

11632

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

74, rue de la Fédération, 75739 PARIS Cédex 15 - Tél.: (1) 783.94.00

E T U D E   P R E A L A B L E

B R G M - K R U P P

SUR LES GISEMENTS DE FER

DE LA FALEME

---

RAPPORT GEOLOGIQUE

POINTS 2   et   5

P O I N T S 2 E T 5PRESENTATION SYNTHETIQUE DES CONNAISSANCES  
DISPONIBLES SUR LES GISEMENTS DE FER DE LA FALEMEESTIMATION DES RESERVES POSSIBLES

I - Historique des recherches géologiques et minières .....	p. 2
II - Synthèse des connaissances géologiques .....	p. 8
III - Les amas ferrifères .....	p. 18

## LISTE DES FIGURES ET DES PLANCHES

### Figures dans le texte

- Fig. 1 - Kouroudiako Nord - Coupe passant par KDA et KDB  
Fig. 2 - id. - Coupe passant par KDA et KDN 1  
Fig. 3 - Goto Sud - Coupe passant par GOA et GOB

### Planches hors texte

- Pl. I - Principales opérations effectuées par le B.R.G.M. sur la rive gauche de la Falémé (Sénégal) de 1961 à 1969 ; carte au 1/100.000.  
Pl. II - Esquisse géologique de la Série de la Daléma par J. CHANTRAINE (1974) au 1/100.000.  
Pl. III - Massif du Kouroudiako au 1/5.000.  
Pl. IV - Massif du Karakaena au 1/20.000.  
Pl. V - Mont Kabelea au 1/10.000.  
Pl. VI - Mont Safa et Farangalia au 1/10.000.  
Pl. VII - Mont Goto Nord et Sud au 1/10.000.  
Pl. VIII - Massif du Koudekourou au 1/10.000.

## I - HISTORIQUE DES RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (Pl. I)

De 1955 à 1966 le Birrimien de la rive gauche de la Falémé (Sénégal oriental) a fait l'objet de plusieurs études et missions de prospection dont les principales sont énumérées ci-dessous.

Puis de 1966 à 1969 le B.R.G.M. a effectué là-bas quatre campagnes successives orientées vers la recherche du cuivre, et sur lesquelles nous donnerons quelques précisions.

1933 - Les principaux amas ferrifères de la Falémé sont mentionnés pour la première fois par Skawich.

1911-1950 - Les alluvions aurifères de la Falémé sont exploitées (à une teneur de 0,2 à 0,5 g au m<sup>3</sup> de gravier) par la Compagnie des Mines de Falémé-Gambie, renflouée en 1927 par le groupe Kilo-Moto. La production totale a été de l'ordre de 2.800 kg d'or.

1953 - R. LOYEZ examine pour la Direction Fédérale des Mines et de la Géologie, les placers aurifères de la rive droite de la Falémé ; il visite aussi le filon aurifère de Madinandi.

1955-1957 - D. SOULE DE LAFONT aborde en 1955 l'étude géologique de la région et l'évaluation des amas ferrifères, pour la Direction Fédérale des Mines et de la Géologie. En mars 1957 la Compagnie Sénégalaise des Mines (filiale de la Compagnie Minière de Conakry) prend le relais de la DFMG pour l'évaluation des gisements, mais D. SOULE DE LAFONT reste conseiller géologique et rédige le rapport final. Trois amas ou groupes d'amas ont fait l'objet de travaux (660 m de galeries et 708 m de sondages) : Koudekourou (4 galeries et 5 sondages), Kouroudiako (4 galeries et 8 sondages), et Karakaena (2 galeries et 2 sondages). Un des sondages du Kouroudiako montre l'existence de sulfures sous la zone d'oxydation : pyrite et chalcopryrite et exsolutions de cubanite.

1956 - S. OGNAR fait pour la DFMG, une prospection alluvionnaire (colombo-tantalite et cassitérite) le long de la piste Saraya-Bambadji-Mahina Mine (un puits tous les 4 km).

1959 - J. MARCHESSEAU fait la prospection pour diamant des alluvions de la Falémé (17 essais de 9 m<sup>3</sup>). Il trouve un diamant au confluent de la Doundé (on en connaissait déjà sur ce marigot).

1962 - La C.G.G. effectue, sur une zone de 35.000 km<sup>2</sup> (26.000 km de profil) une prospection aéroportée (magnétisme et radiométrie) financée par le F.A.C. J.P. BASSOT participe à l'interprétation des résultats (18 anomalies sont retenues).

1962-1963 - F. WITSCHARD entreprend pour le B.R.G.M., sur la zone dite de granitisation hétérogène (zone des granites (Bambadji), une étude géologique (carte au 1/50.000) et une prospection alluvionnaire (97 puits, qui donnent un peu d'or et de cassitérite). En même temps P. SOUSSOUMITHE aborde la prospection géochimique stratégique du secteur nord (195 km<sup>2</sup> : Karakaena - Kouroudiako et Frandi-Kolia) : il trouve seulement de petites anomalies en Mo à Karakaena (6 à 12 ppm), bien qu'on ait dosé aussi W, Cu, Pb, Cr et Ni.

En 1963 F. WITSCHARD effectue pour l'ONU une prospection géochimique du Koudekourou à la maille 300 x 300 m. Les échantillons sont dosés pour As, Mo, W, Be, Li, Cu, Co, Cr et Ni ; on obtient quelques valeurs anormales en As, Cu, W et Cr.

1963-1965 - Les anomalies aéromagnétiques trouvées en 1962 font l'objet d'une étude au sol (géologie, géochimie, sondages courts) par l'ONU. Il s'agit généralement de dykes de roches basiques et, dans un cas, d'une serpentine. La CGG fait la géophysique au sol (magnétisme et résistivité) sur certaines d'entre elles.

En même temps l'ONU effectue la prospection alluvionnaire systématique pour or et diamant, des affluents de rive gauche de la Falémé (par itinéraires distance de 4 km), puis des terrasses de la Falémé.

1965 - Publication de la thèse de F. WITSCHARD. "Contribution à l'étude géologique pétrographique et métallogénique des massifs granitiques du Sénégal oriental" - Mém. BRGM n° 44 - Ce travail, assez rapide et centré sur les granites, ne décrit pratiquement pas le complexe volcano-plutonique de la Daléma ; celui-ci apparaît sur la carte au 1/100.000, sous les figurés "cornéennes" et "granites à caractères endomorphes".

1966 - Sous l'impulsion de A. BLANCHOT (qui découvre des poches de turquoise près du sommet du Kouroudiako) le B.R.G.M. décide de ~~s'intéresser aux sulfures qui accompagnent les amas ferrifères de la~~ rive gauche de la Falémé, et de chercher des concentrations de Cu, peut-être avec Mo et W (on pense à des skarns). La fiche technique recommande, pour compléter notre information, de commencer par quelques sondages sur un chapeau de fer, et une étude géochimique de tous les chapeaux de fer.

Cette même année, la CAMS (Canadian Aero Mineral Surveys Ltd) effectue pour le B.R.G.M. une prospection électro-magnétique aéroportée (Input Barringer) de la Série de la Daléma au N du parallèle 12°48'. Treize anomalies sont sélectionnées, dont neuf seront étudiées au sol en 1967.

#### Campagne B.R.G.M. 1966

R. VAN DEN HENDE fait une reconnaissance géologique rapide et des essais de prospection géochimique Cu sur quatre chapeaux de fer :

- Kouroudiako : topographie au 1/5.000 ; un essai de géochimie en stream-sédiments.
- Kabelea : topographie au 1/10.000 ; géochimie tactique locale à maille 40 m x 40 m.
- Safa : topographie au 1/10.000 ; géochimie tactique locale à maille 25 m x 25 m.
- Goto : topographie au 1/10.000 ; géochimie tactique locale à maille 40 x 40 m.

En même temps R. MILLON fait des essais de prospection géophysique sur les mêmes massifs : magnétisme, Turam (100 km de profil au total), et éventuellement mise à la masse. Il constate que la conjugaison du magnétisme et du Turam permet de déceler avec précision les bandes de magnétite massive, mais ne donne aucune indication sur leur teneur en sulfure.

La campagne se termine par l'exécution de deux sondages de 400 m au Kouroudiako, sondages dont l'intérêt est considérable, car ils ont permis d'étudier les roches du complexe minéralisé.

Au total la campagne 1966 a comporté :

- géochimie	1.758 prélèvements de sol
- Turam	100 km de profils
- magnétisme	15 " "
- sondages Joy 22	830 m

Campagne B.R.G.M. 1967

R. VAN DEN HENDE entreprend une série de prospections géochimiques Cu à large maille (400 m x 400 m), resserrée localement à 200 m x 100 m (ou à 100 m x 100 m) sur neuf des anomalies EM Barringer obtenues en 1966 et sur des chapeaux de fer extérieurs à la zone volée.

En même temps R. MILLON étudie au sol ces anomalies par Turam, magnétisme et parfois PS.

Des sondages Joy sont faits à Karakaena (2 sondages), Kabelea (2 sondages), Safa (1 sondage), Farangalia (1 sondage), Goto (3 sondages).

Au total la campagne 1967 a comporté :

- Géochimie	6.466 prélèvements de sol
- Turam	170 km de profils
- magnétisme	52 " "
- PS	6 " "
- sondages Craelius	98 m
- sondages Joy 22	1.063 m

Les enseignements de la prospection géophysique aéroportée de 1966 ont été tirés par R. MILLON en 1971. Une carte aéromagnétique au 1/25.000, établie tout récemment (BEAU et MILLON, 1973) par compilation de l'aéromagnétisme, permet de se rendre compte (par superposition à cette carte des anomalies EM Input 3 et 4 canaux) que les amas de magnétite se situent dans des horizons conducteurs NS à NNE, affectés d'accidents ENE.

#### Campagne B.R.G.M. 1968

R. VAN DEN HENDE poursuit la prospection géochimique Cu à la maille 200 m x 100 m (ou 100 m x 100 m, ou même 100 m x 50 m dans certains cas) sur sept nouveaux sites à indices de Cu ou à chapeaux de fer, qui sont portés sur le tableau joint.

