

VOLCANISME ET MINÉRALISATIONS DIAGÉNÉTIQUES DANS LE GISEMENT DE L'ÉTOILE, SHABA, ZAIRE (*)

J. J. LEFEBVRE (**) et J. CAILTEUX (**) (***)

(2 planches et 5 fig. dans le texte)

RÉSUMÉ

A faible distance au nord-est de Lubumbashi, le gisement de l'Étoile correspond à une minéralisation cupro-cobaltifère liée au faisceau médian du *Roan*. La partie inférieure de ce faisceau est caractérisée par la présence de roches volcano-détritiques auxquelles s'attache une riche minéralisation en cuivre. Cette minéralisation est syngénétique-diagénétique dans les niveaux essentiellement sédimentaires (*D. Strat.*); elle est diagénétique dans les niveaux pyroclastiques (*R.A.T. grises*).

Dans le reste du faisceau, une minéralisation cupro-cobaltifère plus pauvre apparaît nettement post-diagénétique.

Ces roches subissent des transformations ultérieures dues en partie à des phénomènes hydrothermaux et au métamorphisme. L'altération météorique donne lieu, en surface, à des enrichissements considérables.

ABSTRACT

A short distance northeast of Lubumbashi lies the copper-cobalt ore body of « l'Étoile », formed by mineralisation of the central part of the *Roan*. The lower part of this sequence is characterised by the presence of volcano-detrital rocks with which rich copper mineralisation is associated. This mineralisation is syngenetic-diagenetic in the essentially sedimentary levels (« *D. Strat.* »), and diagenetic in the pyroclastic layers (« *R.A.T. grises* »).

In the remainder of the sequence, the relatively poor copper-cobalt mineralisation seems to be post-diagenetic.

These rocks have undergone subsequent modifications due, in part, to hydrothermal phenomena and to metamorphism. Meteoric alteration produces considerable enrichment at the surface.

INTRODUCTION

Le gisement de l'Étoile se situe à une douzaine de kilomètres au nord-est de Lubumbashi (fig. 1). Il correspond à une *écaille* du faisceau médian du *Roan* (*Faisceau des Mines*) (****), minéralisée en cuivre et cobalt, et appartenant à un anticlinal déversé vers le nord.

Le flanc sud de l'anticlinal chevauche le flanc nord, de telle manière que les

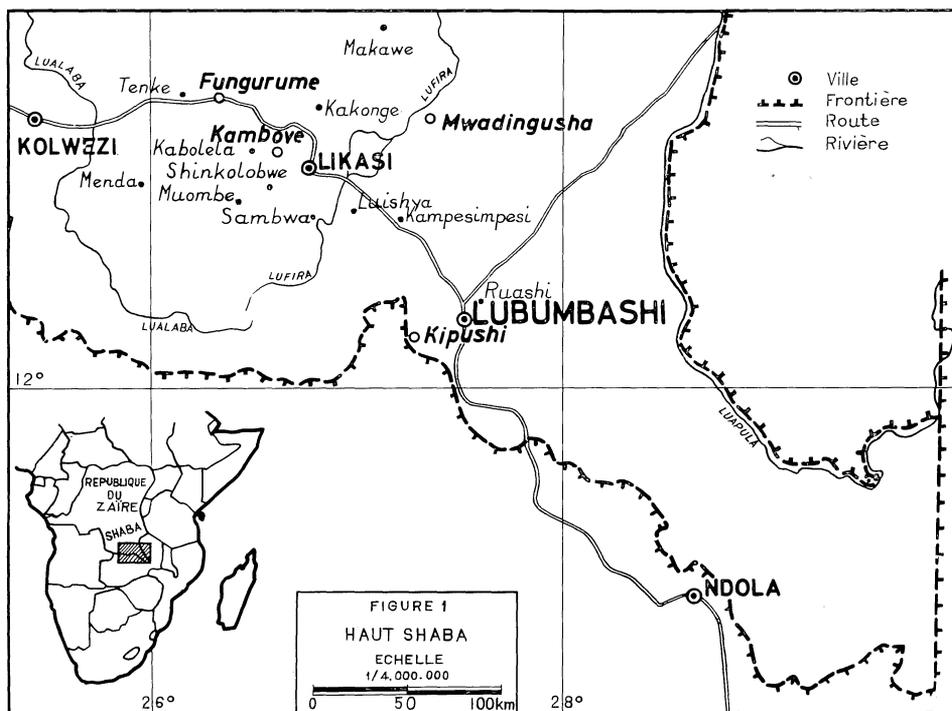
(*) Communication présentée et manuscrit déposé le 4 février 1975.

(**) Générale des carrières et mines, département géologique, Likasi, Shaba, Zaïre.

(***) Université de Liège, Laboratoire de Géologie appliquée.

(****) *La nomenclature stratigraphique utilisée dans ce travail est celle en vigueur au service géologique de la Gécamines (A. FRANÇOIS, 1973). L'unité lithostratigraphique « faisceau » utilisée au Shaba trouve son équivalent dans le terme « groupe » du système international de nomenclature.*

couches minéralisées reposent sur du *Kundelungu* supérieur par l'intermédiaire de brèches et de dolomies rapportées au faisceau inférieur du *Roan* (A. JAMOTTE, 1938; DEMESMAEKER, 1963). Des observations relatives à ce gisement ont été publiées successivement par M. F. BERTRAND, 1922; A. JAMOTTE, 1938; G. BRIART, 1945 et R. OOSTERBOSCH, 1953.



L'étude qui fait l'objet de cette note s'attache à des échantillons appartenant notamment à des sondages anciens. Elle a été motivée par l'observation de roches d'origine volcanique dans un sondage pour eau, foré tout récemment (fig. 2).

STRATIGRAPHIE ET MINÉRALISATIONS

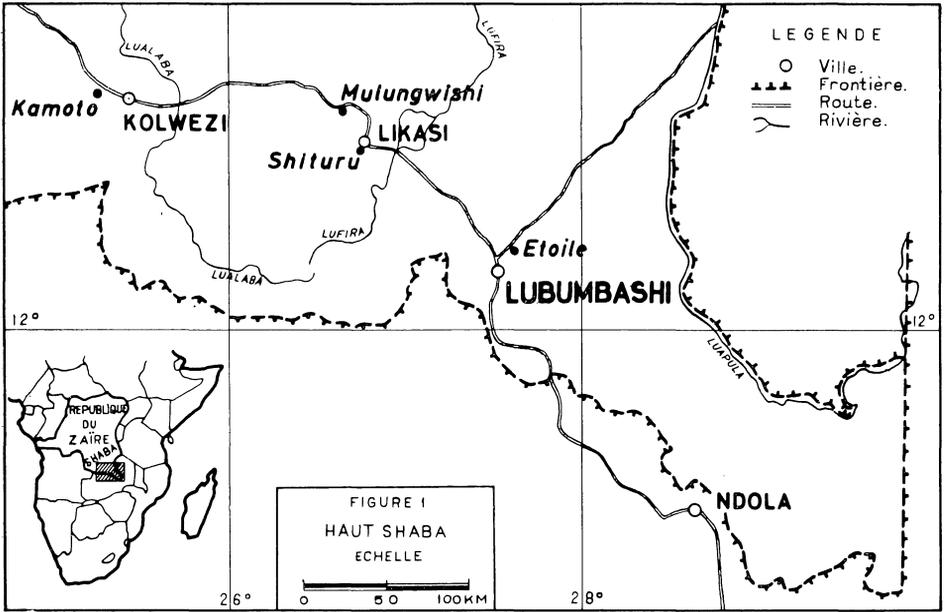
C.M.N.

Le *C.M.N.* de l'Étoile n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie. D'une manière générale, il s'agit de dolomies impures en alternance avec des pélites dolomitiques grésio-feldspathiques. La partie supérieure du *C.M.N.* comporte surtout des dolomies magnésiennes, claires, très talqueuses. Le *C.M.N.* inférieur est carboné et abondamment micacé; les dolomies y sont finement varvées en une alternance de niveaux clairs, essentiellement dolomitiques, et sombres à quartz et biotite détritiques. Ce faciès se retrouve, semblable, au moins jusque dans la partie médiane du district cuprifère.

Ces roches contiennent des minéraux diagénétiques relativement fréquents. Ce sont la tourmaline achroïque, surtout dans les dolomies, le microcline dans les

E R R A T A

Dans le fascicule 1 du tome 98, ont été interverties la figure 1 paraissant à la page 48 (article de J. J. Lefebvre : « Les roches ignées dans le Katangien du Shaba, Zaïre. Le district du cuivre »), et la figure 1 paraissant à la page 178 (article de J. J. Lefebvre et J. Cailteux : « Volcanisme et minéralisations diagénétiques dans le gisement de l'Étoile. Shaba, Zaïre »).



