

MINÉRALISATION ET GENÈSE DU GÎTE STRATIFORME DE RAVANDJE (IRAN CENTRAL)

L. DEJONGHE (*)

Université Libre de Bruxelles
Laboratoire de Géologie Appliquée

CADRE GEOLOGIQUE GENERAL

Le gisement de Ravandje s'étend à 25 km. au N.E. de la ville de Dilijan, dans la région montagneuse de l'Iran central (fig. 1). En cet endroit, les terrains sont constitués d'une succession de séries schisteuses et calcarogréseuses d'âge jurassique à pliocène, très faiblement plissées mais intensément faillées, et en outre, intrudées de roches magmatiques à prédominance acide.

Ce gisement est actuellement exploité par la Compagnie SOGEMIRAN, une filiale de la Société Générale des Minerais, qui a établi ses installations minières dans la vallée montant du village de Ravandje vers le lieu dénommé Sarvian.

Le flanc nord de cette vallée (ph. 1, pl. 1) est composé de calcaires à Orbitolines du Crétacé moyen, minéralisés en galène et barytine. Ces épais massifs rocheux aux contours arrondis reposent sur un substratum composé de schistes du Jurassique inférieur intercalés de quelques bancs gréseux. Ces schistes, calcaires et la minéralisation que ces derniers recèlent, sont recoupés à l'emporte-pièce par des dykes de rhyodacite (**) d'orientation générale NO-SE qui n'ont pas été reconnus dans les terrains cénozoïques.

Le flanc sud (ph. 2, pl. 1) qui s'incline en pente uniforme couverte d'éboulis est consti-

tué de roches éocènes calcarogréseuses, et d'importantes manifestations volcaniques interstratifiées (tuffs et tuffites). Cet ensemble complexe est limité au sommet par un horizon conglomératique rouge connu dans la littérature (A. GANSSER, 1955) sous le nom de « Lower Red Formation ». Une cuesta formée de calcaires oligocènes intercalés de quelques bancs marneux coiffe le massif de roches cénozoïques.

MINERALISATION

Les calcaires à Orbitolines du Crétacé moyen sont le siège d'une minéralisation en lentilles stratiformes de galène argentifère (minéralisation principale primaire). Le minerai contient 3 à 20% de plomb avec une moyenne de 6,5%; le plomb oxydé forme plus de 50% de la masse totale. Les minéraux de gangue sont la calcite et la barytine. La teneur en cette dernière est assez haute pour justifier sa récupération économique comme sous-produit de flottation de la galène.

Trois principaux corps minéralisés ont été découverts à ce jour (définis sur la fig. 1 par les lettres A, B, C). Ils consistent en une série de lentilles dont l'importance varie de quelques dizaines à quelques milliers de tonnes, disposées selon une direction NE-SO sur 1,5 km de distance. La minéralisation semble plus riche en galène au SE de la ligne mine A — mine B et plus riche en barytine au NO (mine C et son prolongement septentrional, où affleurent

(*) actuellement Service Géologique de Belgique.

(**) Signalons également que près de la mine A, on a découvert une porphyrite doléritique.

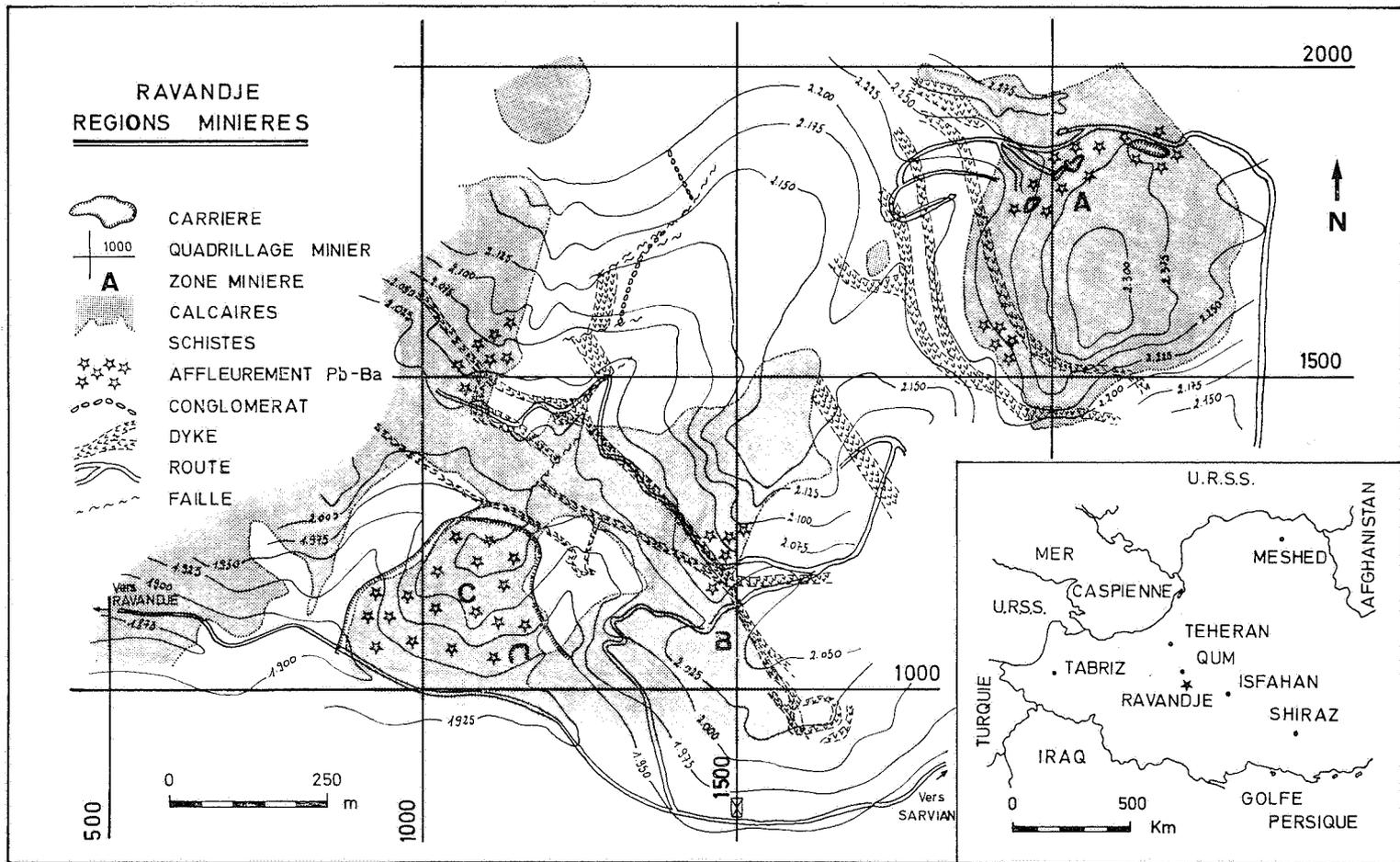


Fig. 1

d'énormes massifs de barytine). La base de ces lentilles est plus régulière que le sommet qui paraît assez vallonné.

Dans la zone d'oxydation, de nouveaux minéraux apparaissent (minéralisation principale d'oxydation supergène). Ces lentilles sont également recoupées par des filonnets de chalcopryrite oxydés mais d'épaisseur trop faible pour présenter une valeur économique (minéralisation secondaire).

ETUDE DETAILLEE DES MINERAUX DE LA PARAGENESE DE LA PARAGENESE

J'ai subdivisé l'étude des minéraux de la paragenèse représentée dans le tableau de la fig. 2 en 3 parties.

- A. Etude des minéraux primaires
 - a) sulfures
 - b) gangue
- B. Etude des minéraux d'oxydation
- C. Etude des filonnets cuivreux tardifs.

PARAGENESE PRIMAIRE

Sulfures: galène	PbS
blende	ZnS
pyrite	FeS ₂
tétraédrite	Cu ₈ Sb ₂ S ₇
chalcopryrite	CuFeS ₂
Gangue: barytine	BaSO ₄
quartz	SiO ₂
calcite	CaCO ₃
ankérite	Ca(Fe, Mg, Mn)(CO ₃) ₂
dolomite	CaMg(CO ₃) ₂

MINERAUX SUPERGENES VISIBLES EN ZONE D'OXYDATION

anglésite	PbSO ₄
cérosite	PbCO ₃
minium	Pb ₃ O ₄
covelline	CuS
néodigénite	Cu ₉ S ₅
goethite	FeO.OH
limonite	FeO.OH, nH ₂ O
tennantite	Cu ₈ As ₂ S ₇

PARAGENESE SECONDAIRE EN FILONNETS

A. Minéral primaire — chalcopryrite	CuFeS ₂
B. Minéraux de remplacement — bornite	Cu ₅ FeS ₄
néodigénite	Cu ₉ S ₅
chalcosine	Cu ₂ S
covelline	CuS
limonite	FeO.OH.nH ₂ O
malachite	CuCO ₃ Cu(OH) ₂

Fig. 2 — Paragenèse du gîte de Ravandje.

Les minéraux de la paragenèse ont été observés au microscope, en lumières transmise et réfléchie; des enregistrements Debye-Scherrer, des tests chimiques et des mesures de microdureté et de pouvoir réflecteur ont été effectués pour confirmer leur identification. La signification génétique des structures observées a été relevée systématiquement.

A. ETUDE DES MINERAUX PRIMAIRES

a) *Les sulfures*

1) Galène (PbS).

La galène apparaît en petites sections (50 à 200 microns) dont l'ensemble forme un agrégat de cristaux plus ou moins reliés les uns aux autres; les grandes plages continues sont rares. Les contacts avec les minéraux de gangue dessinent la structure « à limites mutuelles ». Parfois, de petits cristaux restent isolés. Dans ces nuages de dissémination diffuse, les très petits cristaux (quelques microns) présentent des contours idiomorphes (jamais de forme carrée ou losangique, mais octaédrique ou d'ordre supérieur), alors que les grands cristaux sont allotriomorphes.

La galène contient de nombreuses inclusions, de blende principalement, et de pyrite, tétraédrite, chalcopyrite et néodigénite en quantité plus faible.

