

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Band: 11 (1929)

Artikel: Sur la formation des "terres noires" cuprifères dans le bassin du Niari (Congo français)
Autor: Burkhardt, René
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-740976>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

SUR LA FORMATION DES
" TERRES NOIRES " CUPRIFÈRES

dans le bassin du Niari (Congo français)

PAR

René BURKHARDT

(Avec 2 planches)

I. INTRODUCTION.

Ayant été appelé à travailler l'an dernier aux mines de cuivre de MINDOULI, notre intérêt fut attiré par un genre tout spécial de minéralisation, la formation des Terres noires. Sur les conseils de Monsieur le Professeur L. Duparc, nous nous sommes attaché à déterminer la provenance et la constitution de ce composé cuprifère, et nos résultats sont consignés dans ce travail.

Une étude sommaire topographique et géologique de la région étant indispensable, nous condenserons au début de notre étude les diverses données¹ et y joindrons quelques idées personnelles après avoir développé un peu plus en détail les résultats de l'expédition de Monsieur le Professeur Duparc, en 1928. Pour aider à la compréhension du texte, nous joignons à cette

¹ DELHAYE et SLUYS, *Ann. Soc. géol. belge-Congo*, t. XLIII, p. C. 57 (1919-20); t. XLV, p. 45 (1923). *Esquisse géologique du Congo occidental*: carte géol. au 1/200 000.

M. BERTRAND, *C. R. Congrès géol. internat.*, t. II, p. 771 (1922).
LACROIX, *Minér. de France*, t. IV, p. 730.



étude quelques coupes de la zone minéralisée et quelques clichés microscopiques.

En terminant, nous tenons à remercier tout particulièrement Monsieur le Professeur Duparc, pour ses encouragements incessants, ses précieux conseils et les nombreuses données géologiques inédites que nous mentionnons, ainsi que Monsieur Enders, Directeur général de la C.M.C.F. Nous n'aurons garde d'oublier l'assistance bienveillante de Monsieur le Dr M. Gysin, chef des Travaux aux laboratoires de minéralogie de l'Université de Genève.

II. TOPOGRAPHIE DE LA RÉGION.

La zone minière de *Mindouli* (Congo français) est située entre les bassins fluviaux du Congo et du Niari, à environ 150 km à l'ouest de *Brazzaville*. Elle est comprise dans la région cuprifère du Niari.

La limite méridionale de cette région est formée par le *Plateau des cataractes* dont le faite se trouve être la bordure nord qui forme ainsi la ligne de partage des eaux, d'orientation générale est-ouest. Le plateau, assez profondément raviné, s'incline peu à peu jusqu'au Congo. La région qui nous intéresse est limitée, au nord, approximativement par le cours du Niari qui s'écoule vers l'ouest en serpentant dans la plaine, pour descendre brusquement à la mer par une succession de rapides. Cette bande de quelques dizaines de km de largeur est reconnue minéralisée par places sur 150 km environ, de *Renéville* (60 km au N-O de Brazzaville) au *Mayombe*, région éruptive formant barrage N-S en bordure de l'Océan. Elle est formée de collines onduleuses, séparées parfois par des ravinements assez profonds. Son système hydrographique est constitué par de nombreux cours d'eaux s'écoulant généralement du sud au nord ou de l'est à l'ouest pour se jeter dans le Niari. La plupart prennent naissance en bordure du Plateau des Cataractes où ils creusent des cirques d'érosion importants et provoquent parfois des affaissements plus ou moins profonds que l'on retrouve assez fréquemment dans la plaine. Leur régime est directement fonction des chutes

d'eau très nombreuses de novembre à avril, et nulles durant la saison sèche (mai-octobre).

Très souvent ces rivières traversent des régions fissurées qui rendraient difficile leur captation éventuelle.

* * *

Nous limiterons notre étude à la région de *Mindouli*.

Un cheminement du sud au nord nous montre tout d'abord le *Plateau des Cataractes*, d'altitude moyenne de 550 à 600 m, peu onduleux, mais passablement raviné; un affaissement brusque de 150 à 200 m nous amène à la *Plaine de la Bembé* où pointent de nombreux éperons se détachant du plateau dans la direction du nord. A 8 km au nord, nous atteignons la chaîne de collines tabulaires de *Tchicoumba* qui s'élève, parallèlement au Plateau des Cataractes, à 500-550 m d'altitude environ. Une nouvelle dénivellation brusque nous conduit à la plaine peu onduleuse du *Niari* qui s'abaisse peu à peu au fleuve (alt. 200 m) pour remonter au *Plateau des Babembés*, s'étendant au nord.

Un cheminement est-ouest nous montre, soit le faite du plateau et ses cirques d'érosion, soit la Plaine de la Bembé avec quelques mamelons, soit encore la crête assez ravinée des Monts de Tchicoumba.

En résumé, nous avons du sud au nord:

- 1° Un plateau E-O d'altitude moyenne de 600 m,
- 2° Une plaine peu accidentée de niveau voisin de 400 m,
- 3° Un plateau tabulaire étroit s'élevant à 550 m,
- 4° Enfin, la Plaine du Niari.

III. GÉOLOGIE DE LA RÉGION.

Au point de vue stratigraphique, une coupe nord-sud nous montre:

- 1° Une série épaisse de grès rouges surmontant
- 2° Une zone de calcaires souvent dolomitiques.

Une coupe est-ouest de *Brazzaville* au *Mayombe* nous donne :

- 1° Des grès blancs,
- 2° Des grès rouges,
- 3° Des calcaires,
- 4° Des schistes,
- 5° Des formations éruptives et cristallophylliennes.

Les *grès blancs* de la région de *Brazzaville* ont été rapportés par Cornet ainsi que par Delhaye et Sluys, à la formation du *Lubilache* limitée approximativement à l'ouest par la ligne du *Djoué*. Ils sont complètement en dehors de la zone métallifère.

Les *grès rouges* sont rapprochés par les mêmes auteurs de la formation du *Kundelungu*.

Quant aux *calcaires*, aucun fossile n'a permis de situer leur horizon géologique. Par analogie, Maurice F. Bertrand les donne comme dévoniens. Cette zone calcaire est rapportée par Delhaye et Sluys à la série schisto-calcaire du *Kundelungu* inférieur. La discordance entre grès et calcaires, ainsi que les conglomérats observés nous poussent à écarter, avec le Professeur Duparc, cette hypothèse. Nous la rapprocherons plutôt, ainsi que Cornet, à la série schisto-calcaire inférieure.

Au contact des grès et des calcaires, on a retrouvé par endroits, soit une brèche calcaro-gréseuse recimentée par des éléments calcaires, parfois minéralisée, soit des conglomérats appelés par Delhaye et Sluys *Brèche du Niari-Bangu*.

La région *schisto-cristallophyllienne* se trouvant également en dehors de la zone minéralisée, nous ne ferons que la citer en passant, en notant la concordance entre les schistes et les calcaires notée par M. Amstutz¹ dans ses campagnes de 1928, dans le *Mayombe* et le *Gabon*, alors que ces schistes sont discordants sur le métamorphique.