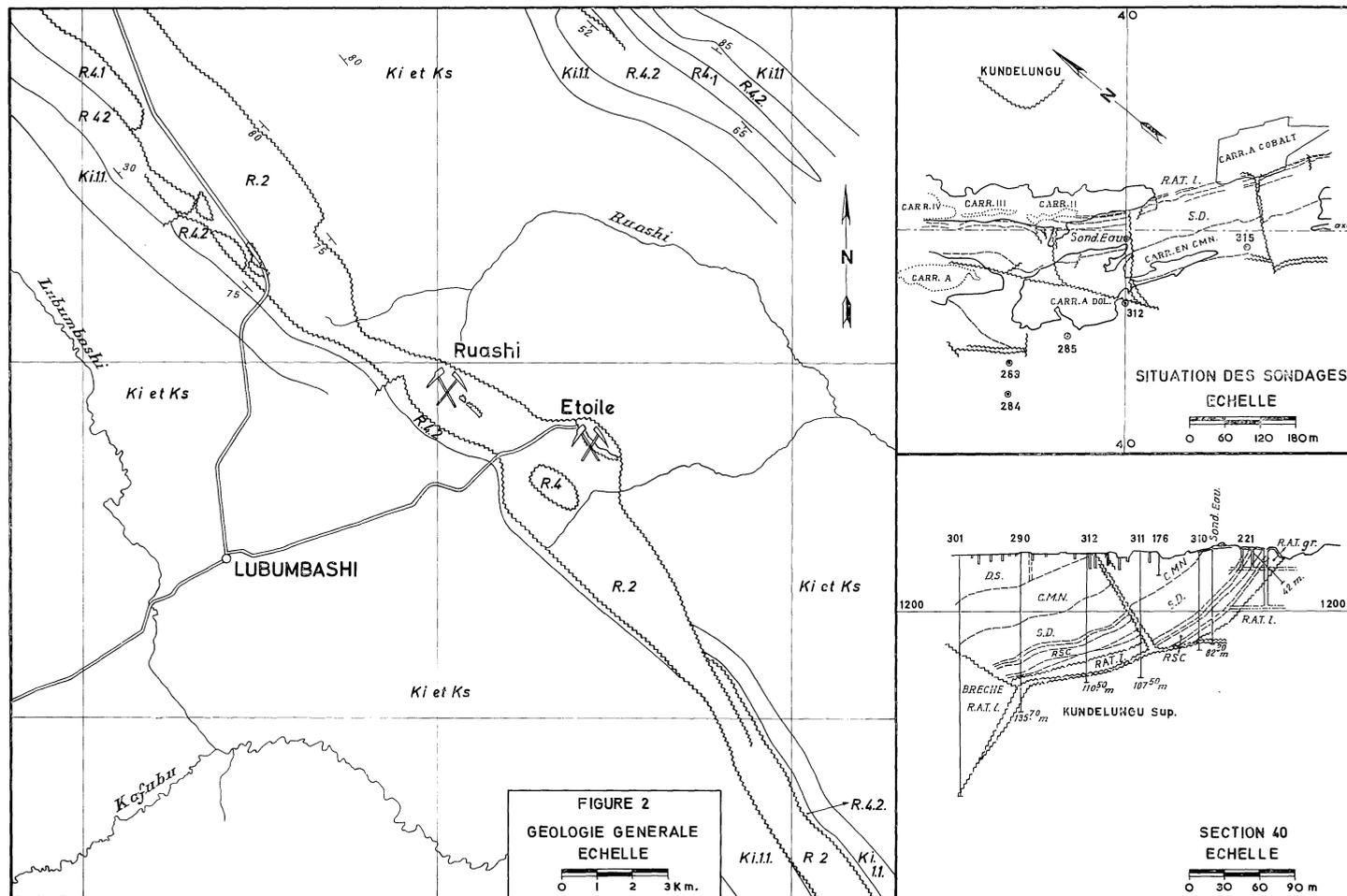


FIGURE 2
GEOLOGIE GENERALE
ECHELLE
0 1 2 3 Km.

horizons plus détritiques, et le quartz, localement de recristallisation, formant des lits très fins, remarquablement continus, liés, semble-t-il, aux niveaux sombres détritiques (photo 1).

S.D.S.

Par analogie avec les gisements à l'ouest du Shaba, le contact *C.M.N.-S.D.* a été placé au sommet d'un horizon périto-gréseux très carboné (fig. 3). La répartition relative des principaux minéraux de la gangue a été étudiée par diffractométrie semi-quantitative de rayons X dans le sondage 284 de l'Étoile. Les courbes présentent plusieurs ruptures de continuité dont l'une, très importante, au sommet de cet horizon carboné dont des nodules blanchâtres accentuent l'aspect caractéristique. Les diagrammes font apparaître le caractère dolomitique constant du *C.M.N.* Les *S.D.*, par contre, consistent en une alternance de dolomies plus ou moins pures et de pélites grésio-feldspathiques, bien micacées et peu carbonatées. Les zones à microclines s'observent également dans les *S.D.S.*, mais y sont beaucoup mieux marquées.

La composante détritique des *S.D.S.* comprend surtout du quartz, souvent écailleux et parfois même en aiguilles calcédonieuses, d'origine vraisemblablement volcanique (photo 2). On trouve en outre un feldspath potassique (microcline), peu arrondi, un mica résiduel à faible pléochroïsme brunâtre (biotite ?), de la muscovite, et enfin de l'ilménite en abondance. Remarquons cependant que la muscovite prend localement un aspect néogène, remplaçant, semble-t-il, la biotite.

Le quartz présente de fréquentes auréoles d'accroissement diagénétique. De même le microcline apparaît en auréoles autour des feldspaths potassiques détritiques et également autour de certains quartz ; parfois, il est entièrement authigène.

L'ilménite se transforme en leucoxène et leucoxène-rutile, fréquemment associés à de la pyrite framboïdale (photo 3). Ces dernières observations se rapprochent de celles faites à Musoshi (J. CAILTEUX, 1973 ; J. CAILTEUX et F. DIMANCHE, 1973).

Des lits épais de quelques dizaines de centimètres, remarquablement concordants, se mettent en place à plusieurs niveaux dans les *S.D.S.* Leur structure est chertreuse et leur minéralogie surtout quartzreuse, avec une abondante recristallisation idiomorphe de pyrite. Quelques fois ils sont feldspathiques, et le microcline prend alors le pas sur le quartz et la pyrite. Une faible quantité de tourmaline, de mica et de feldspath potassique détritique s'y observe encore.

Ces interruptions dans la sédimentation des *S.D.S.* sont habituelles dans la partie centrale de l'arc cuprifère shabien. On les retrouve, semblables, à la base des pélites grésio-feldspathiques et dolomitiques du Mwashya supérieur de Mulungwishu ; mais là, il s'agit de cendres volcaniques acides transformées par la diagenèse (J. J. LEFEBVRE, 1974).

B.O.M.Z.

Dans les diagrammes du sondage 284, le passage des *S.D.S.* au *B.O.M.Z.* se marque par l'apparition d'une grande quantité de dolomite associée à du quartz en trace, et surtout par la disparition du microcline que compensent partiellement des traces d'albite.

Sous le microscope, ce niveau se présente sous la forme d'une dolomie mal stratifiée, bien recristallisée. La dolomie y est subidiomorphe et montre souvent des traces de croissances successives, marquées par des alignements d'opaques. Un peu de quartz riche en inclusions dolomitiques et associé parfois à du rutile en grandes et fines aiguilles, accompagne cette recristallisation. Dans de fins niveaux plus pélitiques, bien carbonés, le quartz écailleux, détritique, s'entoure d'auréoles d'ac-