D'autre part, il entreprend en fin de mission un essai de géochimie stratégique Cu à la maille de 1.000 m x 500 m sur une bande EW de 21 km de long et 4 km de large englobant Farangalia et Goto. Ces deux indices se manifestent chacun sur 3 prélèvements par des teneurs de 100 à 130 ppm Cu.

Des sondages sont faits dans les secteurs Frandi-Kolia (4 sondages Prosper), W Mahina Mine (2 sondages Prosper), Guebouria-Boboti (2 sondages Joy) Kouroukobi (1 sondage Joy) et Koudekourou (1 sondage Joy).

Pas de géophysique au sol cette année.

Au total la campagne 1968 a comporté :

- géochimie	3.229 prélèvements de sol
- sondages Craelius	148 m
- sondages Joy 22	308 m

#### Campagne B.R.G.M. 1969

On aborde la prospection géochimique stratégique en stream-sédiment (les sites de 3 prélèvements étant espacés de 300 m suivant le réseau hydrographique).



En fait les zones prospectées, bien qu'éparses de Mahina Mine à Guebouria, représentent une faible partie de la surface totale à explorer ; et surtout seuls les marigots principaux ont été échantillonnés, ce qui rend cette prospection très incomplète. C'est pourquoi par exemple les indices de Goto et de Farangalia n'ont pas été retrouvés (alors qu'ils l'avaient été par la stratégie de 1968 à maille 1.000 m x 500 m). Une seule anomalie de plus de 100 ppm Cu (sur un fond de 10 à 15 ppm) a été décelée, sur le marigot Boutoungolin.

Au total la campagne 1969 a comporté 1.248 prélèvements de stream-sédiments (pour 585 sites de prélèvements).

#### Campagne B.R.G.M. 1974

A la suite d'un travail de réflexion poursuivi en 1971 au B.R.G.M. sur le Birrimien d'Afrique occidentale, la singularité géologique de la Série de la Daléma et la présence simultanée des amas ferrifères, de placers aurifères et d'indices cuprifères ont conduit le B.R.G.M. à demander un permis de recherches pour Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mo, W et Au et à effectuer dans cette région :

- une étude géologique synthétique, appuyée sur de nouvelles observations microscopiques et sur des levés géologiques complémentaires au 1/25.000. Cette étude, confiée à J. CHANTRAINE, avait pour but de préciser le contexte lithologique et tectonique des gîtes de fer et des anomalies en cuivre, en effectuant une cartographie aussi détaillée que possible (dans ce pays à recouvrement latéritique important), basée sur une analyse pétrologique et structurale.
- une prospection géochimique du cuivre en stream-sédiments sur toute l'extension de la Série de la Daléma (1.400 km<sup>2</sup>) y compris les zones couvertes de latérite (on a échantillonné la base des latérites chaque fois que c'était possible). La densité de prélèvement a été de l'ordre de 3 au km<sup>2</sup>. La mission a été effectuée par J. WALTER.

Les résultats géologiques sont résumés dans l'exposé ci-après, illustré par une carte géologique inédite au 1/100.000.

En ce qui concerne le cuivre, la prospection géochimique a mis en évidence sa liaison générale avec l'horizon ferrifère et confirmé, ce que laissaient prévoir les sondages ; la plupart des enrichissements en cuivre se produisent dans les niveaux à magnétite massive et dans les andésites et microdiorites à magnétite disséminée qui les accompagnent.

## II - SYNTHESE DES CONNAISSANCES GEOLOGIQUES (Pl. II)

### ESQUISSE GEOLOGIQUE

La carte ci-jointe montre, de manière schématique, la structure générale de la série birrimienne dans le périmètre de recherche Daléma du B.R.G.M., où elle présente son intérêt maximum, à cause de la présence d'un ensemble volcano-plutonique important et de puissants niveaux ou amas ferrugineux.

Vers l'Ouest la série birrimienne perd ce caractère particulier et n'est constitué que de formations schisto-gréseuses banales jusqu'au massif de granite de Saraya.

Vers l'Est et le Nord cette série se prolonge de l'autre côté du fleuve Falémé, où elle est très mal connue, jusqu'au Plateau Mandingue.

Vers le Sud, elle disparaît sous la couverture sédimentaire du Fouta-Djalou.

Dans le périmètre de recherche l'ensemble volcano-plutonique birrimien constitue la majeure partie des affleurements ; l'ossature principale est une mégastructure méridienne, centrée sur le massif de granodiorite de Banbadji, qui s'élargit dans le bassin de la Daléma et se rétrécit beaucoup au nord de Kouroudiako, puissant amas de magnétite qui se situe probablement dans une structure plissée et boudinée complexe.

De part et d'autre de cette ossature l'ensemble volcano-plutonique s'étale largement, d'une part au Nord-Ouest du périmètre où sa structure est difficile à analyser (l'amas de fer du Karakaena semble être une structure fermée), d'autre part au Sud-Est où il dessine de grands festons d'orientation sud-ouest, nord-est bordés par un niveau riche en magnétite dont le puissant Koudekourou qui se situe dans une double structure plissée.

Autour de cet ensemble et de manière irrégulière existe une formation à caractère intermédiaire, volcano-sédimentaire.

Les formations franchement sédimentaires n'affleurent que dans la partie est du périmètre de recherche ; régulièrement méridiennes au Nord où elles présentent des faciès néritiques variés, elles dessinent au Sud les mêmes structures que l'ensemble précédent et ne sont plus constituées que de sédiments détritiques.

Toutes ces roches sont modérément déformées et l'intensité de la schistosité acquise est très variable ; de même l'intensité du métamorphisme qui les affecte est irrégulière, variant d'épizonale à mésozonale, le flux thermique étant cependant centré sur l'ensemble volcano-plutonique. Ces formations sont généralement isoclinales, très redressées et déversées vers l'Est, mais leur analyse structurale est difficile étant donné la discontinuité des affleurements.

Une particularité intéressante de cette région est l'existence de champs de dykes de kéraatophyres tout le long de la Falémé, dont la mise en place est en relation probable avec les importantes fractures transverses qui affectent les formations birrimiennes. Il en est de même des filons de granite qui se trouvent dans le Sud du périmètre de recherche.

## DESCRIPTION LITHOLOGIQUE

I - L'ensemble volcano-plutonique. Il affleure particulièrement bien et il est particulièrement bien différencié dans le bassin de la Daléma.

Bassin de la Daléma : l'ensemble volcano-plutonique de la structure méridienne centrale est surtout constitué de roches de nature effusive et tuffacée métamorphique à faciès souvent albitophyrique mais où les métalaves et métatufs andésitiques sont particulièrement bien représentés ; les termes neutres mésocrates sont les plus abondants mais les termes acides (dacite, quartz-albitophyre) et les termes basiques (andésito-basalte, spilite) ne sont pas rares. Tous les passages existent entre les faciès méta-andésitiques et les faciès albitophyriques.

Ces formations semblent intrudées de manière complexe par des micro-diorites plus ou moins porphyriques, elle-mêmes métamorphiques, bien que leur caractère intrusif ne soit pas toujours certain ; il existe bien, de manière ubiquiste, des dykes de micro-diorite transverses sur les structures, mais certains sills, comme ceux qui, associés à des albitophyres, contiennent la magnétite, semblent effusifs.

Enfin, associés à ce cortège microgrenu, des petits corps dioritiques intrusifs se mettent en place dans cet ensemble, en particulier dans la région de Banbadji.

L'ensemble de ces roches est faiblement déformé (schistosité de fracture grossière) mais relativement métamorphique puisque l'isograde de la biotite (limite épizone mésozone) est partout atteint ; cependant la paragenèse ordinaire de ces roches, pauvres en phyllites, est la suivante :

albite - oligoclase  
trémolite - actinote  
pyroxène en relique  
quartz subordonné  
chlorite, épidotes, biotite, muscovite etc...

Dans les autres bassins que la Daléma, l'ensemble volcano-plutonique est moins bien connu mais ses caractères semblent identiques à cela près que les faciès méta-andésitiques francs sont bien plus rares et que les faciès albitophyriques deviennent prépondérants ; nous discuterons plus loin de la signification de cette évolution.

D'une manière générale les faciès semblent variés à l'affleurement à cause de la structure visible, de la taille des grains, de la teinte plus ou moins sombre et de l'intensité de la schistosité acquise ; mais ces roches, aussi bien au Nord-Ouest qu'au Sud-Est, se groupent en deux clans :

- des albitophyres dérivant d'andésite
- des microdiorites métamorphiques.

Ces deux clans présentent une parenté magmatique certaine, et leur disinction tient à des différences de structure : felsitique, "en lattes", blastique pour les albitophyres effusifs ou tuffacés ; microgrenue plus ou moins porphyrique pour les microdiorites. Ici encore les termes acides et basiques sont plus rares que les termes neutres. Les phénomènes métamorphiques sont ubiquistes : transformation des plagioclases, instabilité des ferromagnésiens. La paragenèse, mésocrate en moyenne, est encore composée essentiellement d'albite-oligoclase et de trémolite-actinote ; la biotite blastique et erratique est abondante.

Les Kératophyres. Dans le bassin de la Daléma, de part et d'autre du Kouroudiako, l'ensemble volcano-plutonique est caractérisé par la présence de champs de dykes de kératophyres ; ces champs semblent bien liés aux formes bien qu'ils pénètrent largement dans les formations sédimentaires ; ils affleurent de manière discontinue selon une large bande méridienne tout le long de la Falémé, quelles que soient les formations encaissantes. Ils sont souvent extrêmement denses, et les affleurements kératophyriques pratiquement ininterrompus dans des zones d'extension kilométrique.

Les dykes, de puissance décamétrique, semblent toujours orientés Est-Ouest.

Ces roches avaient été reconnues auparavant mais nommées aplites. Ce sont des kératophyres, rarement quartziques, constitués essentiellement sinon uniquement d'une albite à 5 %.

Leur caractère leucocrate est uniforme mais leur structure est très variable : soit microgrenue ou microlitique plus ou moins porphyrique (les phénocristaux sont alors des albites-oligoclases à 10 %), soit "en lattes" fluidale ou  quante. Le quartz est rare, le feldspath potassique exceptionnel ; les seuls minéraux qui peuvent devenir abondants sont la calcite et la pyrite.

