

# PROSPECTION GÉOPHYSIQUE DES CIPOLINS DE BANDAFASSI (SÉNÉGAL ORIENTAL)

Catherine DORBATH

*Géophysicienne ORSTOM, BP 893, Bangui, Empire Centrafricain*

## RÉSUMÉ

Une étude géophysique détaillée par méthodes électrique et magnétique a été effectuée sur les cipolins cuprifères de Bandafassi (Sénégal oriental). L'objectif de ce travail était de rechercher leur extension afin d'essayer de connaître l'origine des minéralisations. La complexité géologique et topographique de la zone prospectée limite l'utilisation des méthodes de prospection géophysique et chaque interprétation doit être confirmée par des observations géologiques ou des puits. La combinaison des différentes méthodes (géochimique, électrique et magnétique) employées dans l'étude de cette zone permet cependant de distinguer les formations géologiques en présence. On a également pu déterminer l'extension et la profondeur du gisement de cipolin autour de la carrière.

## ABSTRACT

### GEOPHYSICAL PROSPECTING OF THE MARBLES OF BANDAFASSI EASTERN SENEGAL

A detailed geophysical study by means of electric and magnetic methods was made on cupriferous marbles of Bandafassi (eastern Senegal). The object of this work was to try to find the spreading of these minerals in order to attempt to know the origin of mineralizations. The geological and topographic complexity of the prospected area limits the use of geophysical prospecting methods and each interpretation must be confirmed by geological observations or wells. Nevertheless the combination of various methods (geochemical, electric and magnetic) used for studying this area permits to distinguish the present geological structures. Besides we could determine the spreading and the depth of marble deposit around the quarry.

## *Introduction*

Les cipolins du Sénégal Oriental dont on peut observer plusieurs affleurements dans la région de Kedougou (Bandafassi, Ibel, Tiokoye) ont été décrits et cartographiés depuis déjà longtemps (SKAVYCH, 1933). Les travaux dont les résultats sont consignés dans ce rapport portent plus spécialement sur les cipolins situés au pied du plateau doléritique du village de Bandafassi à une quinzaine de kilomètres de Kédougou (fig. 1); ils ont déjà été l'objet de plusieurs études.

La première prospection détaillée (SAGATZKY, 1948-1949) a été complétée en 1958 (J.P. BASSOT) puis en 1959 par une étude plus spécifique des indices minéraux (B. TAGINI). Les principaux objectifs de cette dernière étude étaient de préciser les caractéristiques métallogéniques des calcaires métamorphiques et des schistes carbonés (graphiteux) qui leur sont associés. Si la teneur en graphite des schistes s'est révélée insuffisante pour envisager leur exploitation, les marbres sont exploités depuis une dizaine d'années par la Société Marbrière Africaine (SOMAF).

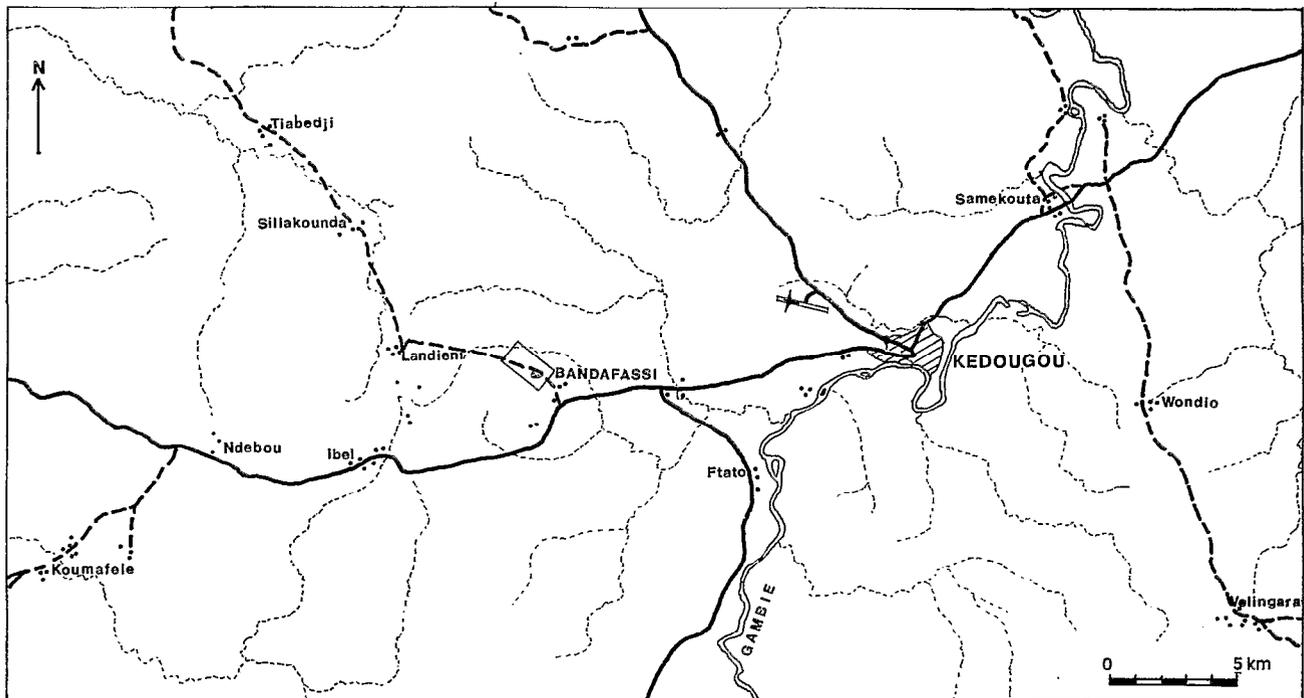


FIG. 1. — Localisation de la zone étudiée.

Lors de l'ouverture de la carrière (1968) A. BLOT et J.M. WACKERMAN découvrent des minéralisations cuprifères sulfurées (bornite, covelline, chalcopryrite) localisées dans les cipolins qui ont donné lieu depuis à divers travaux :

- reconnaissance géophysique (Y. ALBOUY, 1970);
- prospection géochimique de surface des indices de cuivre (B.R.G.M., 1972, *non publ.*);
- cartographie par la méthode électrique de tout le secteur (HELCMANOCKI *et al.*, 1972);
- fonçage de puits pour caler la cartographie géophysique (ORSTOM, PNUD, 1972, *non publ.*). Deux sondages ont en outre été effectués par le PNUD immédiatement au N.W. de la carrière rencontrant la formation calcaire sur 80 m sans la traverser.

La mission de prospection électrique que nous avons réalisée en avril-mai 1976 avait pour objectif la recherche de l'extension des cipolins, piège potentiel de ces minéralisations. Cette étude a été complétée en mars-avril 1977 par une prospection magnétique.