* * *

Pour les environs de *Mindouli*, notre étude est donc limitée aux *grès rouges* et aux *calcaires* sous-jacents. Nous trouvons des *grès* en couverture continue sur les calcaires sur tout le Plateau

¹ *C. R. Soc. géol. fr.*, février 1929, p. 48.

des Cataractes, jusqu'au Congo où ces derniers affleurent, ainsi que sur la chaîne tabulaire de Tchicoumba. Ailleurs, les chapeaux gréseux subsistent encore sur quelques collines. Par contre, les nombreux mamelons sortant de la plaine de la Bembé ou du Niari, ainsi que la plupart des éperons se détachant soit du Plateau vers le nord, soit des Monts de Tchicoumba comme à *Moubiri*, sont calcaires. Notons encore quelques lambeaux gréseux dans la plaine de la Bembé recouverte le plus souvent d'une couche épaisse de latérites alluvionnaires, et nous aurons cité les formations locales.

Remarquons enfin que le contact grès-calcaire se maintient ordinairement entre les niveaux 400-450 m, s'élevant rarement à 500 m, sur la bordure du Plateau des Cataractes.

* * *

Au point de vue *tectonique*, nous nous rapporterons aux données du Professeur Duparc, écartant la théorie unique des affaissements ainsi que celle d'un seul plissement E-O, émises par les géologues qui l'ont précédé. Une étude approfondie de la mine ainsi que de la bordure du plateau dans la région envisagée, nous a amené à accepter le point de vue du Professeur Duparc développé ci-dessous.

Toute la série stratigraphique de Mindouli a été soumise à deux systèmes de plissements orthogonaux de grande amplitude, chacun de ces systèmes étant lui-même soumis à des ondulations beaucoup plus locales, ces dernières particulièrement remarquables sur les plissements d'axe approximatif N-S, et décelées par les éperons calcaires pointant sur la plaine de la Bembé. Les plissements d'axe N-S viennent buter contre la chaîne du Mayombe; ceux d'axe E-O se perdent, d'un côté sous le plateau des Cataractes, de l'autre sous celui des Babembés.

Nous nous réserverons cependant sur les plissements d'axe E-O, supposant qu'ils sont dus à l'affaissement de la plaine, vu qu'ils n'ont pas été décelés plus au nord où les formations semblent devoir être, selon M. Amstutz, horizontales.

Pour la région locale de Mindouli, nous remarquons un grand anticlinal d'axe E-O situé en bordure de plateau, de plongement

10-60° sud. Un deuxième anticlinal se trouve aux collines de Tchicoumba. L'anticlinal du plateau est lui-même affecté par des plissements locaux parallèles à son axe.

Pour les anticlinaux N-S, un de ceux-ci se trouve à Mindouli, l'autre à Tchicoumba, à 30 km à l'ouest, la région entre les deux formant un synclinal peu incurvé. Ce dernier système de plissement est particulièrement affecté d'ondulations locales parallèles d'environ 1 km d'amplitude, ondulations soumises elles-mêmes à des plissements locaux (voir coupes géologiques, planche I).

D'autre part, la région est pour ainsi dire hâchée par un système de failles généralement orientées parallèlement ou perpendiculairement aux anticlinaux, failles limitant parfois des caissons d'effondrement qui donnent un aspect si curieux à la région et compliquent considérablement les travaux de mine. Nous écarterons la généralisation de Bertrand, qui veut que ces affaissements soient uniquement dus à une dissolution des calcaires sous-jacents, hypothèse qui suppose des produits résiduaux des calcaires en grandes masses sous les grès, aux affaissements, produits souvent absents. Cependant, nous retiendrons spécialement la grande faille E-O qui limite l'affaissement de la plaine de la Bembé.

En résumé, si la stratigraphie de cette région paraît simple, au premier abord, les mouvements tectoniques au nombre de trois :

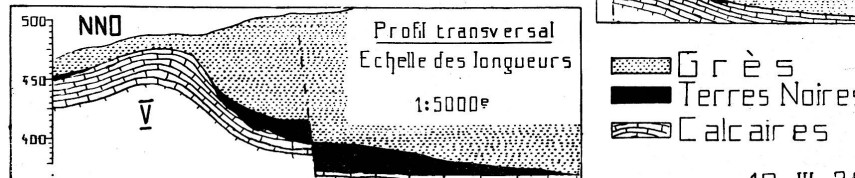
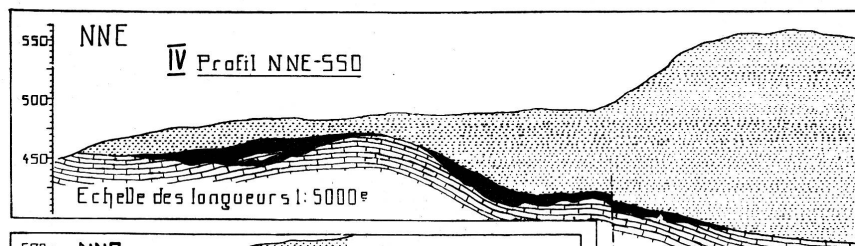
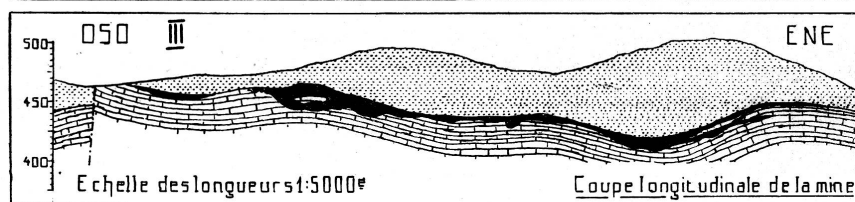
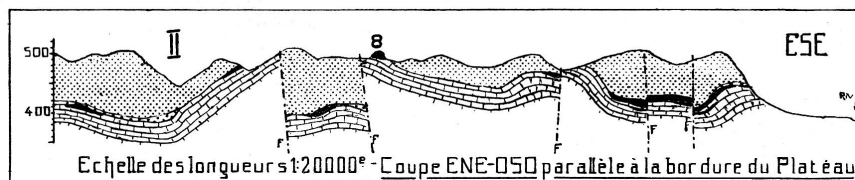
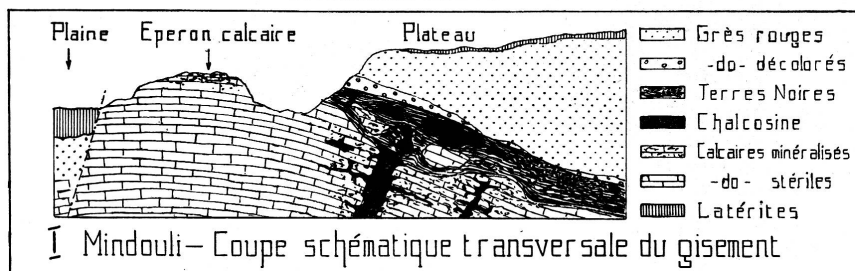
- 1° Anticlinaux E-O,
- 2° Anticlinaux N-S,
- 3° Système faillé important,

qui compliquent singulièrement les recherches géologiques détaillées. Nous aurons par ailleurs à insister, au point de vue gisements et minéralisation, sur ces anticlinaux, ainsi que sur le rôle des failles.