- 2 - Les formations volcano-sédimentaires. Elles ne constituent qu'une bande plus ou moins bien individualisée entre l'ensemble volcano-plutonique et les formations franchement sédimentaires. On peut noter que les niveaux riches en magnétite se situent ainsi en bordure de l'ensemble volcano-plutonique et sont souvent proches des formations sédimentaires.

Ces formations intermédiaires sont caractérisées en effet par la présence de niveaux d'origine sédimentaire chimique au sein des masses effusives et tuffacées : ce sont surtout des jaspes et des calcaires, associés à des sédiments très fins, volcano-sédimentaires, du type "tuffite varv e" ; les sédiments détritiques y sont rares (quelques grauwackes). Elles sont encore affectées par un métamorphisme épizonal   mésozonal.

- 3 - Les formations méta-sédimentaires. Elles affleurent largement dans la partie orientale du périmètre de recherche ; elles se sont constituées en deux séquences différentes ; l'une, gréso-pélitique à intercalations carbonatées, présente un degré de maturité élevé, l'autre, uniforme de type grauwacke, présente un degré de maturité faible.

Les formations gréso-pélitiques à intercalations carbonatées  
affleurent uniquement dans le Nord-Est.

L'essentiel de ces formations est constitué de sédiments homogènes à dominante soit arénitique soit pélitique. Ils contiennent d'une part des bancs de grès plus ou moins grossiers à ciment phylliteux ou carbonaté (exceptionnellement ce ciment est fait d'agrégat de tourmaline), d'autre part des intercalations carbonatées lenticulaires qui peuvent devenir abondantes et puissantes, comme dans les régions de Frandi et de la Daléma où leur développement est considérable.

Ces formations sont métamorphiques ; les roches gréso-pélitiques sont transformées en schistes à muscovite et biotite plus ou moins quartzeux, où la schistosité est toujours très bien marquée ; les grès et les calcaires sont recuits en quartzites et cipolins.

Les formations détritiques de type grauwacke affleurent tout le long de la Falémé.

Ces formations, plus ou moins schistosées, d'aspect sombre, sont hétérogènes, constituées de sédiments à éléments clastiques (quartz et plagioclase) dans un ciment phylliteux (muscovite et biotite) ; le ciment constitue environ 30 % de la roche.

Ces formations méta-sédimentaires, qui contiennent des roches basiques à tendance spilitique, peuvent être traversées par les champs de dykes de kératophyres. Elles sont de moins en moins métamorphiques quand on s'éloigne de l'ensemble volcano-plutonique.

## TECTONIQUE ET METAMORPHISME

### 1 - Analyse structurale sommaire

Les formations birrimiennes sont affectées par une tectonique polyphasée : plissement isoclinal probable avec développement d'une schistosité, et replissement de cette schistosité suivant un style en chevrons à plan axial redressé, (d'orientation Nord-Sud à Nord-Est Sud-Ouest) et déversement vers l'Est ; Enfin structuration définitive par des puissantes voussures, suivant deux directions transverses Nord-Sud et Nord-Est Sud-Ouest. Cette tectonique ne peut être analysée clairement que dans les formations métasédimentaires orientales où la schistosité est bien exprimée et les plissements bien dessinés ; dans l'ensemble volcano-plutonique l'empreinte de la schistosité est très irrégulière et grossière, et les structures visibles exceptionnelles.

Cette différence de structuration peut avoir deux origines : d'une part il y a une différence importante de comportement entre les matériaux volcano-plutonique et sédimentaire ; d'autre part il est probable qu'une partie des roches effusives et tuffacées s'est mise en place pendant la tectonogénèse (et ne l'a donc pas encaissée entièrement) ou même après son paroxysme, comme les microdiorites et les diorites massives qui sont très peu déformées. Nous reparlerons de ce problème dans le paragraphe métamorphisme.

Le dessin cartographique actuel provient de l'interaction conjuguée des deux directions structurales tardives, Nord-Sud et Nord-Est Sud-Ouest, qui affectent les formations birrimiennes.

L'orientation NE-SW est celle des grandes structures souples et ouvertes qui s'étendent en festons tout le long de la Falémé ; les fermetures périclinales sont bien dessinées avec rotation des directions et diminution des pendages.

L'orientation N-S s'exprime dans des structures plus rectilignes, isoclinales redressées ; la granodiorite de Banbadji s'est mise en place selon cette orientation de manière syn- à tardi-tectonique, en cisillant sur son flanc est les structures obliques précédentes.



Les fractures transverses, orientées soit N 30° E environ, soit N 90° à 120° E, sont les dernières manifestations tectoniques régionales ; elles ont guidé d'une part la mise en place des intrusions de kéraatophyres et des granites filoniens (direction principale : N 90° E) ; d'autre part la montée des puissants dykes de roches basiques, mis en évidence par la prospection géophysique (direction principale : N 30° E).

## 2 - Le problème du métamorphisme

### Le métamorphisme régional

Nous avons constaté que, d'une manière générale, son intensité est mésozonale dans l'ensemble volcano-plutonique et qu'elle diminue dans les formations métasédimentaires, devenant épizonale vers les limites du périmètre de recherche.

Ce caractère ainsi que l'aspect blastique et erratique de la biotite dans l'ensemble volcano-plutonique ont amené F. WITSCHARD à admettre l'ubiquité d'un métamorphisme de contact et à grouper ces roches en cornéennes basiques et en granites endomorphes.

Notre opinion, basée sur plusieurs observations à l'affleurement et au microscope, est que nous avons à faire à un métamorphisme régional de basse pression lié à un flux géothermique élevé, dans lequel se met en place le magma à caractère calco-alcalin.

Signalons en particulier : que de véritables cornéennes existent mais sont strictement restreintes à l'auréole métamorphique de la granodiorite et, que nulle part ailleurs, les roches ne montrent de recuit statique visible ; que la biotite est parfaitement orientée dans la schistosité bien exprimée des formations métasédimentaires et qu'il est normal qu'elle ne le soit pas dans le matériau très peu déformé et très peu schistosé de l'ensemble volcano-plutonique ; qu'il existe dans le Sud du Kouroudiako des grauweekes (d'extension limitée) présentant une paragenèse à pumpellyite-stilpnomélane, métamorphisme qui ne semble pas pouvoir être du type contact mais qui pose la question de l'altération hydrothermale.

### L'altération hydrothermale

Il est très probable que les manifestations volcano-plutoniques sont multiples, que plusieurs pulsions se sont succédées, et qu'en particulier les microdiorites et les diorites massives sont en grande partie intrusives dans les roches effusives et tuffacées (bien que métamorphiques elles sont toujours très peu déformées). Dans ce contexte il est normal de trouver un développement important des phénomènes hydrothermaux qui se manifestent par différentes altérations : albitisation, calcitisation, et surtout propylitisation (qui est l'acquisition d'une paragenèse à albite, épidote, trémolite-actinote, chlorite, calcite et pyrite).

Ici se pose le problème des rapports entre les deux faciès qui constituent la majeure partie de l'ensemble volcano-plutonique :

- les méta-andésites prolytitisées, nommées ainsi lorsque l'altération est bien visible et surtout lorsque le remplacement du plagioclase et l'épidote est bien clair.
- les albitophyres mésocrates, nommées ainsi lorsque l'albite montre un aspect primaire, même si les ferromagnésiens démontrent une transformation (chloritisation, ouralitisaiton).

Sans prétendre résoudre ce problème il nous semble bien que ces deux types de roches sont cogénères, les albitophyres représentant l'aboutissement et l'évolution des méta-andésites.

Ces phénomènes étant, tout au moins en partie, métamorphiques, l'éventualité de roches de type skarn est à envisager dans les formations à intercalations carbonatées ; mais l'intensité de l'altération décroît très vite vers la périphérie du complexe, et des skarns ne pourraient se former (bien qu'ils n'aient pas été trouvés) que dans les cipolins qui jouxtent la structure centrale. On peut noter cependant des indices hydrothermalisés et minéralisés dans les cipolins au contact des dykes de kératophyres, mais ces faciès ont une extension minime.

### Le métamorphisme de contact

Il est clair, malgré les processus métamorphiques complexes qui intéressent l'ensemble volcano-plutonique, bien que la granodiorite à orthopyroxène de Banbadji y développe une auréole de métamorphisme de contact intense, atteignant, sur le terrain, presque un kilomètre de largeur. Ce métamorphisme affecte tous les faciès des formations encaissantes, il est postérieur à l'altération hydrothermale principale et il atteint même les diorites massives tardives (région de Banbadji) qui peuvent être considérées comme des précurseurs de la granodiorite.

Les roches de contact sont entièrement recristallisées de manière statique (polygonisation) : ce sont des cornéennes typiques, souvent très riches en pyroxène, parfois à scapolite ; les cornéennes à fayalite, trouvées en sondages, n'ont pas été repérées sur le terrain.

Les caractères de cette auréole métamorphique, la paragenèse à orthopyroxène de la granodiorite, ainsi que la destabilisation de l'orthopyroxène avec développement de biotite, montrent qu'elle est en déséquilibre thermique important avec les formations encaissantes : c'est un pluton chaud d'origine profonde mis en place dans un encaissant superficiel.

### CONCLUSION

La série de la Daléma comporte essentiellement un complexe volcano-plutonique encaissé dans des formations sédimentaires birriennes (puissante séquence de grauwacke, d'une part et séquence réduite silico-calcaire d'autre part), modérément tectonisées et métamorphiques.

Les divers types de déformations et de transformations qui affectent le complexe volcano-plutonique et les formations encaissantes font toutes partie d'un même phénomène global, dont elles ne sont que les diverses phases enchainées et alternées :

- un fort flux géothermique dans lequel monte un magma calco-alcalin andésitique, provoquant un métamorphisme régional mésozonal, et induisant une tectogénèse importante.
- la mise en place par pulsions successives du complexe volcano-plutonique alors que se maintient l'ambiance métamorphique, mais que se réduisent les contraintes tectoniques ; cette mise en place, à caractère superficiel, s'accompagne d'une altération hydrothermale intense (cause de la transformation des roches andésitiques ou microdioritiques en albitophyres).
- la montée rapide d'une granodiorite à orthopyroxène, de même origine magmatique, mais à caractère franchement intrusif et profond.

