

**SUR L'ALTÉRATION SUPERGENE DES GISEMENTS CUPRIFERES AU CONGO :
EXEMPLE DE MINDOULI ET DE DJENGUILLE**

J.M. KOUD

RESUME

L'étude pétrologique des gisements de MINDOULI et de DJENGUILLE a permis de caractériser différentes associations minérales liées à l'altération météorique des sulfures et de suivre l'évolution de ces différentes phases minérales le long des profils.

Le développement de ces différentes phases d'altération est étroitement contrôlé par le contenu sulfuré originel de chaque gisement.

Ainsi, dans le gisement de MINDOULI, où le stock sulfuré est assuré essentiellement par les sulfures de cuivre (bornite, digénite, chalcocite et covellite) et accessoirement de plomb et zinc, l'altération supergène qui s'attaque au matériau parental se traduit par une prédominance de minéraux de cuivre, caractérisés par des carbonates, des silicates et des oxydes.

En revanche, dans le gisement de DJENGUILLE, en raison de la présence des sulfures de cuivre, de plomb, de zinc et de fer, dans le matériau originel, les phases d'altération sont représentées aussi bien par les minéraux de cuivre que par les minéraux de plomb, de zinc et de fer.

Dans les deux exemples étudiés, l'altération du matériau parental se fait souvent avec conservation des structures originelles.

Les évolutions minéralogiques mises en évidence dans les deux gisements traduisent pour chaque espèce minérale, une zonalité supergène caractérisée par des sulfures à la base et des oxydes au sommet des profils.

* Laboratoire de Géologie Sédimentaire et Géochimie
Université Marien NGOUABI (INSSD) B.P. 237 Brazzaville (Congo)

Deux groupes minéralogiques distinguent le gisement de DJENGUILE du gîte de MINDOULI :

1. La présence à DJENGUILE de sulfates de cuivre, de plomb et de zinc absents de MINDOULI ;
2. L'absence de silicates de cuivre et de zinc à DJENGUILE, présents à MINDOULI.

L'accumulation des produits d'altération dans les deux gîtes peut être soit relative, soit absolue. Mais le deuxième mécanisme est prédominant.

INTRODUCTION

Les minéralisations du bassin du Niari font partie de la vaste province métallogénique de l'Afrique centrale (BIGOTTE, 1959 ; SCOLARI, 1965), caractérisée par l'association Cu-Pb-Zn (Ge,V). Elles ont fait, depuis le début du siècle, l'objet de nombreux travaux, justifiés par des raisons économiques (BIGOTTE, 1959 ; NICOLINI, 1959 ; SCOLARI, 1965 ; BAKA, 1975 et MOUZITA, 1979).

Certains gîtes sulfurés primaires de ce bassin sont, aujourd'hui, transformés par des phénomènes supergènes, en gîtes oxydés. Il nous a paru, de ce fait, intéressant de mettre d'abord en évidence la succession des différentes phases d'altération, d'établir leurs relations spatio-temporelles, puis de chercher à comprendre les mécanismes de mise en place de ces différentes phases reconnues.

Pour mener cette étude, nous avons choisi deux gîtes ; le gisement de MINDOULI, avec sa minéralisation particulièrement localisée dans les terres noires, et le gisement de DJENGUILLE, surmonté d'un chapeau de fer silico-ferrugineux.

I - GEOLOGIE DES DEUX GISEMENTS

Stratigraphiquement, les gisements de MINDOULI et de DJENGUILLE prennent place dans les formations du schisto-calcaire, datée Précambrien supérieur.

- Le gisement de MINDOULI se situe entre la base des formations du Schisto-gréseux et le sommet des formations du Schisto-calcaire, représentées respectivement par des quartzites et des argilites et par des dolomies siliceuses (SCV).

- Le gîte de DJENGUILLE est encaissé dans les carbonates du Schisto-calcaire (SC III), constitués essentiellement de dolomies massives ou en plaquettes et de calcaires dolomitiques.

II - PETROLOGIE, MINERALOGIE ET GEOCHIMIE DES DEUX GISEMENTS

A - METHODES D'ETUDE

Outre les descriptions détaillées de terrain, les échantillons prélevés

ont été soumis au laboratoire à différentes investigations.

- L'analyse pétrographique a été réalisée en lumière réfléchie et en lumière transmise sur des lames minces et des sections polies. Elle a permis de déterminer la texture des roches, les associations minérales et aussi de différencier les minéraux opaques des minéraux transparents.