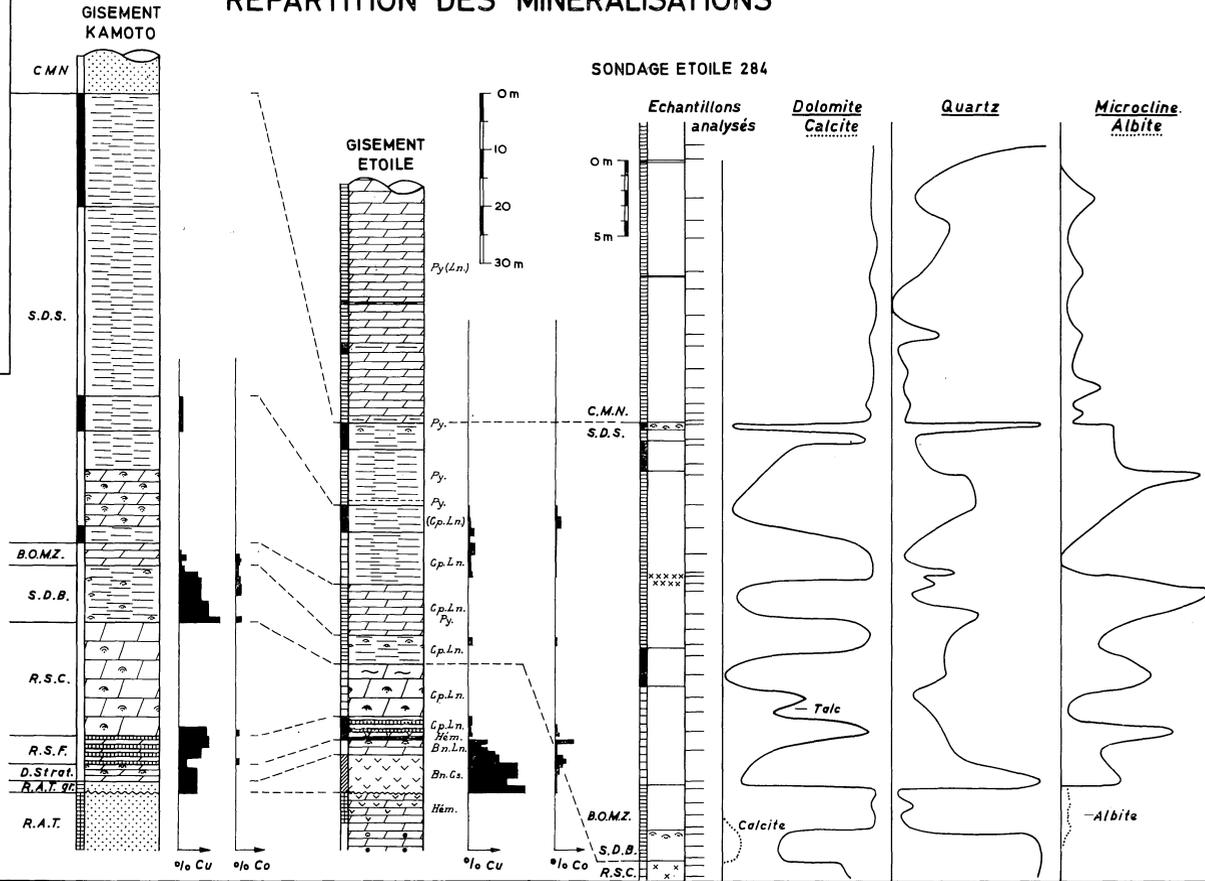
LEGENDE

- Dolomies
- Pelites grés-dol.
- Grès
- R. feuilletées quartz.
- Roches volcaniques
- Horizons ferrugineux.

- Nodules
- Stromatolites
- Oolites
- Niveau chertoux.
- Dolomite grossière.

- ROCHE**
- noire
 - gris sombre
 - grise
 - claire
 - verte
 - rouge

**FIGURE 3. STRATIGRAPHIE.
REPARTITION DES MINÉRALISATIONS**



croissement diagénétique nettes. De même, lorsque le phénomène n'est pas étouffé par le développement de la pyrite, de fines paillettes de mica blanc servent de noyau à la recristallisation plus grossière et parfaitement idiomorphe d'un mica apparemment semblable.

Dans certains sondages, l'abondance de la pyrite est telle que la minéralisation s'apparente à celle des amas pyriteux (photo 4). Cette pyrite subidiomorphe semble avoir recristallisé à partir de framboïdes et contient de très fines inclusions de chalcoppyrite et de galène (photo 5).

S.D.B.

Ce sont des roches dolomitiques, à grains moyens et stratification fine, irrégulière, soulignée de matière carbonée. Elles sont riches en micas blancs détritiques et à croissance désordonnée. Elles ne sont pas feldspatiques. Le quartz, vraisemblablement diagénétique, est riche en inclusions dolomitiques; il est régulièrement disséminé et assez abondant. L'ilménite détritique est fréquente et tend à se transformer en leucoxène-rutile.

Dans l'ensemble de l'horizon, et le plus souvent à son sommet, on observe de nombreux nodules, généralement inférieurs au centimètre. Leur contour est irrégulier et parfois même déchiqueté. Par leur croissance, ils font ployer la stratification tant au-dessus qu'au-dessous d'eux. Leur contenu minéralogique est simple; il est formé par la recristallisation grossière et xénomorphe de dolomite et de quartz, fréquemment associés sur le pourtour interne à de la chalcoppyrite et de la linnéite, imbriquées et poecilitiques.

A l'Étoile, les *S.D.B.* sont d'ordinaire minéralisés en pyrite, très finement disséminée dans la masse. Dans certains sondages, où les nodules s'enrichissent en l'association chalcoppyrite-linnéite, un peu de chalcoppyrite enrobe localement la pyrite de la masse. Elle s'entoure généralement d'une fine auréole de sulfures supergènes de cuivre (covellines et digénite) couronnée d'un fin encroutement de sulfure de cobalt (photo 6).

Dans les fines veinules dolomitiques et un peu quartzzeuses de la roche, on observe à nouveau l'association chalcoppyrite-linnéite. Lorsque ces filonnets recoupent un lit plus dolomitique, où quartz et pyrite ont recristallisé plus grossièrement, on retrouve cette chalcoppyrite associée à de la linnéite idiomorphe (photo 7), les deux englobant fréquemment des grains de pyrite (photo 8).

Enfin, dans les cas favorables, les nodules et poches de recristallisation sont bien minéralisés en cuivre et cobalt. Dans la masse, on remarque alors une abondance de petites plages de chalcoppyrite, le plus souvent polyframboïdales, résultant sans doute du remplacement de la pyrite. On observe également des plages plus importantes, d'allure poecilitique, dans lesquelles on trouve fréquemment des exsolutions de bornite. Même dans ces conditions, la minéralisation reste faible et n'atteint pas le pourcent en cuivre.

R.S.C.

Ensemble de dolomies massives, grises, grossièrement recristallisées, à fréquents macrocristaux noirs de dolomite. Le corps de ces dolomies est le plus souvent formé d'un bioherme stromatolitique à cryptozoon où les interstices sont à remplissage pélitique, richement carboné. En plus de la recristallisation anarchique de la dolomite, la quartzification, associée à de belles cristallisations d'apatite et de rutile, est localement à ce point intense qu'elle tend à transformer la roche en un quartzolite. Signalons encore l'existence de muscovite détritique.

La minéralisation est rare et éparse. Elle se réduit à l'association chalcopyrite-linnéite et covellines, d'un aspect totalement identique à ce qui a été décrit dans les *S.D.B.*

Sous les *R.S.C.*, les horizons inférieurs présentent des variations latérales de faciès parfois rapides. De sondage à sondage, les successions sont en outre perturbées et compliquées par la tectonique.

Le sondage pour eau (fig. 2 et 3).

Ce sondage, foré dans la partie septentrionale du gisement, est le moins affecté par des phénomènes de recristallisation postérieurs à la diagenèse. Il est également le plus récent et le plus complet au point de vue échantillonnage. Pour ces raisons, il servira de base à l'étude stratigraphique des horizons inférieurs du Faisceau des Mines à l'Étoile.

R.S.F.

Le passage des *R.S.C.* aux horizons inférieurs se fait brutalement par l'apparition d'une stratification fine, irrégulière et un peu anastomosée. La roche est sombre, fort carbonée, semblable pétrographiquement aux *R.S.C.* par la recristallisation dolomitique et les quartzifications intenses. Elle ne s'en distingue que par sa texture. Contrairement aux *R.S.F.* du centre et de l'ouest de l'arc cuprifère shabien, ces roches contiennent une grande quantité de muscovite d'aspect détritique liée aux lits carbonés. Il s'y trouve du quartz et du matériel titanifère de même origine. La diagenèse se marque par la présence d'apatite grossière et idiomorphe, fréquente, et de la tourmaline incolore en très petits cristaux. Dans la masse quartzreuse s'ouvrent sporadiquement des poches à remplissage phylliteux. Il s'agit surtout de cryptocristaux d'un mica blanc qui s'apparente à l'illite et d'un peu de montmorillonite. Notons encore l'existence de quelques grains idiomorphes de monazite et d'aiguilles de rutile.

La minéralisation qui s'attache à ces niveaux est identique et aussi rare que celle observée dans les *R.S.C.* Cependant, sur les vingt derniers centimètres qui forment la base de cet ensemble, une chalcosine abondante apparaît brutalement, avec un faciès supergène. Elle contient localement de la digénite au cœur et, d'une manière générale, elle paraît hétérogène (djurleïte?). On l'observe fréquemment dans les fissures et les craquelures de la roche. On y remarque encore, en inclusion, de petits grains de sulfure de cobalt. La goethite est également très abondante, à petites plages résiduelles de chalcopyrite.

Cette partie inférieure des *R.S.F.*, riche en cuivre, est très différente du reste de l'horizon. Elle est encore très sombre, mais plus massive, et elle montre une texture nettement et finement oolitique. En lame mince, des fantômes de petites « boulettes » à recristallisation quartzreuse et calcédonieuse se détachent d'un ciment cherteux et calcédonieux (photo 9). La structure résiduelle de ces éléments fait curieusement penser à de la dévitrification. Ici encore, des poches phylliteuses, finement cristallisées et verdâtres, se forment tant dans les « boulettes » que dans les interstices.