### III - LES AMAS FERRIFERES

Les gisements de fer de la FALEME, mentionnés dès 1933, ont été reconnus de 1955 à 1957, dans la zone d'altération météorique, par D. SOULE de LAFONT pour le compte de la Direction Fédérale des Mines et de la Géologie, puis de la Compagnie Sénégalaise des Mines ; 660 m de galeries et 708 m de sondages (dont aucun n'atteint 70 m) ont permis d'estimer le tonnage contenu à la partie supérieure des amas les plus importants (Koudekourou, Kouroudiako et Karakaena) à 60 Mt probables tenant :

- 60 % Fe
- 0,05 à 0,15 % S
- 0,04 à 0,17 % P
- 0,5 à 1,5 %  $Al_2O_3$
- 1 à 4 %  $SiO_2$

à quoi il faut ajouter 40 à 50 Mt de "canga" (éboulis de surface cimentés par de la limonite) à 53 - 55 % Fe.

Depuis lors, les études géologiques et les prospections diverses effectuées sur ce secteur, en particulier par le B.R.G.M. n'ont pas eu pour objet l'évaluation des gisements de fer. En 1962 le CGG a exécuté sur toute la zone ferrifère une prospection magnétique aéroportée financée par le FAC. Et en 1966, le B.R.G.M. a fait effectuer sur la partie nord une prospection électro-magnétique aéroportée (Input Barringer) De sorte que nous disposons aujourd'hui d'une carte des anomalies magnétiques (et électro-magnétiques) qui donne des renseignements précieux sur les positions des concentrations ferrifères. Celles-ci comportent toujours en profondeur une proportion importante de magnétite comme l'ont montré les sondages profonds (dont plusieurs dépassent 400 m) réalisés par le B.R.G.M. sur certains amas (Kouroudiako, Goto, Karakaena etc...) en vue de connaître la nature du minerai primaire et des roches associées ainsi que le type de minéralisation.

En outre, des études géophysiques au sol (R. MILLON, 1966) ont montré que les couches ferrifères, relativement résistantes dans la zone d'altération météorique, devenaient conductrices en profondeur : la résistivité du minerai passant de 200 ohms.m en surface, à quelques ohms.m vers 40 ou 50 m de profondeur, et à moins de 0,1 ohm.m plus bas. On peut donc reconnaître l'extension des couches minéralisées par une méthode électrique (Turam ou VLF) alors qu'on est dans l'impossibilité de faire des profils magnétiques satisfaisants sur ces collines couvertes de "canga".

Tout récemment enfin (1973 et 1974) le B.R.G.M. a mis un point final à l'étude de ce secteur difficile avec la réalisation d'une prospection géochimique intégrale de la région, et l'établissement d'une synthèse géologique et pétrologique basée sur de nouvelles observations (J. CHANTRAINE).

Nous savons aujourd'hui, grâce au travail de J. CHANTRAINE, succédant à ceux de J.P. BASSOT et de F. WITSCHARD, que les amas ferrifères de la FALEME jalonnet approximativement un même horizon situé à la partie supérieure d'un complexe volcano-plutonique andésitique, surmonté de schistes grauwakeux (à intercalations gréseuses et lentilles calcaires) ; le tout d'âge birrimien. Cet horizon, de puissance très variable, comporte une alternance de porphyres andésitiques (à inclusions de magnétite) (I) et de couches d'hématite et de magnétite, ainsi que des jaspes à hématite, recristallisés localement sous forme de quartzites à magnétite. Il est difficile de préciser la position de ces jaspes (atteignant parfois 60 m de puissance) par rapport aux couches de minerai massif ; il est probable qu'ils apparaissent à la fois au-dessus de celles-ci et latéralement par rapport à elles ; un peu comme les cherts qui accompagnent les amas sulfurés en contexte volcano-sédimentaire.

La minéralisation ferrifère est donc apparemment de type exhalatif, liée au volcanisme andésitique sous-marin, et affecté de métamorphismes ultérieurs. Le métamorphisme de contact de la granodiorite à pyroxène n'est sensible qu'à Goto, et peut-être à Farangalia. Mais toutes les concentrations connues correspondent à des replis tectoniques de l'horizon porteur ; dans ces zones de replis tectoniques, le pendage des couches ferrifères, habituellement subvertical, diminue jusqu'à 30° ou 40°, et leur puissance augmente, en même temps qu'apparaissent les amas importants (Kouroudiako, Karakaena, Koudekourou, Kouroukobi, Kabelea etc...) et il paraît vain de vouloir chercher ailleurs des concentrations ferrifères.

-----  
(I) J. CHANTRAINE a montré que la plupart des "microdiorites" recoupées par les sondages sont en réalité des porphyres andésitiques. Bien que leur structure soit souvent microgrenue, il s'agit généralement de roches d'épanchement passant à des andésites et à des albitophyres.  
-----

Nous avons examiné des différents sites, en essayant à chaque fois de préciser et compléter le ~~projet d'évaluation des réserves établi~~ par R. DELAFOSSE en novembre 1971, et en tenant compte de la note de R. MILLON (du 22/11/1971) relative à ce projet.

1 - Massif de Kouroudiako ( Pl. III)

Il comprend deux "collines", dont les sommets (de cotes 500 m pour la colline nord et 330 m pour la colline sud) sont distants de 1.500 m. Ces sommets sont formés de magnétite martitisée, à grain fin et régulier, montrant parfois au sommet nord des alignements de pseudo-vacuoles (2) de quelques mm à 10 mm de puissance qui suggèrent une orientation E - NE avec un pendage de 30° SE. Un examen attentif des parois NS subverticales du sommet nord montre la fréquence des plissottements décimétriques, déjà signalés par D. SOULE de LAFONT (1957) et donnant l'impression d'un empilement de plis d'axe E-NE subhorizontal. Le sommet sud au contraire montre une fissuration E - SE, en relation probable avec le passage d'une faille de même direction.

Les pentes des collines sont couvertes d'éboulis de magnétite martitisée, cimentés par des hydroxydes de fer (limonite) ; c'est ce que l'on appelle la "canga".

Malgré les apparences, ces collines ne sont malheureusement pas formées entièrement de magnétite massive. Au sommet sud D. SOULE de LAFONT avait déjà remarqué en surface que la magnétite se disposait en bandes parallèles séparées par des microdiorites ; les travaux l'ont confirmé.

Travaux effectués

a) par la Direction des Mines

En 1956 et 1957 la Direction des Mines de DAKAR a fait faire :

---

(2) Certaines de ces pseudo-vacuoles correspondent à d'anciennes inclusions de pyrite oxydées et lessivées ; d'autres à des nids de chlorite recouvrant des octaèdres de magnétite.

---

- sur le sommet nord : 3 sondages

KDNI : 68 m (incliné à 60° vers l'E - SE)

" 8 : 43 m (vertical)

" 9 : 52 m (incliné vers le NW)

et une galerie G I (cote 405) de 55 m.

- sur le sommet sud : 5 sondages

KDS I : 40 m

" 2 : 40 m

" 3 : 34 m

" 4 : 37 m

" 5 : 25 m

et une galerie G 2 (cote 288 m) de 85 m.

D'après des travaux (SOULE de LAFONT, 1957) il existe effectivement au sommet nord près de 50 m de minerai massif (KDN 9 et KDN 8) ; le sondage KDN I, qui explore le mur de la masse ferrière, l'a trouvé formé d'une alternance de "microdiorite" et de magnétite. Au sommet sud par contre on n'a trouvé que des bandes de magnétite de 2 à 14 m, séparées par des "microdiorites" altérées.

L'épaisseur de "canga" traversée par les sondages varie de 0 à 20 m (KDS 4).

b) par le B.R.G.M.

### Géophysique

La prospection électro-magnétique aéroportée (Input Barringer), faite en 1966, a donné sur le massif du Kouroudiako deux anomalies EM : 6-38 et 6-37 (correspondant aux sommets sud et nord) prolongées vers le N par l'anomalie 6-33 (Tokodiakou), soit une extension NS de 4 km. Mais la coïncidence entre anomalie EM et anomalie magnétique forte (800 à 2.700 gammas) ne s'observe que sur 6-37 (sommet nord) et l'extrémité sud de 6-38 (sommet sud) ; sur 6-33 l'anomalie magnétique est très faible (50 à 100 gammas), et elle le reste plus au N sur les anomalies EM 6-34 et 6-35.

La prospection géophysique au sol (Turam) faite la même année (R. MILLON, 1966) sur le massif du Kouroudiako a mis en évidence deux bandes conductrices, à peu près parallèles (NS) mais décrochées par des failles transverses :



- l'une, passant au sommet nord, aurait un pendage de  $40^{\circ}$  vers l'E (assez proche, par conséquent du pendage observé en surface :  $30^{\circ}$  SE).
- l'autre, plus à l'E, passant par sommet sud.

Les bandes semblent se rejoindre vers le N. L'ensemble s'étend sur 3 km dans le sens NS et 1 km dans le sens EW.

### Sondages

Deux sondages carottés profonds ont été faits sur la colline nord en 1966 pour explorer la bande conductrice ouest :

- KDA : 422 m ; incliné à  $75^{\circ}$  vers l'WNW
- KDB : 458 m ; incliné à  $75^{\circ}$  vers le SE (KDB, primitivement long de 408 m, a été prolongé de 50 m en 1967).