- La diffraction des rayons X réalisée, soit sur poudre totale, soit sur la fraction argileuse, a complété cette étude pétrographique.

- L'analyse morphologique à petite échelle, a été effectuée grâce au microscope électronique à balayage (M.E.B.).

- La microsonde électronique a permis de réaliser une analyse chimique quantitative.

- Le programme de Calcul "UNIT CELL" a été réalisé pour calculer les paramètres cristallographiques et les volumes de la maille de certains minéraux.

B - LE GISEMENT DE DJENGUILLE

La pétrologie du gisement de DJENGUILLE a été réalisée grâce à deux coupes :

- l'une sur le minerai plomb-zinc (cuivre),
- l'autre sur le minerai cuivre-plomb.

1. Coupe sur le minerai Pb - Zn (Cu) (Fig.1)

L'analyse pétrographique de cette coupe a permis de différencier deux groupes de minéraux :

- les minéraux parentaux ;
- les minéraux secondaires, qui proviennent de l'évolution des premiers.

Les minéraux parentaux sont constitués de sulfures de Cu-Pb-Zn et Fe, caractérisés par l'association blende - pyrite - galène et chalcopryrite (B.P.G.C.). On obtient, pour chaque sulfure parental, une séquence minérale d'altération, dite séquence minérale évolutive.

- La galène (PbS), se transforme *in situ* d'abord en anglésite (PbSO₄), puis en cérusite (PbCO₃). La cérusite peut à son tour évoluer vers la pyromorphite (Pb₃(PO₄)₂Cl) et le massicot (PbO, jaune), soit vers le litharge (PbO, rouge) ou le plattnérite (PbO₂). Ces différentes transformations se font souvent avec conservation de la structure originelle du minéral parental. De même, la composition chimique des minéraux secondaires reflète nettement la composition des minéraux parentaux.

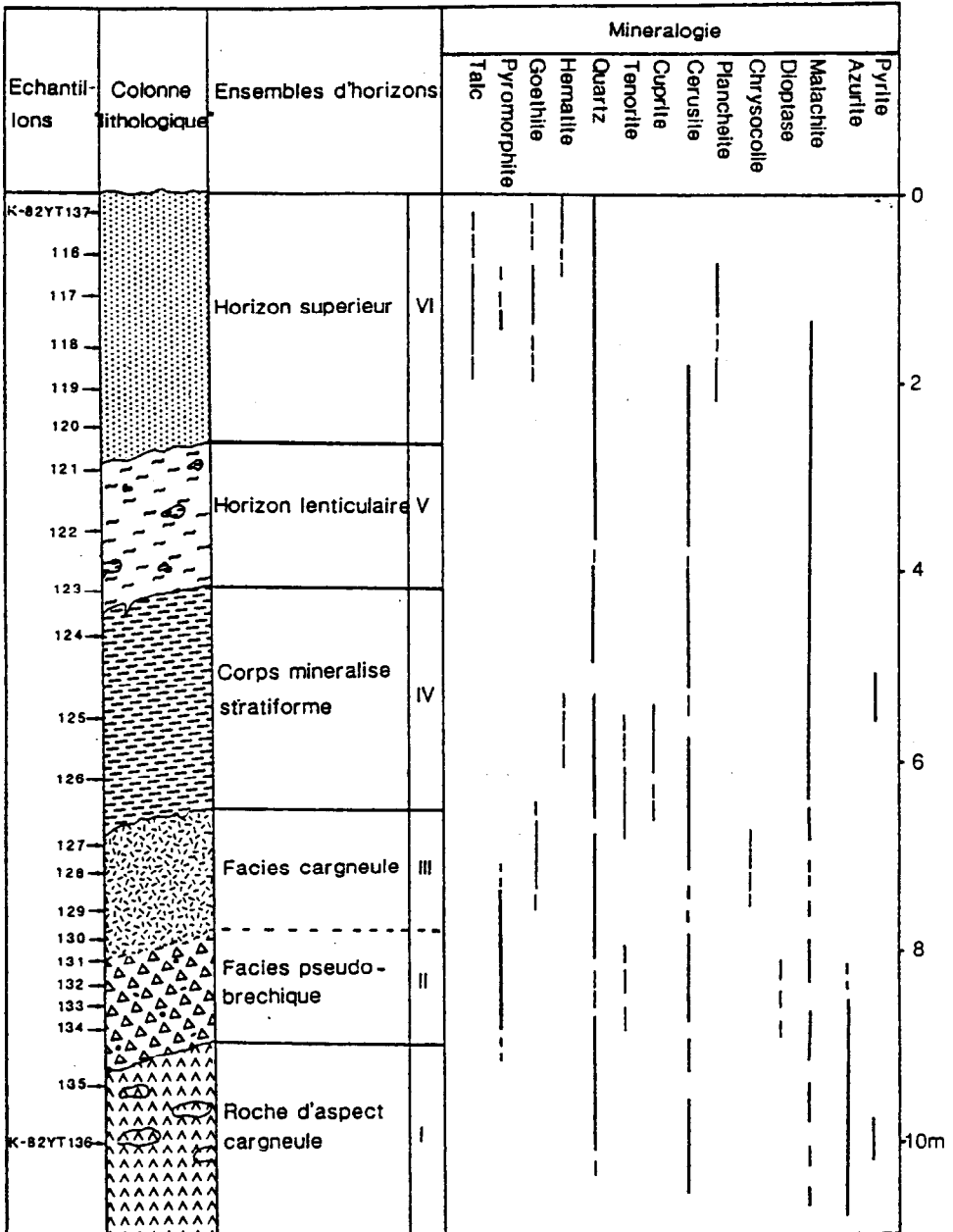
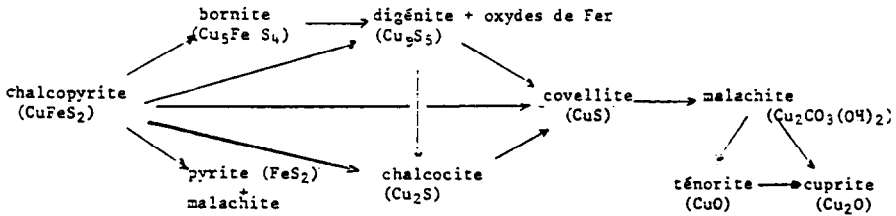