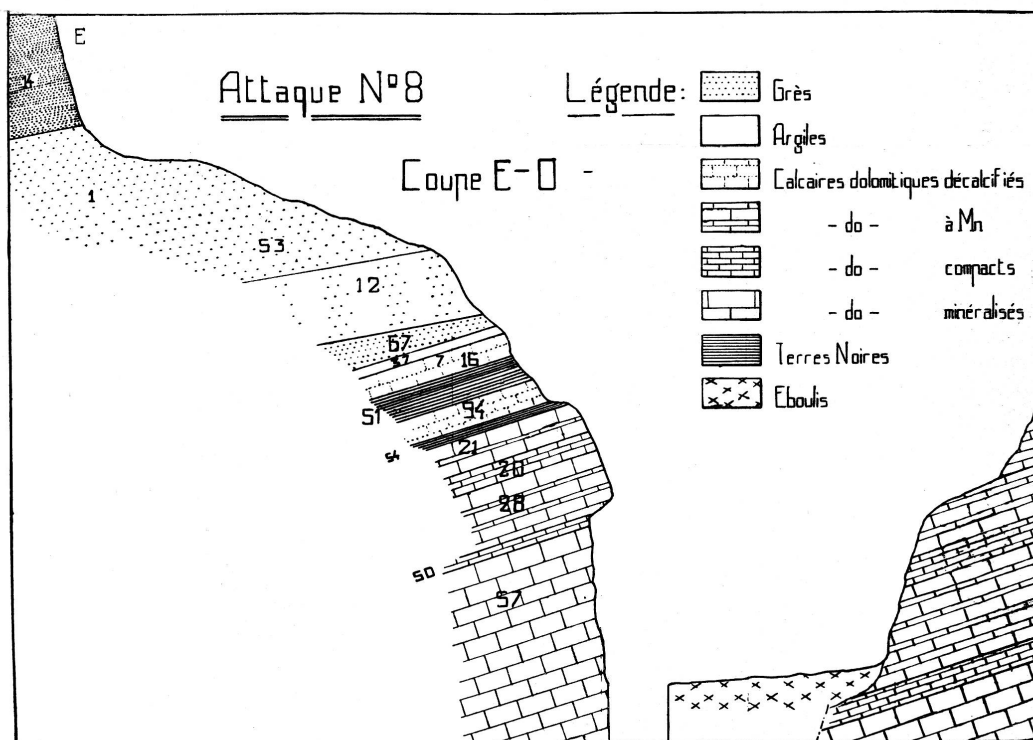
IV. DE LA MINÉRALISATION.

Tous les gîtes connus de la région semblent être du même type. Nous avons constamment à faire à des *gîtes épigénétiques* de

COUPES DE LA ZONE CUPRIFERE DE MINDOULI



10 III 29



substitution. De nombreux points minéralisés sont connus du Djoué à la Loudima, tous situés sur des anticlinaux. Des travaux de recherche ont été effectués à Tchicoumba et M'Bokosongho, et des travaux de mine à Renéville et à Mindouli. Tous ces gisements se trouvent, soit au contact des grès et des calcaires, soit sur des collines calcaires. La plupart sont à flanc de coteau du plateau des Cataractes.

Des recherches systématiques ont amené le Professeur Duparc à la déduction suivante:

La minéralisation est répartie uniquement au contact grès-calcaires, et les gisements sur calcaires ne sont que des résidus de minéralisation de contact, et non des chapeaux de fer comme l'ont prétendu d'autres géologues.

* * *

Comme minéraux principaux décelés dans cette région, nous trouvons en face de l'association classique *cuivre-zinc-plomb*, un des types étant plus ou moins développé au détriment des deux autres suivant les mines.

Le cuivre se trouve être presque exclusif à Mindouli et M'Passa. Renéville fournit surtout du plomb et du cuivre, alors que les gisements de l'ouest (Yanga-Koubanza), ont surtout du zinc et du plomb. La plupart des minéraux du Niari ont été cités et étudiés par Lacroix¹, nous ne ferons que les énumérer.

A Mindouli, le minerai principal est la *chalcosine* (Cu_2S), le plus souvent compacte. Accessoirement, nous trouvons, associées à cette dernière, de la *blende* (Zn S) et de la *galène* (Pb S). On trouve aussi un peu de *chalcopyrrite* (Cu Fe S_2), de *pyrite* (Fe S_2), de *bornite* ($\text{Fe Cu}_3\text{S}_3$) et de *covelline* (Cu S). Puis une série de minerais oxydés: pour le cuivre les principaux sont: la *cuprite* (Cu_2O), la *malachite* ($\text{CO}_3(\text{Cu OH})_2$), l'*azurite* ($\text{CO}_3)_2\text{Cu}(\text{Cu.OH})_2$), des silicates tels que la *diopside* ($\text{Cu Si O}_3.\text{H}_2\text{O}$), la *planchéite* ($2\text{SiO}_2.2(\text{Cu.Ca})\text{O.H}_2\text{O}$) qui y fut découverte et

¹ *Bulletin Soc. minér. France*, t. XXXI, p. 247 (1908) et *Minér. de la France et des Colonies*.

le *chrysocolle* ($\text{Si O}_3 \text{ Cu} \cdot 2\text{H}_2 \text{ O}$). Lacroix cite exceptionnellement la *pseudomalachite* ($(\text{Cu OH})_3 \text{ PO}_4$), la *leucochalcite* ($\text{Cu}_3 (\text{As O}_4)_2 \text{ Cu} (\text{OH})_2 2\text{H}_2 \text{ O}$) et la *libéthénite* ($\text{Cu} (\text{Cu OH}) \text{ PO}_4$). La *galène* nous donne surtout la *cérusite* (Pb CO_3); on trouve également la *wulfénite* (Pb Mo O_4) et la *pyromorphite* ($(\text{Pb Cl}) \text{ Pb}_4 (\text{PO}_4)_3$). Quant à la *blende*, elle s'altère presque exclusivement en *calamine* ($\text{Si O}_3 (\text{Zn OH})_2$) et, parfois, en *willémité* ($\text{Zn}_2 \text{ Si O}_4$).

De notables proportions d'*argent* se trouvent, soit disséminées dans la *chalcosine*, soit plaquées sur les minéraux oxydés ou dans les fissures des calcaires, soit encore en arborescence, dans les géodes, avec du *quartz*, de la *calcite* ou de la *diophtase* en cristaux, ces trois derniers types souvent interpénétrés, et superbement cristallisés. Lacroix cite encore de petits individus de *fluorine* et de rares échantillons de *barytine* dont nous avons trouvé deux exemplaires.

A Renéville, nous avons les mêmes éléments sulfurés, oxydés, carbonatés et silicatés, avec augmentation notable de sels de *plomb*, principalement de *cérusite*. Un superbe stalactite de *limonite* recouvert de rhomboèdres de *diophtase* de quelques millimètres est entre nos mains. Lacroix cite des échantillons de *vanadinite* ($(\text{Pb Cl}) \text{ Pb}_4 (\text{VO}_4)_3$) et de *descloizite* ($(\text{Pb Zn}) (\text{Pb} \cdot \text{OH}) \text{ VO}_4$). Les agrégats de *chalcopyrite* et de *bornite*, assez nombreux dans cette mine, ont été étudiés par Legraye¹.