Généralement, elle développe des plages d'aspect uniforme; seules des figures d'arrachement (fréquemment courbes, ce qui implique des clivages tordus) ou des inclusions en rompent la continuité. Mais parfois, la galène présente une structure de morcellement polygonal (ph. 3 et 4, pl. 1). Aux forts grossissements, on peut observer le colmatage de ces fissures par de la calcite, de la pyrite automorphe et de la covelline cristallisée en lamelles bidirectionnelles. Ce morcellement en réseau polygonal débute toujours à proximité de la gangue et sert de point de départ aux processus d'oxydation de la galène en cérusite. Cette structure a également été mise en évidence par attaque chimique de la surface sur des plages

d'aspect uniforme (*). Elle est interprétée par P. RAMDOHR (1969, pp. 73, 74) comme une structure de recristallisation. Il emploie les mots « structure granoblastique ».

Enfin, la gangue de certaines sections est parsemée de fissures colmatées par de la galène plus ou moins oxydée en cérusite. Parfois, celle-ci s'insinue entre les clivages ouverts de la barytine ou ciment des cristaux de pyrite fracturés. Ces structures présentent des caractères indéniables de mise en place dans un matériau solide. Mais rien ne prouve qu'il s'agit d'une remobilisation de galène préexistante ou d'une seconde génération de galène hydrothermale.

2) Blende (ZnS).

L'identification de la blende a nécessité le recours aux rayons X. En effet, elle apparaît toujours en inclusions dans la galène et beaucoup plus rarement, la barytine, sous forme de microcristaux de 10 à 20 microns de diamètre moyen.

Elle ne développe jamais de formes cristallines; un contour subcirculaire la limite toujours et lui donne l'aspect de gouttelettes. (ph. 5, pl. 1). Parfois, ces cristaux coalescent ce qui engendre des plages de blende un peu plus grandes (50 microns) que la moyenne aux allures réniformes (ph. 5, pl. 1). Ces microcristaux se groupent généralement en agrégats non structurés (ph. 5, pl. 1); parfois, ils se disposent en chapelets ou même en ligne plus ou moins elliptique, fermée. (ph. 6, pl. 1). Exceptionnellement, la blende s'étend en plages au contour irrégulier.

L'aspect de la blende en microcristaux subcirculaires dans la galène est assez singulier. Avant d'examiner l'ouvrage de M. LEBEDEV (1967), je n'ai pas trouvé de cas analogues dans la littérature pour des inclusions de blende dans la galène. Mais je l'ai souvent rencontrée pour d'autres minéraux décrite par des auteurs qui l'interprètent soit comme

(*) Les réactifs utilisés sont l'acide bromhydrique et le réactif de Fackert (préparation obtenue en mélangeant 80 parties d'acide nitrique D = 1,2 avec 20 parties d'alcool, 96 à 99 % fraîchement préparé).

un phénomène de remplacement, soit comme un phénomène d'exsolution (G. F. LOUGHLIN et A. H. KOSCHMANN (1942, p. 94); KRYLATOV (1956); A.B. EDWARDS (1954, p. 62 et p. 80); P. ROUTHIER (1963, p. 110); E.S. BASTIN (1953, p. 56).

Pour le minerai de Ravandje, aucune de ces deux hypothèses ne satisfait. En effet, celle d'une exsolution se défend mal, car la blende ne respecte jamais la disposition linéaire des plans de clivage. La version du remplacement ne satisfait pas non plus, car elle a été introduite par les auteurs lorsque les inclusions se localisaient préférentiellement à la périphérie du minéral hôte, ce qui n'est pas le cas à Ravandje.

Grâce aux expériences de laboratoire réalisées par M. LEBEDEV sur la précipitation colloïdale du mélange $ZnS + PbS$, on peut établir avec quasi certitude la nature métacolloïdale de la galène et de la blende observées à Ravandje par analogie avec les structures colloïdales qu'il décrit (M. LEBEDEV, 1967, ch. 9).

Les contours circulaires des microcristaux de blende, leur taille réduite, leur répartition en globulites sporadiquement disséminés dans la galène ou en chapelets de formes plus ou moins elliptiques ou encore en agrégats coalescents aux contours réniformes sont autant de caractéristiques de la blende de Ravandje observés par M. LEBEDEV sur la blende colloïdale artificielle. La présence dans le minerai de Ravandje de cristaux micrométriques isolés de galène aux formes octaédriques et de « squelettes dentritiques » révélés par attaque chimique a également été relevée par M. LEBEDEV sur les produits métacolloïdaux de la galène.

Pourtant on n'observe pas même après attaque chimique à l'acide bromhydrique et au réactif de FACKERT les structures colloïformes dues au processus rythmique de dépôt dans les gels. Ce résultat négatif s'explique par deux raisons :

— d'une part M. LEBEDEV a observé qu'en raison du pouvoir de cristallisation très rapide de la galène par rapport à la blende, une diagenèse précoce du précipité colloïdal oblitère les structures colloïformes initiales.

— d'autre part, le phénomène de recristallisation mis en évidence par les structures polygonales observées sur la galène a surimposé ses effets pour concourir à effacer complètement les configurations primitives.

D'ailleurs, l'hypothèse de la nature colloïdale de la galène apporte une justification aux dispositions des microcristaux de blende en ellipses ou en chapelets. En effet, la floculation de micelles colloïdales de galène forme un gel qui peut coaguler en boules. Sur celles-ci, viennent coalescer des micelles de blende en pellicules sphéroïdales. Cette disposition fournit, en section polie, l'allure en ellipses des inclusions de blende. La structure en chapelets de la ph. 6, pl. 1 s'interprète de la même façon : le soudage de plusieurs colloïdes de galène recouverts d'une pellicule de blende en microcristaux et la recristallisation de cet agrégat engendrent, en section, l'aspect des plages uniformes de galène ornées de chapelets de blende.

3) Pyrite (FeS_2)

A l'échelle microscopique, la pyrite manifeste nettement ses formes automorphes, soit en cristaux isolés de 10 à 100 microns (ph. 7, pl. 1), soit en agrégats de cristaux jointifs de plus de 100 microns, soit assez rarement sous forme de pyritosphères de 50 à 100 microns (ph. 8, pl. 1).

Dans certaines sections, les cristaux de pyrite sont très corrodés malgré l'absence de bordure d'altération en goethite et présentent la structure en caries. Cette structure démontre que la pyrite s'est trouvée en déséquilibre avec son entourage soit à un stade précoce par corrosion au sein des solutions plombifères, soit à un stade plus tardif par transformations métasomatiques à l'état solide.

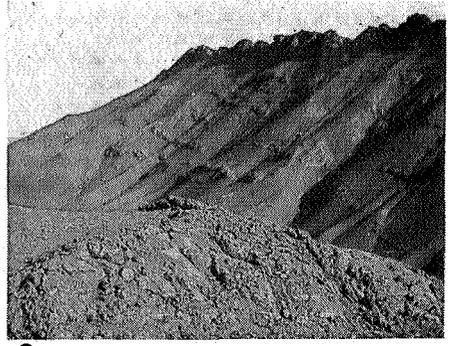
4) Tétréédrite ($Cu_8Sb_2S_7$)

La tétréédrite se présente en microcristaux allotriomorphes (ph. 1, pl.2) de taille moyenne voisinant 20 microns, localisés généralement dans la galène, en inclusions non orientées. Celles-ci ne respectent jamais d'alignement sur le réseau de la galène. La tétréédrite apparaît aussi, plus rarement, dans la barytine.

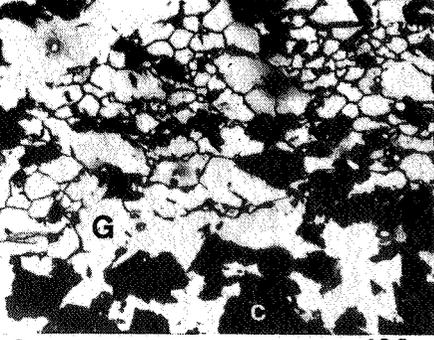
PLANCHE I



1



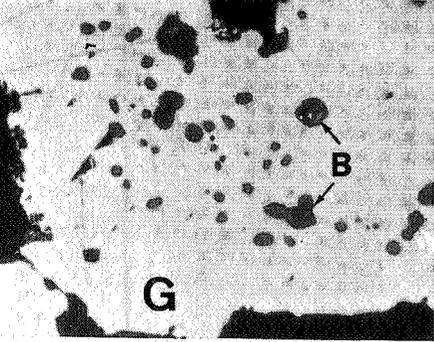
2



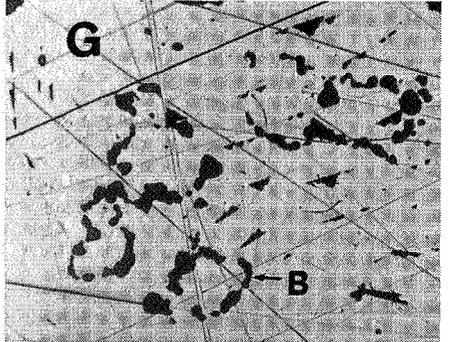
3



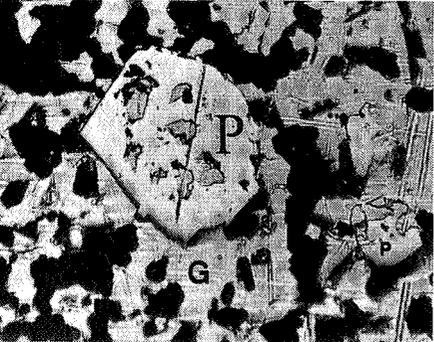
4



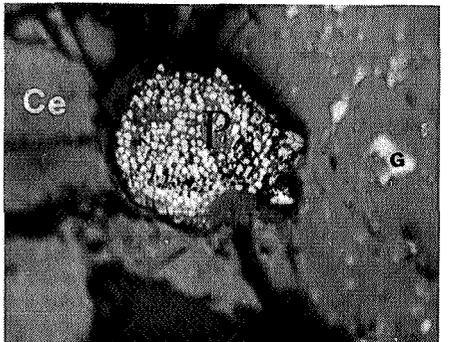
5



6



7



8

PLANCHE I

- Photo 1 Panorama du flanc nord de la vallée.
En bas de la photo, les installations du concentrateur de Sogemiran.
- Photo 2 Vue du flanc sud de la vallée, formée principalement de roches tertiaires.
Remarquer les structures linéaires volcaniques qui affleurent sur le flanc encombré de cailloutis et surmonté par les calcaires de Qum en cuesta.
A l'avant-plan de la photo, apparaissent les calcaires crétacés du flanc nord.
- Photo 3 Lumière réfléchie, nicols croisés, immersion, antiflex.
Réseau polygonal de fissures dans la galène (G, blanc), colmatées par de la calcite (C, noir).
- Photo 4 Lumière réfléchie simplement polarisée.
Idem que photo 3 mais taille supérieure des polygones délimités par les fissures.
- Photo 5 Lumière réfléchie, nicols croisés, immersion, antiflex.
Agrégat de microcristaux de blende en forme de gouttelette (B, gris) inclus dans la galène (G, blanc) entouré d'une gangue de calcite. Noter la tendance des microcristaux à occuper le centre de la plage de galène.
- Photo 6 Lumière réfléchie, simplement polarisée.
Blende (B, gris) disposée en chapelets de microcristaux inclus dans la galène (G, blanc).
- Photo 7 Lumière réfléchie, simplement polarisée.
Cristaux de pyrite (P, blanc) idiomorphes, entourés de galène (G, blanc) et de gangue (noir), présentant la structure en caries.
- Photo 8 Lumière réfléchie, simplement polarisée.
Pyritosphère (P) altéré en goethite, entouré de cérusite (Ce, gris) dans laquelle subsistent quelques reliques de Galène (G, blanc).