### *Esquisse géologique*

Une importante série sédimentaire calcaire et carbonée, appartenant au domaine géantoclinal de Kédougou, s'est mise en place au Birrimien inférieur (— 2.000 M d'années environ). Cette série qui représenterait la base des séries sédimentaires a été redressée par l'orogénie birrimienne. Elle a été affectée postérieurement par la mise en place de plagiogranites qui sont représentés ici par un petit massif circonscrit de diorite. Cette intrusion n'a pas développé un métamorphisme régional, mais se marque ailleurs (Sambarabougou, Mamakono...) par un métamorphisme de contact. Au primaire intervient une phase volcanique se manifestant par des dykes, des sills et coulées doléritiques (DARS, 1961). Dans la zone étudiée de Bandafassi on peut observer des exemples de ces principales phases : sédiments anciens (affleurement de cipolins vraisemblablement intercalés dans des schistes), au nord un petit massif de diorite, le tout dominé par les plateaux formés par un sill doléritique primaire répandu en une nappe épaisse (jusqu'à 100 m) sur les séries anciennes (fig. 2a). Un échantillon de dolérite prélevé dans cette zone a pu être daté précisément à 360 MA (fin dévonien) (A. BLOT 1975/1976).

Il semble que la marmorisation des cipolins provienne d'un métamorphisme profond et ancien. La miné-

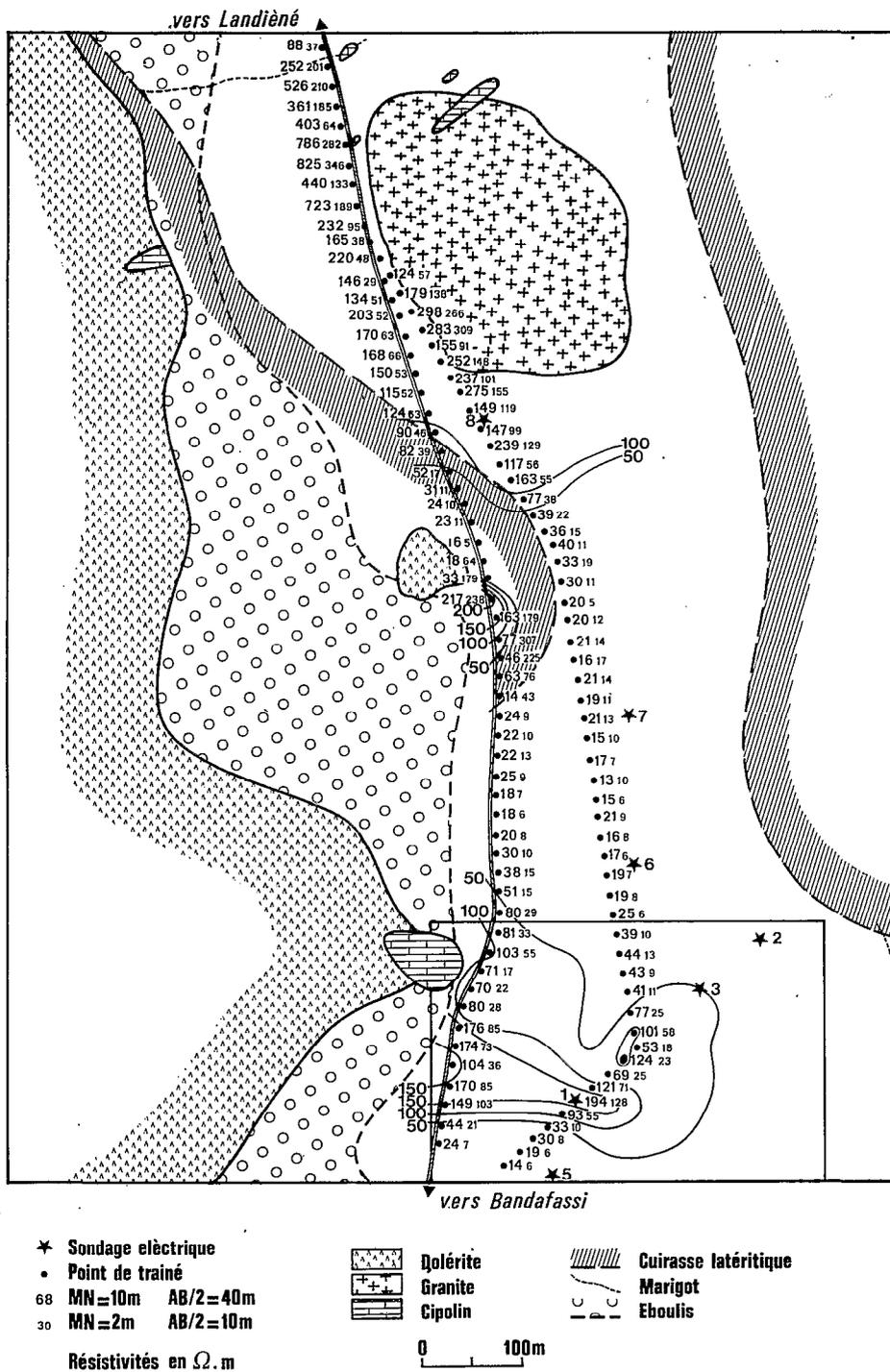


FIG. 2a. — Situation des travaux et carte des résistivités apparentes. Quadripole Schlumberger.