Le passage aux *D. Strat.* se fait par l'intermédiaire de cinquante centimètres d'une roche rubanée presque essentiellement composée d'hématite en partie transformée en goethite. Au microscope, on voit les oxydes de fer envahir la roche en filets parfois finement anastomosés, enserrés dans une cristallisation finement cherteuse ou calcédonieuse. Ce fond siliceux est riche en petites paillettes verdâtres de chlorite et en amas granulaires de leucoxène. On observe encore de rares paillettes de mica blanc et de fines recristallisations de rutile, dispersées dans la masse.

D. Strat.

Dans ce sondage, les *D. Strat.* sont anormalement peu épaisses. On compte au plus deux mètres de dolomies quartzzeuses grises et beiges largement stratifiées.

La minéralisation est presque essentiellement formée de linnéite, subidiomorphe, en fine dissémination dans les strates. Dans les joints, la linnéite est plus abondante et plus grossière et s'associe volontiers à la chalcopryrite. Tout à la base, cette dernière est mieux représentée et, dans un seul lit, elle s'accompagne d'un peu de bornite, avec laquelle elle peut former de belles figures d'exsolution.

Le passage des *D. Strat.* aux *R.A.T.* grises est progressif et se fait par l'intermédiaire de vingt centimètres de roche claire, siliceuse et massive, à texture tourmentée.

Sous le microscope, on observe une mosaïque de dolomite très fine et assez peu quartzzeuse. De grandes surfaces font tache dans cette dolomie; elles sont formées d'un matériel calcédonieux présentant des assemblages sphérolitiques complexes en partie digérés par une quartzification grossière (photo 10). Ces quartz, de grande dimension, contiennent une abondance d'inclusions de dolomite et surtout, d'apatite et de tourmaline incolore. Dans cette couche, la minéralisation consiste en taches de chalcosine à fines inclusions et léger encroutement périphérique de sulfure de cobalt.

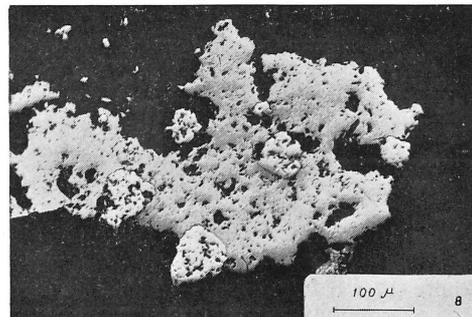
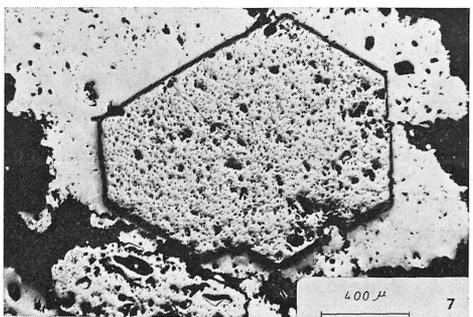
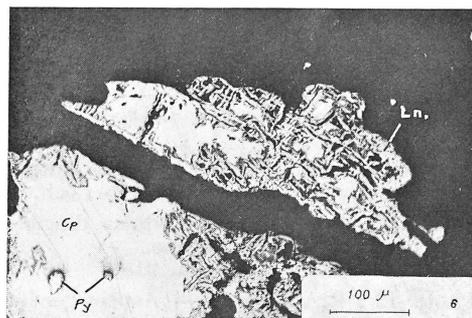
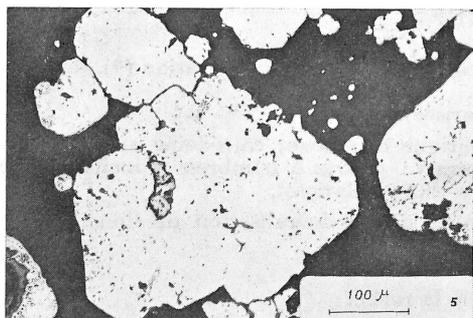
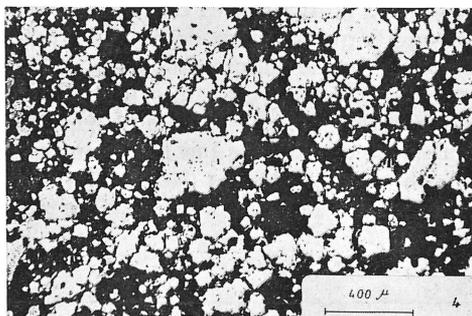
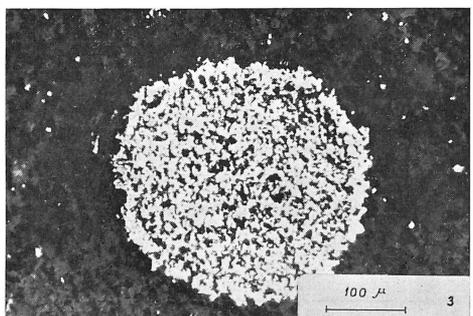
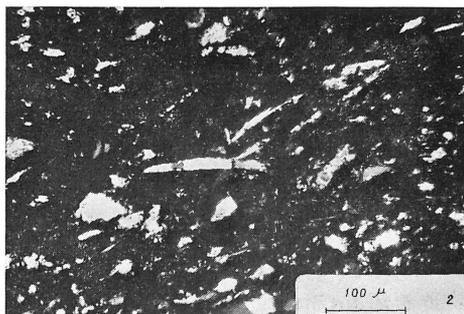
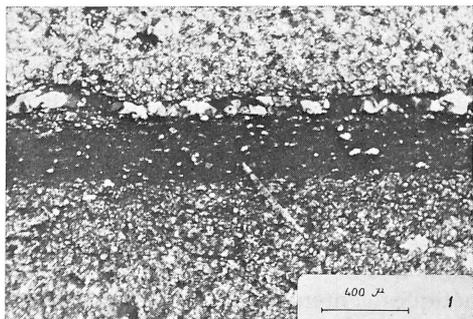
À l'est du gisement, les *D. Strat.* des sondages 312 et 315 se divisent nettement en deux horizons distincts.

— La partie supérieure formée d'environ deux mètres d'une dolomie très carbonée noire. La roche est nettement stratifiée; de gros nodules ellipsoïdaux sombres ont provoqué, par leur croissance, l'inflexion des joints de stratification. Au sein de ces nodules, la chertification est abondante, remplacée en partie par une quartzification intense liée à une recristallisation dolomitique grossière et à l'apparition de linnéite idiomorphe. Le sulfure de cobalt est criblé d'inclusions de dolomite et

PLANCHE I

- Photo 1 : C.M.N. inférieur — Roche dolomitique, à niveaux sombres plus détritiques, avec en travers une tourmaline achroïque diagénétique; lit très fin et continu de quartz.
(Sond. ET. 279; éch. 320 — lum. polarisée).
- Photo 2 : S.D.S. — Grains écailleux de quartz.
(Sond. ET. 312; éch. 86 — lum. polarisée).
- Photo 3 : S.D.S. — Grain de pyrite d'allure framboïdale.
(Sond. ET. 312; éch. 166 — lum. réfléchie).
- Photo 4 : B.O.M.Z. — Répartition en amas de la pyrite dans la roche.
(Sond. ET. 279; éch. 784 — lum. réfléchie).
- Photo 5 : B.O.M.Z. — Inclusion de galène dans la pyrite.
(Sond. ET. 279; éch. 784 — lum. réfléchie).
- Photo 6 : S.D.B. — Grains de chalcopryrite (Cp) avec pyrite (Py) résiduelle. Altération supergène de la chalcopryrite en covellines et digénite, puis recouvrement de l'ensemble par une croûte de linnéite (Ln).
(Sond. 312, éch. 259 — lum. réfléchie).
- Photo 7 : S.D.B. — Linnéite idiomorphe incluse dans la chalcopryrite.
(Sond. 312; éch. 259 — lum. réfléchie).
- Photo 8 : S.D.B. — Linnéite englobant poecilitequement des grains de pyrite.
(Sond. 312; éch. 259 — lum. réfléchie).