Fig. 2 : Carrière de Djenguilé : coupe sur le minerai Cu-Pb ; ensembles "lithologiques et évolutions minéralogiques"

- L'altération de la blende (ZnS), elle, conduit dans un premier temps à un sulfate, le zinkosite ($ZnSO_4$), puis à un carbonate, la smithsonite ($ZnCO_3$). Elle peut conduire aussi à une autre génération de blende. On retrouve, là aussi, une certaine mémorisation chimique et structurale du minéral parental dans le minéral secondaire formé.

- La pyrite (FeS_2) se transforme, soit en marcasite (FeS_2), soit en pyrrotite (FeS). Elle s'altère aussi en goethite et en hématite. La pyrite peut elle-même provenir de la transformation de la chalcopryrite ($CuFeS_2$).

- La chalcopryrite ($CuFeS_2$) subit, le long de ce profil, des modifications variables et parfois très complexes, dont l'évolution peut se traduire de la manière suivante :



2. Coupe sur le minerai Cu - Pb (Fig.2)

A l'inverse du premier profil, celui-ci est caractérisé par :

- 1°) une absence de sulfures de Cu et Pb ;
- 2°) une faible quantité de pyrite ;
- 3°) une grande représentativité des minéraux secondaires, essentiellement carbonatés.

L'absence des sulfures parentaux Cu-Pb et la faible quantité de pyrite peuvent s'expliquer, soit par l'enfoncement de la zone à sulfures, soit par leur pauvreté dans le matériau originel. Cette absence peut aussi traduire un stade d'altération très avancé.

3. Conclusions sur le gisement de DJENGUILLE

Les principaux résultats sont les suivants :

- 1°) la minéralisation de DJENGUILLE est caractérisée par l'association blende - pyrite - galène - chalcopryrite (B.P.G.C.) ;(Fig.3)
- 2°) ces différents sulfures parentaux subissent une altération différentielle, conduisant à l'individualisation de nombreuses phases minérales différentes ;
- 3°) l'accumulation de tous les produits secondaires se fait par altération météorique ;