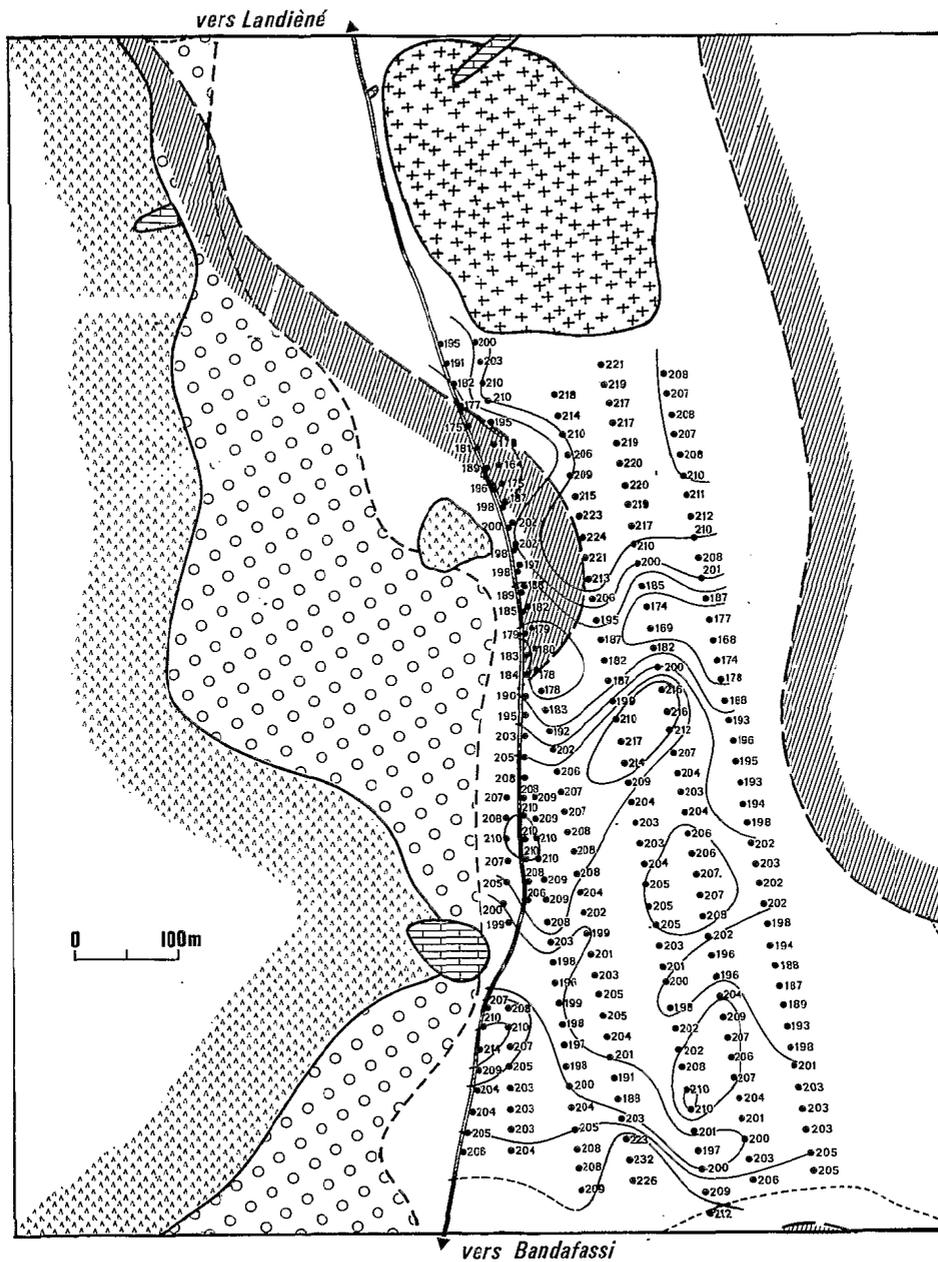


FIG. 2b. — Carte des résultats magnétiques. Les résultats portés sur le figuré représentent le champ total diminué de 32 000 $\gamma$ .

ralisation en sulfures des cipolins serait soit due à un phénomène de métasomatose (piègeage sélectif d'éléments volatils dégagés par la diorite lors de sa mise en place) soit à rattacher aux dolérites primaires (P. PICOT et G. POUIT, 1969).

### Mesures

Toutes les mesures de prospection électrique en sondage ou en traîné ont été obtenues en utilisant le quadripôle Schlumberger comme géométrie du dispositif.

Au cours de précédents travaux dans la région nous avons établi des courbes de sondage électrique sur granite et dolérite dans les zones où ces formations sont étendues et homogènes (C. DORBATH *et al.*, 1975). Un exemple de chacune de ces courbes est donné sur la fig. 3b. Dans l'interprétation des mesures nous avons utilisé ces courbes, le secteur prospecté ne se prêtant pas à l'établissement de nouvelles courbes types.

Nous avons cependant essayé d'établir une courbe type pour le cipolin en effectuant un sondage selon l'orientation définie par HELCMANOCKI pour cette formation (SE1, fig. 6). Ce sondage nous montre, qu'en cet endroit, après avoir traversé une dizaine de mètres de roches saines subaffleurantes, en l'occurrence le cipolin dont la présence est confirmée par un puits, on rencontre une formation de même épaisseur de résistivité beaucoup plus faible avant d'atteindre à nouveau une roche saine. Loin de représenter une courbe type sur cipolin homogène et étendu, ce sondage laisse plusieurs interprétations possibles au-dessous des 10 premiers mètres :

- couche de schiste surmontant un granite (Y. ALBOUY, 1970);
- la forme en V et les faibles valeurs des résistivités peuvent faire penser à une dolérite altérée (Y. ALBOUY *et al.*, 1970);