Elle développe, avec les minéraux hôtes, une structure à limites mutuelles.

Les individus de tétraédrite offrent des contours informes, très différents des allures sub-circulaires de la blende. Pourtant, on constate parfois une interdépendance de position entre ces deux minéraux, lorsqu'ils semblent coalescer. La ph. 2, pl. 2, illustre un exemple d'inclusion réciproque de ces deux espèces. Mais, généralement, la tétraédrite est dépourvue d'inclusions, sauf quelques rares mouchetures de galène.

A certains endroits, une légère coloration verte trahit un début d'altération. Le minéral se craquèle suivant des fissures plus ou moins orthogonales (ph. 3, pl. 2) remplies d'un produit non identifié — vu sa nature submicroscopique — aux teintes verdâtres et bleutées. Il semble qu'il contienne de la covelline.

On peut difficilement se prononcer sur l'origine de la tétraédrite. Le fait que les microcristaux ne respectent jamais l'alignement, ne

permet pas de lui attribuer, avec certitude, une nature exsolvative.

D'autre part, l'interdépendance de position fortuite avec la blende pour laquelle j'ai émis l'hypothèse de cristallisation contemporaine avec la galène, impliquerait un processus de formation analogue. Cependant, la différence entre les contours de la tétraédrite et de la blende ne milite pas en faveur d'une origine commune.

Précisons encore que la présence de tétraédrite n'est pas liée systématiquement à celle d'un autre minéral. Bien que, dans certains cas, elle voisine avec la blende ou la chalcopyrrite, le plus souvent, elle est isolée dans la galène.

Ce cuivre gris a été étudié avec assez de détails. Les courbes de dispersion du pouvoir réflecteur mesuré sur 10 cristaux provenant de sections différentes (polissage non standardisé) sont représentées à la fig. 3. Celles-ci révèlent une allure relativement plane au-dessus de

PR (%)

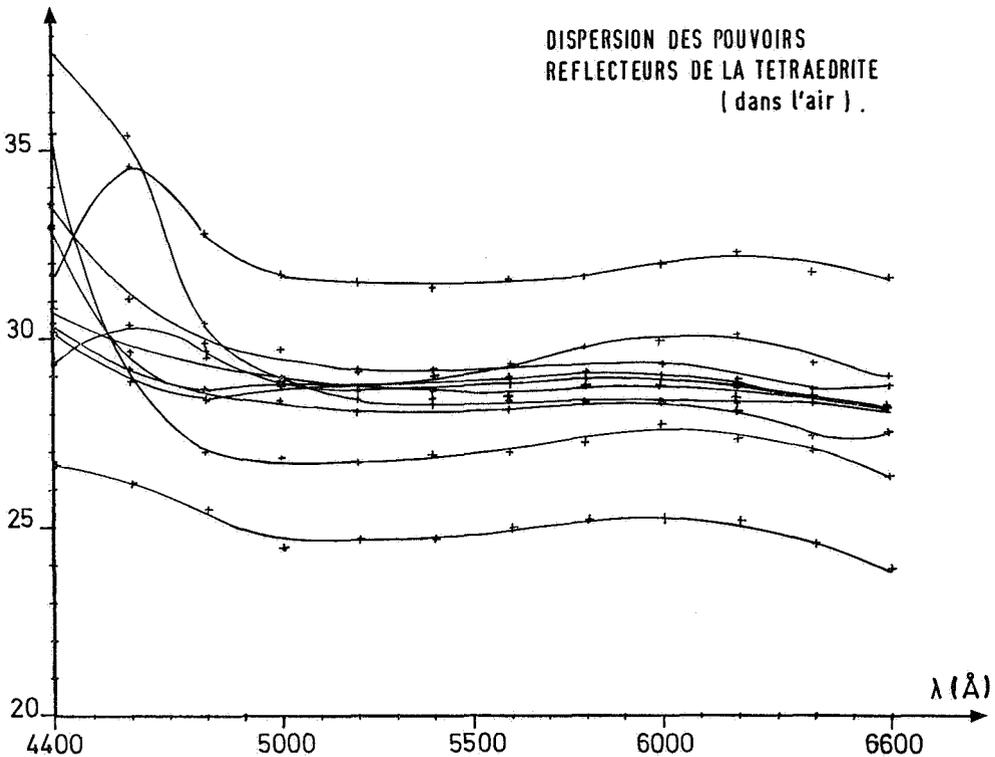


Fig. 3.

4.900 Å, avec une légère ondulation vers 6.000 Å (remarquez que la forme des courbes n'est pas modifiée par l'état de polissage: tous les tracés sont superposables par translation selon l'ordonnée). La microdureté Vickers moyenne (40 mesures) se chiffre à 338,3 kg/mm² et la maille à 10,397 Å.

Outre son intérêt minéralogique, cette tétraédrite valorise économiquement le minerai par sa teneur en argent. Dans une étude récente (en voie de publication) A. HERBOSCH et E. LAURENT, par compilation de leurs propres mesures et de celles d'autres auteurs ont tenté de relier la teneur en argent des tétraédrites à leur maille et leur microdureté. Le graphique donnant la teneur en argent en fonction de la maille est représenté à la fig. 4.

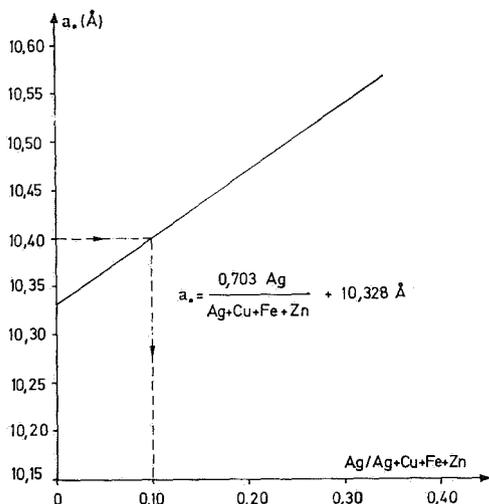


Fig. 4.

Pour $a_0 = 10,397 \text{ \AA}$, on lit:

$$\frac{\text{Ag}}{\text{Ag} + \text{Cu} + \text{Fe} + \text{Zn}} = 0,10$$

En admettant pour formule de la tétraédrite, celle citée par P. RAMDOHR (1969, p. 534): $(\text{Cu}, \text{Ag})_8 \text{Sb}_2\text{S}_7$ (on suppose Fe, Zn, Pb, Hg, Ni, Co... en quantités négligeables), il vient:

$$\begin{aligned} \% \text{ d'Ag} &= \frac{x \text{ mol. Ag.}}{x \text{ mol. Ag} + (8-x) \text{ mol. Cu} + 2 \text{ mol. Sb} + 7 \text{ mol. S.}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ayant lu } \frac{\text{Ag}}{\text{Ag} + \text{Cu}} &= 0,10 \text{ on tire } x \text{ mol. Ag} \\ &= 8 \times 0,10 = 0,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{En remplaçant} \\ \% \text{ d'Ag} &= \frac{0,8 \times 108}{0,8 \times 108 + (8-0,8) \times 64 + 2 \times 122 + 7 \times 32} \\ &= 8,52 \% \text{ d'Ag} \end{aligned}$$

Cette valeur permet de conclure que le cuivre gris de Ravandje n'est pas particulièrement riche en argent. D. A. TIMOFEYEVSKIY (1967) renseigne une tétraédrite contenant 23,86 % d'Ag.

D'ailleurs, la valeur de la microdureté mesurée confirme l'idée que la tétraédrite de Ravandje est faiblement argentifère. En effet, le tableau de la fig. 5 qui compare la microdureté et la teneur en argent de 5 tétraédrites montre la nette décroissance de la microdureté vers les teneurs en argent croissantes.

Malgré la disparité de la présence de tétraédrite dans les échantillons observés, les analyses chimiques renseignent une teneur en argent

REFERENCES	D. VICKERS	Ag %
Ravandje — DEJONGHE	338	8,52
Erdouz Sud — HERBOSCH et LAURENT	327	13,3
Erdouz Nord — HERBOSCH et LAURENT	292	20,5
Largentière — HERBOSCH et LAURENT	291	19,5
Ust' Teremski — TIMOFEYEVSKIY (1967)	254	23,86

Fig. 5 — Teneur en argent et microdureté de quelques tétraédrites.

relativement constante dans le concentré. Les résultats de cinq analyses chimiques (fig. 6) (*) choisies au hasard parmi un grand nombre d'analyses semblables autorisent à conclure

à la règle suivante: « La teneur en argent du concentré s'élève à 10 gr par % de plomb qu'il contient ».

Teneur en argent du concentré gr/tonne	Teneur en plomb du concentré %
699,9	61,3
606	60,67
611,1	61,69
602	62,89
581,4	60,3

Fig. 6 — Teneurs en argent et en plomb du concentré.