PLANCHE I



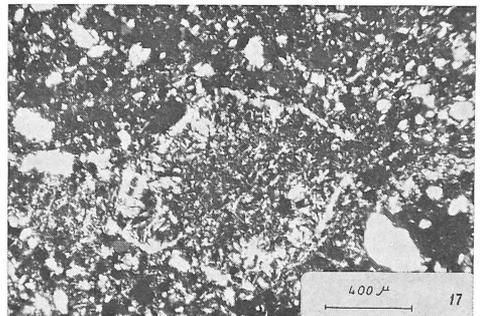
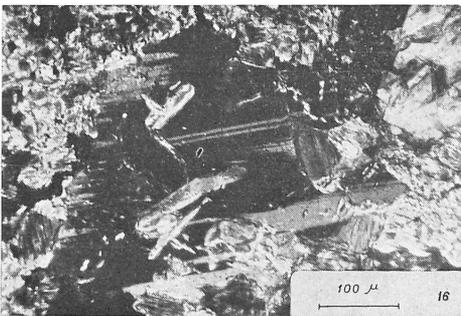
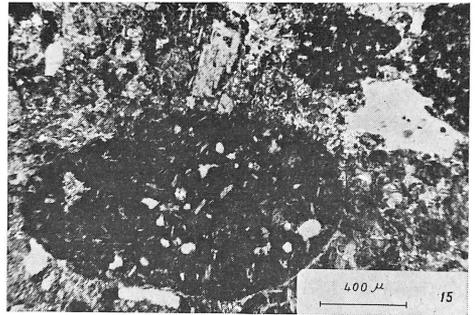
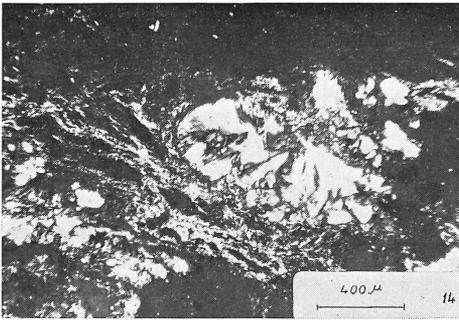
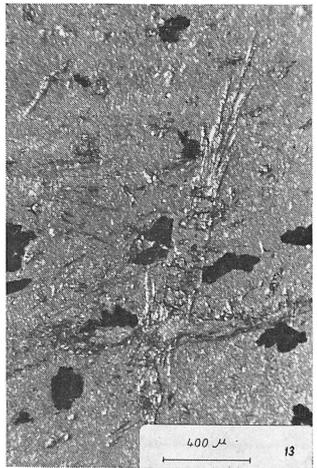
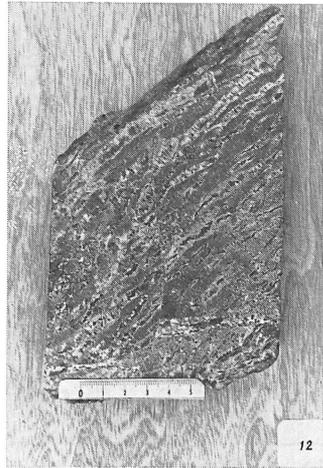
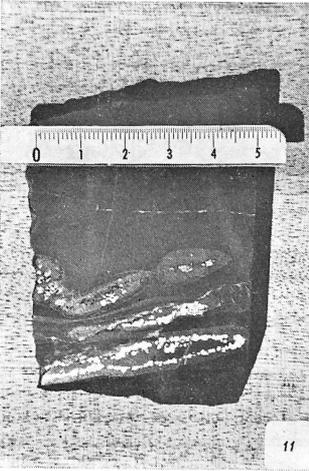
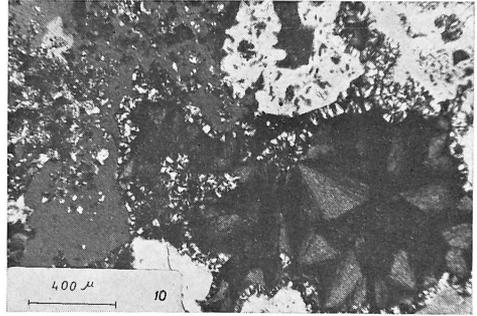
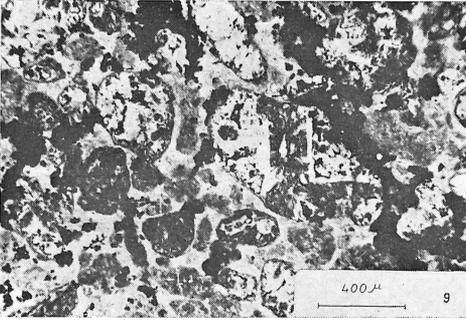
de chert. Une dernière phase dolomitique se caractérise par un remplissage des cassures de ce sulfure. Comme il est de coutume dans le *Faisceau des Mines*, la minéralisation affecte surtout la périphérie interne des nodules (photo 11). Un peu de chalcopryrite s'y associe en fines inclusions dans le quartz et la linnéite, et également en bordure de celle-ci où elle se transforme successivement en covelline normale, blaubleibender covelline et digénite. Enfin, un sulfure de cobalt de deuxième génération encroute le tout.

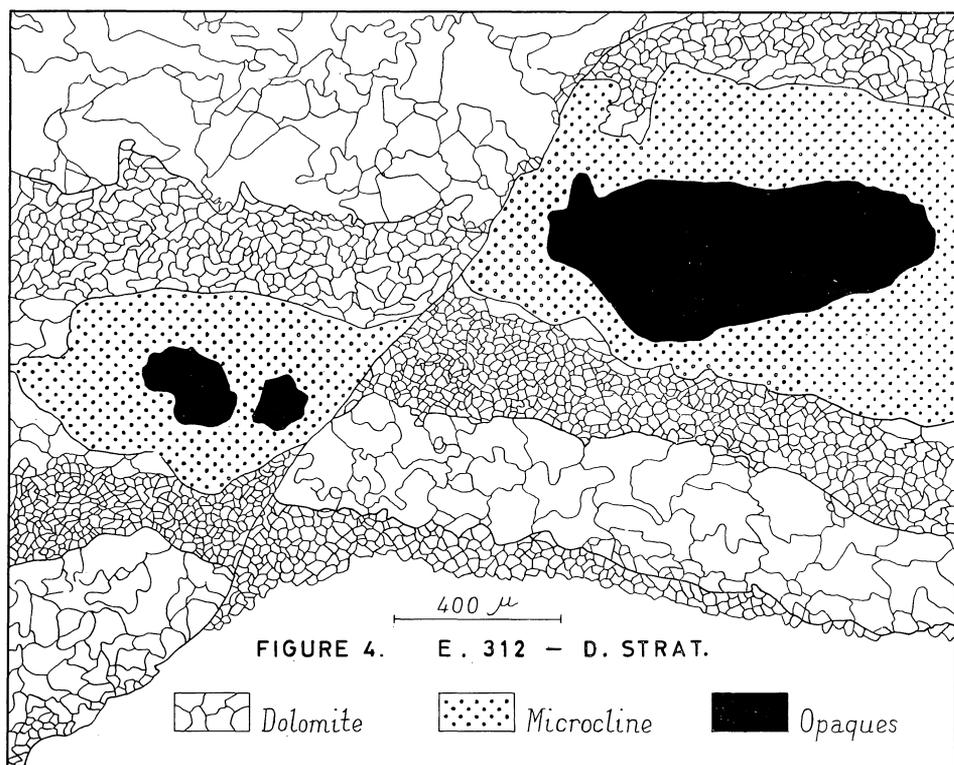
En dehors de ces nodules, la roche est une dolomie à grain fin, à muscovite et quartz détritiques. De petites poches de chertification apparaissent çà et là, tandis que l'apatite et la tourmaline incolore sont, ici encore, nettement diagénétiques.

— La partie inférieure est crème ou rose. Elle se distingue également par l'absence de nodules et la présence d'une faible quantité de talc. C'est une dolomie litée à grain fin et moyen, à quartz diagénétiques contenant de fines inclusions de dolomite. Dans les lits plus grossiers, on remarque la présence de grandes plages (jusqu'à 2 mm) formées d'une auréole de microcline, riche en inclusions diverses (dolomite, quartz, mica détritiques, apatite et rutile idiomorphes), autour d'un cœur de pyrite ou de sulfure de cuivre. Le feldspath est fréquemment transformé en un agrégat finement cristallisé d'illite et de montmorillonite. Le microcline se brise par endroits et de la dolomite recristallise dans les cassures. Parfois, on observe également des fissures qui recoupent ce microcline, décalent les lits dolomitiques de la roche et s'amortissent dans les lits adjacents. Ces fissures, par leur aspect, résultent vraisemblablement de ruptures dans la roche au cours de compactions diagénétiques (fig. 4).

PLANCHE II

- Photo 9 : R.S.F. — Fantômes de « boulettes » à figures de dévitrification (?), dans un ciment cherteux et calcédonieux.
(Sond. Eau; éch. 18 — lum. polarisée).
- Photo 10 : D. Strat. — Assemblage sphérolitique complexe; calcédoine au centre et auréole quartzreuse. Les autres grains : quartz à nombreuses inclusions de calcédoine. (Sond. Eau; éch. 17 — lum. polarisée).
- Photo 11 : D. Strat. — Nodules diagénétiques avec minéralisation de linnéite à la périphérie interne.
(Sond. 312; éch. 218).
- Photo 12 : R.A.T. grises — Aspect général de la roche.
(Sond. Eau; éch. 5).
- Photo 13 : R.A.T. grises — Zéolite fibreuse, en partie remplacée par la dolomite. La matrice est uniformément chloriteuse.
(Sond. Eau; éch. 7 — lum. naturelle).
- Photo 14 : R.A.T. grises — Texture taxitique. Zéolite et lentille de calcédoine dans matrice chloriteuse.
(Sond. Eau; éch. 3 — lum. polarisée).
- Photo 15 : R.A.T. lilas — Éléments arrondis à structure de type microlitique, riches en oxyde de fer et de titane.
(Sond. ET. 315; éch. 245 — lum. polarisée).
- Photo 16 : R.A.T. grises — Plage d'albite métamorphique englobant la phengite, etc.
(Sond. ET. 283, éch. 338 — lum. polarisée).
- Photo 17 : R.A.T. grises — Éléments arrondis de chlorite, qu'accompagnent des quartz détritiques généralement anguleux.
(Sond. ET. 283, éch. 352 — lum. polarisée).