Tchicumba et Pimbi donnent également les mêmes minéraux que Mindouli, le *plomb* y étant beaucoup plus développé. Quant à Yanga-Koubanza, le zinc semble y prédominer sous forme de *calamine* ou de *smithsonite*, accompagné de sels de *cuivre* et de *plomb*. M. Graz y a trouvé des amas d'*oligiste* dans des couches plombifères. Notons que les calcaires sous-jacents contiennent une forte proportion de *limonite* sur une très grande épaisseur. A Founfou restent le *plomb* et le *cuivre*, et à M'Bokosongho, on trouve les associations classiques.

Ce bref rapprochement des divers gisements connus nous permet d'ores et déjà d'entrevoir leur similitude. Pour leur formation, nous renvoyons le lecteur à la fin de ce chapitre.

¹ LEGRAYE, *Ann. Soc. géol. belge*, t. XLVIII, p. B. 221 (1926).

* * *

La *disposition théorique* de la minéralisation se trouve être le cas classique des gîtes sulfurés. Donnons tout d'abord une coupe du gisement, dans ses grandes lignes, en situant les horizons minéralisés.

Une épaisse couche de *grès rouges* sous laquelle se trouve par endroits une bande étroite de *grès décolorés* verts, jaunes, voire blanchâtres, surmontant une couche d'*argiles rouges* et de *marnes*, couche de contact entre la série gréseuse et les calcaires sous-jacents. Localement, ces argiles et ces grès verts sont très peu minéralisés.

Au contact, nous trouvons parfois, soit une *série bréchoïde* ou de *conglomérats* à éléments gréseux ou calcaires, cimentés ou non par une pâte calcaire parfois minéralisée, soit une couche plus ou moins épaisse et locale de *terres noires*, minéralisée ou non, soit enfin les *calcaires* minéralisés ou non.

Puis, un banc de *calcaires* généralement *dolomitiques*, toujours silicieux et manganifère, banc parfois minéralisé en veinules, stockwerk ou mouchetures, renfermant rarement des filons ou des lentilles de Cu_2S . Enfin, une série de *calcaires colorés* plus ou moins purs, série que nous n'étudierons que sur une trentaine de mètres d'épaisseur, mais qui peut atteindre 500 m.

La minéralisation se localise donc au contact, imprégnant parfois les grès peu profondément et légèrement, s'accumulant au toit gréseux et descendant souvent à plusieurs mètres dans les calcaires, avec enrichissements locaux. Le contact de la série schisto-calcaire avec les schistes métamorphiques a été trouvé, jusqu'à ce jour, stérile. Une étude serrée des régions minéralisées a conduit le Prof. Duparc aux déductions suivantes :

La minéralisation se localise aux points de rencontre des anticlinaux N-S et E-O, dans une région formant dôme. Elle s'accumule surtout à flanc d'anticlinal.

Le minerai de cuivre de beaucoup le plus répandu est la chalcosine. Celle-ci est un produit secondaire dû à un remaniement de chalcopyrite, ainsi que l'établissent certaines données que nous développerons un peu plus loin et qui confirment les

travaux et déductions de Legraye¹ sur Renéville et les généralisent. Cette zone d'enrichissement secondaire en Cu_2S est surmontée par une zone d'oxydation où se trouvent les carbonates et silicates provenant d'altérations successives de la chalcosine.

Comme *disposition théorique de minéralisation*, nous aurons donc :

1° La chalcopyrite presque entièrement disparue ainsi que la bornite.

2° La chalcosine et un peu de covelline, formant la zone d'enrichissement secondaire.

3° La zone d'oxydation où se succèdent, dans l'ordre :

a) les oxydes (cuprite) très peu fréquents,

b) les carbonates,

c) les silicates, ces deux derniers avec de l'argent.

Une disposition similaire se présente pour la blende primaire s'altérant en carbonate (smithsonite) et silicates (calamine, willémitte), ainsi que pour la galène donnant surtout la cérusite, et, parfois, des molybdates (wulfénite) et des phosphates.

* * *

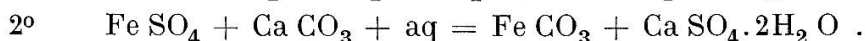
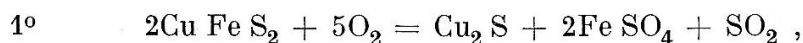
Minéralisation du gisement.

La description sommaire des minerais que nous venons d'établir et l'étude de certains échantillons contenant de la chalcopyrite qui s'altère en bornite, le tout inclus en petits noyaux dans la chalcosine qui, elle-même, donne en surface en minerais oxydés (coupe IX), nous permettent de déterminer les lignes générales de formation des gisements du Niari.

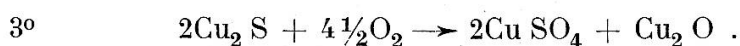
Le minerai primaire est certainement de la chalcopyrite. Il a été déposé par des eaux profondes minéralisantes, arrêtées par le bouclier de grès du chapeau. Ces eaux sont vraisemblablement montées par les failles, et nous rappellerons spécialement la grande faille E-O de bordure du plateau. La plupart se trouvent dans les anticlinaux, ce qui explique la minéralisation de ces derniers,

¹ Voir *opus cit.*

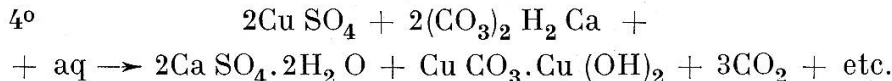
spécialement aux dômes. Cette chalcopryrite primaire a été transformée plus tard en Cu_2S reprécipitée dans les fissures avec du quartz et de la calcite. La Cu_2S est nettement secondaire, vu qu'elle forme ciment et pénètre dans les fissures de Cu Fe S_2 ; nous avons également trouvé de la limonite concentrée aux épontes, le fer dissous étant, soit transformé en carbonate et concentré près de Cu_2S , soit, surtout, éliminé comme sulfate, suivant les équations:



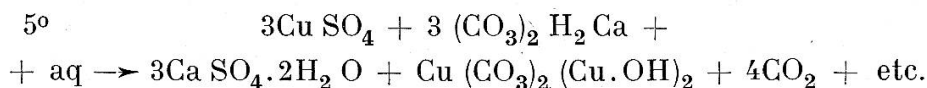
Cependant que les calcaires étaient solubilisés par des circulations d'eaux superficielles contenant de l'acide carbonique, cette chalcosine a été altérée et oxydée ternairement suivant le procédé habituel:



L'oxyde a été précipité, tandis que le sulfate a réagi avec le bicarbonate de chaux:

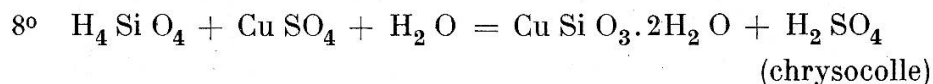
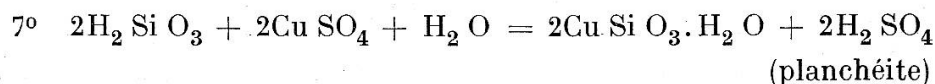
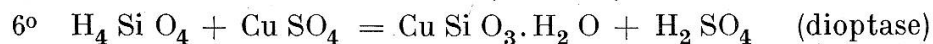


et



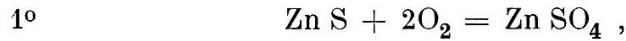
nous donnant, soit de la malachite, soit de l'azurite. Le gypse a presque complètement disparu par solubilisation; on en a cependant trouvé dans les calcaires sous-jacents. Souvent, nous avons décelé des émanations de CO_2 près des abatages de minerai, à la mine.