5) Chalcopyrite (CuFeS_2)

La chalcopyrite apparaît en petites inclusions (10 microns) dans la galène (ph. 2, pl. 2). On la rencontre assez rarement. En général, elle se confine sur les bords des plages de galène, près du contact avec la gangue. Elle se limite toujours par des contours allotriomorphes.

Aucun critère objectif ne permet de lui attribuer une nature exsolvative. Sa très faible proportion empêche de discerner une éventuelle orientation sur le réseau du minéral hôte.

b) Gangue

1) Barytine (BaSO_4)

Les cristaux de barytine présentent toujours des contours idiomorphes sous le faciès lamellaire par développement plus important de la face 001. En section polie, les lamelles de barytine sont 5 à 10 fois plus longues que larges. Exceptionnellement, on rencontre la présence de macles.

La barytine contient parfois des inclusions de tétraédrite, plus souvent de pyrite et de quartz et de nombreuses lacunes de cristallisa-

tion qui ont fait l'objet d'une étude particulière (**). Les observations thermo-optiques assignent à la barytine une température de cristallisation inférieure à 50° C.

Généralement, la taille de ses cristaux voisine le millimètre. Mais il n'est pas rare de rencontrer des individus centimétriques. Elle apparaît soit en cristaux isolés, soit en agrégat de cristaux jointifs (structure cloisonnée), soit en lamelles superposées en forme de gerbe rayonnante (structure flabelliforme). En général, les agrégats de barytine présentent la structure cloisonnée caractérisée par une abondance de phénocristaux idiomorphes jointifs délimitant des cavités remplies de quartz calcédonieux et de calcite (ou d'ankérite).

Parfois, sur section plane (observation macroscopique), on remarque une alternance de bandes composées de lamelles enchevêtrées de barytine et de calcite (structure rubanée). La taille et la fréquence des cristaux de barytine varie graduellement d'un bord à l'autre de la bande: d'un côté, la densité des cristaux est grande avec passage brutal au carbonate; de l'autre, plus faible avec passage graduel à la calcite. Cette structure rubanée suggère un

(*) Les résultats de ces analyses effectuées par polarographie nous ont été fournis par Sogémiran.

(**) Publication à présenter au 3e Symposium International des Inclusions organisé les 22 et 23 août 1972 à Montréal par la C.O.F.F.I.

dépôt intermittent de la barytine en milieu carbonaté.

D'autre part, il existe des exemples probants de métasomatose de la barytine par de la calcite et par de la galène. La ph. 4, pl. 2 illustre ce dernier cas.

2) Quartz (SiO_2)

Il se présente soit en cristaux idiomorphes isolés dans la galène ou la barytine, soit en agrégats remplissant les cavités entre les lamelles de barytine, soit en agrégats plus ou moins communicants inclus dans la galène. Lorsqu'ils sont isolés, les cristaux de quartz développent toujours des formes idiomorphes et leurs dimensions voisinent 50 microns. Les agrégats formés de cristaux allotriomorphes de taille variable parfois inférieure à 10 microns, mais généralement comprise entre 50 et 100 microns, montrent une structure en mosaïque.

Le quartz en remplissage des cloisons délimitées par les lattes de barytine offre, au contact de celles-ci, une limite dentelée qui oscille autour d'une droite. En effet, les cristaux de quartz pénètrent de leur contour à tendance idiomorphe, les cristaux de barytine. Dans ces cloisons, le quartz présente souvent un aspect calcédonieux. En inclusion dans la galène, les agrégats de quartz montrent avec le sulfure une structure à limites mutuelles.

La présence de quartz est toujours liée à celle de barytine, même dans les sections dépourvues de galène. Il y est inclus sous forme de cristaux idiomorphes. Avec la galène, cette association semble moins systématique. Dans le cas d'inclusions idiomorphes de quartz, le caractère contemporain du dépôt avec le minéral hôte ne semble faire aucun doute.

Le quartz qui apparaît sous forme calcédonieuse montrant un contact dentelé avec les cloisons de barytine peut provenir d'une silicification épigénétique de la roche. Mais celle-ci n'affecte pas la totalité du massif. En effet, les cavités délimitées par les lamelles de barytine renferment soit de la calcite (ou de l'ankérite), soit du quartz calcédonieux. Dans certaines sections, quelques mouchetures de carbonate subsistent dans l'agrégat de quartz calcédonieux.

3) Calcite (CaCO_3) et Ankérite ($\text{Ca(Fe, Mg, Mn)(CO}_3)_2$)

La calcite et l'ankérite interviennent aussi en association intime avec les minéraux de la paragenèse, comme remplissage des cloisons délimitées par les lattes de barytine et en mouchetures disséminées dans la galène. A ce titre, la cristallisation de ces carbonates semble péncontemporaine de celle de la galène et de la barytine. Mais ces carbonates apparaissent également comme minéraux secondaires cimentant les fissures qui parcourent le minerai. Lorsque la calcite colmate les fentes d'une roche à caractère dolomitique, elle possède une tendance magnésienne très marquée.

4) Dolomite ($\text{Ca Mg(CO}_3)_2$)

La présence de dolomite a été mise en évidence à la fois à l'échelle macroscopique (par analyse chimique) et à l'échelle microscopique (par test de coloration). Sur le terrain, les calcaires dolomitiques (gangue) présentent généralement un aspect « peau de pachyderme ». Mais seule une analyse chimique permet de préciser leur nature.

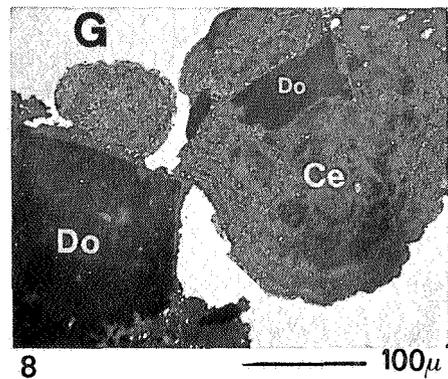
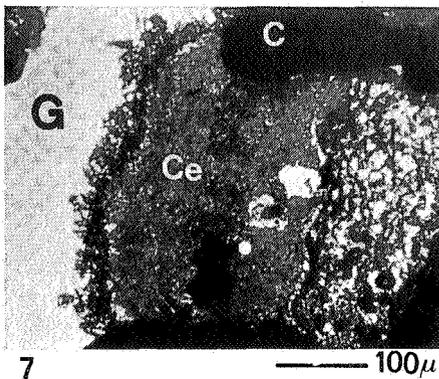
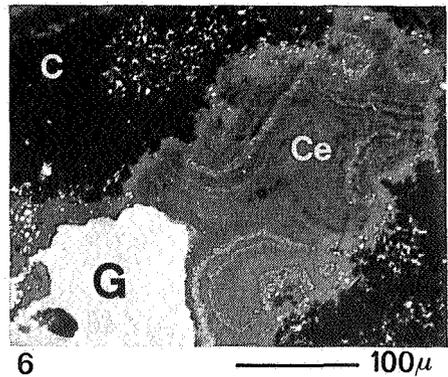
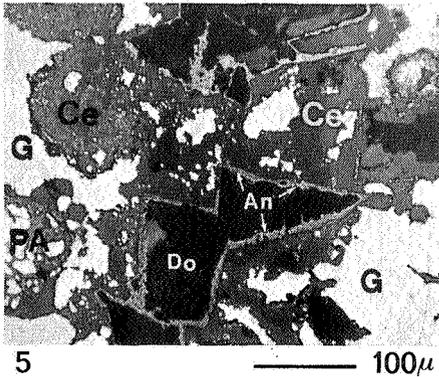
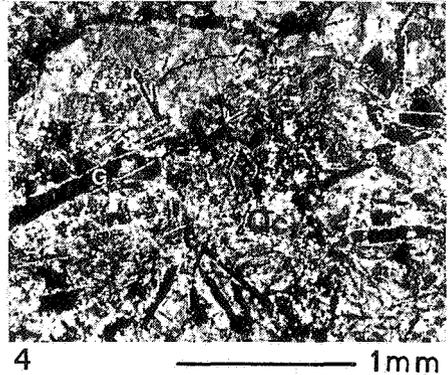
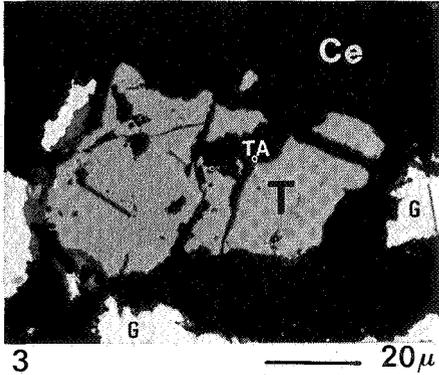
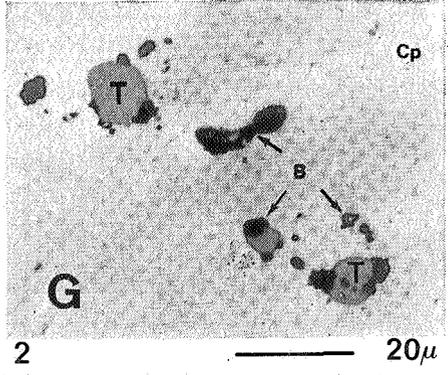
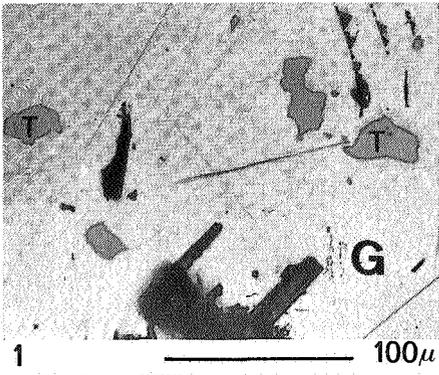
Au microscope métallographique, on observe parfois la présence de dolomite en rhomboèdres parfaits, enclavés dans la galène à proximité de la gangue carbonatée, emprisonnant eux-mêmes quelques mouchetures de galène (ph. 5, pl. 2). On peut admettre le caractère ferrifère de ces cristaux après examen de la coloration générale brune qu'ils présentent en lumière naturelle. Leurs teintes de réflexion sont ocre, mais de plus en plus foncées (brunes) au fur et à mesure qu'on se rapproche de la périphérie. Le liseré gris clair entourant les rhomboèdres de la ph. 5, pl. 2 atteste qu'une bordure de composition plus ferrifère (teintes de polarisation brunes à rouge brunâtre) entoure ces rhomboèdres. Cette enveloppe réagit rapidement à une attaque acide et par test de coloration répond aux caractères d'une ankérite.