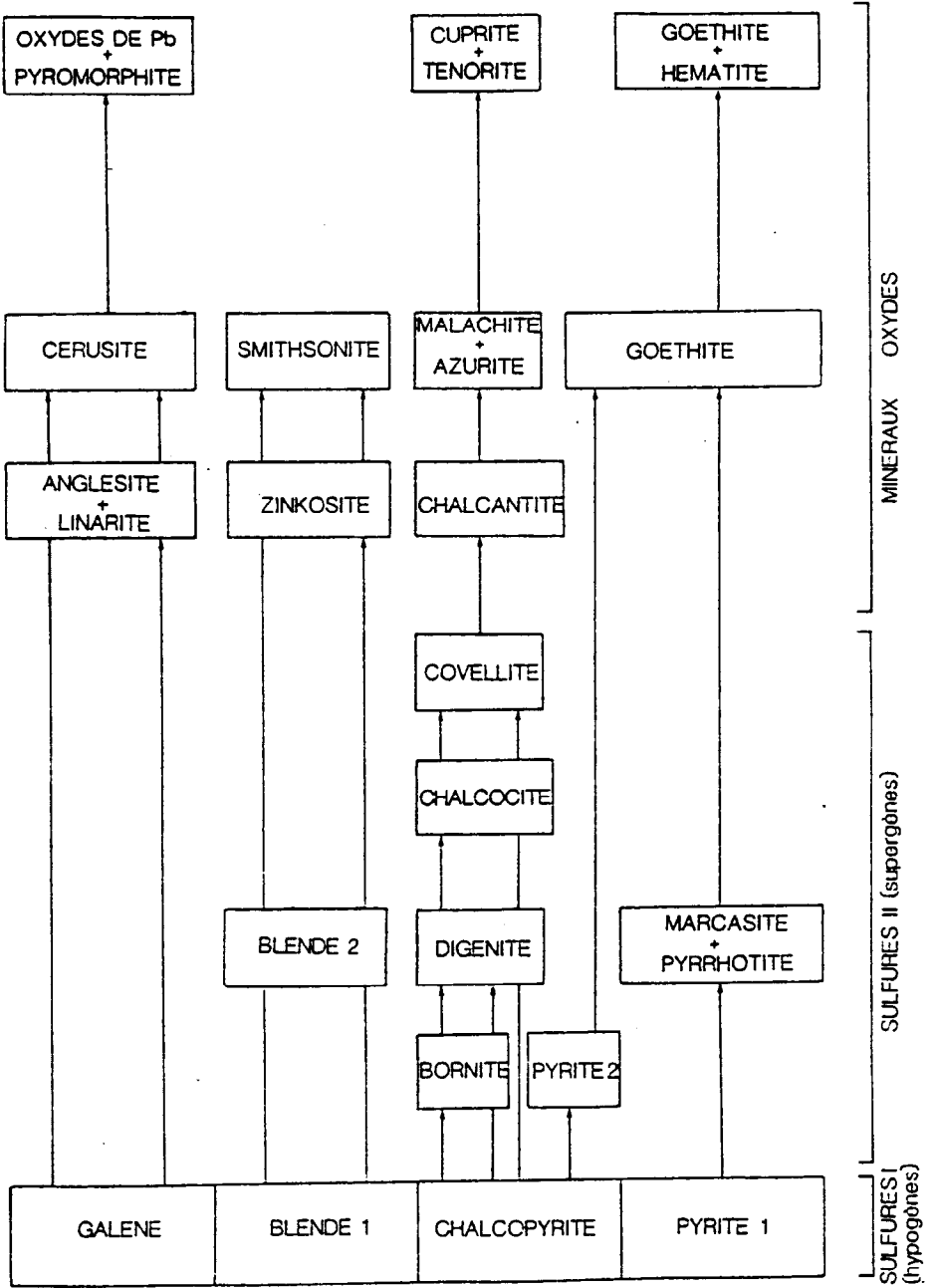


Fig. 3 : Evolutions minéralogiques dans le gisement de Djenguilé

4°) il apparaît, pour chaque espèce minérale, une zonalité supergène, caractéristique de l'évolution géochimique de la zone d'oxydation. Cette zonalité est, allant de la base au sommet des profils, la suivante :

oxydes	↑	sommet
carbonates + silicates		
sulfates		
sulfures secondaires		
sulfures primaires		base

5°) il existe, le long des profils, une suite répétitive des produits secondaires.

C - LE GISEMENT DE MINDOULI

L'échantillonnage qui a permis l'étude de cette minéralisation a été réalisée dans deux galeries ; la galerie LAGOTALA et la galerie MINDOULI.

1. La galerie LAGOTALA

Dans cette galerie, la minéralisation sulfurée originelle est représentée principalement par les sulfures de cuivre (chalcocite et covellite), qui montrent ici une très grande altération. Cette altération conduit à l'individualisation de différentes phases minérales, essentiellement carbonatées et silicatées.