Les eaux contenant également de l'acide silicique en solution ont donné les silicates de Cu:

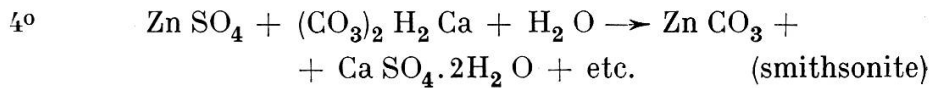
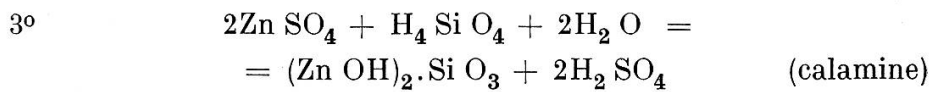
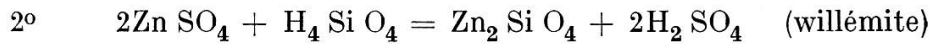


Il va sans dire que l'acide sulfurique s'est immédiatement combiné, soit au fer, soit à la chaux solubilisée, et a été pratiquement éliminé comme sulfate soluble.

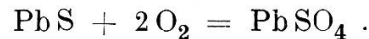
Nous aurons de même, pour la blende oxydée en sulfate, suivant:



les transformations suivantes:



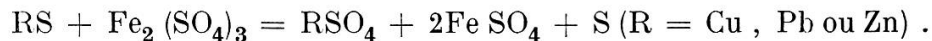
Même remarque pour l'acide sulfurique que pour la transformation des minerais de cuivre. Enfin, pour le plomb, l'oxydation a donné:



La cérusite s'est formée suivant la réaction:



Dans les trois cas, l'oxydation des sulfures peut être due à $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$ éventuel, suivant:



V. LES GRÈS.

Comme nous l'avons vu plus haut, les grès de Mindouli se limitent à la série du Kundelungu. S'ils apparaissent parfois concordants sur les calcaires, ils sont discordants et recouvrent de place en place des conglomérats (Mindouli, Tchicumba, Monts N'Guéri). Nous les séparerons donc complètement de la série schisto-calcaire quant à leur âge géologique. Ces grès sont généralement transformés assez profondément, en sur-

face, en latérites rougeâtres tout à fait conformes à celles étudiées par Arsandaux au Gabon¹. Ce sont des combinaisons d'oxhydrates de fer et d'alumine plus ou moins argileuses. Elles forment généralement le sol où croît la maigre végétation de la brousse. Souvent, elles contiennent de nombreux nodules d'hématite et de silex, résidus des grès enlevés par érosion et qui se sont condensés peu à peu, arrivant parfois à former de grandes plaques dénudées dans la brousse. Elles renferment aussi des concrétions de limonite et parfois des paillettes de muscovite plus ou moins altérées. Leur toucher est ordinairement onctueux, gras, semblable à celui qu'offrent les argiles marneuses.

Plus rarement, nous avons une argile sablonneuse, jaunâtre ou blanchâtre, avec nodules de silex. Leur épaisseur est très variable, pouvant aller jusqu'à 20-25 m; de ces latérites, on passe progressivement à des grès plus ou moins durs, compacts. Ces derniers sont presque toujours rouges, et présentent des variations de grain, parfois très fin, avec, de temps à autre, des alternances de grès feldspathiques et de couches très argileuses. Plus ou moins fissurés, ils sont très souvent plaqués de dendrites de pyrolusite. Rarement, on observe, dans les parties supérieures, des alternances de grès rouges, verts ou jaunes. Une seule fois, des grès verts ont été trouvés minéralisés localement, à 20-30 m au-dessus du contact, mouchetés de pyrite et de chalcopryrite, alors que les calcaires sous-jacents étaient stériles. L'analyse a donné, pour ces grès verts, une partie de pyrite pour deux de chalcopryrite et fourni les chiffres:

Argile + sable	75.02 %
Fe ₂ O ₃	12.91
Al ₂ O ₃	traces
Cu	4.95
S	6.42
Ca O	0.6
CO ₂	0.73
	<hr/>
	100.63 %

En s'approchant du contact, les grès sont assez fréquemment décolorés et présentent des successions de bancs jaunes, verts

¹ C. R., t. CIL, p. 682 (1909).

blancs, tout en devenant très riches en silex et avec parfois des silicates ferrugineux noirâtres.

Cette série gréseuse est assez faillée, et l'on aperçoit de temps à autre des décollements horizontaux formant des poches remplies d'argile ou de sable jaunâtre ou blanc avec rognons de silex. Cependant, son système faillé est beaucoup moins développé que chez les calcaires qu'elle recouvre en se modelant plus ou moins sur eux. Les couches supérieures, compactes, contiennent fréquemment des paillettes de muscovite que l'on retrouve légèrement altérées dans les bancs décolorés, et des rubans de silice amorphe. Quant aux grès inférieurs, leur voisinage du contact et leur plus grande perméabilité permet de supposer une légère minéralisation, qui sera forcément limitée par la structure à peu près horizontale du système stratifié. C'est, en effet, fréquemment le cas, mais sur une épaisseur assez restreinte pouvant aller jusqu'à 25 m. *Cette minéralisation est toujours très faible*, en moyenne de 0,1 à 0,3 % de cuivre avec des traces de zinc. Elle ne peut être expliquée que par une absorption capillaire des solutions minéralisées sous-jacentes, car on a trouvé de ces grès faiblement minéralisés surmontant des terres noires stériles.

Le cuivre ne s'y trouve que sous forme de malachite et, plus rarement, de diopside finement cristallisée, de planchéite fibreuse, asbestiforme, ou exceptionnellement de chrysocolle.

Le zinc se trouve exclusivement à l'état de willémitte cristallisée en rosettes décelées soit à l'œil nu (Lacroix), soit, le plus souvent, par le microscope (Duparc) autour de grains de quartz. Au contact, ces grès sont altérés et transformés en argile rouge ou blanche, parfois peu minéralisée en carbonates et silicates. En coupe mince, les grès présentent de nombreux grains de quartz, quelques paillettes biréfringentes de muscovite, de la limonite, une quantité variable d'argile souvent ferrugineuse et d'hydroxydes d'aluminium et de fer. Pour finir ce paragraphe nous donnons ci-dessous un tableau de quelques analyses de ces grès, les cinq premières faites par fusion au carbonate de soude, en dosant les alcalis par la méthode de Smith, les deux autres par attaque à l'eau régale.