Il semble que la présence de ces rhomboèdres ne puisse s'expliquer que par une recristallisation diagénétique et que leur bordure ferrifère résulte d'une altération tardive. En outre, on

PLANCHE II

- Photo 1 Lumière réfléchie, nicols croisés, immersion, antiflex.
Tétraédrite (T, gris) en inclusion dans la galène (G, blanc) présentant avec celle-ci une structure à limites mutuelles.
- Photo 2 Lumière réfléchie, nicols croisés, immersion, antiflex.
Agrégaats coalescents de tétraédrite (T, gris) et de blende (B, noir) en inclusion dans la galène (G, blanc).
Noter la présente dans le coin supérieur droit d'un peu de chalcopyrite (Cp, blanc).
- Photo 3 Lumière réfléchie, nicols croisés, immersion, antiflex.
Tétraédrite (T, gris) s'altérant le long des fissures qui la craquèlent (TA, noir). La photo est prise dans une zone où la galène (G, blanc), qui l'entoure est entourée de césusite (Ce, noir).
- Photo 4 Lumière transmise simplement polarisée.
Epigénie des cristaux en forme de lattes de barytine par de la galène (G, noir). Les cristaux sont bordés d'un liseré calcédonieux (blanc) et emballés dans une matrice de quartz calcédonieux (Qc, blanc et gris).
- Photo 5 Lumière réfléchie, nicols croisés, immersion, antiflex.
Rhomboèdres de dolomite (Do, noir), cerclés d'une bordure d'ankérite (An, gris clair), inclus dans la galène (G, blanc) en voie d'oxydation en césusite (Ce, gris). En bas, à gauche, pyrite (PA, blanc) s'altérant en goethite. A l'extrême droite de la photo, rhomboèdre de dolomite (gris foncé) partiellement remplacé par de la césusite (gris) mais dont le contour ankéritique (gris clair) reste visible.
- Photo 6 Lumière réfléchie, nicols croisés, immersion, antiflex.
Galène (G, blanc) s'altérant en césusite (Ce, gris) au contact de la gangue de calcite (C, noir). Remarquer le parallélisme des couches de césusite pure (gris foncé) et des zones plus riches en reliques de galène (gris clair). La différence des pouvoirs réflecteurs met parfaitement en évidence les arabesques dessinées par le phénomène d'oxydation.
- Photo 7 Lumière réfléchie, nicols croisés, immersion, antiflex.
Développement de la césusite (Ce, gris) à partir de la calcite (C, noir) en front d'oxydation pseudoplan. Remarquer l'état de désagrégation différent selon les pseudoplans parallèles.
- Photo 8 Lumière réfléchie, nicols croisés, immersion, antiflex.
Césusite (Ce, gris) se développant en structure bourgeonnante autour des rhomboèdres de dolomite (Do, noir) inclus dans la galène (G, blanc).

PLANCHE II



peut préciser que cette dernière s'est produite avant l'oxydation de la galène en cérusite. Sur la ph. 5, pl. 2, près du bord droit, on observe un rhomboèdre de dolomite dont la périphérie est partiellement remplacée par de la cérusite tandis que la bordure d'ankérite reste présente. Bref, après recristallisation diagénétique des rhomboèdres dolomitiques, des solutions très ferrifères véhiculées par les pores intergranulaires ont métasomatisé les rhomboèdres en bordure. Ces solutions ont cessé leur action avant que ne débute le remplacement de la dolomite par la cérusite.

B. ETUDE DES MINERAUX SUPERGENES APPARAISSANT EN ZONE D'OXYDATION

A Ravandje, le climat aride qui sévit la plus grande partie de l'année engendre peu de précipitations. Il en résulte une surface phréatique à grande profondeur et une importante zone d'oxydation.

1) Anglésite ($PbSO_4$)

L'anglésite a été observée sous forme finement granulaire en incrustations rythmiques dans la galène, associée à la cérusite, composant la structure « en bourgeon » décrite lors de l'étude de la cérusite. Elle n'a jamais été repérée en grandes plages monominérales. Il semble que l'existence de l'anglésite soit éphémère et qu'elle se transforme très rapidement en cérusite.

2) Cérusite ($PbCO_3$)

Au cours du processus d'oxydation, la cérusite progresse dans la galène de 2 façons différentes.

— l'oxydation débute soit au contact de la gangue carbonatée (ph. 6 et 7, pl. 2) soit autour de rhomboèdres de carbonates enclavés dans la galène (ph. 8, pl. 2). Elles se développent en fronts d'oxydation parallèles pseudoplans ou sphéroïdaux et prend l'allure d'un bourgeonnement.

— l'oxydation débute dans une zone recristallisée selon un réseau de fissures polygonales (ph. 1, pl. 3). Celles-ci sont progressivement élargies par la cérusite contenant, au début, de nombreuses reliques de galène aux contours finement ciselés « en dentelle ». (ph. 2, pl. 3) qui deviennent de plus en plus rares lorsque l'oxydation gagne en intensité.

Dans les deux cas, le phénomène évolue vers la formation de grandes plages de cérusite en cristaux allotriomorphes engrenés (structure en mosaïque) à effet de biréflectance net.

Le remplacement de la galène par la cérusite conduit donc à une structure rubanée concentrique spatialement indépendante du clivage. De telles structures résultent de remplacements supergènes sous des conditions qui autorisent un rapport intermittent de solutions oxydantes. D'ailleurs, les ph. 6 et 7, pl. 2 qui montrent les couches successives composées de cérusite et de reliques de galène établissent que l'oxydation agit comme un phénomène séquentiel qui désagrège la galène selon des degrés d'intensité différents. Certaines couches contiennent plus de reliques de galène déchiquetée que d'autres et la différence entre les pouvoirs réflecteurs de ces deux minéraux met parfaitement en évidence les arabesques dessinées par la progression du phénomène.

3) Minimum (Pb_3O_4)

Dans une zone de la mine C où la proportion de cérusite est supérieure à la valeur habituelle rencontrée, C. KOOL(*) a signalé la présence d'un produit de couleur rouge écarlate. Il s'agit très probablement de minium, produit secondaire d'altération de la galène et/ou de la cérusite.

4) Covelline (CuS)

La covelline se présente en agrégat de lamelles disposées en forme de gerbe ou parfois dans deux directions grossièrement orthogonales. Parfois elle se développe autour des inclusions de chalcopryrite et de tétraédrite et résulte alors

(*) Société Générale des Minerais.

de la cémentation des minéraux cuprifères inclus dans la galène. Mais sa présence s'observe aussi toujours dans la cérusite, et porte à croire que la galène contient une certaine quantité de cuivre dans son réseau (à moins qu'il ait été amené par les solutions oxydantes?).

5) Néodigénite (Cu_9S_5)

En fait, il semble que dans ces processus d'altération, la cérusite passe par un stade de néodigénite avant de présenter toutes les propriétés optiques de la covelline. En effet, parfois on trouve dans la cérusite, de grandes plages supérieures à 100 microns de néodigénite finement grenue en imprégnation diffuse ou en front radiaire qui recristallise en certains endroits en lamelles de covelline.

6) Goethite (FeO.OH) et limonite ($\text{FeO.OH.nH}_2\text{O}$)

Ce sont les produits traditionnels d'oxydation des minéraux ferrifères. Dans les échantillons observés, ils proviennent essentiellement de l'altération de la pyrite.

7) Remarque: La section « B5 »(*)

Cette section mérite qu'on lui réserve une attention toute particulière, car c'est la seule section examinée où un cuivre gris figure en plages de plus de 100 microns et son faciès (ses structures) ne correspond pas à celui rencontré pour les autres cuivres gris.

Outre un minéral d'altération (covelline), la paragenèse de cette section comprend 4 minéraux primaires: tennantite, chalcopryrite, pyrite et galène.

Ces minéraux apparaissent dans une gangue de calcite, isolés (surtout la tennantite) ou associés. Ils développent l'un par rapport à l'autre ou l'ensemble par rapport à la gangue une structure à limites mutuelles (ph. 3, pl.3).

(*) Echantillon prélevé au niveau 2015 de la mine B, repéré dans le quadrillage minier employé par Sogémiran par les coordonnées: E 1489, N 1121.

La pyrite se présente en cristaux idiomorphes corrodés, parfois très abondants dans certaines plages de chalcopryrite. De plus, la ph. 4, pl. 3, montre que la chalcopryrite est morcelée et envahie par la tennantite. Ce détail prouve l'antériorité de la chalcopryrite par rapport à la tennantite. D'autre part, la galène apparaît en dernier lieu dans la succession paragenétique car elle entoure la chalcopryrite et la tennantite et ne s'y trouve jamais en inclusion.

L'altération atmosphérique introduit un minéral supplémentaire dans la paragenèse: la covelline. La tennantite s'altère en covelline qui la pénètre parfois selon des fissures aux bords très déchiquetés. La chalcopryrite se transforme aussi en covelline, mais par remplacement localisé en bordure des cristaux. Enfin, la galène subit également un processus d'altération assez exceptionnel qui s'amplifie au cours du vieillissement de la section. Parfois, comme sur la ph. 4, pl. 3, le long de la chalcopryrite et de la tennantite, la galène se ternit, prend une couleur bordeaux et est remplacée par de la covelline.

Par la variété minéralogique, la nature de la gangue et les structures particulières, il semble qu'on se trouve en présence d'une paragenèse secondaire très probablement en zone de cémentation.

C. ETUDE DES MINÉRAUX DES FILONNETS CUIVREUX TARDIFS.

a) Echantillons provenant de la mine C.