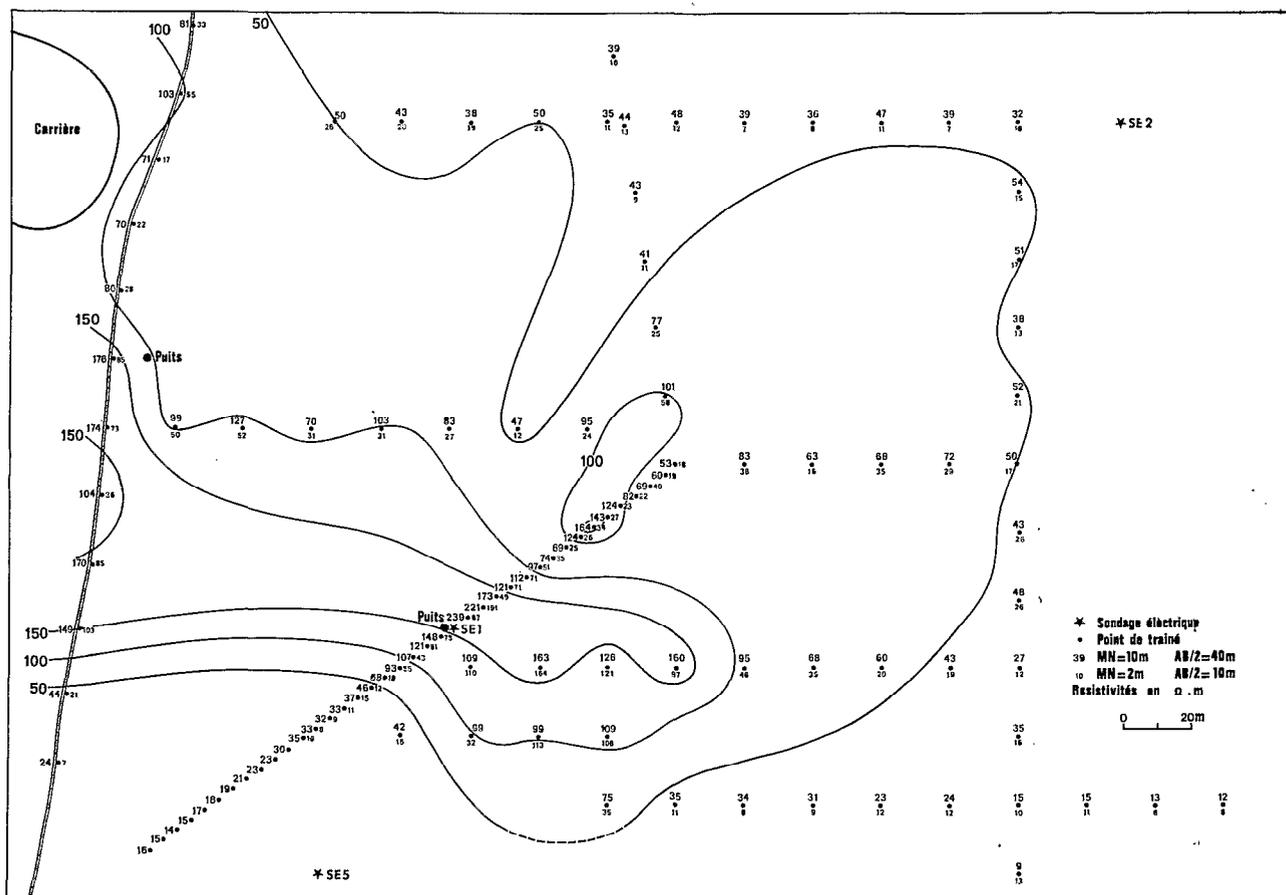


FIG. 3a. — Carte détaillée de la zone proche de la carrière de cipolin des résistivités apparentes. Quadripôle Schlumberger.

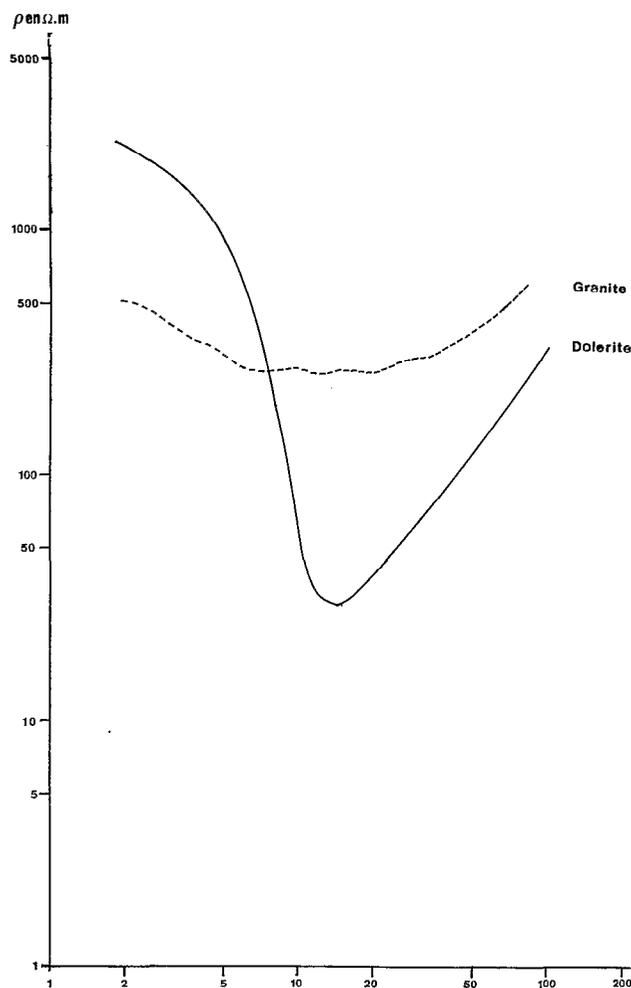


FIG. 3b. — Courbes types de sondage électrique sur granite et dolérite.

— une troisième semble cependant devoir être retenue compte tenu des sondages du PNUD qui ont prouvé l'existence de cipolins jusqu'à 80 m au moins. Les faibles résistivités résulteraient du plissement extrême du cipolin (ainsi que l'ont montré les sondages du PNUD) entre deux formations « saines ». En outre la présence d'eau à ce niveau est prouvée par le puits alimentant la carrière. On ne peut cependant conclure catégoriquement.

D'une façon générale il paraît difficile dans une région aussi perturbée où le sous-sol est loin d'être tabulaire, de distinguer uniquement par sondage électrique les différentes roches. Une confirmation géologique est indispensable. Dans ces conditions nous avons effectué nos traînés entre des points connus par affleurements ou puits. En fonction des résultats précédents nous avons choisi de travailler avec deux longueurs de ligne :  $AB/2 = 10\text{m}$ ,  $MN = 2\text{m}$  et  $AB/2 = 40\text{m}$ ,  $MN = 10\text{m}$ , et une distance de 20m entre deux points de mesure.

Le premier traîné suit la piste de Bandafassi-Landiéni ; partant avant la carrière, il traverse le cipolin puis longe un affleurement de dolérite et contourne le massif de granite, coupant au passage quelques affleurements de cipolin. Le second permet de boucler les mesures en revenant du granite jusqu'à un puits sur cipolin (fig. 2a).

Des mesures plus denses ont été faites en partant de la carrière, là où le cipolin subaffleurant peut nous fournir le plus de renseignements sur sa forme et son pendage. Un traîné dont les points de mesures sont distants de 5 m coupe cette zone, des mesures espacées de 20 m délimitent son contour (fig. 3a).

En outre sept sondages ont été effectués dans l'axe de la vallée afin d'essayer de définir en profondeur la géométrie des formations étudiées.

Les mesures magnétiques ont été faites à l'aide d'un magnétomètre à proton ELSEC, la bouteille étant placée à 4 m au-dessus du sol afin d'atténuer les anomalies très locales. Des profils ont été effectués recouvrant