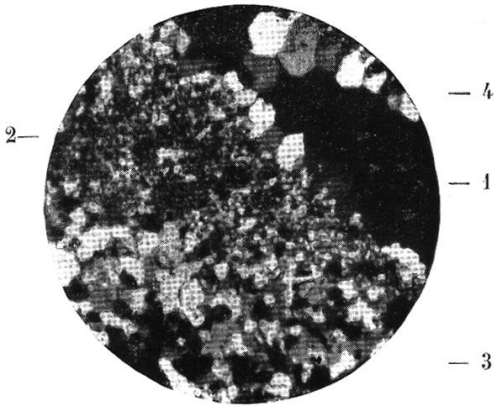
Un fait spécial à noter: la plupart des calcaires ont une odeur fétide décelable sur des cassures fraîches. Souvent, ils sont légèrement graphitiques et contiennent des traces d'hydrocarbures liquides et d'hydrogène sulfuré. On a cru un instant pouvoir faire de l'horizon 3 un niveau bien délimité par ces caractères; leur généralité a rapidement fait abandonner cet espoir. On trouve, intercalés dans des strates calcaires, de petits bancs noirs, durs, talqueux, dont la coloration provient du graphite. Un échantillon donne à l'analyse:

Si O ₂	91.95 %
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	0.75
Mg O	3.34
Ca O	traces
P A F	3.65
	<hr/>
	99.69 %

On cite aussi de minces couches de calcaires, d'aspect fortement plissotté, que l'on a cru dus à des effets de laminage. En réalité, ce ne sont que des concrétions de nodules calcaires pouvant atteindre la grosseur du poing, soudés les uns aux autres par leurs couches extérieures (H. Lagotala). Notons encore de nombreux bancs cherteux, surtout dans la série supérieure. Les calcaires sont très variables d'aspect, de grain et de couleur. Ils sont presque toujours magnésiens. Au microscope, leur structure en grains arrondis et, parfois, leur extrême finesse, permettent d'éliminer l'hypothèse de formations détritiques émises par certains. Nous n'étudierons que la série supérieure à partir du type noir, très pur.

Les calcaires de contact sont très souvent formés de grains d'un gris plus ou moins foncé, assez brillants, grossiers, au toucher rugueux. Leurs fissures assez fréquentes sont remplies de calcite en très gros cristaux blancs, translucides. D'autres bancs, gris clair, au toucher onctueux, de cassure conchoïdale assez difficile, s'y interstratifient. Ils ont un grain si fin que leur étude demande un fort grossissement au microscope. Ils sont toujours très siliceux, dolomitiques et fortement manganifères, très rarement fissurés et peu minéralisés. Le manganèse s'y trouve sous forme de carbonate (dialogite).

Coupe VII.



QUARTZITE.

Grossissement 25 diam.
Nicols croisés.

- | | |
|--------------|----------------------|
| 1 chalcosine | 3 quartzite |
| 2 calcaire | 4 quartz en salbande |

Coupe VIII.

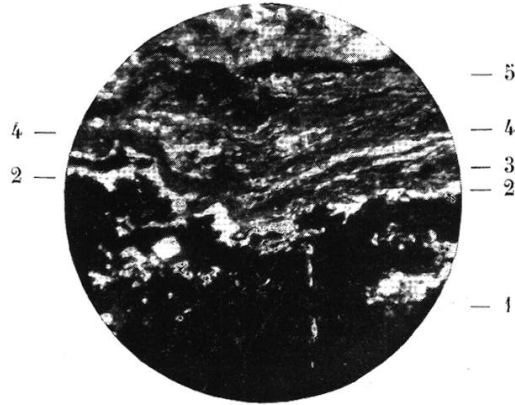


CALCAIRE MOUCHETÉ Cu_2S .

Grossissement 10 diam.
Nicols croisés.

- | | |
|--------------|----------|
| 1 chalcosine | 3 quartz |
| 2 calcaire | |

Coupe IX.

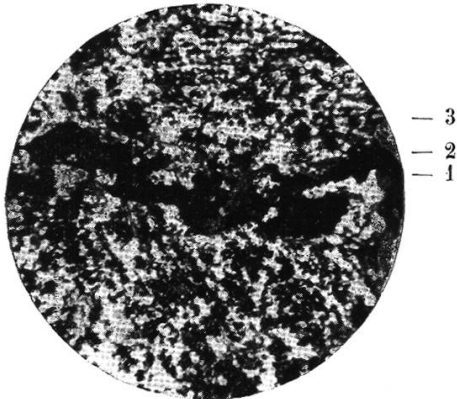


ALTÉRATION DE CHALCOSINE.

Grossissement 10 diam.
Nicols parallèles.

- | | |
|-------------------------------------|------------|
| 1 chalcosine compacte | 3 azurite |
| 2 malachite | 4 diopside |
| 5 malachite et chrysocolle mélangés | |

Coupe X.

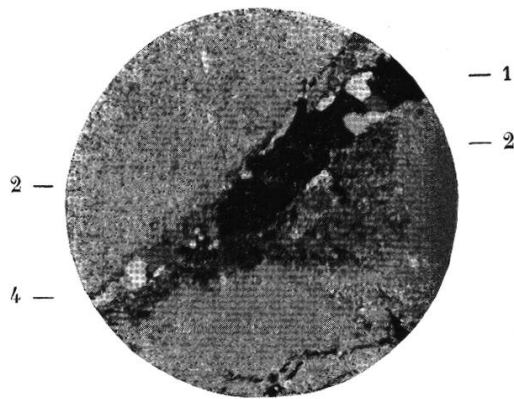


TERRE NOIRE.

Grossissement 25 diam.
Nicols parallèles.

- | | |
|--------------------------|------------|
| 1 veinule de chalcosine. | 3 limonite |
| 2 malachite | |

Coupe XI. 3



CALCAIRE MINÉRALISÉ.

Grossissement 25 diam.
Nicols croisés.

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 1 veinule de chalcosine | 3 limonite |
| 2 calcaire | 4 quartz en salbande |

Plus bas, nous avons fréquemment des calcaires roses ou gris, parfois en plaquettes de 2-3 cm d'épaisseur, assez friables. Les types compacts sont à grain très variable. Ils renferment parfois des géodes de calcite ou de quartz recristallisés et de gros nodules d'un silicate noir de fer. Rarement, ils sont plus ou moins écrasés et laminés ou contiennent un peu de talc. Ce niveau est ordinairement stérile, ceux qu'il recouvre, toujours.