La céméntation a affecté les sulfures au centre de ces plages; ainsi la pyrite s'altère en hydroxydes de fer à inclusions de chalcoppyrite et de bornite. Le plus souvent, le cœur est occupé par de la bornite orange (anormale) entourant de la bornite mauve (normale). Parfois, il ne subsiste plus que du cuivre natif auréolé de goethite.

R.A.T. grises et R.A.T. lilas

Dans la partie septentrionale de l'Étoile, les *R.A.T. grises* sont extrêmement homogènes sur près de sept mètres d'épaisseur. A la base, la roche est fortement laminée et broyée.

Cet ensemble, autrefois dénommé *Formation à Minerai vert* (F.M.V.), est formé d'une roche verte lardée de lentilles siliceuses qui lui confèrent une texture orientée (photo 12). Ces lentilles consistent en calcédoine brunie par une fine imprégnation d'oxyde de fer. La silice recristallise localement pour former des plages de quartz engrené, à inclusions d'apatite, associé à un peu de dolomite grossière.

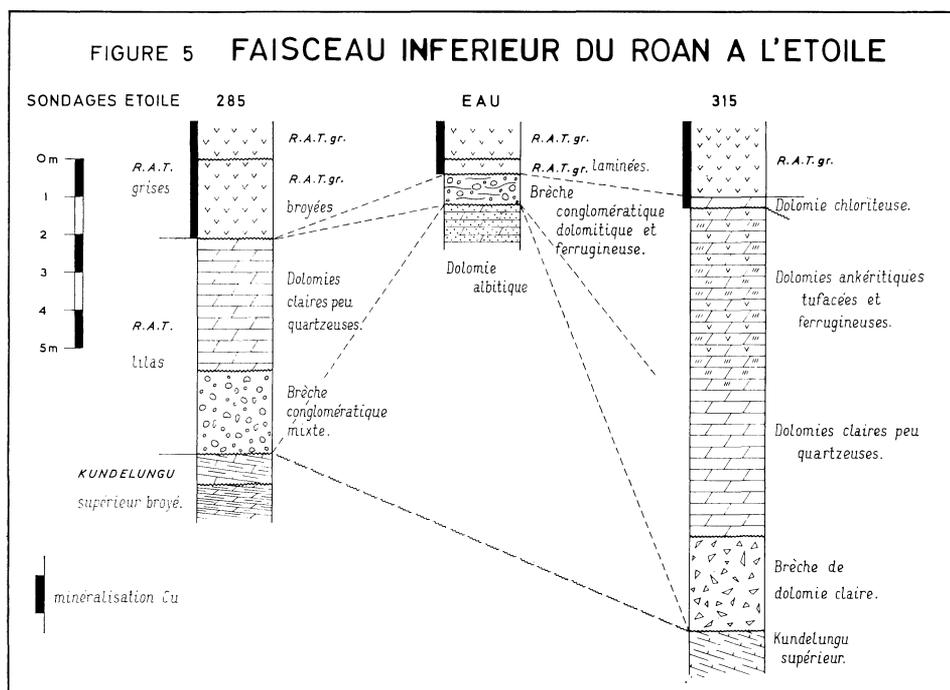
Entre les lentilles, une chlorite verte (clinocllore — Tröger) constitue un fin feutrage uniforme, criblé de nombreuses « boulettes » (jusqu'à 0,5 mm de diam.) de leucoxène à poches microcherteuses et paillettes de chlorite. Une zéolite fibreuse, en gerbes désordonnées, parfois très abondante, traverse la matrice chloriteuse (photos 13 et 14). Localement, ce silicate tend à être remplacé par de la dolomite (photo 13). On observe encore de la monazite subidiomorphe.

La roche est totalement dépourvue de quartz d'origine détritique et aucun feldspath n'a pu être mis en évidence, même par diffractométrie de rayons X.

La minéralisation, formée de chalcosine, s'oriente dans la matrice chloriteuse en très fins lits ou alignements de petites plages souvent poecilites. Dans les lentilles, une chalcosine d'aspect hétérogène, intimement mêlée à de la cuprite, recrystallise en plages grossières. La goethite est alors abondante et on observe parfois un fin encroutement de sulfure de cobalt en périphérie du sulfure de cuivre.

La minéralisation en cuivre s'arrête brutalement au sommet d'une brèche d'allure conglomératique à texture empâtée et d'aspect fluidal. Les éléments, tantôt arrondis, tantôt anguleux, sont formés de dolomies greiges massives, un peu quartzzeuses, et de dolomies abondamment ferrugineuses (hématite) contenant de petits débris feldspathiques à structure de type microlitique.

Cette brèche, de près d'un mètre d'épaisseur, repose sur une dolomie stratifiée lilas (fig. 5), extrêmement riche en albite diagénétique à inclusions de tourmaline incolore.



Dans le sondage 315 (fig. 5), il apparaît à la base des *R.A.T. grises*, une dolomie massive, assez ferrugineuse, riche en grandes chlorites néogènes (Mg-diabantite, proche de la pennine). Cette chlorite croît souvent à partir de biotites détritiques qu'accompagnent quartz et microcline de même origine. On observe une nette cristallisation diagénétique de feldspath potassique. La minéralisation en cuivre, très abondante, est du même type que dans le sondage pour eau.

Par un plan de faille, dépourvu de brèche, ces dolomies chloriteuses passent à un complexe de roches carbonatées qui semble pouvoir être rapporté aux *R.A.T.*

lilas. C'est un ensemble de dolomies blanches, massives, un peu quartzieuses, qui s'enrichit considérablement en hématite vers le haut. La roche prend alors une teinte ocre sombre. A deux reprises, dans ce niveau ferrugineux, la roche devient lilas foncé. Dans le ciment, surtout ankéritique, abondent de petits éléments subarrondis (jusqu'à 1 mm), parfois éclatés, formés d'une roche d'aspect volcanique, à structure de type microlitique, riche en oxydes de fer et de titane (photo 15). Sans que la structure en soit affectée, ces éléments ont subi une microclinalisation vraisemblablement diagénétique. Aucune diffractométrie de rayons X n'a pu mettre de plagioclases en évidence; seul le feldspath potassique apparaît, associé à des traces de quartz. Le ciment contient un peu de mica blanc et de l'apatite idiomorphe, diagénétique. L'ensemble de ces niveaux est totalement dépourvu de minéralisation en cuivre.

A la base, par l'intermédiaire d'une brèche formée au détriment des dolomies claires, on passe au Kundelung du flanc nord de l'anticlinal.

A l'ouest du gisement, les différents niveaux du *Faisceau des Mines* restent assez semblables à eux-mêmes, si ce n'est l'apparition de phengite qui cristallise à partir des paillettes détritiques de muscovite. Seules les *R.A.T. grises* ont subi des transformations sensibles. Elles sont fortement recristallisées; la matrice chloriteuse est remplacée par un pavement de phengite associée tantôt à une chlorite de composition intermédiaire entre la Mg-diabantite et la pennine (Tröger), tantôt à de la vermiculite. Des diffractométries de rayons X mettent en évidence la présence, en faible quantité, de talc et de montmorillonite. On retrouve la monazite, un peu de tourmaline incolore, tandis que le rutile cristallise abondamment à partir des « pelotes » de leucoxène.

Dans les lentilles quartzieuses, la dolomite croît limpide et poecilitique, associée à des gerbes de chlorite incolore du type de la leuchtenbergite (Tröger). De grandes plages de chalcopirite, homogènes et xénomorphes, s'associent intimement à la dolomite et au quartz; ils contiennent tous trois des inclusions diverses dont la calcédoine brunâtre.

De nombreuses plages d'albite pure, de grande dimension, croissent tant dans les lentilles que dans la matrice (photo 16). Elles englobent poecilitiquement de la phengite et du matériel titanifère, des sulfures et de l'apatite. L'albite a, ici, un faciès nettement métamorphique.