Ils ont recoupé une alternance de magnétite et porphyre andésitique (microdiorite), avec quelques intercalations d'albitophyre dans les 200 premiers mètres ; il est difficile de corréler les deux logs, bien que les têtes de sondages ne soient éloignées que de 215 m. Nous avons tenté de le faire dans le plan NS à pendage W que définissent pratiquement les deux sondages KDA et KDB (fig. I), plan qui est grossièrement perpendiculaire au pendage des bancs de magnétite. On peut, d'après cette figure, délimiter approximativement de haut en bas :

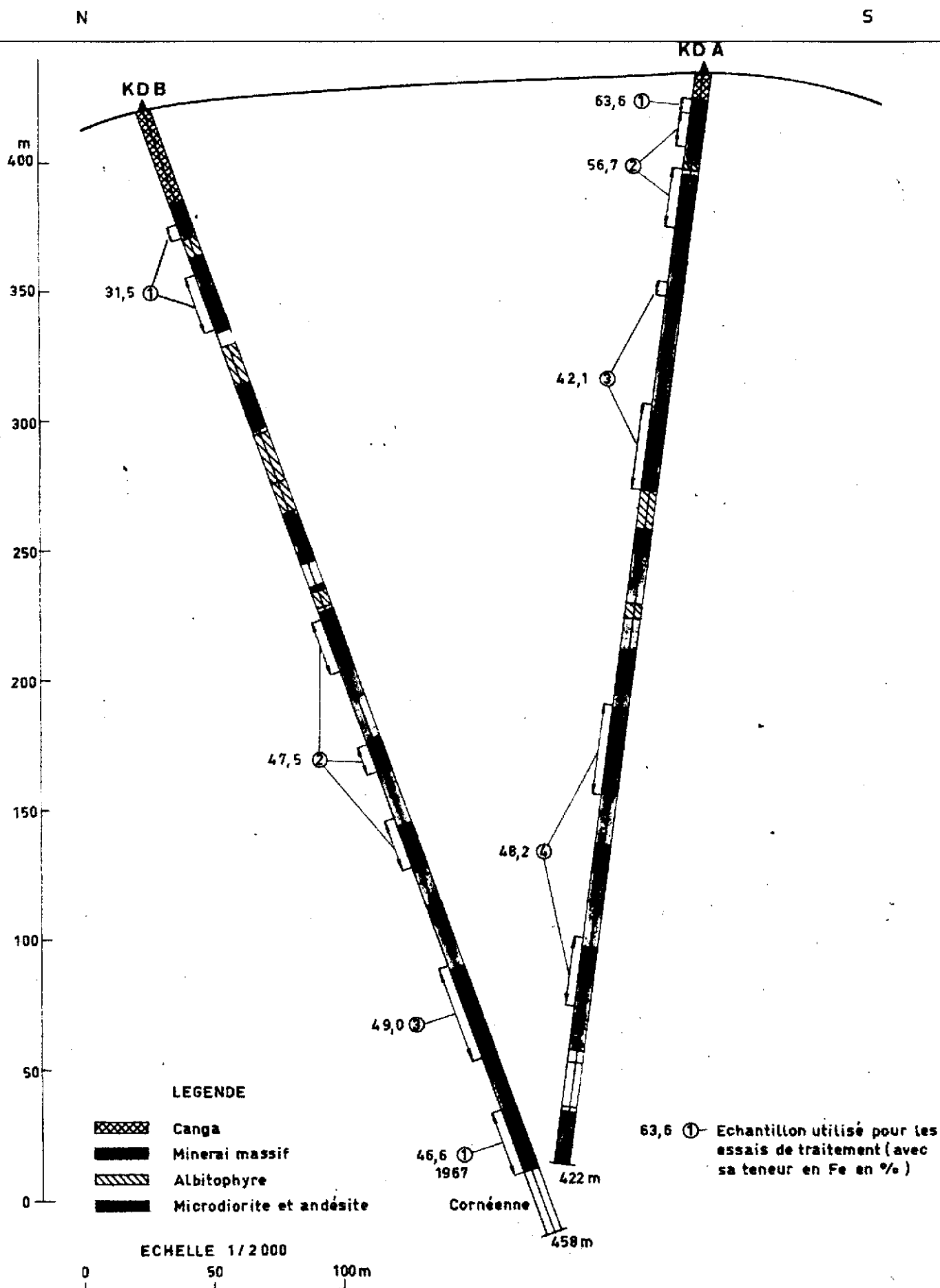
- un épisode de 50 m de traversée comportant deux bancs de minerai massif séparés par une intercalation de "microdiorite" (à passées de magnétite) de 12 m (KDA).
- un épisode pauvre, de 150 m de traversée, où alternent "microdiorites" et albitophyres, avec quelques intercalations de minerai massif ne dépassant pas 10 m.
- un nouvel épisode minéralisé, de 210 m de traversée, formé d'une alternance de minerai massif (10 à 35 m) et de "microdiorite" à passées de magnétite. La puissance cumulée de magnétite représente 40 à 45 % de l'épaisseur traversée.

R. DELAFOSSE indique dans son texte de novembre 1971 que KDA a recoupé la minéralisation sur 120 m et KDB sur 180 m ;

# KOUROUDIAKO - NORD

## Coupe passant par KDA et KDB

Fig. 1



il faut bien préciser qu'il s'agit de puissance cumulée, car on ne trouve pas dans ces deux sondages plus de 36 m de minerai massif d'un seul tenant (KDB, de 351 à 387 m).

Cependant, si on considère une coupe verticale WNW-ESE (fig. 2) passant par les sondages KDN I, KDA, KDN 9 et la galerie G I, on constate que la zone à magnétite du haut du sondage KDA se retrouve dans KDN I, KDN 9 et la galerie G I, et qu'elle culmine au sommet nord ; sa puissance totale est donc de l'ordre de 100 m au moins, constituée, à 90 %, de minerai massif.

#### Estimation des réserves

On comprend qu'il soit difficile, dans ces conditions, de se livrer à une estimation des réserves de Kouroudiako.

D. SOULE de LAFONT (1957) avait évalué les réserves probables de la colline nord à 7 Mt à 60 % Fe au-dessus de la cote 390, et les réserves possibles des deux collines réunies à 7,3 Mt, à quoi il ajoutait 70 Mt de canga à 53 % Fe.

R. DELAFOSSE (1971), en se basant sur la surface occupée par les anomalies Turam et en admettant une hauteur minéralisée de 100 m (de minerai massif), arrive à un total de 270 Mt, qu'il considère comme des réserves probables.

Nous allons voir que ce chiffre correspond plutôt à du "raisonnablement possible".

En effet, la seule zone explorée par sondages, c'est-à-dire, le triangle KDA - KDB - KDN I, qui englobe le sommet nord, comporte deux épisodes minéralisés superposés :

- l'un, de 100 m de puissance, qui affleure au sommet nord, semble constitué à 90 % de minerai massif, mais l'érosion en a enlevé une partie importante, et ce qui reste peut être évalué à 75 m environ.

- l'autre, séparé du précédent par 150 m de formations pauvres en magnétite, comporte sur 200 m d'épaisseur une alternance de magnétite et de "microdiorite", avec 50 % seulement de minerai massif.

La teneur en Fe du minerai réputé massif est de l'ordre de 47 % (46 à 48 %) ; c'est ce minerai, en provenance des sondages KDA et KDB, qui a fait l'objet des tests de valorisation du chapitre "Minéralogie", Traitement, Pelletisation".

Par m<sup>2</sup> de surface explorée, on a donc dans cette zone, en prenant pour le minerai réputé massif une densité moyenne de 4 (chiffre retenu par R. DELAFOSSE) :

75 x 4 x 0,9 = 270 t pour l'épisode supérieur  
200 x 4 x 0,5 = 400 t pour l'épisode inférieur  
(la plaine est à la cote 200 environ).

La surface du triangle KDA - KDB - KDN I est de 25.000 m<sup>2</sup> seulement, ce qui correspond à 14 Mt.

Pour donner l'ordre de grandeur du possible "raisonnable", on peut étendre ce résultat à la partie nord de la bande conductrice occidentale de R. MILLON (I), large de 300 m et longue de 900 m (soit 270.000 m<sup>2</sup>) ; on obtient 180 Mt, en bancs de minerai massif de 10 à 40 m séparés par des épaisseurs comparables de "microdiorite" pauvre ou stérile.

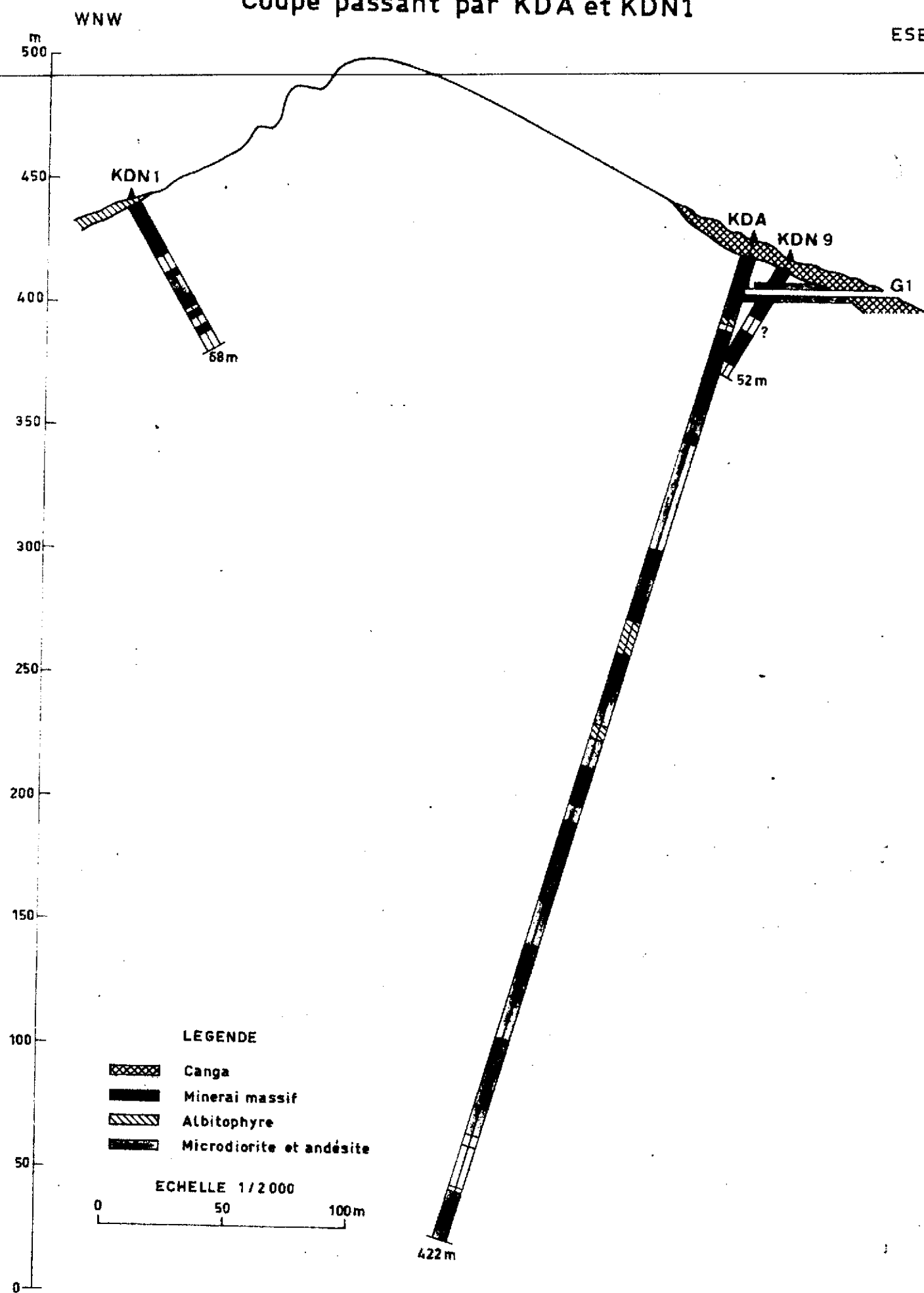
Quant à la bande conductrice orientale de R. MILLON, elle n'a pas fait l'objet d'explorations depuis les travaux de 1956-57 sur le sommet sud. D'après les coupes établies par D. SOULE de LAFONT (1957) on a trouvé de multiples alternances de minerai massif (en bancs de 4 à 10 m) et de microdiorite ; la profondeur explorée ne dépasse pas 40 m. Il est possible qu'on ait ici la partie haute de l'épisode minéralisé inférieur du sommet nord. En adoptant cette hypothèse, c'est-à-dire, en comptant sur une puissance minéralisée de 150 m avec 50 % de magnétite, on aurait 300 t de réserves au m<sup>2</sup>.