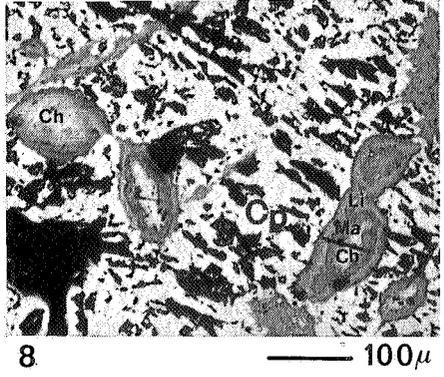
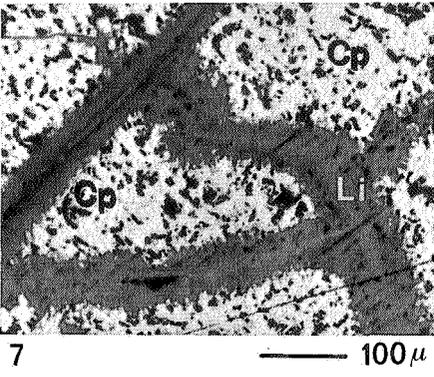
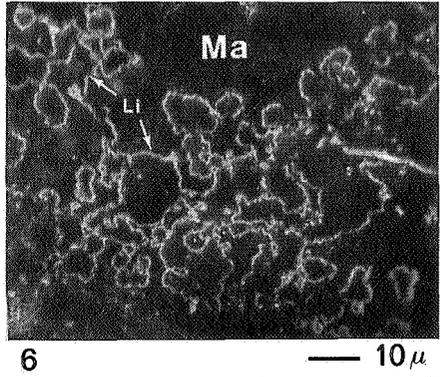
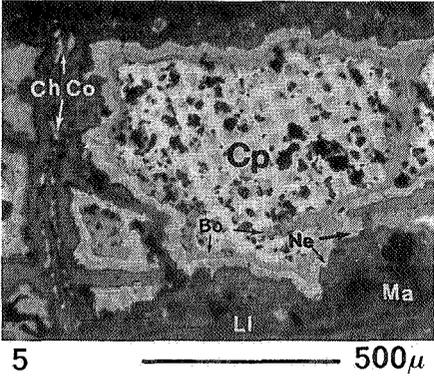
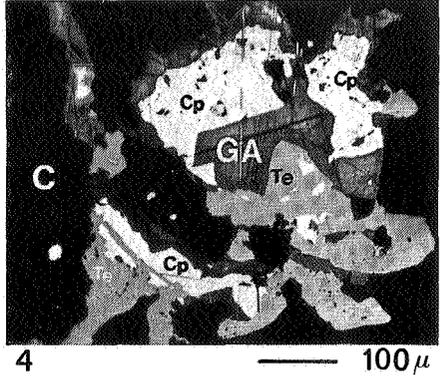
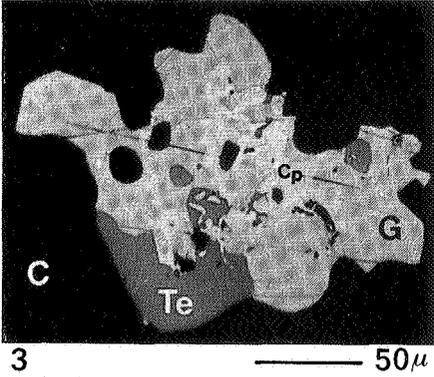
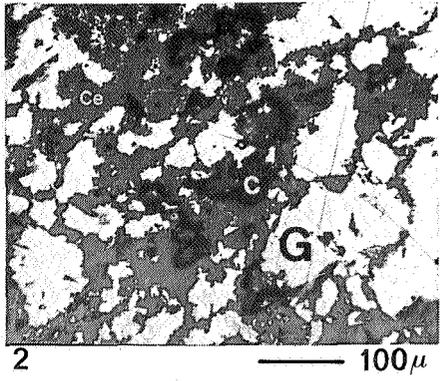
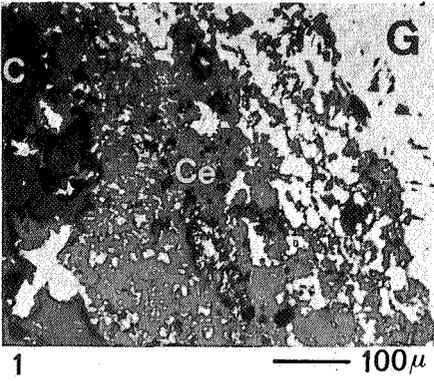
Sous l'effet des conditions d'oxydation supergène, on y trouve de très jolies structures dans la chalcopryrite morcelée selon un réseau de fissures progressivement élargies par les minéraux de remplacement. La transition du minéral hôte (chalcopryrite) aux termes ultimes de substitution (malachite et limonite colloïdale) s'effectue par l'intermédiaire de bordures concentriques de bornite, chalcosine, néodigénite et covelline (ph. 5, pl. 3).

Au point de vue de leur composition minéralogique, les filonnets de remplacement possèdent une symétrie par rapport à un axe médian bien soulignée par 2 files de lamelles de chal-

PLANCHE III

- Photo 1 Lumière réfléchiée, simplement polarisée.
Développement de la cérusite (Ce, gris) à partir de la calcite (C, noir) remplissant les fissures polygonales de recristallisation de la galène (G, blanc).
- Photo 2 Lumière réfléchiée, simplement polarisée.
Reliques de galène (G, blanc) aux contours finement ciselés en « dentelle », disséminés dans une matrice de cérusite (Ce, gris) avec quelques cristaux de calcite (C, noir).
- Photo 3 Lumière réfléchiée, nicols croisés, immersion, antiflex.
Association de tennantite (Te, gris foncé), galène (G, gris très clair) et chalcopirite (Cp, blanc), dans une gangue de calcite (C, noir). Remarquer la structure à limites mutuelles entre les différents cristaux.
- Photo 4 Lumière réfléchiée, nicols croisés, immersion, antiflex.
Association de galène en voie d'altération (GA, gris foncé) chalcopirite (Cp, blanc) et tennantite (Te, gris clair) dans une gangue de calcite (C, noir). La tennantite fracture la chalcopirite dont elle contient de nombreuses enclaves.
- Photo 5 Lumière réfléchiée simplement polarisée.
Fragment de chalcopirite (Cp, blanc) cerclé de bornite (Bo, gris) et de néodigénite (Ne, gris clair) compris dans une matrice de limonite (Li, gris) et de malachite (Ma, noir). A gauche de la photo, deux files de tablettes de chalcosine (Ch, blanc) et de covelline (Co, blanc) disposées longitudinalement dans la fissure, soulignent la symétrie axiale des minéraux de remplacement.
- Photo 6 Lumière réfléchiée, simplement polarisée, immersion, antiflex.
Dans la malachite (Ma, gris) aux réflexions internes brunâtres, la limonite (Li, gris clair) développe une structure colloforme aux circonvolutions compliquées.
- Photo 7 Lumière réfléchiée, simplement polarisée.
Chalcopirite (Cp, blanc) transformée directement en limonite (Li, gris) le long des fissures qui parcourent la chalcopirite. Remarquer la structure esquilleuse en bordure de ces filonnets de limonite.
- Photo 8 Lumière réfléchiée, simplement polarisée.
Formes de remplacement oblongues dans la chalcopirite (Cp, blanc), constituées d'un nucléus de chalcosine (Ch, gris clair) entouré d'une bordure de malachite (Ma, gris foncé). La transition avec la chalcopirite s'effectue par une couronne ellipsoïdale de limonite (Li, gris).

PLANCHE III



cosine aux bords déchiquetés ou lancéolés allongées dans le sens du filonnet et parfois recristallisées en covelline (cfr. bord gauche de la ph. 5, pl. 3).

Les structures de ces minéraux d'oxydation sont classiques. Relevons cependant la présence de quelques particularités. La malachite présente une variation dans la teinte de ses réflexions internes lorsqu'on se rapproche de la limonite. En effet, en bordure des filonnets, les réflexions internes vertes passent graduellement au brun rougeâtre. Ce phénomène s'explique par une observation attentive sous un très fort grossissement en lumière naturelle transmise. En réalité cette malachite est construite de sphérules noirs, probablement des micelles d'hydroxyde de fer (1 à 10 microns), cimentés par de la malachite vert clair. On trouve aussi, dans la malachite présentant des réflexions internes brunâtres (proche de la limonite), un minéral aux propriétés optiques semblables à celles de la limonite, mais développant une structure très particulière (ph. 6, pl. 3). Il consiste en une fine pellicule aux circonvolutions très compliquées qui ressemble à un fin ruban dessinant un contour tantôt fermé et presque circulaire, tantôt lâche avec de nombreuses apophyses.

b) *Echantillons provenant de la mine A.*

On sait que l'oxydation de la chalcopryrite dépend énormément de circonstances locales. Dès lors, il n'est pas étonnant de trouver pour les échantillons originaires de filonnets de chalcopryrite mis en place autour de la mine A, des structures microscopiques très différentes de celles décrites pour ceux de la mine C.

Alors que dans les échantillons de la mine C, la chalcopryrite était exceptionnellement remplacée directement par la limonite, à la mine A, le phénomène est général. La ph. 7, pl. 3 montre que la chalcopryrite se transforme directement en limonite le long de craquelures disposées de façon quelconque, par rapport aux plans de clivage de la chalcopryrite qui, néanmoins, conformément les bords de ces filonnets en dents de scie.

Enfin, citons également pour les échantillons originaires de la mine A, une structure de

substitution assez typique (ph. 8, pl. 3). L'oxydation détermine des formes de remplacement oblongues constituées de couches concentriques de natures différentes. Ces zones à structure amygdaloïde sont constituées d'un « nucléus » de chalcosine, entouré d'une bordure de malachite. La transition avec la chalcopryrite s'effectue par une couronne ellipsoïdale de limonite. Dans les plages où l'oxydation est très avancée, ces amygdales de chalcosine subsistent au sein des plages de malachite.

CONSIDERATIONS GENETIQUES

Lorsqu'on étudie un gisement, on ambitionne de combiner les observations de terrain et de laboratoire pour arriver à une interprétation génétique indiscutable de la concentration minérale. Pour le gîte de Ravandje, celle-ci n'est cependant pas évidente. La plupart des structures microscopiques observées s'expliquent par un processus de dépôt sédimentaire (éventuellement sous forme colloïdale)(*). Néanmoins, l'hypothèse d'une genèse hydrothermale (suggérée par certaines structures) n'est pas formellement contredite et ne peut donc pas (sur ces seuls critères) être définitivement rejetée. A leur tour, les structures qui proposent un processus hydrothermal ne constituent pas des arguments décisifs, car elles peuvent aussi être attribuées à une recristallisation diagénétique. L'équivoque ne peut donc être levée qu'en cherchant d'autres critères, par exemple des métallotectes, pour discuter le mode de formation du gisement.