Dans le sondage 283, on passe, à la base des *R.A.T. grises*, à un grès chloriteux bien stratifié et localement bien micacé. Des éléments arrondis, essentiellement constitués de chlorite (Mg-diabantite), accompagnent le quartz déritique, généralement anguleux (photo 17). La roche est riche en tourmaline incolore, en belles recristallisations de rutile et en monazite idiomorphe à inclusions d'opacques. Une fine minéralisation en pyrite zonée et en chalcopirite cotoie de l'hématite à macles polysynthétiques et à inclusions d'ilménite, montrant le plus souvent un faciès déritique. Une recristallisation générale se marque par la présence de quartz en grandes plages hexagonales, parfois en auréole autour des grains détritiques, et par le remaniement des oxydes de fer. Elle transforme certains lits en véritables tourmalinites (dravite). Des filonnets, sensiblement parallèles à la stratification, sont riches en quartz et hydroxydes de fer; on y observe de belles cristallisations de corindon associées à du disthène un peu altéré et à des poches à remplissage de phyllites cryptocristallines (montmorillonite et kaolinite).

SYNTHÈSE

Stratigraphie

D'un bout à l'autre de l'arc cuprifère shabien, il existe une remarquable continuité stratigraphique au sein du Faisceau médian du *Roan*. D'une manière générale, on assiste à une réduction des puissances dans le sud-est du Shaba (gisement de l'Étoile); dans l'ensemble, l'épaisseur du *Faisceau des Mines* est inférieure de moitié à ce qu'elle est dans l'ouest (gisement de Kamoto).

Le faisceau inférieur du *Roan* (*R.A.T. lilas*) est également représenté à l'Étoile. Il apparaît sous un faciès franchement dolomitique et semble être en continuité stratigraphique avec les *R.A.T. grises*, par l'intermédiaire d'une dolomie massive chloriteuse, accolée au faisceau médian. Cette dolomie, minéralisée en cuivre, résulte d'un dépôt en milieu réducteur mais contient, comme dans les *R.A.T. lilas*, une abondance d'hématite détritique.

Cette continuité est interrompue par un accident tectonique qui peut donner naissance à des brèches. Celles-ci possèdent quelques fois des allures conglomeratiques, mais en aucune manière il n'est possible d'observer de véritables conglomerats transgressifs, contrairement à ce qui aurait été observé à Kamoto par P. BARTHOLOMÉ *et al.* (1971). En effet, la tectonique affecte de la même manière la base des *R.A.T. grises* et le sommet des *R.A.T. lilas*. La rupture au sein des *R.A.T. grises* ne se fait pas toujours au même endroit. Enfin, le contact anormal entre les *R.A.T. grises* et *lilas* n'est pas nécessairement souligné par une brèche. Ce sont d'ailleurs des brèches d'aspect très semblable que l'on voit apparaître au contact avec le *Kundelungu* supérieur du flanc nord de l'anticlinal (fig. 5). L'allure orientée de certaines de ces brèches et la forme arrondie de leurs éléments doivent être attribuées, ici, à des efforts tangentiels prédominants.

Volcanisme

A deux reprises, dans les dolomies ankéritiques au sommet des *R.A.T. lilas*, il a été observé de nombreux petits éléments non classés. Ils ont conservé des fantômes de plagioclase maclé, disposés en tous sens dans une mésostase riche en oxydes de fer et de titane. Tout en ayant subi des transformations minéralogiques ultérieures (cristallisation du microcline), ces éléments ont gardé l'aspect et la texture de laves andésitiques. Nous interprétons la genèse de ces roches comme une projection de débris volcaniques dans un bassin à sédimentation carbonatée, enrichi par un apport d'hématite détritique, vraisemblablement de même origine. Il s'agit donc de tufs cinéritiques lithiques (F. J. PETITJOHN, 1949).

La recristallisation en masse de chlorite dans les dolomies à la base des *R.A.T. grises* leur confère un aspect de dolomie tufacée. A l'ouest, dans le gisement, on observe, à ce niveau, des grès essentiellement chloriteux à éléments subarrondis. Dans un même esprit, ces éléments sont à rapporter à des débris de lave de composition plus basique.

Le corps principal des *R.A.T. grises* est formé d'une roche très différente de ce qu'on a coutume d'observer à ce niveau. Elle se caractérise principalement par l'absence de minéraux détritiques, le feutrage uniforme de chlorite et l'abondance de zéolites fibreuses. Les nombreuses « boulettes » de leucoxène qui s'individualisent dans la matrice chloriteuse, s'apparentent à un faciès que nous avons fréquemment remarqué dans les roches pyroclastiques du *Mwashya* supérieur (R.4.2.), à Mulungwishi notamment (J. J. LEFEBVRE, 1974), au sein de la *Dipeta* (R.3.) dans la lave spilitique de Makawe (J. J. LEFEBVRE, 1975) et également dans la nappe basaltique

de Kipambale, tout au nord du golfe katangien. Les lentilles calcédoniennes qui lardent la roche résultent de ségrégations liées au refroidissement. Cette séparation en bandes à composition minéralogique différente confère à la roche une texture taxitique, caractéristique de certaines roches volcaniques et pyroclastiques (MARENINA, in E. F. COOK, 1966). Une certaine orientation de la roche que l'on ne peut confondre avec une texture fluidale, ne s'accorde pas à l'idée que l'on peut se faire d'une lave. Les *R.A.T. grises* de l'Étoile font plutôt penser à une cendre volcanique, de composition basique, finement soudée et résultant d'un dépôt sous-marin.

Le passage des *R.A.T. grises* aux *D. Strat.*, essentiellement sédimentaires, se fait par un petit banc à forte silicification calcédonienne. Des traces indéniables de volcanisme ne réapparaissent qu'à la base des *R.S.F.* En effet, au-dessus d'un niveau d'oxyde de fer rubané, très siliceux, qui rappelle les « horizons de fer du *Mwashya* inférieur » (J. J. LEFEBVRE, 1973), repose une roche totalement silicifiée à éléments dévitrifiés dont la texture ressemble à celle des tufs cinéritiques des *R.A.T. lilas*. Il s'agit à nouveau d'un horizon pyroclastique dont la composition d'origine nous semble, cette fois, plus acide. Remarquons que la presque totalité des *R.S.F.* de l'Étoile est profondément silicifiée et que ce phénomène se fait sentir, dans ce même horizon stratigraphique, jusque dans l'ouest de l'arc cuprifère.

Dans la partie supérieure du faisceau, les phénomènes volcaniques ne se marquent plus de façon évidente. Seuls quelques indices, comme la présence de lits chertueux et feldspathiques et l'observation sporadique d'éléments écaillés chertifiés, peuvent encore être rapportés à du volcanisme.

Remarquons enfin que le corps minéralisé du gisement de l'Étoile, pour sa partie la plus riche, s'inscrit étroitement dans les limites des *R.A.T. grises*.

Diagenèse

La cristallisation authigène du microcline est un facteur dominant dans le gisement de l'Étoile et apparaît comme la prolongation des phénomènes diagénétiques observés au sud du Shaba, dans la région de Musoshi (J. CAILTEUX, 1973). Elle se marque de manière sensible et sélective dans le *C.M.N.* et de manière beaucoup plus nette dans les *S.D.S.* Elle se matérialise par la formation d'auréoles autour des grains de microcline détritiques ou sous la forme de minéraux totalement néogènes, riches en inclusions diverses. On la retrouve dans les *R.S.F.* et dans les *D. Strat.* surtout, où le minéral tend, à la suite de phénomènes post-diagénétiques, à se transformer en un agrégat de phyllites. Dans les *D. Strat.*, le microcline constitue une auréole grossière autour des sulfures de fer et de cuivre. À ce niveau, il apparaît indéniablement diagénétique quand on sait qu'il est recoupé par de fines fissures résultant du réarrangement au sein d'une roche encore meuble. On en déduit le fait important qu'une partie au moins de la minéralisation en cuivre est elle-même diagénétique. Enfin, le microcline se manifeste encore avec un faciès diagénétique dans les dolomies à la base des *R.A.T. grises*, et semble responsable de pseudomorphoses dans les lapillis des dolomies ankéritiques au sommet des *R.A.T. lilas*.

L'albite apparaît également au cours de la diagenèse, dans les horizons desquels le microcline est totalement absent. Elle apparaît en faibles traces dans le *B.O.M.Z.*, les *S.D.B.* et en grande abondance dans un niveau des *R.A.T. lilas* (sondage pour eau) probablement très inférieur aux dolomies blanches quartzesuses.

Si l'albite et le microcline ne cristallisent jamais simultanément dans un même horizon, la silice diagénétique, quant à elle, s'observe à peu près à tous les niveaux. À un stade de diagenèse précoce, elle forme des auréoles autour des grains détritiques ou s'observe sous une forme chertueuse dans les dolomies; elle est responsable de

l'apparition de nodules dans les *S.D.B.* et les *D. Strat.* Les silicifications ultérieures sont quartzieuses et sont à rattacher à des phases de diagenèse plus tardives ou post-diagénétiques. C'est le cas pour nombre de nodules et de poches cristallines où le quartz s'associe à de la dolomite de recristallisation et à de la pyrite idiomorphe. C'est également le cas dans les lentilles des *R.A.T. grises* où la calcédoine est submergée par l'association quartz, dolomite et sulfures de cuivre.