Horizon de calcaire gris, d'épaisseur très variable, compacts, peu dolomitiques, à grain assez fin, assez siliceux; puis une assise de calcaires noirs à grain très fin, fortement fétides, avec des hydrocarbures. Ils sont utilisés dans la région comme matière première pour la fabrication de la chaux. On les trouve superposés à un type gris peu siliceux qui surmonte les calcaires lie de vin. Un tableau comparatif d'analyse nous donne :

	I	II	III	IV	V	VI
Argile + Si O ₂	5,53	13,60	18,73	26,1	0,36	4,25
Cu	0,75	traces	néant	néant	néant	5,02
Pb	néant	néant	néant	néant	néant	0,10
S	0,12	néant	néant	néant	néant	0,96
Fe ₂ O ₃	4,37	} 6,25	1,71	5,37	néant	1,32
Al ₂ O ₃	1,14				néant	0,17
Mn O ₂	9,43	13,83	0,65	0,42	néant	0,83
Ca O	28,02	15,55	33,42	29,82	55,42	27,12
Mg O	11,77	10,99	9,18	7,08	0,67	17,11
P A F	38,70	40,50	36,80	31,24	43,85	43,32
	99,83	100,72	100,49	100,03	100,30	100,20

- I. Calcaires de contact, à gros grain.
 II. » siliceux à grain fin, rubannés.
 III. » roses.
 IV. Calcaires gris en plaquettes.
 V. » noirs, fétides.
 VI. » minéralisés, dans terre noire.

A noter spécialement les fortes variations de teneur en Mn O₂ et silice. Comme nous l'avons vu, la minéralisation est uniquement localisée au contact. Elle a pénétré les couches calcaires en raison directe de la facilité de leur fissuration et de leur perméabilité, et l'on suit très bien à l'œil nu ou au microscope (coupes VIII et XI) le remplissage progressif des failles, fentes



et veinules, avec de la chalcosine ainsi que de la calcite et du quartz recristallisés. Le plus souvent, le minerai ainsi déposé l'est sous forme de chalcosine d'une fraîcheur remarquable. D'autres fois, on rencontre des veinules de carbonate de cuivre ou de chrysocolle ou des géodes contenant de superbes cristaux de diopside ou d'azurite. Assez communément, on aperçoit des plaquages de malachite et de chrysocolle ainsi que des tapis de minuscules cristaux de diopside sur les parois.

Nous avons suivi l'exploitation d'une veine de chalcosine sur plusieurs dizaines de mètres dans des calcaires assez disloqués, veine de près d'un mètre d'épaisseur, altérée aux salbandes en malachite et chrysocolle. Les fissures du calcaire étaient remplies d'une argile jaunâtre contenant de très jolies agrégations de diopside en longues aiguilles fibroradiées. Les parois de la veine, à peine altérée sur quelques centimètres, étaient généralement peu minéralisées (3-4 % Cu) alors que la teneur en cuivre des argiles montait souvent à 10 et 12 %. C'est dans ces fissures remplies d'argile qu'ont été découverts les plus beaux échantillons de la plupart des minéraux de Mindouli, très souvent inter-pénétrés.

La minéralisation se concentre donc au toit gréseux où l'on a presque toujours découvert les amas de chalcosine extraite de la mine. Les calcaires ne sont minéralisés que sur une assez faible profondeur.

* * *

L'altération de ces calcaires de contact est plus ou moins prononcée, soit à la surface du sol, soit sous le manteau gréseux. S'ils sont très siliceux, ils peuvent arriver à donner une roche caverneuse, légère au toucher, squelette résiduel presque uniquement composé de silice. Un tel type donne à l'analyse:

Si O ₂	97,52 %
Fe ₂ O ₃	1,6
Al ₂ O ₃	traces
Mn O ₂	0,3
Ca O	néant
Mg O	0,36
P A F	néant
	<hr/>
	99,78 %



D'autres fournissent des masses poreuses, souvent en plaquettes, que l'on retrouve en surface. Finalement, si la quantité de silice est insuffisante, la roche friable tombe en poudre, donnant un sable jaunâtre.

Nous avons reproduit ces trois cas par attaque de divers blocs calcaires par l'acide chlorhydrique dilué. Mais la plupart, en s'altérant, deviennent noirâtres, restant tout d'abord très durs, puis devenant plus ou moins friables. Le dernier terme de décomposition donne ces poches de sable blanchâtre ou jaunâtre, d'argiles jaunes ou rouges ou d'un résidu au toucher argileux appelé dans la région terre rouge ou terre noire suivant sa teinte plus ou moins foncée. Il arrive parfois que l'on trouve de ces poches interstratifiées dans des bancs calcaires.

Les couches les plus facilement altérées par l'action des eaux se trouvent être les plus dolomitiques. C'est ce qui explique l'aspect souvent ruiniforme des sommets des mamelons tabulaires calcaires des environs de Mindouli (Bertrand).

Cette altération nous amène au centre de notre sujet, c'est-à-dire à l'étude des terres noires, étude qui fera l'objet des chapitres suivants.

VII. LES TERRES NOIRES.

La terre noire est un composé complexe, noirâtre ou brunâtre, qui se rencontre en certains endroits au contact des grès et des calcaires, et parfois entre des strates calcaires, mais toujours à petite distance du contact. *Jamais on ne le trouve dans les grès.* Il est loin de former un niveau constant et sa disposition est assez variable.

Ordinairement, nous le trouvons en poches dans les calcaires avec, au toit, le chapeau gréseux. Ces poches peuvent varier de forme et de grandeur; elles sont, dans la grande majorité des cas, disposées en chapelet au contact. Beaucoup plus rarement, on relève une disposition semblable interstratifiée dans les calcaires (voir coupes I-V). Ces poches peuvent être de très grande dimension; quelques-unes ont jusqu'à vingt mètres de profondeur et s'étendent sur des distances assez grandes (100-200 m). Elles sont parfois reliées entre elles par une couche

épaisse de terre noire, couche qui peut se réduire à une mince bande pouvant s'étirer entre grès et calcaires sur d'assez grandes distances, ou disparaître complètement pour se retrouver plus loin. En suivant le plongement, la couche, assez faible ou nulle au sommet de l'anticlinal, s'épaissit en suivant le pendage, pour s'amincir et disparaître complètement dans le synclinal (coupes II, IV et V.).

Pour la mine de Mindouli, l'anticlinal principal est-ouest est rompu à peu de distance de son faite par la faille qui limite l'affaissement de la plaine, ce qui fait que, seul, le jambage plongeant au sud subsiste (voir coupe V). La couche minéralisée a été exploitée en partant du sommet de l'anticlinal pour descendre en étages de galeries successifs vers le niveau hydrostatique. Une autre faille la limite à l'ouest, et l'anticlinal N-S s'efface sous la plaine, à l'est. La mine a été passablement bouleversée par de nombreuses failles locales qui en rendent l'exploitation difficile.

Nous insistons spécialement sur la disposition discontinue de cette couche qui peut disparaître sur plusieurs kilomètres pour reparaitre sur un anticlinal (voir coupe II). Elle ne représente nullement un étage stratigraphique alluvionnaire comme certains le prétendent. Notons encore qu'un peu de terre noire a été trouvée sur la plaine de la Bembé, mais en très petite quantité, fort peu minéralisée (0,3 % Cu) et comme alluvion.