-----  
(I) Vers le Sud, l'anomalie est moins nette (R. MILLON, 1956) et la bande conductrice butte apparemment (d'après J. CHANTRAINE) contre une faille ESE.  
-----

# KOUROUDIAKO - NORD

## Coupe passant par KDA et KDN1

Fig. 2



La bande conductrice, très nette sur toute sa longueur, d'après R. MILLON, mesure 200 m de large et 2.400 m de long (soit 480.000 km<sup>2</sup>) ; elle représenterait donc 150 Mt, toujours en bancs de minerai massif de 10 à 40 m séparés par des épaisseurs comparables de "microdiorite" pauvre ou stérile.

En résumé on peut évaluer les réserves du Kouroudiako en minerai raisonnablement possible à ;

180 Mt (Bande conductrice occidentale)  
+ 150 Mt (Bande conductrice orientale)  

---

330 Mt au total.

Ces chiffres sont voisins de ceux donnés par R. DELAFOSSE (1971). Il est évident qu'ils n'ont qu'une valeur indicative. Les sondages faits ne permettent pas de parler de réserves probables.

## 2 - Massif du Karakaena (Pl. IV)

Situé à une dizaine de kilomètres au NW du Kouroudiako, il est formé de 5 collines, qui sont du N au S :

- Bakatako
- Karakaena M'bah culminant à 375 m (2 sommets)
- Kourougamba
- Karakaena N'di

L'ensemble occupe une surface équivalente à celle du massif du Kouroudiako ; mais les sommets sont moins hauts, et les affleurements de magnétite, moins spectaculaires, disparaissent sous la canga.

### Travaux effectués

- a) par la Direction des Mines du Sénégal en 1957 : 2 sondages
- KR I (50 m)  
KR 2 (52 m)  
et 2 galeries G I (66 m) et G 2 (38 m).

Implantés sur le flanc oriental du sommet sud du Karakaena M'bah, ces travaux ont recoupé une alternance de minerai massif (en bancs de quelques mètres à 12 m de puissance) et de "microdiorite" argillisée, parfois imprégnée de minerai. Les bancs de minerai pendent à 75° vers l'E dans le fond de la galerie G I.

b) par le B.R.G.M. Géophysique et Sondages

La prospection électro-magnétique aéroportée (Input Barringer, 1966) a donné sur le massif du Karakaena quatre anomalies EM, dont deux seulement, l'anomalie 6-21 (Karakaena N'bah) et l'anomalie 6-23 (Karakaena N'di) correspondent à des anomalies magnétiques fortes (1.000 à 2.200 gammas) ; l'anomalie 6-20 (Kourougamba) correspond à une anomalie magnétique bien moins marquée. Quant à l'anomalie 6-24, elle ne correspond à aucune anomalie magnétique. Par contre, il existe une anomalie magnétique à 1.500 m au SE de 6-24 et à 2,5 km au S du Kourougamba, sans anomalie EM superposée.

La prospection géophysique au sol (Turam) a donné :

- sur le Karakaena M'bah (anomalie 6-21) deux alignements conducteurs de direction NNW à NS, reconnus seulement dans la zone sommitale. L'un, proche du sommet sud, passe par les travaux de 1957 (galerie G I, sondages KR I et KR 2). L'autre alignement proche du sommet nord, a été recoupé par un sondage (MBA) de 81 m de long, incliné vers le NW, qui a montré l'existence de deux bancs de magnétite de 3 à 4 m de puissance, séparés par une trentaine de mètres de "microdiorite" (pendage SW ?).
- sur le Karakaena N'di (anomalie 6-23) une bande conductrice NS de 200 m de large et 1.500 m de long, passant par le sommet et ressemblant à celles obtenues au Kouroudiako. Une autre bande conductrice parallèle, mais moins importante, apparaît 400 m à l'W. Aucun sondage n'a été fait sur ce site.
- sur le Kourougamba (anomalie 6-20) deux bandes conductrices NNW de 50 à 100 m de large et 400 m de long. Pas de sondage non plus.
- sur le Bakatako enfin, un sondage (BAA) de 101,5 m, placé sur une anomalie géochimique en cuivre, a recoupé des porphyres et des albitophyres hydrothermalisés, sans minéralisation ; on est ici en dehors de toute anomalie magnétique.

### Réserves possibles

~~Il est manifestement impossible, avec les données dont~~  
nous disposons, de faire une estimation approchée des réserves  
du Karakaena comme nous l'avons tenté au Kouroudiako. Avancer un  
chiffre de 80 Mt ne serait certainement pas fantaisiste (dont 50 Mt  
au Karakaena N'di) ; la réalité est probablement bien supérieure.

### 3 - Mont Kabelea (Pl. V)

Situé à 6 km au SW du Kouroudiako, le Mont Kabelea appartient au même horizon, qui est affecté ici d'un repli tectonique mineur. Long de 2 km et large de 1,5 km, ce petit massif domine la plaine de 150 m environ. Entre le massif du Kouroudiako et celui de Kabelea, la carte aéromagnétique montre une anomalie large qui indique la poursuite de l'horizon ferrifère, mais avec une minéralisation probablement disséminée (BEAU et MILLON, 1973).

### Travaux effectués (par le B.R.G.M.) Géophysique et sondages.

La prospection EM aéroportée (Input Barringer, 1966) a donné ici quatre anomalies conductrices, dont deux seulement 6-12 (MILLON, 1966) et 6-11 (MILLON, 1967) ont été étudiées au sol. Aucune correspondance précise n'a pu être relevée entre anomalies magnétiques (assez faibles, mais nettes dans ce secteur) et anomalies conductrices...

Les deux sondages réalisés, tous deux verticaux (KBA : 113,6 m ; et KBB : 85,25 m), distants de 370 m et placés sur des anomalies géochimiques en cuivre dans la zone sommitale du Kabelea, ont recoupé l'un et l'autre un banc subaffleurant de 6 à 7 m de magnétite massive martitisée, puis 50 m plus bas, un faciès "marbré" à magnétite et microdiorite (probablement de type Goto) sur 12 m.



### Réserves possibles

~~Il paraît risqué, avec de telles données, de faire une~~  
estimation approchée des réserves possibles du Kabelea. C'est pourtant ce qu'a tenté R. DELAFOSSE (1971), qui admet une épaisseur de 50 m de minerai massif pour 7 m ; on peut évidemment imaginer qu'un sondage de 300 m aurait recoupé 50 m de minerai massif ... Je pense néanmoins que les 118 Mt espérés sont très aléatoires ; je préférerais indiquer 60 Mt comme réserves possibles (en comptant sur 20 m de minerai seulement).

#### 4 - Safa (Pl. VI)

Le Safa est un petit relief de 500 m de long et 100 m de large, dominant de 80 m le plateau latéritique à 5 km au SW de Kabelea. Il appartient à l'horizon ferrifère, jalonné d'anomalies magnétiques larges, qui va de Kabelea à Goto. Le métamorphisme de contact du granite à pyroxène s'intensifie à partir d'ici en allant vers Goto.

### Travaux effectués (par le B.R.G.M.) : Géophysique et sondages

L'EM aéroportée a donné ici trois anomalies conductrices, dont deux 6-17 et 6-18, correspondent à une anomalie magnétique nette, mais faible. L'étude géophysique au sol (Turam) de l'anomalie 6-18 a mis en évidence une bande conductrice NE de 50 à 150 m de large et 1.200 m de long.

Un sondage SAA (vertical : 97,40 m) placé sur la colline, au coeur de la bande conductrice, a recoupé (de 0 à 96 m) 4 couches de 3 à 12 m de magnétite massive, dont trois sont affectées par l'altération météorique qui descend ici jusqu'à 85 m de profondeur. La puissance cumulée est de l'ordre de 20 m de magnétite massive.

Une deuxième bande conductrice apparaît, à 600 m à l'W de la première, mais sans perturbation magnétique importante ; elle n'a pas été sondée.

### Réserves possibles

Comme à Kabelea, l'estimation des réserves de Safa par R. DELAFOSSE (1971) nous paraît exagérée ;

il propose 48 Mt probables en se basant sur une épaisseur de 50 m de minerai massif pour la bande conductrice principale (alors que ~~SAF~~ donne sur 100 m, seulement 20 à 22 m de puissance cumulée) et de 100 m pour la bande occidentale (dont on ne sait rien). Un chiffre de 10 Mt serait plus vraisemblable.

5 - Farangalia ( = route de Saraya ) (Pl. VI)

On est ici sur le plateau latéritique, à 4 km au SW de Safa, dans une zone à blocs de minerai de fer épars, qui doit son intérêt à la présence simultanée d'une anomalie magnétique (2.500 ) et d'une anomalie EM aéroportée (6-19) prolongeant celle de Safa.