- Les carbonates sont représentés par la malachite et accessoirement par l'azurite. La malachite provient, dans la plupart des cas, de la transformation de la chalcocite et de la covellite. Elle peut aussi provenir des cristallisations tardives. La malachite peut évoluer à son tour vers la ténorite et la cuprite.

- Au contact des solutions siliceuses, les sulfures et les carbonates sont remplacés par les phases silicatées, notamment le diopside, la planchéite et le chrysocolle.

Ainsi, le diopside ($\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), résulte dans cette galerie d'une part, de la malachite et d'autre part, de la chalcocite. Mais le diopside provient aussi de phénomènes de dissolutions et reprécipitations.

La planchéite ($\text{Cu}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$), elle, provient soit de l'évolution du diopside dont elle conserve la structure, soit des cristallisations tardives. Dans ce dernier cas, la planchéite apparaît en petites fibres ou en grains fibro-radiés, remplissant les vides de dissolution. La planchéite peut, dans certains cas, évoluer vers le chrysocolle ($\text{Cu}_8\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), qui à son tour se transforme en ténorite (CuO) et/ou en cuprite (Cu_2O).

2 - Dans la galerie de Mindouli, la minéralisation sulfurée est mixte : cuprifère, plombifère et zincifère. Les principaux minéraux observés sont : la chalcocite, la bornite, la digénite, la pyrite, la covellite et la blende. Ces différents sulfures représentant la minéralisation "primaire" subissent des transformations profondes et très complexes, qui donnent naissance à de nombreux minéraux secondaires.

a) Oxydation des sulfures

- La bornite (Cu_5FeS_4) se transforme en digénite (Cu_9S_5), qui va à son tour se transformer en chalcocite (Cu_2S).

- La chalcocite, elle, s'altère en covellite (CuS) et en malachite.

On retrouve ainsi, une association minérale bornite-digénite-chalcocite-covellite, caractéristique de la zone de cimentation (PICOT et JOHAN, 1977 et RAMDOHR, 1980).

- La pyrite, mieux représentée que dans la galerie LAGOTALA, s'oxyde en goethite et hématite. La pyrite est aussi pseudomorphosée par la lépidocrocite.

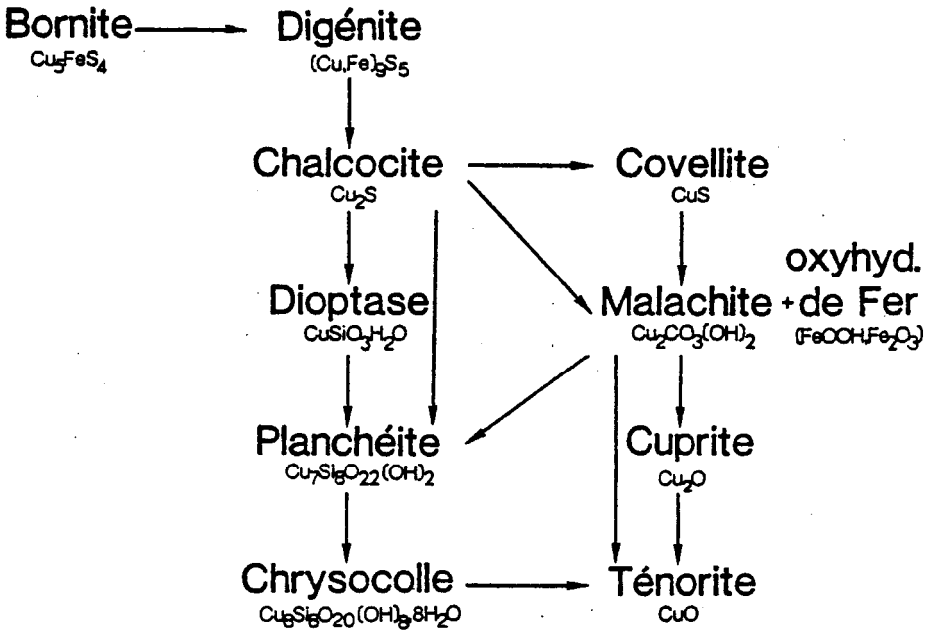
- La blende (ZnS), dont l'existence a été révélée par la diffraction des rayons X, n'a pas été observée au microscope.

b) Les minéraux secondaires et leur évolution (Fig.4)

Nous appelons ici minéraux secondaires, toutes les phases d'altération non sulfurées. Comme dans la galerie précédente, les phases d'altération sont exprimées ici, essentiellement sous forme de carbonates, de silicates et aussi sous forme d'oxydes. La représentativité de ces produits secondaires est proportionnellement liée à la quantité du métal correspondant dans le matériau originel. Ainsi les composés de cuivre, plus abondants dans la minéralisation "primaire" par leurs sulfures, représentent plus de la moitié des minéraux secondaires. Le reste est partagé entre les composés de plomb, de zinc et de fer.