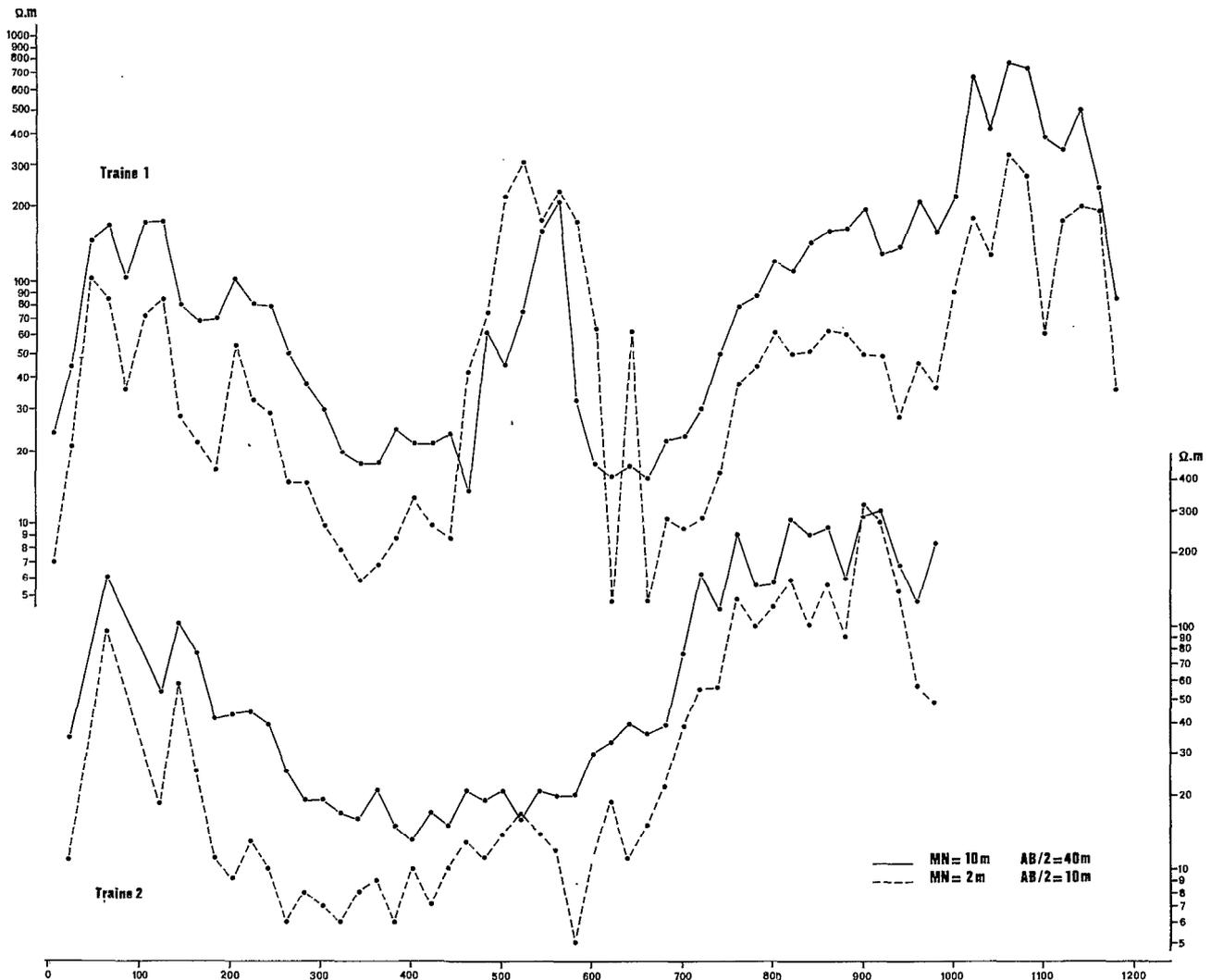
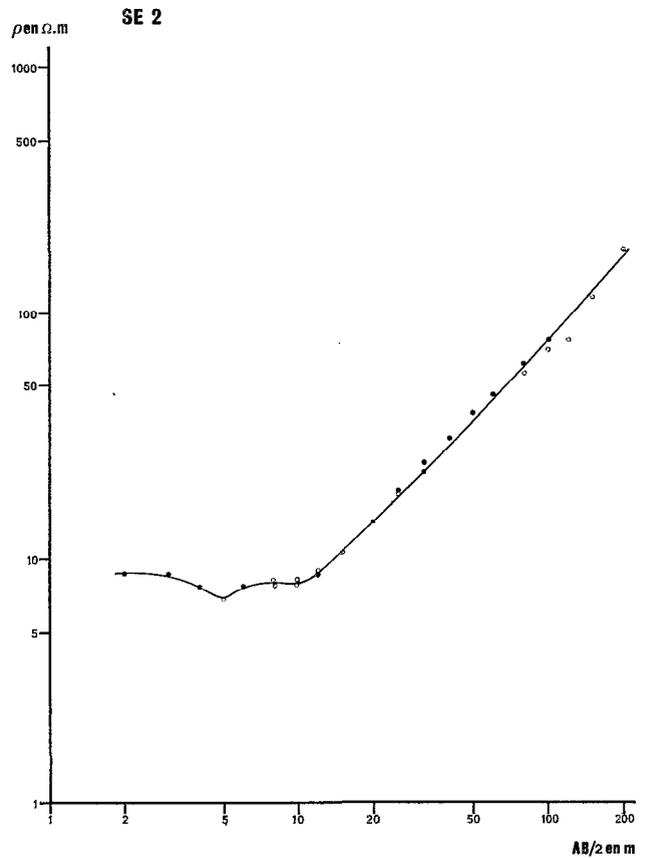
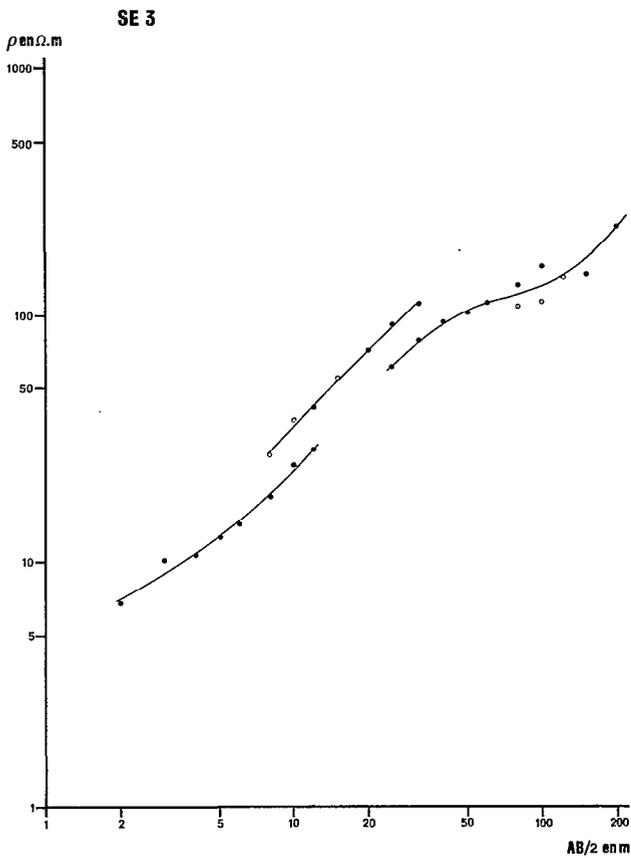
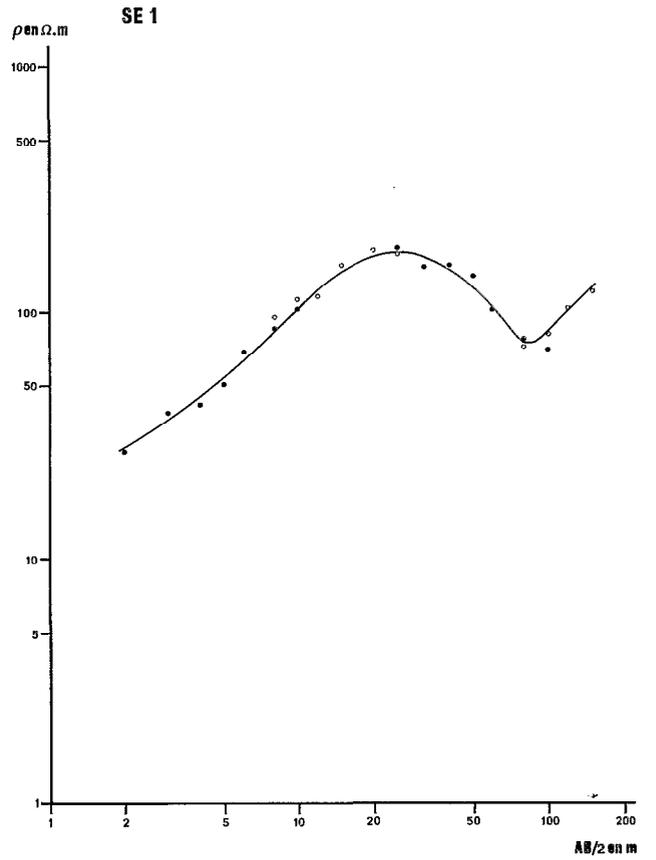
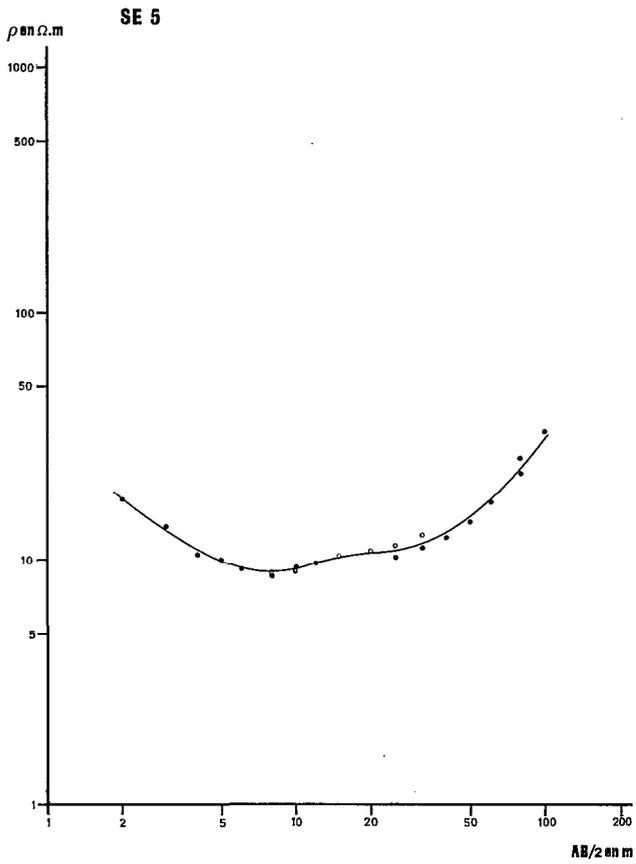