* * *

La disposition générale du gisement peut se résumer ainsi:

1° Au toit, généralement les grès du Kundelungu soit en une couche compacte, peu faillée, soit en énormes blocs plus ou moins arrondis dont les intervalles sont remplis d'argile. Très rarement, on a des calcaires peu altérés. Puis

2° une couche mince (10-50 cm) d'argile rouge à laquelle succède

3° une bande de marnes blanchâtres, le plus souvent très plissottées et présentant des miroirs de frottement; ces marnes

sont, parfois, peu minéralisées. C'est sous ces dernières que nous trouvons ordinairement

4° les terres noires qui peuvent être également très plissées avec les mêmes miroirs que les marnes et contenir par place des lentilles de Cu_2S , près du toit. En allant au mur, cette couche passe à

5° des argiles, puis des terres rouges ou des sables pour arriver à

6° des calcaires altérés, brunâtres, et finir

7° au mur calcaire inaltéré minéralisé ou non.

* * *

Comme *aspect physique*, la terre noire nous apparaît sous forme d'un produit très complexe, de densité très faible, comprise entre 1 et 2. Séchée, elle donne une poudre très fine, brunâtre, tachant les doigts en brun. En morceaux, elle flotte sur l'eau et s'y enfonce bientôt en s'imprégnant de liquide. Un échantillon brun foncé, compact, séché à 110° à l'étuve, est tombé de densité 1,3 à 0,405. Pulvérisé, il a donné 3,58 de densité réelle. Cet essai nous montre la grande porosité des terres noires. A l'œil nu, elles présentent soit des bancs chertueux de silice ou de calcaires décalcifiés, soit des morceaux de ces corps. On y trouve aussi de petits blocs de calcaire, des argiles et de la silice amorphe. Souvent elles sont écrasées, laminées par l'épaisse couche de grès supérieurs, et se moulent plus ou moins au mur calcaire ou aux morceaux de roches qu'elles contiennent, fait facilement observable en suivant les minces strates d'argile blanche.

Une *coupe théorique détaillée* d'une couche de terres noires contenant les divers éléments relevés donne:

1° Sous les marnes, une bande assez étroite de *terres noires* intercalées d'argile blanche, les strates étant très serrées et le système plissotté et onduleux. Cette couche est ordinairement assez minéralisée, surtout en silicates et carbonates de cuivre. Puis nous trouverions

2° une mince bande de minerais oxydés provenant de l'altération de lentilles de chalcosine se développant en chapelet,

par places, parallèlement au contact; au-dessous nous retrouvons la bande de minerais oxydés et

3° une couche assez forte de *terres noires* moins riche en minerai, interstratifiée de bancs cherteux de silice amorphe, de minces filonnets de chrysocolle et de malachite, ou encore de lits de silex noirâtre. Cette terre noire peut être compacte, assez semblable à du charbon, ou pulvérulente, ou encore plus ou moins fluide si elle contient de l'eau qui la rend toujours très plastique. Ce phénomène a été amplifié par l'exploitation qui a permis de nombreuses venues d'eau. Les galeries ont tendance à s'aplatir, non par affaissement du toit boisé, mais par élévation du mur, la terre subissant les effets de la pression. On observe des variations de 50 cm en 48 heures. Souvent aussi, des boissages d'anciens travaux traversent le toit et les parois des galeries, et l'on observe des poussées de blocs calcaires parfois énormes. On trouve dans la terre des cristaux de diopside, des veinules assez rares de carbonates et de chrysocolle. De temps à autre, de minces bandes d'argile litent ces couches en bancs parallèles où l'on rencontre des amas de silice imprégnés ou non de sels de cuivre, principalement de silicates avec, parsemés dans la masse verte ou bleuâtre, de petits cristaux de diopside de quelques mm. De place en place se décèlent, plutôt au toit, des blocs de calcaire altérés ou non, parfois minéralisés, très souvent arrondis et peu décomposés en surface.

Nous insistons sur le fait que, souvent, des bancs cherteux ou des veinules minéralisées se trouvant dans les calcaires, se continuent dans les terres noires, les veinules de Cu_2S s'y oxydant rapidement.

La minéralisation diminue en descendant au mur, et nous passons peu à peu à

4° des terres rouges sablonneuses ou à des sables, ou directement

5° aux calcaires décalcifiés noirâtres et poreux, puis

6° aux calcaires sompacts du mur dont les fissures assez nombreuses sont remplies le plus souvent de gros rhomboédres de calcite recristallisée et, de temps à autres, de chalcosine et de quartz. Rarement on trouve des argiles avec des minéraux en individus bien cristallisés. Les calcaires sont ceux que nous avons étudiés au chapitre précédent.

* * *

Au microscope, la terre noire, abstraction faite des gros éléments, nous apparaît comme un agrégat de divers petits grains où prédominent fortement le quartz et la pyrolusite amorphe. On y trouve, en minces filonnets, des sels de cuivre (carbonates et silicates) et, rarement, de la chalcosine. Ces minces filonnets sont toujours bordés de quartz, et nous avons trouvé en salbande, une bordure de limonite (voir coupe X). Des sels de cuivre sont également disséminés dans la masse (dioptase, chrysocolle, malachite) ainsi que de la limonite et des argiles. Plus rares, des oxydes hydratés de Mn, un peu de calcaire et de dolomie et, très rare à Mindouli, de la cérusite et de la calamine.

Les terres rouges, elles, présentent de très fortes teneurs en quartz et en limonite et sont rarement minéralisées. Une analyse moyenne de terres rouges et de terres noires donne :

	I	II
Si O ₂	78,74 %	68,72 %
Pb	0,22	0,84
Zn	traces	traces
Cu	0,47	4,92
S	traces	0,37
Mn O ₂	1,23	4,46
Mn ₃ O ₄	0,07	0,23
Fe ₂ O ₃	10,23	4,46
Al ₂ O ₃	0,97	1,81
Ca O	0,73	4,96
Mg O	1,92	2,66
P A F	5,26	6,70
	99,84 %	100,13 %

I. Terres rouges.

II. Terres noires.

Ce bref examen nous permet de résumer les constituants habituels de la terre noire d'après leur fréquence :

- 1° Quartz,
- 2° Pyrolusite et oxydes hydratés de manganèse,
- 3° Limonite,

- 4° Argiles,
- 5° Sels de cuivre (chrysocolle, malachite, dioptase, chalcosine, etc., dans leur ordre de fréquence),
- 6° Calcaires et calcaires dolomitiques,
- 7° Sels de plomb (surtout calamine),
- 8° Un silicate complexe de Fe, Al, Mg en très petites quantités, en poudre biréfringente au microscope.

Le rapport des composants solubles sans métaux exploitables aux métaux exploitables est toujours beaucoup plus fort que 1 :

$$\frac{\text{Fe}_2 \text{O}_3 + \text{Mn O}_2 + \text{Mn}_3 \text{O}_4 + \text{Ca O} + \text{Mg O}}{\text{Cu} + \text{Pb} + \text{Zn}}$$

donne pour

- a) Les terres noires: 16,77/5,76 soit environ 3,
- b) Les terres rouges: 14,18/0,69 soit environ 20.

* * *

Au point de vue *minéralisation*, en éliminant les lentilles plutôt rares de chalcosine qui, répétons-le, se trouvent généralement en chapelet parallèlement au toit, ainsi que les agrégats importants de chrysocolle ou de malachite très peu nombreux, nous aurons:

- 1° Une assez forte concentration au toit.
- 2° La presque disparition de la chalcosine, altérée en minces filonnets en malachite et, surtout, en chrysocolle.

(à suivre)