- Pour les minéraux de cuivre, les carbonates, les silicates et les oxydes sont représentés par les mêmes associations que celles qui ont été rencontrées dans la galerie LAGOTALA, notamment : malachite - diopside - planchéite - chrysocolle - ténorite et cuprite.

- Les minéraux de plomb sont représentés, principalement, par la cérosite (PbCO_3) et par la pyromorphite [$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2\text{Cl}$]



	Ténorite et Cuprite
	Chrysocolle
	Planchéite
	Diopside
	Malachite et Goethite
	Covellite
	Chalcocite
	Digénite
	Bornite

Fig. 4 : Evolution minéralogique des composés de cuivre dans le gisement de Mindouli

Le carbonate de plomb provient ici de la pseudomorphose de la galène dont elle a conservé la structure. La cérusite provient aussi des cristallisations tardives. Elle est, dans la plupart des cas, pseudomorphosée par les silicates de cuivre, notamment la planchéite et le chrysocolle.

La pyromorphite, elle apparaît comme produit de cristallisations dans les vides.

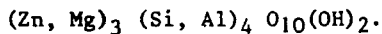
- Les composés de zinc, en faible quantité, sont représentés par la willémitte (Zn_2SiO_4). Ce silicate de zinc apparaît sous plusieurs formes :

- . en cristaux massifs, qui traduisent la pseudomorphose de la blende ;
- . en prismes hexagonaux ;
- . en lamelles, cristallisant dans les vides.

La willémitte, comme les autres minéraux de ce faciès, subit une altération très intense. Cette altération s'accompagne :

- . d'une perte en Zn, atteignant parfois plus de la moitié de la teneur initiale ;
- . d'un enrichissement relatif en silice ;
- . d'un gain en Fe, K et Mg ;
- . d'un enrichissement considérable en alumine.

Ces modifications chimiques sont régies par des phénomènes de micro-transferts et, conduisent à l'individualisation de la sauconite :



- Les composés de fer sont représentés dans la galerie MINDOULI par, l'hématite, la goethite et aussi la lépidocrocite. Ces oxyhydroxydes de fer correspondent à trois types distincts :

- . le premier type, en cristaux automorphes, est issu de la pseudomorphose de la pyrite ;
- . le deuxième type, en masse plus ou moins compacte, correspond au remplissage des différents vides ;
- . enfin, le troisième type qui traduit des recristallisations tardives est représenté par la goethite en aiguilles.

III - CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1 - L'étude pétrologique des gisements de MINDOULI et de DJENGUILÉ a permis de caractériser différentes associations minérales liées à l'altération supergène et de suivre l'évolution de ces phases minérales le long des profils.

2 - Le développement de ces différentes phases d'altération est étroitement lié au contenu sulfuré originel de chaque gisement. (Fig.5)