Travaux effectués (par le B.R.G.M.) : Géophysique et sondages

L'anomalie 6-19 a été étudiée au sol en magnétisme et Turam (MILLON, 1966); on a obtenu une série de bandes conductrices NNE couvrant une zone de 600 m de large et 1.900 m de long. Coïncidant avec de belles anomalies magnétiques, ces bandes correspondent d'après R. MILLON à plusieurs bancs de magnétite cachés sous la latérite, à une vingtaine de mètres de profondeur.

Un sondage FAA (vertical : 92,40 m) placé sur une anomalie géochimique Cu, et tout à fait en dehors de ces bandes conductrices, n'a pas recoupé de magnétite massive ; on n'en peut évidemment rien conclure.

Réserves possibles

L'estimation des réserves possibles correspondant à cet ensemble de bandes conductrices a été faite par R. DELAFOSSE (1971) en supposant une puissance cumulée de 100 m de minerai massif. Il aboutit à un chiffre de 132 Mt qui est purement hypothétique, et très optimiste puisque à Safa la puissance cumulée connue (sur 100m) est de l'ordre de 20 m de minerai massif et qu'à Goto on a traversé 60 à 130 m de minerai. Je pense qu'il serait plus vraisemblable de parler de 50 Mt.

6 - Goto (Pl. VII)

A 8 km au S.SW de Safa et à 4 km de Farangalia, le relief de Goto correspond à une bande ferrifère NS, probablement subverticale, s'étendant sur 1.500 m au moins, du sommet nord (qui dépasse à peine le plateau latéritique) au sommet sud (qui le domine de 100 m).

Le minerai de fer y a fait l'objet d'exploitations indigènes (fonderies). Situé tout contre le granite à pyroxène, il a subi un métamorphisme de contact intense.

Travaux effectués (par le B.R.G.M.) : Géophysique et sondages

Goto n'a pas été survolé lors de la campagne d'EM aéroportée de 1966 (qui ne couvre que le Nord du permis), mais il correspond à une anomalie magnétique importante sur la carte aéromagnétique de la C.G.G. (1962).

L'étude géophysique au sol (MILLON, 1966) a donné une anomalie Turam particulièrement intense, s'étendant sur 1.500 m de long de part et d'autre du sommet sud ; la largeur de la bande conductrice est de l'ordre de 150 m. Des sondages électriques ont confirmé l'existence d'un corps conducteur à une vingtaine de mètres de profondeur (base de la zone d'oxydation). Mais l'anomalie magnétique donnée par ce conducteur paraît faible. Les trois sondages (GOA : 203,3 m ; GOB : 109,7 m ; GOC : 108,5 m) placés sur la bande conductrice ont recoupé, à partir de 30 à 50 m, une formation "marbrée" à magnétite dominante, qui paraît puissante de 60 à 130 m ; la magnétite y forme des rubans pseudo-fluidaux enserrant des lits de cornéenne grise à pyrrhotine ; la teneur de cette formation est de l'ordre de 40 à 50 % Fe seulement, et les sulfures y sont relativement abondants (pyrrhotine, pyrite, chalcopryrite), sans doute à cause de la proximité du granite.

A 200 m plus à l'W le Turam a mis en évidence une autre anomalie, moins intense, du même ordre de grandeur que celles de Safa et de Farangalia, et sur laquelle aucun sondage n'a été fait. L'ensemble de la zone conductrice formée par les deux anomalies, mesure 2.500 m en direction NS, et semble avoir un pendage ouest assez redressé.

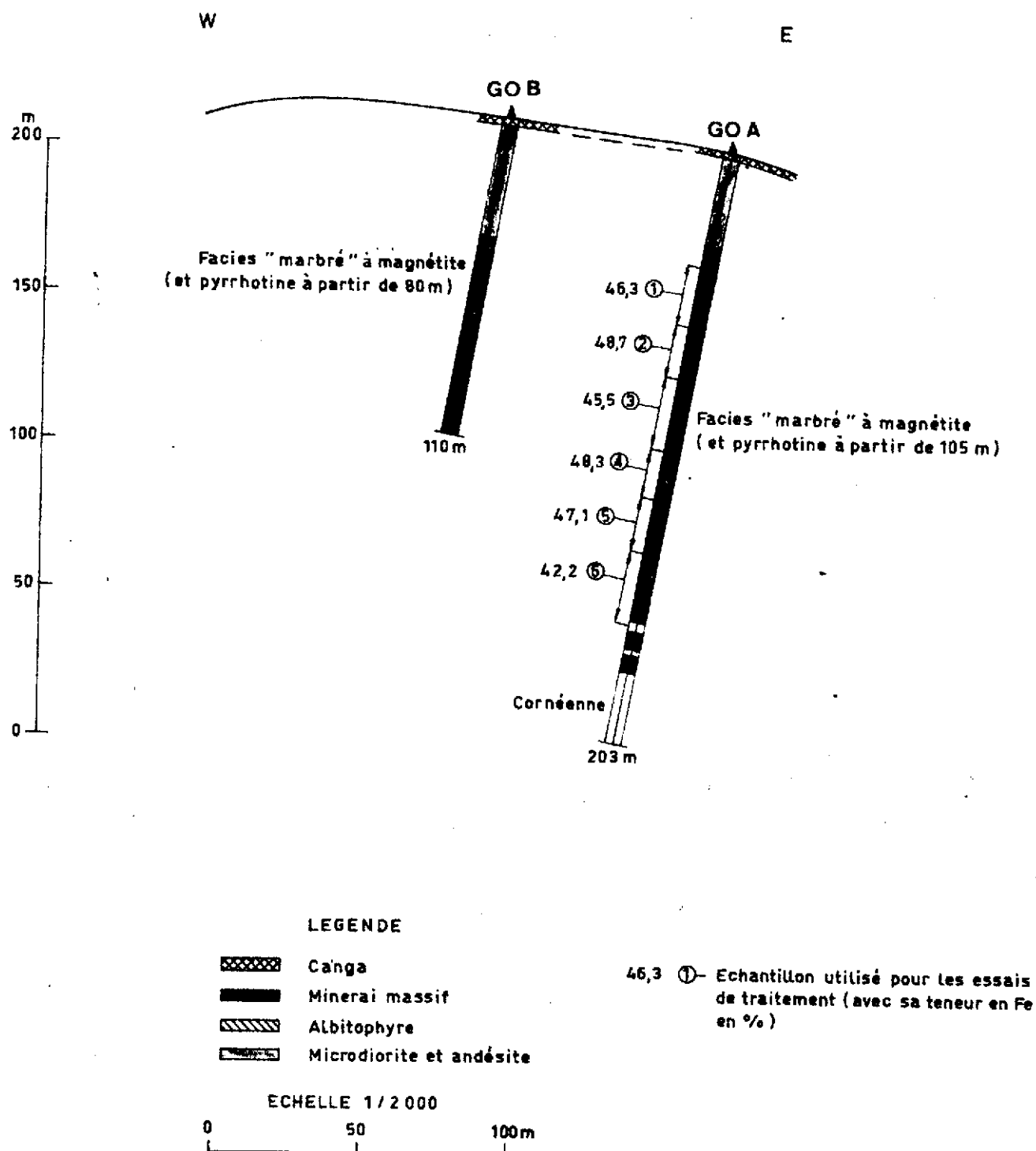
Réserves possibles

En escomptant une hauteur de 100 m de minerai massif et une longueur minéralisée de 2.500 m (qui correspond à l'ensemble de la zone conductrice), R. DELAFOSSE (1971) estime les réserves probables de Goto à 200 Mt.

# GOTO - SUD

## Coupe passant par GOA et GOB

Fig. 3



Il serait prudent de réduire ce chiffre de moitié car les couches de minerai sont ici redressées à la verticale (I), à la différence de ce qui se passe au Kouroudiako et au Koudekourou, où les pendages diminuent à l'occasion des replis tectoniques ; la largeur de la bande conductrice ne correspond certainement pas à 200 m de minerai riche, mais peut-être seulement à la moitié (40 à 45 % sont les proportions données par les sondages du Kouroudiako).

## 7 - Kouroukobi

Situé à une dizaine de kilomètres au S du Kouroudiako, le secteur de Kouroukobi comporte plusieurs collines peu élevées couvertes de canga et montrant des affleurements de magnétite. Après les trois grands massifs (Kouroudiako, Koudekourou et Karakaena), il semble que ce soit le quatrième site ferrifère de la région par l'étendue des minerais visibles en surface.

On est ici sur l'affleurement oriental de l'horizon ferrifère, celui qui devrait unir le Kouroudiako au Koudekourou. Mais tandis qu'à l'W la minéralisation ferrifère affleurante et les anomalies magnétiques permettaient de suivre l'horizon ferrifère du Kouroudiako à Goto (en passant par Kabelea, Safa et Farangalia), le Kouroudiako paraît séparé du Koudekourou par un repli anticlinal NE à coeur de métavolcanites (J. CHANTRAINE), sur le flanc nord-ouest duquel se trouvent les indices de Guebouria (Cf. Planche II).

### Travaux effectués (par le B.R.G.M.) : Géophysique et sondages

La prospection aéroportée a décelé ici une anomalie magnétique importante, recouverte par une anomalie EM (6-43). L'étude géophysique au sol (MILLON, 1967) a décelé :

- une anomalie magnétique intense (9.000  $\gamma$ ) et circulaire (150 m de diamètre), qui correspond au top de l'anomalie aéroportée. Un sondage vertical (66 m) foré au coeur de l'anomalie a recoupé sur 38 m des schistes gris-verts à intercalations de magnétite massive (épaisseur maximale : 3,5 m).
- deux anomalies conductrices (Turam) de direction NNE, dont la plus importante, large de 100 à 150 m, passe tout près de la crête du grand Kouroukobi, et l'autre 500 m plus au NW ; ces deux anomalies se suivent sur 1.200 à 1.300 m. Aucun sondage n'y a été fait.

