanié le gisement de blende-pyrite-galène en concentrant des phases minérales et en en formant de nouvelles :

— l'arsenic de l'arsénopyrite s'est refixé sous forme de tennantite ;

— le cobalt a donné naissance à la linnéite et à la cobaltite ;

— le germanium et le gallium inclus dans la blende se sont concentrés sous forme de chalcopryrite gallifère et germanifère, de briartite et finalement de reniérite et de gallite ;

— le bismuth s'est reprecipité avec la chalcopryrite de la phase II.a ;

— la galène a été repoussée en auréole de la minéralisation cuprifère ;

— la blende s'est recristallisée en présence de la bornite en blende non ferrifère, et parfois en blende cuprifère verte ;

— le cobalt de la phase cuprifère précoce s'est reprecipité avec la bornite sous forme de carrollite ;

— le plomb a formé la bétechtinite avec le cuivre de la phase bornitique tardive.

La cémentation descendante des sulfures de cuivre en chalcosine, ainsi que leur oxydation, qui s'observent sous l'ancien niveau hydrostatique du niveau 100, ont suivi sensiblement les mêmes voies préférentielles que la venue cuprifère tardive montante.

Une interprétation métallogénique différente avait été donnée par J. Francotte en 1963 pour la partie du gisement située au-dessus du niveau 700, seule connue à l'époque. Trois types d'associations minérales y étaient considérées :

1. Une phase précoce de cuivre pyriteux arsénié, avec formation locale de pyrrhotite, de sulfures de bismuth et d'énargite ;

2. Une phase de blende ferrifère et de pyrite, avec galène, tennantite, chalcopryrite subordonnées ; sulfures germanifères en traces sous forme de briartite dans la blende ;

3. Une phase tardive de cuivre argentifère, formant de la chalcopryrite, de la bornite argentifère et de la tennantite argentifère, accompagnées de blends cadmifères peu ferrifères, galène, reniérite, gallite, bétechtinite, digénite.

Toutefois, nous ne pensons pas que le bismuth caractérise une phase particulière et précoce du cuivre, attendu que l'on trouve également des teneurs relativement élevées de bismuth dans des massifs de blende dépourvus de cuivre, par exemple dans les cheminées zincifères du mur du gisement (fig. 14).

Pour finir, nous citerons aussi une interprétation métallogénique inspirée de la syngénèse et avancée par W. G. Garlick, qui voyait l'origine du minerai de Kipushi dans la précipitation syngénétique des métaux dans les schistes de la *Série Récurrente*, suivie d'une remise en mouvement et reprécipitation dans l'assise de Kakontwe. Il n'apparaît toutefois pas que la minéralisation de la *Série Récurrente* se prolonge très loin de la faille de Kipushi.

Bibliographie

- BRIART, G. (1948). — Le gisement de Kipushi. Rapport documentaire. Union Minière du Haut-Katanga.
- BRIART, L. — 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., FRANCOTTE, J., PICOT, P. et TROLY, G. (1963). — Hautes teneurs en rhénium dans une molybdénite de Kipushi. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 257, p. 3443.
- DE VOS, W. (1973). — Mineralogische en metallogenetische studie van de diepere niveaus van de Ertsafzetting te Kipushi, Zaïre. *Dept. Geol. Geogr.*, Leuven.
- DEUTZMANN, W. (1961). — Etude des minéralisations du gisement « Prince Léopold », Kipushi, Katanga. *A. r. Sc. Outre-Mer*, séance du 15 avril 1961.
- FRANCOTTE, J. (1961). — Sur la présence de gallite à Kipushi. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1961). — Etude de la paragenèse du minerai germanifère de Kipushi. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1961). — Etude de la métallogénie du gisement de Kipushi. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1961). — Contribution à l'étude des propriétés magnétiques de la reniérite. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1961). — Analyse à la microsonde électronique de gallite et de blende verte de Kipushi. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1961). — Etude d'un minerai riche en molybdénite de Kipushi. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1961). — Nouvelle occurrence de gallite à Kipushi. Vue d'ensemble sur la genèse du minerai renfermant de la gallite. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1962). — La stromeyerite et le système Ag_2S-Cu_2S . Distribution de l'argent à Kipushi. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1962). — Découverte d'un minéral germanifère nouveau à Kipushi. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1962). — Minéraux germanifères nouveaux à Kipushi. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1963). — Association du minéral germanifère « X » avec la minéralisation zincifère de Kipushi. Occurrence de bétechtinite à Kipushi (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1963). — Minéralisation du niveau 575 à M.P.L. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1963). — Occurrence de shungite au Katanga. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. (1963). — Essai d'une étude métallogénique générale à M.P.L. *Lab. Minér. et Géol. appl.*, Louvain (non publié).
- FRANCOTTE, J. et JEDWAB, J. (1963). — Traces d'organites (?) dans la shungite de Kipushi. *B.S.B.G.*, 72, p. 393.
- FRANCOTTE, J., MOREAU, J., OTTENBURGS, R. et LEVY, C. (1965). — La briartite, $Cu_2(Fe, Zn)GeS_4$, une nouvelle espèce minérale. *Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, 88, p. 432.
- LEGRAYE, M. (1931). — Quelques relations entre les sulfures du gisement « Prince Léopold ». *A.S.G.B.-P.R.C.B.*, 55, C 17.
- MASUY, G. (1938). — Etude des minerais de cuivre du gisement « Prince Léopold », Kipushi. Comité spécial du Katanga. *Annales du Service des Mines*, 9, p. 50.

- MOH, G. H. (1973). — Das Cu-W-S-System und seine Mineralien sowie ein neues Tungstenit-vorkommen in Kipushi (Katanga). *Min. Deposita*, Berlin, 8, p. 291.
- OTTENBURGS, R. — Metallogenetische en geochemische studie van het blende-erts te Kipushi (Katanga). Doktoraatsthesis, Leuven (non publié).
- SCHEIBENSTOCK, M. (1972). — Bijdrage tot de mineralogische en metallogenetische studie van het erts te Kipushi, Shaba. Geol. Inst., Kath. Univ., Leuven.
- STRUNZ, H., GEIER, B. H. und SEELINGER, E. — Gallit, CuGaS_2 , das erste selbständige Galliummineral und seine Verbreitung in den Erzen des Tsumeb- und Kipushi-Mine. *Neues Jahrbuch Miner.*, Mh. 241.
- THOREAU, J. (1928). — Le gisement « Prince Léopold ». Etude des minéralisations de profondeur. *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, 4, fasc. 3.
- VAES, J. F. (1948). — La reniérite. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 72, B 19.
- VIAENE, W. — Bepaling van het FeS-gehalte in sphalerieten van de Cu-Zn-afzetting van Kipushi (Katanga). Leuven (non publié).
- 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, 127.