En ce qui concerne le gîte de Ravandje, j'ai relevé trois caractéristiques communes aux différentes zones minéralisées (A-B-C):

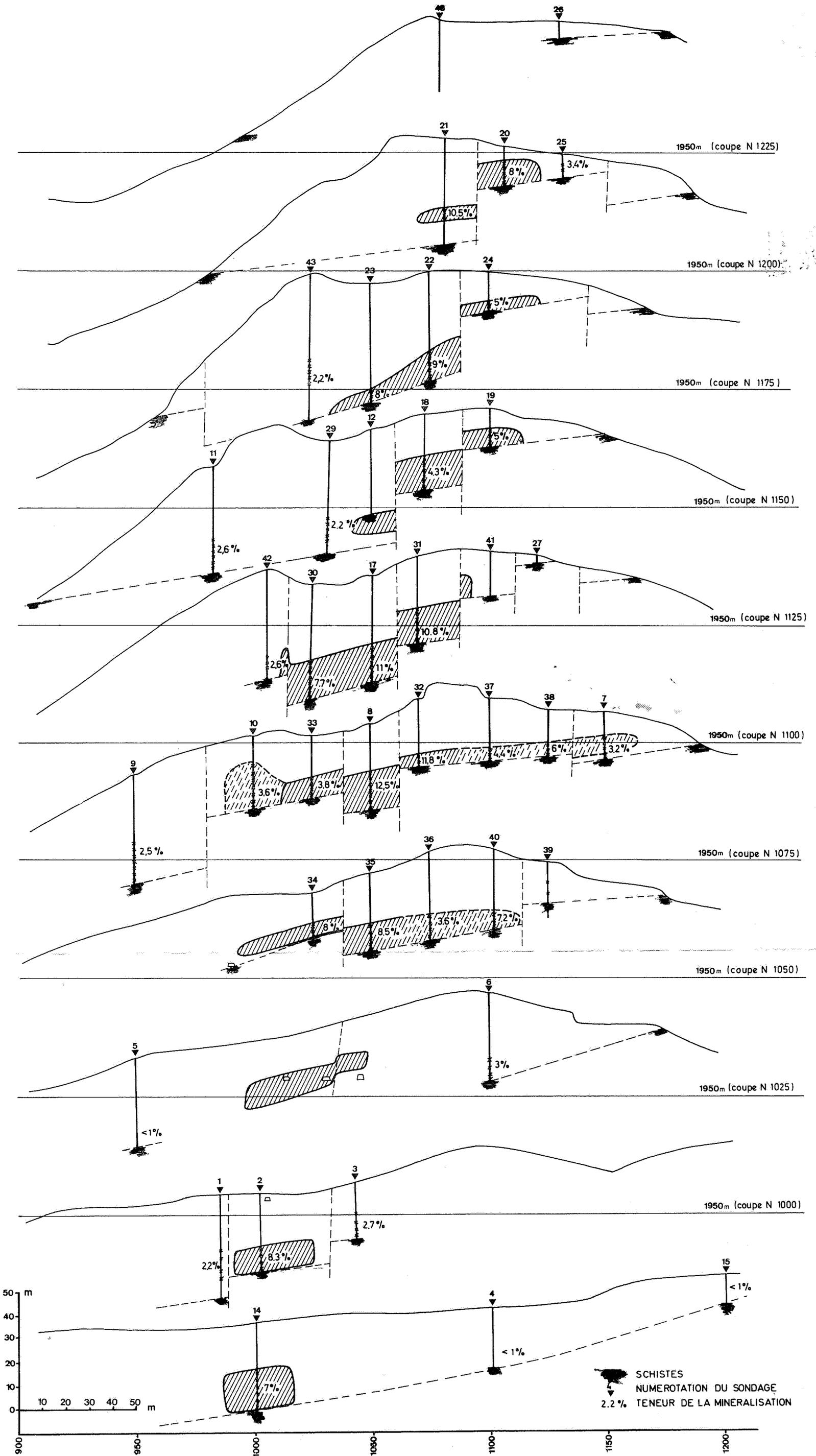
- les calcaires du Crétacé moyen constituent la roche magasin,
- la forme du corps minéralisé est celle d'une lentille plus ou moins aplatie à la base.

(*) La détermination de la nature colloïdale du dépôt ne résout pas le problème génétique, car les dépôts colloïdaux se rencontrent aussi bien dans les minéralisations supergènes sédimentaires qu'hypogènes hydrothermales, de basse température.

COUPES O-E.
GISEMENT MINE C
RAVANDJE.

O

E



— la concentration minérale apparaît au-dessus d'une discordance avec lacune de sédimentation.

Explicitons quelque peu ces trois métallogènes.

1) *le faciès calcaire*

Certains auteurs admettent souvent que les roches carbonatées jouent le rôle de métallogène positif pour le plomb et le zinc. Par contre, les roches quartzieuses et les argiles sont moins fréquemment minéralisées en ces éléments. Cette règle est confirmée à Ravandje où les calcaires du Crétacé moyen sont minéralisés en galène et les schistes sous-jacents du Jurassique inférieur absolument stériles.

Ces calcaires sont de nature récifale et constitués par une formation en bancs massifs à Coraux et Stromatolithes compris entre des calcaires bien stratifiés. On sait que la croissance des récifs coralliens est favorisée par une température des eaux relativement élevée (nécessairement supérieure à 20° C.) Comme au Crétacé moyen, Ravandje était situé aux environs de 20° de latitude nord, les conditions climatiques chaudes s'avèrent réalisées.

La minéralisation de ces calcaires semble être liée à leur dolomitisation. Néanmoins cette dernière est variable tant en intensité qu'en position. Sur 9 roches carbonatées analysées, prélevées dans la zone minéralisée, trois seulement révèlent un caractère dolomitique marqué. La nature syngénétique ou épigénétique de cette dolomitisation n'a pas pu être prouvée. Notons que Fr. SIEGEL (1965) utilise la thermoluminescence pour préciser le caractère primaire ou métasomatique de celle-ci. Mais ses conclusions sont contestées par J. M. CHARLET(*) (communication orale) qui, par thermoluminescence a néanmoins pu montrer que la température de cristallisation de la dolomite de Ravandje est assez basse.

2) *La disposition géométrique en lentilles faillées.*

Des sondages de reconnaissance implantés sur les nœuds d'un réseau à maille carrée de

25 mètres ont permis de tracer la limite exploitable du gisement de la mine C. Quelques corrections ont été apportées à partir des relevés topographiques d'exploitation. Les résultats sont représentés à la fig. 7 qui offre des coupes parallèles régulièrement espacées dans le massif minéralisé de la mine C. Elles montrent que ce gisement présente la forme d'une lentille faillée de 180 m de long, 150 m de large et 20 m de haut, relativement plane à la base mais dont le caractère vallonné du sommet apparaît nettement sur les plans miniers de détail (par ex. à la fig. 8). Cette forme géométrique rigoureusement confinée aux calcaires constitue un métallogène, car dans les 2 autres gisements (mine A et mine B) la minéralisation adopte une disposition semblable.

3) *Le métallogène socle couverture.*

Rappelons que la chaîne du Zagros fut plissée durant plusieurs orogènes alpines. L'intensité du plissement décroît rapidement vers le NE, les charriages y manquent et les structures faillées deviennent moins importantes. Dans cette région (Ravandje y compris), on peut distinguer plusieurs phases orogéniques et notamment une orogène précrétacé moyen. A la fin du Jurassique, un plissement complexe a provoqué une émergence importante des formations schisto-gréseuses indiquée localement par des discontinuités angulaires et par la présence d'un horizon conglomératique gréseux. L'existence de cette formation est confirmée par O. THIELLE et al. (1968, p. 13). A Ravandje, cet horizon conglomératique est généralement absent entre les schistes et les calcaires. Mais au NE de la mine C (voir fig. 1) il affleure de façon spectaculaire.

Bien que la discordance angulaire entre les schistes et les calcaires ne soit pas observable, le diastrophisme du Jurassique et la période continentale qui en résulte semblent avoir été assez prononcés pour engendrer une lacune de sédimentation du Lias (ou Dogger ?) au Crétacé moyen. D'un point de vue métallogénique, les schistes du Jurassique jouent donc le rôle de socle intermédiaire par rapport aux calcaires récifaux du Crétacé moyen, selon la

(*) Faculté Polytechnique de Mons.

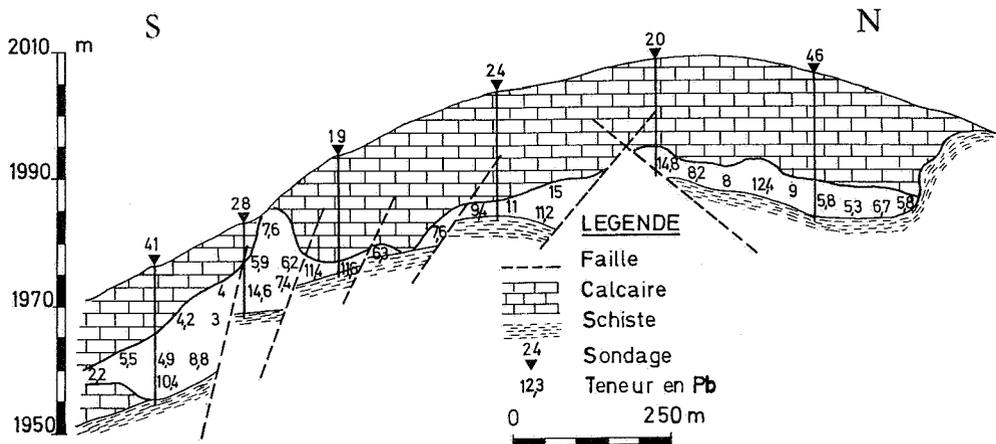


Fig. 8.

définition qu'en ont donné W. CHAZAN et E. FAUVELET (1958).

Sur la base de ces données, on peut affirmer que:

- 1) Le contrôle stratigraphique de la minéralisation l'emporte sur le contrôle tectonique.
- 2) La concentration coïncide avec une variation lithologique brutale et est liée à une séquence sédimentaire déterminée. En effet, les substances utiles sont confinées à des calcaires récifaux correspondant à des aires de sédimentation ralenties en milieu peu profond.