(I) Les logs de sondage donnent au minerai un rubannement subvertical, qui semble grossièrement parallèle à l'axe des carottes. Il faut néanmoins remarquer que les sondages GOA et GOB traversent d'abord 33 à 50 m de "microdiorite" argilisée avant d'entrer dans le minerai ; il n'y a donc pas parallélisme absolu (fig. 3)

### Réserves possibles

Aucun chiffre de réserves n'a été avancé jusqu'ici pour le Kouroukobi. Il ne serait pas déraisonnable d'espérer ici plus qu'à Kabelea.

### 8 - Guebouria

A mi-distance entre Kouroukobi et Koudekourou, sur la rive ouest de la FALEME, au S de Guebouria, deux petites collines allongées NNE dans le prolongement l'une de l'autre, ont pour armature quelques bancs de magnétite caverneuse, jalonnés sur 1.200 m, mais émergeant à peine du plateau latéritique. La puissance de magnétite paraît assez faible, sa qualité médiocre et la carte aéromagnétique de la CGG (1962) n'indique aucune anomalie notable en ce point. L'EM aéroportée (1966) n'a pas couvert cette zone.

### Travaux effectués (par le B.R.G.M.) : Géophysique et sondages

L'étude géophysique au sol (MILLON, 1967) a donné deux anomalies Turam semblant correspondre à deux bancs de magnétite pendant fortement vers l'W. Un sondage incliné vers l'E (GBB : 76 m) n'a pas atteint l'aval des bancs de magnétite.

### Réserves possibles

Elles sont faibles. En fait, Guebouria est une concentration isolée et de trop faible importance pour être retenue.

### 9 - Massif du Koudekourou (Pl. VIII)

Plus étendu que le massif du Kouroudiako dont il est distant de près de 40 km à vol d'oiseau, le massif du Koudekourou est à la fois le plus important et le plus méridional des amas ferrifères de la FALEME. Il est formé de trois collines dont les sommets dessinent une sorte de "S" de plus de 4 km de long, correspondant à un repli de l'horizon ferrifère (jalonné vers le N par les sites de Guebouria et de Kouroukobi).

Ces collines dominent d'environ 200 m la plaine environnante :

- la colline orientale (qui culmine à 351 m) borde la FALEME ; elle a une superficie de 2 km x 1,5 km
- la colline centrale, rattachée à la précédente par un col assez étroit, culmine à 369 m et s'étend sur 1,5 km x 1,5 km
- la colline occidentale (318 m) forme un dôme très mou, nettement détaché des deux autres et s'étendant sur 2,5 km x 2 km.

Les affleurements de minerai, assez nombreux sur la colline orientale, sont rares sur les deux autres, couvertes de "canga".

#### Travaux effectués

##### a) par la Direction des Mines

En 1956 et 1957 la Direction des Mines de DAKAR a fait faire sur la colline orientale (SOULE de LAFONT, 1957) :

- 5 sondages : KK I : 60 m (vertical)  
                  KK 4 : 31,4 m (vertical)  
                  KK 6 : 65 m (vertical)  
                  KK 7 : 50 m (incliné à 45°)  
                  KK 8 : 61 m (incliné à 45°)
- 4 galeries : G I : 127 m  
                  G 2 : 92 m  
                  G 3 : 82 m  
                  G 4 : 84 m

disposés suivant 3 profils principaux SW - NE, distants de 200 à 300 m.

Les galeries ont recoupé 60 à 120 m de minerai massif oxydé tenant en moyenne :

- 60 % Fe
- 0,10 % S
- 0,04 à 0,11 % P

Les sondages ont traversé, sous 10 à 20 m de canga, 30 à 40 m de minerai massif avant d'aborder (KK 6) une alternance de minerai et de "microdiorite". Le pendage des couches de minerai est probablement dirigé vers le SW, s'accroissant de 30 à 70° quand on va du NE vers le SW dans les profils dessinés par D. SOULE de LAFONT.

b) par le B.R.G.M. : Géophysique et sondages

Le lever aéromagnétique de la CGG (1962) donne des anomalies magnétiques importantes (4.200 à 4.500 γ) sur les collines orientale et occidentale, mais rien de notable sur la colline centrale. L'EM aéroportée de 1966 n'a pas couvert cette zone.

L'étude géophysique au sol (MILLON, 1967) a montré :

- sur la colline orientale une bande NW - SE d'anomalies Turam, de 150 m de large et 1.600 m de long, qui semble correspondre à 3 bancs conducteurs parallèles, pentés vers le SW. Cette bande, sur laquelle ont été faits les 5 sondages anciens (65 m maximum), reste à reconnaître par sondages profonds. Le seul sondage fait par le B.R.G.M. (KDK : 77,30 m) portait sur une anomalie géochimique en Cu située à 400 m au N de l'extrémité nord-ouest de l'alignement conducteur ; il n'a pas recoupé de magnétite pour la bonne raison qu'il se situe dans les formations sédimentaires qui surmontent l'horizon ferrique.
- sur la colline centrale des anomalies Turam nombreuses mais irrégulières, semblant correspondre à une série de conducteurs discontinus, d'orientation générale NE, affectés de flexures ou de failles. La zone affectée par ces anomalies mesure 1.500 m de long (en direction NE - SW) sur 300 à 500 m de large. Aucun sondage n'y a été fait.



- sur la colline occidentale des anomalies Turam nombreuses et discontinues, d'orientation générale NS, qui correspondent aussi à des bancs de magnétite affectés de flexures et de failles (l'une d'entre-elles, de direction SW - NE, limite vers le Sud les anomalies Turam). L'ensemble se suit sur 1.400 m de long (en direction NS, avec une largeur de l'ordre de 250 m. Aucun sondage n'a été fait sur cette colline, dont l'intérêt serait supérieur à la colline centrale d'après les résultats du magnétisme aéroporté.

#### Estimation des réserves

D. SOULE de LAFONT (1957) a évalué les réserves probables de la colline orientale à 25 Mt à 60 % Fe au-dessus de la cote 280 m (c'est-à-dire jusqu'à 70 m environ en-dessous du sommet). Et il estimait les réserves possibles des deux autres collines réunies à une douzaine de millions de tonnes (toujours au-dessus de la cote 280). Il ajoutait à ces chiffres environ 20 Mt de canga à 53-54 % Fe pour l'ensemble des trois collines.

R. DELAFOSSE (1971) a repris l'estimation des réserves possibles en se basant sur la surface occupée par les anomalies Turam. En admettant une hauteur minéralisée de 100 m (de minerai massif), il arrive à un total de 344 Mt dont 90 Mt pour la colline orientale. Ces chiffres sont évidemment hypothétiques puisqu'on ne connaît la hauteur minéralisée réelle que jusqu'à 70 m de profondeur sur la colline orientale, et que celle-ci ne dépasse pas 40 m...

Quoiqu'il en soit, le Koudekourou est susceptible de renfermer un tonnage de minerai équivalent à celui du Kouroudiako, c'est-à-dire de l'ordre de 300 à 350 Mt à 46-48 % Fe.

## C O N C L U S I O N S

Les sondages faits jusqu'ici sur les sites les mieux connus montrent des couches de quelques mètres à 30 m d'épaisseur de minerai massif (magnétite provenant de la pseudomorphose d'hématite lamellaire, et renfermant parfois des résidus d'hématite ancienne) séparées par des intercalations de même épaisseur de porphyre andésitique ou de micro-diorite à magnétite disséminée. Ces couches se groupent en faisceau pouvant dépasser 100 m d'épaisseur, dont 40 à 45 % seulement sont de minerai massif (à 54-58 % Fe), le reste étant stérile ou à minéralisation disséminée (10 à 15 % Fe). Quelques sulfures (pyrite et pyrrhotine avec un peu de chalcoppyrite) forment des trainées et remplissent des fissures dans le minerai massif, qui peut atteindre 3 % S et 0,10 % Cu (localement 0,40 %).

Seul jusqu'ici le minerai de Goto est d'un type un peu différent, en ce sens que la magnétite y est plus intimement mêlée à la roche (ici une cornéenne) en disposition pseudo fluidale, l'ensemble tenant 40 à 50 % Fe. En outre, la proportion de sulfures qui, ailleurs, ne dépasse pas quelques unités pour cent (en poids) dans le minerai primaire, peut atteindre ici 10 % (essentiellement sous forme de pyrrhotine, car la teneur en Cu du minerai de Goto n'est pas supérieure à celle du Kouroudiako).

Dans les 50 m qui avoisinent la surface topographique, la magnétite est martitisée (transformée en hématite) et les sulfures sont oxydés de façon souvent irrégulière de sorte que la teneur en Fe augmente (jusqu'à dépasser 60 %) et la teneur en S tombe (à moins de 0,5 %).

Nous avons tenté de chiffrer le tonnage raisonnablement possible au Kouroudiako et le tonnage possible ailleurs, à partir des puissances cumulées de minerai de densité = 4, connues ou espérées par comparaison avec les sites voisins. Mais il ne faut pas oublier que ce minerai se présente toujours en alternance avec des roches stériles ou pauvres en Fe (à raison de 40 à 45 m de minerai de densité 4, pour 60 à 55 m de roches de densité 2,5). Le tonnage à extraire est donc au moins 1,5 fois supérieur aux tonnages indiqués ici.

Tonnages possibles des principaux sites

- Kouroudiako (raisonnablement possible) .....	330 Mt à 46-48 % Fe		
- Karakaena (possible).....	80 Mt	" "	
- Kabelea ( " ).....	60 Mt	" "	
- Safa ( " ).....	10 Mt	" "	
- Farangalia ( " ).....	50 Mt	" "	
- Goto ( " ).....	100 Mt	" "	
- Kouroukobi ( " ).....	?	" "	
- Koudekourou( " ).....	350 Mt	" "	

soit un total de . 980 Mt

=====

Ce tableau reprend les principaux chiffres avancés précédemment. Insistons sur le fait qu'il s'agit de réserves possibles, et nullement de réserves probables. Des sondages sont nécessaires, sur chacun des sites énumérés ici, pour pouvoir proposer des chiffres moins hypothétiques.

Comme le tonnage minimum nécessaire pour créer une mine en cet endroit est actuellement, d'après P. de COUSSEMAKER, de l'ordre de 400 Mt à 50 % Fe, on aurait donc à priori le choix entre le secteur nord avec un centre d'exploitation au Kouroudiako (et une exploitation annexe ailleurs) et le secteur sud avec un centre d'exploitation au Koudekourou.