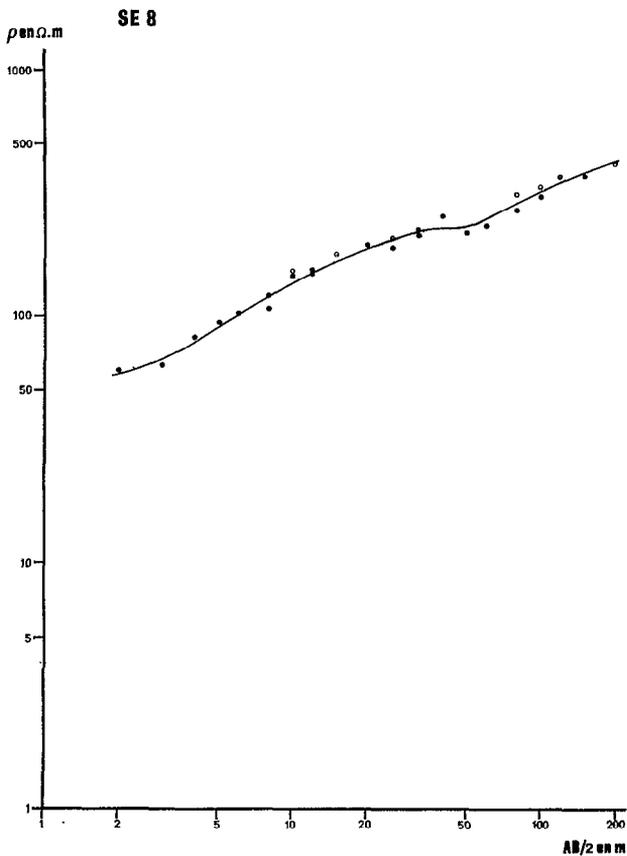
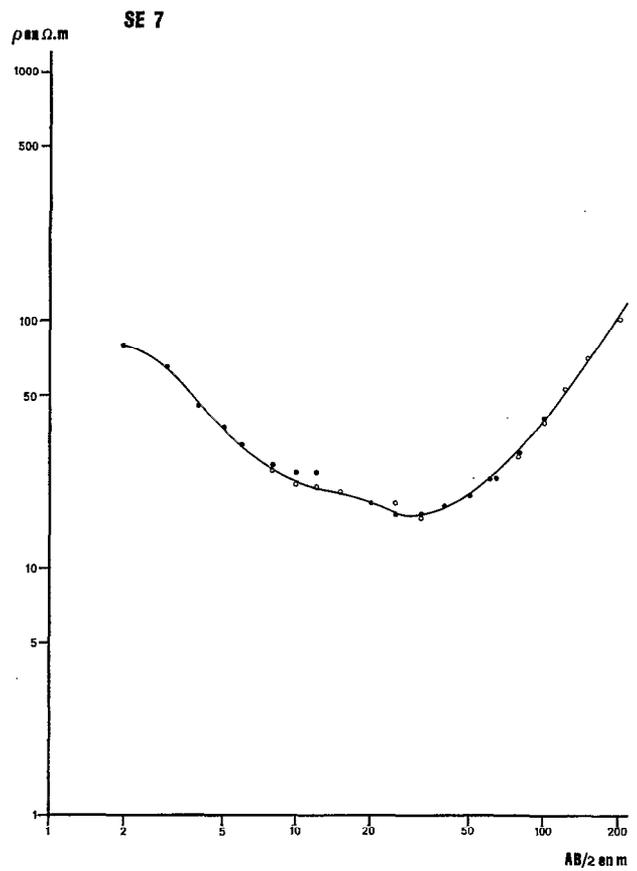
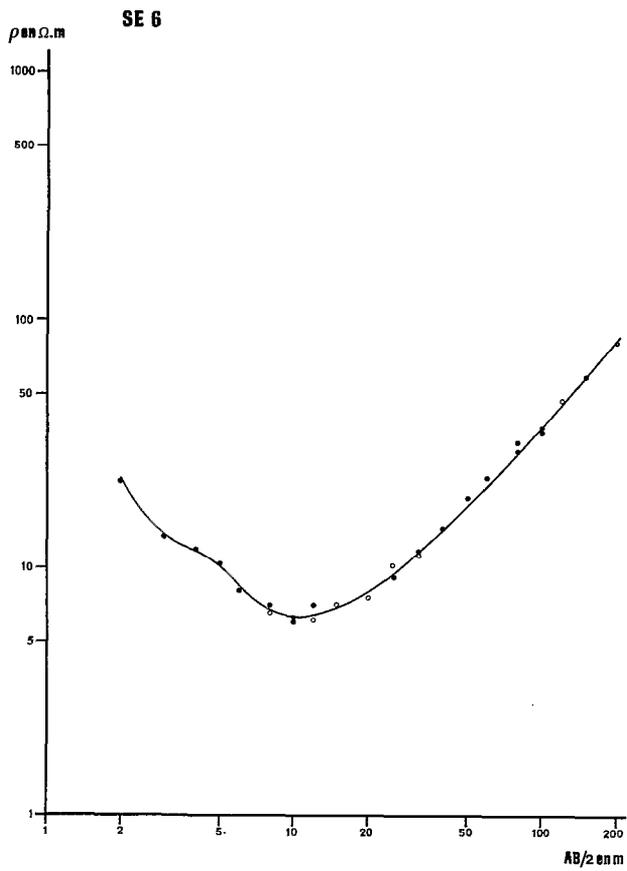
FIG. 4. — Trainés de résistivité.