La pyrite est un autre minéral diagénétique important. Elle est particulièrement abondante dans l'ensemble des *S.D.* où elle figure le plus souvent sous forme de framboïdes. Comme pour le quartz, elle subit des transformations ultérieures qui tendent à la rendre plus grossière et idiomorphe.

La tourmaline achroïte (dravite) est toujours authigène et se rencontre d'autant plus grossière et abondante que l'horizon est dolomitique.

De nombreux autres minéraux sont, pour une part au moins, diagénétiques; ce sont la zéolite, partiellement remplacée par de la dolomite, la muscovite, la dolomite, la chlorite et le rutile.

Phénomènes post-diagénétiques

A l'Étoile, dans la plus grande partie du faisceau des Mines, on remarque de très fréquentes zones de recristallisation, parfois liées à des filonnets, qui ne peuvent pas être attribuées à des phénomènes de diagenèse. Il s'agit de poches, parfois même de lentilles ou encore de lits, ayant une composition minéralogique uniforme qui s'apparente à celle des filonnets. On y observe de la dolomite grossière, subidiomorphe, du quartz en grandes plages poecilites, de la linnéite parfaitement automorphe intimement associée à de la chalcoppyrite, cette dernière contenant parfois de la bornite en exsolution. Au sein de ces minéraux, les inclusions sont multiples : chert, quartz et dolomite de première génération, ainsi que de la pyrite de recristallisation. Ces inclusions n'existent pas dans les filonnets. On ne peut invoquer de phénomènes d'exsudation (sécrétion latérale); il s'agit bien là de substitution. La chalcoppyrite, par exemple, est visible sur toute la longueur des veines, alors qu'elle se limite strictement aux poches de recristallisation à proximité ou recoupées par ces dernières.

Tandis que les minéralisations sulfurées à caractère diagénétique se restreignent aux *R.A.T. grises*, aux *D. Strat.* et à la partie inférieure des *R.S.F.*, l'association chalcoppyrite-linnéite peut s'observer jusque très haut dans le *C.M.N.* Elle est d'autant plus nette et plus fréquente que les horizons sont plus dolomitiques. On la retrouve, bien circonscrite, dans les nodules des *S.D.B.* et des *D. Strat.* de certains sondages.

En un endroit (sondage 283 — *R.A.T. grises*), nous avons observé des filons à remplissage de quartz, disthène, corindon, hydroxyde de fer, montmorillonite et une argile du type de la kaolinite. Aux environs immédiats de ces filonnets, la roche présente de belles recristallisations de quartz et de tourmaline; elle paraît anormalement riche en montmorillonite. L'existence de filons à disthène a déjà été reconnue dans les *S.D.* de Luishya, en association avec de la chalcoppyrite. Il leur a été attribué une origine hydrothermale (de MAGNÉE, 1941). La transformation du microcline des *D. Strat.* et des *R.S.F.* en illite et montmorillonite est peut-être liée à ces phénomènes.

Métamorphisme

L'arc cuprifère shabien n'est en général affecté que par un faible métamorphisme régional (Épizone; sous-faciès à muscovite et chlorite). Dans la partie ouest du gisement de l'Étoile, les *R.A.T. grises* subissent des transformations importantes parmi lesquelles l'apparition d'albite métamorphique est la plus remarquable. La

texture taxitique de la cinérite est partiellement conservée. La matrice chloriteuse se transforme en phengite et vermiculite, tandis que les lentilles siliceuses recristallisent abondamment et qu'une leuchtenbergite en grandes gerbes s'associe à la dolomite. La minéralisation cuprifère semble se remobiliser et s'homogénéiser.

Plus à l'ouest encore, le phénomène paraît s'accroître, notamment à Ruashi où les R.A.T. grises se transforment localement en « phlogopitites » (J. J. LEFEBVRE, 1975).

CONCLUSIONS

L'observation de manifestations volcaniques au sein du faisceau médian du *Roan* offre des perspectives nouvelles à la compréhension des gîtes cuprifères du Shaba.

De nombreuses hypothèses génétiques ont été émises; de plus en plus, elles se sont efforcées de tenir compte de l'aspect remarquablement stratiforme de ces gisements. Les théories métallogéniques actuellement en vigueur font appel à la combinaison diagénétique d'un soufre syngénétique en place dans le bassin sédimentaire et de cuivre dont l'origine est encore controversée.

La cristallisation diagénétique de sulfures de cuivre et de fer et d'un important cortège de minéraux silicatés, entre autres potassiques et sodiques, est parfaitement visible à l'Étoile. Dans ce gisement, il est très vraisemblable que les éléments prenant part à la diagenèse résultent d'une mise en solution dans le bassin à partir d'un volcanisme à chimisme apparemment variable dans le temps. Une partie du cuivre a pu également être apportée dans le matériel volcanique constitutif des R.A.T. grises, libérée au cours de stades initiaux de la diagenèse, puis remobilisée en même temps qu'apparaissait la texture taxitique de la roche (diagenèse plus tardive).

Ce schéma est rendu plus complexe par l'existence de phénomènes post-diagénétiques où, en plus du cuivre, le cobalt intervient à son tour. Il n'est pas certain qu'il s'agisse là d'enrichissements ultérieurs. Cette minéralisation, d'aspect épigénétique, peut ne résulter que d'un simple remaniement. Des remobilisations du cuivre et du cobalt apparaissent en tout cas lors du métamorphisme et de l'altération météorique.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la direction de la Gécamines d'avoir permis la publication de cette note ainsi que M. A. FRANÇOIS, Directeur du Département géologique. Nous remercions également M. A. VAN DIEST et M. A. FOSSET pour l'aide qu'ils nous ont apportée à la réalisation des figures et des planches photographiques.

BIBLIOGRAPHIE

- BARTHOLOMÉ, P. & al., 1971. — Diagenetic ore-forming processes at Kamoto, Katanga, Republic of the Congo. *in* : Ore in Sediments. Ed. by G. C. Amstutz and A. J. Bernard. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, pp. 21-41.
- BERTRAND, M. F., 1922. — Parallélisme entre les gisements cuprifères du Katanga et du Niari. Ext. C. R. du XIII^e Congrès Géologique International. Beranger Liège, pp. 771-795.
- BRIART, G., 1945. — Le gisement cupro-cobaltifère de la Mine de l'Étoile du Congo. Rapport documentaire. Union Minière du Haut-Katanga.

- CAILTEUX, J., 1973. — Minerais cuprifères et roches encaissantes à Musoshi, province du Shaba, République du Zaïre. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **96**, pp. 495-521.
- CAILTEUX, J. et DIMANCHE, F., 1973. — Examen des oxydes de fer et titane dans l'environnement du gisement de cuivre de Musoshi (Shaba, Zaïre). *Bull. Soc. franc. Min. Cristall.*, T. **96**, pp. 378-382.
- COOK, E. F., 1966. — Tuff, lavas and ignimbrites — A survey of Soviet Studies. Elsevier, New York, p. 212.
- de MAGNÉE, Y., 1941. — Origine du disthène associé au minerai de cuivre de Luishia (Katanga). *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. LXIV, pp. 272-283.
- DEMESMAEKER, G. & al., 1963. — La tectonique des gisements cuprifères stratiformes du Katanga. In : Lombard, J., Nicolini, P., ed., Gisements stratiformes de cuivre en Afrique, 2^e partie. *Ass. des Serv. Géol. Afr., Paris*, pp. 47-115.
- FRANÇOIS, A., 1973. — L'extrémité occidentale de l'arc cuprifère shabien. Étude géologique. Gecamines, Likasi, Shaba, Zaïre.
- JAMOTTE, A., 1938. — Sur la stratigraphie, la lithologie et la structure du gisement cuprifère de l'Étoile du Congo. *Ann. Serv. Mines. C.S.K.* Tome IX, pp. 80-103.
- LEFEBVRE, J. J., 1973. — Présence d'une sédimentation pyroclastique dans le Mwashya inférieur du Shaba méridional (ex-Katanga). *Ann. Soc. Géol. Belg.*, T. **96**, pp. 197-217.
- LEFEBVRE, J. J., 1974. — Le sondage expérimental de Mulungwishi. Étude du contact Mwashya supérieur-inférieur. Rapport non publié.
- LEFEBVRE, J. J., 1975. — Les roches ignées dans le Katangien du Shaba (Zaïre). Le district du cuivre. En impression.
- OOSTERBOSCH, R., 1953. — La série des Mines du gisement de l'Étoile. Rapport non publié.
- PETITJOHN, F. J., 1949. — Sedimentary rocks. Harper & Brothers, New York.
- TRÖGER, W. E., 1971. — Optische Bestimmung der gesteinsbildende Minerale. Teil I : Bestimmungstabellen. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, p. 188.