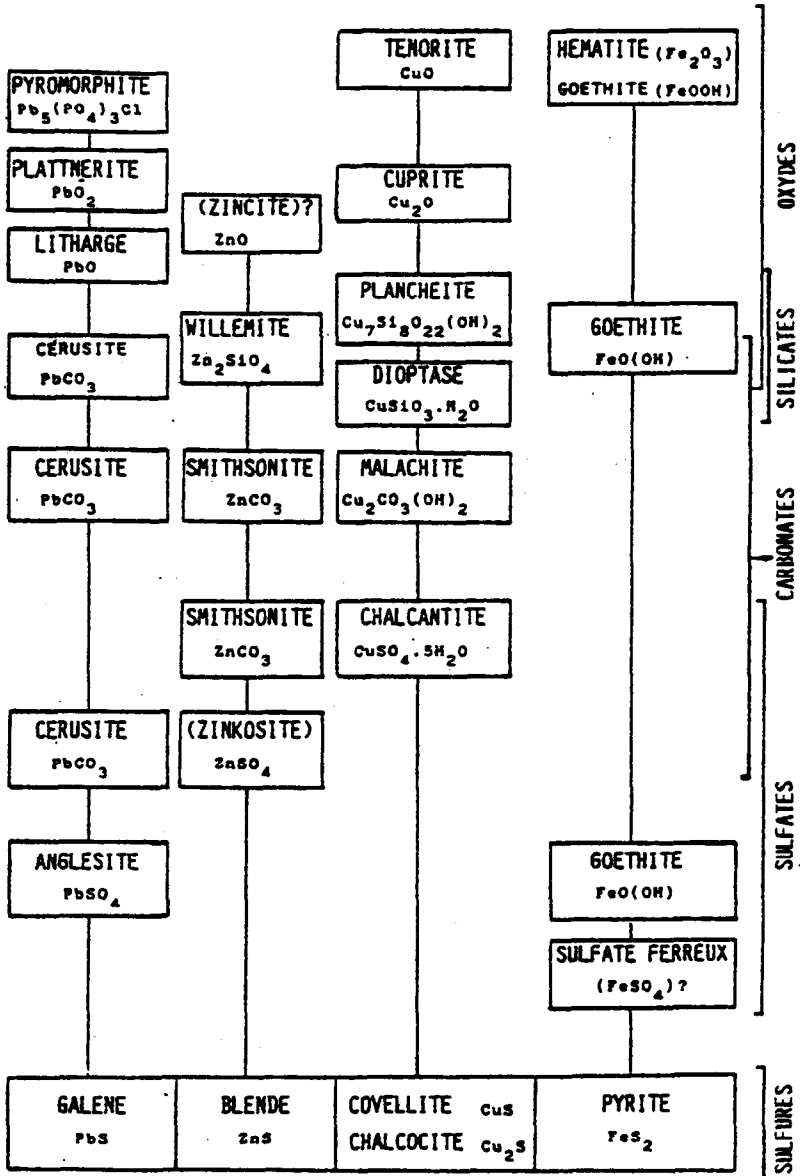


Fig. 5 : Séquence générale d'altération des gîtes de Mindouli et de Djenguilé

Ainsi, dans le gisement de MINDOULI, où le stock sulfuré est assuré essentiellement par les sulfures de cuivre (bornite, digénite, chalcocite et covellite) et accessoirement de plomb et zinc, l'altération supergène qui s'attaque au matériau parental se traduit par une prédominance de minéraux de cuivre, caractérisés par des carbonates, des silicates et des oxydes.

En revanche, dans le gisement de DJENGUILE, en raison de la présence des sulfures de Cu, de Pb, de Zn et de Fe, dans le matériau originel, les phases d'altération sont représentées aussi bien par les minéraux de cuivre et par les minéraux de plomb, de zinc et de fer.

3 - Dans les deux cas, l'altération du matériau parental se fait souvent avec conservation des structures originelles.

4 - Les évolutions minéralogiques dans les gisements de MINDOULI et de DJENGUILE traduisent, pour chaque espèce minérale, une zonalité supergène caractérisée par des sulfures à la base et des oxydes au sommet des profils.

5 - Deux groupes minéralogiques distinguent le gisement du gîte de DJENGUILE du gîte de MINDOULI :

1°) la présence à DJENGUILE de sulfates de Cu, de Pb et Zn, absents à MINDOULI ;

2°) l'absence à DJENGUILE de silicates de Cu, de Pb et de Zn, présents à MINDOULI.

6 - L'accumulation des produits d'altération dans les deux gîtes peut être so relative, soit absolue. Mais le deuxième mécanisme est prédominant.

7 - L'étude thermodynamique menée sur ces minéralisations a permis d'estimer les données thermodynamiques de la planchélite, jusqu'ici inconnues.