toute la zone prospectée précédemment avec un point de mesure tous les 20 m. Les mesures ont été faites le soir et la nuit (à partir de 18 h) afin de bénéficier d'un champ magnétique relativement calme. Des mesures de référence, par réoccupation du même point toutes les 30 mn permettaient de suivre les variations du champ. Cinq profils ont été tirés selon l'axe de la piste Bandafassi-Landiéni et quelques mesures supplémentaires ont été ajoutées sur le cipolin connu. Les mesures brutes ont été corrigées des variations du champ observées sur le terrain par les mesures de références et enregistrées à l'Observatoire de M'Bour (magnétogramme La Cour).

Les variations du champ total le long des profils sont relativement faibles ( $40 \gamma$ ), ce qui exige nécessairement l'emploi d'un magnétomètre à proton et explique qu'au cours de ses mesures en 1970, avec une balance de Z, Y. ALBOUY ait obtenu des profils absolument plats, cet appareil n'ayant qu'une sensibilité de  $30 \gamma$  par division. L'idée directrice de Y. ALBOUY était que le cipolin est peu magnétique alors que les schistes encaissants peuvent contenir des minéraux lourds et magnétiques.

Des mesures sur les roches affleurantes d'extension suffisante ont fourni des valeurs sensiblement plus grandes sur le granite ( $\geq 210 \gamma$  au-dessus de  $32.000 \gamma$ ) que sur le cipolin ( $\leq 200 \gamma$ ), la dolérite roche très magnétique puisqu'elle contient des minéraux comme l'ilménite n'a pu être étudiée, son affleurement dans la zone étudiée étant peu étendu et entouré de cuirasses.





*De gauche à droite, de haut en bas :*

p. 42 : FIG. 5. — Sondage électrique n° 5.

FIG. 6. — Sondage électrique n° 1.

FIG. 7. — Sondage électrique n° 3.

FIG. 8. — Sondage électrique n° 2.

p. 43 : FIG. 9. — Sondage électrique n° 6.

FIG. 10. — Sondage électrique n° 7.

FIG. 11. — Sondage électrique n° 8.

## Résultats

### TRAINÉ 1 (fig. 4)

La courbe de résistivité pour  $AB/2 = 10$  m présente un premier maximum ( $\# 170 \Omega \cdot m$ ) correspondant au cipolin débutant environ 100 m au Sud de la carrière, un second plus élevé ( $300 \Omega \cdot m$ ) au voisinage de l'affleurement de dolérite et un troisième du même ordre de grandeur dû au granite (sans qu'il soit possible de mettre en évidence la contribution du cipolin observé à cet endroit).

### TRAINÉ 2 (fig. 4)

Il présente les mêmes valeurs que le précédent aux deux extrémités; le deuxième maximum qui correspond à la dolérite n'apparaît pas soit que la dolérite ait disparu, soit qu'elle ait plongé.

### SE 5 (fig. 5)

On trouve le « socle » à plus de 40 m après avoir traversé des terrains peu résistants ( $8$  à  $25 \Omega \cdot m$ ) correspondant soit à des altérations de roches basiques soit à des schistes altérés.

### SE 1 et SE 3 (fig. 6 et 7)

Ces courbes assez semblables montrent la succession suivante :

- un premier terrain de surface faiblement résistant ( $6$  à  $20 \Omega \cdot m$ ) d'épaisseur voisine de  $2$  m ;
- un second terrain très résistant par rapport au premier d'une épaisseur d'environ  $8$  m sur les 2 sondages, correspondant au cipolin dont l'existence est prouvée par un puits ;
- une troisième couche moins résistante que la précédente ( $40$  à  $180 \Omega \cdot m$ ) correspondant soit à une altération soit à une roche fracturée, faillée, schistée, etc.
- un dernier de résistivité « infinie » : roche saine pouvant être à nouveau du cipolin (hypothèse la plus probable si on se réfère aux sondages PNUD) mais aussi un socle basique ou granitique.

### SE 2 (fig. 8)

Une série de terrains de surface peu résistants ( $8$  à  $10 \Omega \cdot m$ ) recouvre sur une épaisseur plus importante ( $\# 7$  m) la roche saine. La longueur insuffisante des lignes ne permet pas de déterminer l'épaisseur de cette formation.

### SE 6 et SE 7 (fig. 9 et 10)

Les couches peu résistantes de recouvrement s'épaississent peu à peu, le toit de la roche saine plonge des  $7$  m précédents à  $20$  m puis  $30$  m.

Pour ces 3 sondages seuls des forages profonds pourraient permettre de choisir entre les diverses interprétations possibles dont la méthode électrique laisse le choix pour la nature de la roche saine formant le socle.

### SE 8 (fig. 11)

Les fortes résistivités des premiers terrains indiquent que l'on se trouve dans une zone d'altération de granite. La résistivité maximale obtenue ( $530 \Omega \cdot m$ ) montre qu'on n'a pas atteint la roche saine.