Ces caractères me semblent coucourir à coller au gisement une étiquette syngénétique. Cette détermination s'accorde avec les indications relevées précédemment (dépôt sous forme colloïdale, dolomitisation de basse température, inclusions fluides de la barytine impliquant une température de cristallisation inférieure à 50° C). D'ailleurs, la zonalité Barytine — (Blende + Galène) observée peut s'expliquer par des conditions hautement réductrices existant dans un back-reef. En effet, dans ce milieu, les microorganismes réducteurs doivent nécessairement utiliser la matière organique et par conséquent libérer localement des quantités variables d'H₂S qui réagit à faible distance avec les matériaux oxydés en solution. Dans le cas idéal d'une réduction complète, seul l'ion S²⁻ est présent (si la réduction est

nulle, seul l'ion SO₄²⁻ est présent). Dans ces conditions, le baryum ne précipitera pas, mais le plomb et le zinc seront bloqués sous forme de sulfures. Le baryum, évacué vers le large (vers les récifs ou au-delà) y sera arrêté par les ions SO₄²⁻, trop abondants pour être réduits en totalité. Ceci explique la zonalité (Pb+Zn) — Ba de l'Amont vers l'Aval.

Toutefois, l'opposition syngénèse-épigénèse ne devrait pas être abusive. En effet, très souvent, une première concentration a été suivie de remobilisations plus ou moins tardives diagénetiques, c'est-à-dire contemporaines de la lithification du sédiment ou même nettement épigénétiques. Cette remarque tend à expliquer les structures microscopiques dont l'interprétation n'est pas toujours favorable au processus syngénétique que j'ai finalement adopté.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier vivement Monsieur le Professeur I. de MAGNEE (Université Libre de Bruxelles), qui m'a proposé ce travail et n'a cessé de m'aider en me prodiguant ses conseils et en m'introduisant auprès des spécialistes des problèmes auxquels j'étais confronté.

Je suis aussi reconnaissant à Messieurs P.

DUHOUX, C. KOOL et Y. SIKORSKY
(Société Général des Minerais), pour l'accueil

qu'ils m'ont réservé en Iran, au sein des services de leur compagnie.

REFERENCES

- AMSTUTZ, G.C. et LOVE, L.G. (1966) — Review of microscopic pyrite. *Fortschr. Miner.*, 43, pp. 273-309.
- ARGALL, G.O. (1970) — Sogemiran floats oxide lead and barite at Ravandje mine in Iran. *World Mining*, avril 1970.
- BARIAND, P. (1963) — Contribution à la minéralogie de l'Iran. *Bull. Soc. Française de Min. et Crist.*, T. 86, pp. 17-64.
- BARIAND, P., ISSAKHANIA, V. et SARDZAHEH, M. (1965) — Carte métallogénique préliminaire de l'Iran. *Geological Survey of Iran*, report no. 7.
- BASTIN, E.S. (1953) — Interprétation of ore textures. *The geological Society of America*, *Memoir* 45, December 5, 1950, reprinted 1953, 101 p.
- BERNARD, A. et SAMAMA, J.C. (1970) — A propos du gisement de Largentière (Ardèche): Essai méthodologique sur la prospection des « Red-Beds » plombozincifères. *Sciences de la Terre*, Nancy, Tome XV, no. 3, pp. 207-264.
- BOHMER, H. (1964) — Mineralogy of the tetraedrite Series. *Dessertation*, Ann. Arbor.
- BOULADON, J. (1969) — Contribution à une systématique des gisements de plomb et zinc. *Chronique des Mines et de la Recherche Minière*, no. 385.
- BURNOL, L. (1968) — Contribution à l'étude des gisements de plomb et zinc de l'Iran. *Essais de classification paragenétique*. *Geological Survey of Iran*, report no. 11.
- CHAZAN, W. et FAUVELET, E. (1958) — Facteurs de répartition de certains indices téléthermaux de plomb-zinc-cuivre au Maroc. *Chronique Mines d'Outre Mer*, Paris, no. 269, pp. 311-320.
- DEICHA, G. (1955) — Les lacunes des cristaux et leurs inclusions fluides. *Masson & Cie*, Paris, 126 p.
- DEJONGHE, L. (1972) — Etude de la Minéralisation et de la Genèse du Gîte stratiforme de Ravandje (Iran Central). *Travail de spécialisation pour l'obtention du grade d'Ingénieur-Géologue*. Université Libre de Bruxelles.
- DEJONGHE, L. (en voie de publication) — Les inclusions aqueuses de la gangue du gîte de Ravandje. Etude de la morphologie de leur cavité au microscope à balayage. 3è Symposium International des Inclusions. Montréal — août 1972.
- DERRE, C. et TOURAY, J.C. (1971) — Les derniers stades de la cristallisation du filon à fluorite et barytine de Chavaniac (Haute Loire, France) d'après les études d'inclusions fluides et solides. *Mineralium Deposita*, Springer Verlag, Berlin, Vol. 6, no. 4, pp. 292-301.
- EDWARDS, A.B. (1954) — Textures of the ore minerals and their significance. *Australian Institute of Mining and Metallurgy Melbourne*, 242 p.
- FURRER, M.A. et SODER, P.A. (1955) — The oligo-miocène marine Formation in the Qum Region (central Iran). *Proceedings of the fourth world petroleum Congress*. Carlo Colombo Publisher, Rome, Section 1, A, 5, Paper 2, pp. 267-277.
- GANSSER, A. (1955) — New Aspects of the Geology in central Iran. *Proceedings of the fourth world petroleum Congress*. Carlo Colombo Publisher, Rome, Section 1, A, 5, reprint 2, pp. 279-300.
- GARRELS, R.M. (1960) — Mineral equilibria (at low temperature and pressure). *Harper & Brothers*, New York.
- HERBOSCH, A. et LAURENT, E. (en voie de publication). Contribution à l'étude des galènes argentifères et des tétraédrites.
- KOSCHMANN, A.H. et LOUGHLIN, G.F. (1942) *Geology and ore deposits of the Magdalena Mining District New Mexico*. *Professional Paper 200 of the Geological Survey of the United States*, Washington.
- LEBEDEV, M. (1967) — Metacolloids in Endogenic Deposits (Traduit du russe dans « *Monographs in Geoscience* », par Fairbridge). *Plenum Press*, New York, 298 p.
- LEVY, C. (1965) — Contribution à la minéralogie des sulfures de cuivre du type CU_3XS_4 . Thèse, Faculté des Sciences de Paris.
- MACHATSCHKI, F. (1928) — Präzisionsmessungen der Gitterkonstanten verschiedener Fahlerze. *Zeitschrift für Kristallographie*, 68, pp. 204-222.
- MICHART, A. (1966) — Les dolomies. Une revue. *Bulletin du Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, tome 22, fascicule 1.
- MOTOAKI SATO, (1960) — Oxidation of sulfide ore

- bodies, II. Oxidation mechanisms of sulfide minerals at 25° C. *Econ. Geol.*, vol. 55, no. 6, pp. 1.203-1.231.
- NICOLINI, P. (1970) — *Gîtologie des concentrations minérales stratiformes*. Gauthier Villars, Paris.
- NOTES ET MEMOIRES DU SERVICE GEOLOGIQUES DU MAROC (no. 181) (1965) — Colloque sur des gisements stratiformes de plomb, zinc et manganèse du Maroc (2 mai au 14 mai 1962). Editions du Service géologique du Maroc, Rabat, 324 p.
- OGNAR, S. (1968) — *Etude géothermométrique des minéraux plombo-zincifères et satellites du Crétacé de la plaine de Foussana (Tusinie centrale)*. Thèse, Université de Toulouse.
- PELISSONNIER, H. (1961) — *Un contrôle géologique des grands gisements stratiformes de plomb, zinc et cuivre: la structure paléinsulaire*. C.R. Acad. Sci. Paris, tome 248, p. 1961.
- RAMDOHR, P. (1969) — *The ore minerals and their intergrowths*. Pergamon Press.
- RICKARD, D.F. (1970) — *The origin of framboïds*. *Lithos*, 3, pp. 269-293.
- ROUTHIER, P. (1963) — *Les gisements métallifères. Géologie et principes de recherches*. Masson & Cie, Paris, 2 tomes, 1282 p.
- SCHOUTEN, C. (1946) — *Structures and textures of synthetic replacements in ores spaces*. *Econ. Geol.* Vol. 41, pp. 517-538.
- SCHWARTZ, G.M. (1951) — *Classification and definitions of textures and mineral structures in ores*. *Econ. Geol.*, 46, pp. 578-591.
- SIEGEL, Fr. (1965) — *High pH and primary dolomite*. *Sedimentology*, 5, pp. 255-261.
- SMIRNOV, S.S. (1954) — *Die oxydationszone sulfidischer Lagerstätten* (traduit du russe par R. Sallum et F. Leutwein, à partir de la 2è édition soviétique de l'ouvrage Ac. Sc. U.R.S.S., Moscou 1951). Akad. Verlag, Berlin, 312 p., 26 fig.
- SPRINGER, G. (1969) — *Electron - probe Analyses of Tetrahedrite*. *Neues Jahrbuch für Mineralogie. Monatshefte*, Heft 1, Seite 1 — 48, pp. 25-32.
- STANTON, R.L. (1966) — *Composition of stratiform ores as evidence of depositional processes*. *Inst. Min. Metal. London. Trans. Vol. 75, Bull. 711*, pp. 75-84.
- THIELE, O., ALAVIT, M., ASSEFI, R., HUSHMAND-ZADEH, A., SEYED-EMAMI, K. et ZAHEDI, M. (1968) — *Explanation text of the Golpaygan quadrangle Map (1: 250.000) no. E7. Geological Survey of Iran*.
- TIMOFEYEVSKIY, D.A. (1966) — *First find of silver — rich Freibergite in the USSR*. *Doklady Akad. Nauk, S.S.S.R.*, 176, pp. 148-151.
- WARNE, J. (1962) — *A quick field or laboratory staining scheme for the differentiation of the major carbonate minerals*. *Journal of Sedimentary Petrology*, March 1962, Vol. 32, no. 1, pp. 29-38.
- YERMAKOV, N.P. (1965) — *Research on the nature of mineral-forming solutions*. *Int. series of monographs in Earth Sciences*. Pergamon Press. London, 743 p.