BIBLIOGRAPHIE

- BAKA D.M. (1975) - Les minéralisations en Cu-Pb-Zn de M'Passa. Exemple du rôle métallogénique des émersions, Thèse 3^{ème} cycle, Nancy I, 172 p.
- BERNARD A. (1972) - Le karst et les minéralisations sulfurées, Conférences et Séminaires de recyclage, 1 vol. I.N.P., Nancy, ch II, 54 p.
- BIGOTTE G. (1959) - Contribution à la géologie du bassin du Niari. Etude sédimentologique et métallogénique de la région minière, Thèse d'Etat, Bull. Direct. Mines, Géol. A.E.F., 9, 186 p.
- BURKHARDT R. (1929) - Sur la formation des "terres noires" cuprifères dans le bassin du Niari (Congo français), Arch. Soc. Phys. nat., Genève, II.
- FRANCOIS A. (1974) - Stratigraphie, tectonique et minéralisation dans l'arc cuprifère du Shaba (Rép. du Zaïre) in: gisements stratiformes en provinces cuprifères.
- DADET P. (1969) - Notice explicative de la carte géologique de la République du Congo Brazzaville au 1/5 000 000, Mém. B.R.G.M., 70, 104 p.
- DURAND G. et LAY Cl. (1960) - Détermination de l'âge de quelques galènes de la vallée du Niari (Moyen Congo), C.R. Acad. Sci. Paris, 272, Série D, 750-751.
- EVANS H.I. and MROSE M.E. (1966) - Shattuckite and plancheite: a crystal chemical study, Science, 154, p. 506-508.
- GUILLEMIN C. et PIERRON L. (1961) - nouvelles données sur la Plancheite. Identité de la plancheite et de la shattuckite, Bull. Soc. Franç. Minéral. Cristal., 84, p. 276.
- KOUD J.M. (1982) - concentrations supergènes dans les gîtes cuprifères du Congo, Rap. D.E.A. Univ. Strasbourg, 36 p;
- KOUD J.M. (1985) - Pétrologie, Minéralogie, Métallogénie et Géochimie des gîtes de cuivre du Niari au Congo, Thèse de DOCTORAT, Univ. Strasbourg, 174 p.
- KOUD J.M., MAHON D. et TARDY Y. (1986) - Genèse et évolution des silicates de cuivre dans le gisement de Mindouli au Congo (à paraître).

- LAVILLE-TIMST L., LELEU M., et WILHELM E. (1976)- note préliminaire sur les comportements des éléments Cu, Pb, Zn, Ag, Mn, As, Bi lors de l'altération supergène d'une minéralisation sulfurée, Bull. Soc. Géol. Fr., (7) XVIII, p. 101-105.
- LE BIHAN M.T. (1966)- Contribution à l'étude structurale des silicates de cuivre, C. R. Acad. Sci. Paris, 263, p. 1901.
- LELEU M. et PILLARD F. (1980)- Un exemple de zone d'oxydation en milieu carbonaté: les minéralisations de Laurium (Grèce), Compte-rendu de fin d'étude de l'action concertée "valorisation des ressources du sous-sol", D.G.R.S.T., B.R.G.M.
- MILLOT G. (1964)- Géologie des argiles, Masson et Cie éd., Paris.
- KOUZITA D. (1979)- Contribution à l'étude géochimique des formations précambriennes du Schisto-calcaire supérieur du bassin du Niari et de la mine de Passa (Congo). Implications métallogéniques, Thèse 3^e cycle Grenoble, 173 p.
- NAHON D., COLIN F. et TARDY Y. (1982) Formation and distribution of Mg, Fe, Mn-smectite in the first stage of the weathering of Fersterite and Tepnoite, Clay min., 17, p. 337-348.
- PAQUET H., BOUKILI H., DUPLAY J., KOUD J.M., NAHON D. et MILLOT G. (1986)- Ni, Mn, Zn, Cr-smectites early and efficient traps for transition elements in supergene ore deposits (à paraître).
- FIGOT P. et JOHAN Z. (1977)- Atlas des minéraux métalliques, Mém. B.R.G.M., 90, 406 p.
- RAMDOHR F. (1980)- The ore minerals and their intergrowths, PERGAMON Press, Londres, New-York.
- ROUTHIER P. (1963)- Les gisements métallifères, Géologie et principes de recherches, 2 vol., Masson éd., Paris.
- SCOLARI G. (1965)- Etude géologique du bassin du Niari Oriental (Rép. du Congo) et de ses minéralisations Cu, Pb, Zn, Mém. B.R.G.M., 35, 219 p.
- SILLITOE R.H. et CLARK A.H. (1969)- Copper iron sulfides as the initial products of supergene oxidation, Am. Min., 54, p. 1664-1700.
- VAN OOSTERWYCK-GASTUCHE M.C. (1967)- Sur la présence de planchéite et snattuckite à Mindouli (Congo), C. R. Acad. Sci. Paris, 264, p. 1361.
- _____ (1968)- Les planchéites considérées comme une famille d'amphiboles cuivriques, C. R. Acad. Sci. Paris, 266, p. 1546-1548.