*La carte des résistivités* (fig. 3) décrit plus précisément l'allure du toit du cipolin aux alentours de la carrière là où il est plus proche de la surface. Les lignes d'iso-résistivité très serrées au sud de la carte indiquent une montée rapide du cipolin qui plonge beaucoup plus lentement vers le Nord restant subaffleurant sur  $150$  m environ.

*La carte magnétique* (fig. 2 b) : Dans la zone de cipolin cartographié sur la fig. 3a, les courbes d'iso-intensité du champ total et les courbes d'iso-résistivité présentent en gros la même allure. Dans la partie nord le granite apparaît également nettement, formant une zone de valeurs élevées du champ ( $> 215 \gamma$ ). La zone comprise entre ces deux formations présente des anomalies dont l'origine est a priori inconnue. Notons que la dolérite n'apparaît pas clairement, ce qui semblerait indiquer sa faible importance.

## Conclusions

Cet essai de cartographie géophysique du cipolin de Bandafassi permet en premier lieu de cerner les limites des méthodes employées dans un tel contexte. En effet la zone prospectée est extrêmement perturbée (cipolins redressés sur plusieurs dizaines de mètres au-dessus de la carrière par la montée de la dolérite primaire; petits bancs de cipolins dispersés et arrachés lors de la mise en place du granite et de la dolérite... fig. 2), aucune formation ne peut-être considérée comme tabulaire et enfin les données géologiques sont assez confuses. De plus la géographie (éboulis, pentes, cuirassements...) et les discontinuités latérales de résistivité limitent la longueur des lignes de sondage électrique et perturbent les mesures magnétiques. Dans ces conditions la prospection géophysique apporte peu d'informations directement exploitables. On a pu voir précédemment que plusieurs solutions très différentes peuvent satisfaire les mesures.

Cependant chaque méthode employée dans l'étude de cette zone nous fournit des éléments d'information intéressants, et leur corrélation peut nous aider à interpréter les résultats.

— La carte géochimique du B.R.G.M. présente des indices de cuivre dont les valeurs sont très dispersées, sauf autour du massif de diorite où les indices restent constants et ont les plus faibles valeurs (de l'ordre de 10 à 15 ppm, la moyenne de la zone étudiée étant de 50 ppm).

— Les mesures électriques font nettement ressortir de l'environnement conducteur l'ensemble des roches (cipolin, granite et dolérite). D'autre part les sondages électriques permettent, lorsque la topographie nous laisse employer des longueurs de lignes suffisantes, de différencier ces trois roches :

*Dolérite et granite* : dans le cas de filons, on peut espérer que la même méthode que celle appliquée dans la région de Saraya nous donnerait les mêmes résultats, avec les courbes en V caractéristiques de la dolérite.

*Cipolin et granite* : les mesures de résistivités de ces roches saines tirées de différentes campagnes de prospection électrique montrent que les cipolins sont beaucoup plus résistants ( # 19.000  $\Omega.m$ ) que les granites ( # 850  $\Omega.m$ ).

— Les mesures magnétiques différencient nettement le granite, par l'homogénéité des valeurs supérieures à 32.210  $\gamma$  qui lui sont associées, du cipolin, caractérisé par des valeurs de l'ordre de 32.195  $\gamma$  dans la zone où il est subaffleurant.

Des études plus poussées, en augmentant la densité des points de mesure et en traitant les données par filtrage numérique ou par d'autres méthodes, pourraient éventuellement améliorer ces résultats. Mais on peut remarquer plus simplement, au vu des constatations ci-dessus, que les grandes zones sont différenciables :

*Granite* : teneur en cuivre faible, (10-15 ppm) grande résistivité et grande valeur du champ magnétique ( $\geq 32.210 \gamma$ ).

*Cipolin* : grande résistivité et valeur du champ magnétique faible ( $\leq 32.200 \gamma$ ).

Des inconnues demeurent : origine des « anomalies » magnétiques de petite dimension, dolérite non visible magnétiquement,... Mais ces résultats, plus qualitatifs que quantitatifs, montrent l'intérêt de l'association des diverses méthodes géophysiques employées.

Compte tenu de ce qui précède et des sondages du PNUD, l'hypothèse la plus vraisemblable est celle d'une formation épaisse de cipolin de peu d'extension vers le sud, subaffleurante sur environ 200 m et plongeant lentement vers le nord.

## REMERCIEMENTS

La campagne de prospection électrique a été menée avec le concours de M. CARN géologue à l'ORSTOM, celle de prospection magnétique avec R. ZOGBI électronicien à l'ORSTOM qui a également assuré le bon fonctionnement du matériel. Je tiens à les en remercier.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM le 18 mai 1978

## BIBLIOGRAPHIE

- ALBOUY (Y.), 1970. — Essai de prospection géophysique du cipolin de Bandafassi. ORSTOM M'Bour, 10 p. *Multigr.*
- ALBOUY (Y.), PION (J.C.), WACKERMANN (J.), 1970. — Application de la prospection électrique à l'étude des niveaux d'altération. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. II, n° 2 : 161-170.
- BASSOT (J.P.), 1963. — Etude géologique du Sénégal oriental et de ses confins guinéo-maliens. Mémoire BRGM n° 40, 322 p., 2 cartes.
- BLOT (A.), 1975-1976. — Communications personnelles.
- DARS (R.), 1961. — Les formations sédimentaires et les dolérites du Soudan Occidental (Afrique de l'Ouest). Mémoire BRGM n° 12, 387 p.
- DORBATH (C.), FROIDEVAUX (P.), BLOT (A.), CARN (M.), 1975. — Applications des propriétés de résistivité des terrains d'altération à la connaissance de la tectonique du massif de Saraya. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. VII, n° 2 : 111-123.
- HELCMANOCKY (P.), FOY (M.), 1972. — Prospection géophysique sur les indices de cuivre de Bandafassi. ORSTOM M'Bour, 30 p. *Multigr.*
- PICOT (P.), POUIT (G.), 1969. — Les indices de cuivre de Bandafassi (Sénégal Oriental). BRGM Paris, 8 p. *Multigr.*
- SKAVYTCH (C.), 1933. — Rapport sur l'étude géologique du sud-ouest du Sénégal. Serv. Géol. A.O.F. Dakar, 23 p. *Multigr.*
- SAGATSKY (J.), 1948. — Géologie de la boucle de la Gambie (Cercle de Haute Gambie, Sénégal). Dir. Mines A.O.F. Dakar, 40 p., *Multigr.*
- TAGINI (B.), 1959. — Mission de recherches minérales de Kédougou. Compte rendu de la campagne 1958-1959. Dir. Mines A.O.F. Dakar. *Multigr.*