

ANOMALIE DE CONDUCTIVITÉ AU SÉNÉGAL ORIENTAL ⁽¹⁾

Y. ALBOUY (2), K. BABOUR (3) et Z. GUETAT (4)

(2) *Géophysicien O.R.S.T.O.M., 24, rue Bayard, 75008 Paris*

(3) *Géophysicien C.N.R.S., Laboratoire de Géomagnétique, 24 rue Lhomond, 75005 Paris*

(4) *Étudiant 3^e cycle, Centre de Géologie et Géophysique, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, place E.-Bataillon, 34060 Montpellier*

RÉSUMÉ

Deux profils de sondage géomagnétique différentiel (S.G.D.) ont été réalisés perpendiculairement à la bordure du craton ouest africain.

Les cinq stations magnétiques étaient composées de deux magnétomètres (H et D mètre) et d'un enregistreur numérique.

L'étude des enregistrements montre l'existence d'une anomalie de conductivité à l'intérieur du craton alors qu'aucune anomalie n'a été décelée près de la bordure ou dans la zone mobile.

Les courants responsables de l'anomalie circuleraient entre la surface et une profondeur maximum de 50 km, selon des directions variant de 30° E (profil 1) à 15° E (profil 2). Mais la géométrie de l'anomalie n'a pu être décrite et ces résultats ne sont qu'une première approche pour des études ultérieures.

ABSTRACT

CONDUCTIVITY ANOMALIE IN EASTERN SENEGAL

Using the differential geomagnetic sounding (D.G.S.), we have performed two profiles perpendicular to the edge of the western African craton.

The five magnetic equipments include two magnetic sensors (H. and D. meters) and one digital recorder.

The study of the records shows no anomaly inside the mobile belt or near the edge but reveals a large conductive anomaly inside the craton.

The causative currents could flow deeply (down to 50 km), along direction from 30° E (profile 1) to 15° E (profile 2). But the whole geometry anomaly is not described and these results are a first approach for further conductivity studies by D.G.S.

Introduction

Dans le cadre d'un accord entre les Laboratoires du Centre de Recherches Géophysiques (C.R.G.), du Centre de Géologie et Géophysique de Montpellier (C.G.G.) et la section Géophysique

(1) Cette note a fait l'objet d'une communication orale au Congrès de Géologie Africaine de Milton Keynes, Grande-Bretagne (13-15 avril 1981).

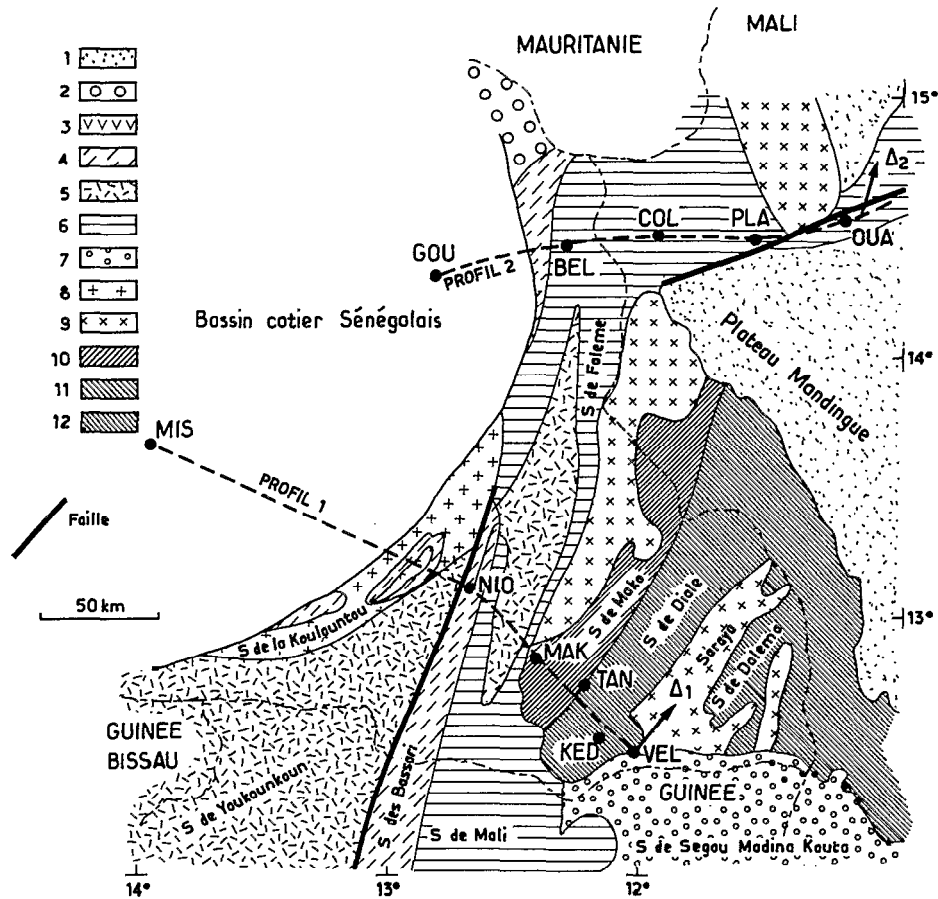


FIG. 1. — Carte géologique de la région d'après BASSOT, DIA, LECORCHE, LEPAGE.

- | | | |
|--|--|-------------|
| 1 — Grès infracambrien | 7 — Grès et pélites de Segou | } Birrimien |
| 2 — Schistes de Bakel | 8 — Écailles de socle (Koulountou) | |
| 3 — Ultrabasites de Diabal | 9 — Granites syntectoniques | |
| 4 — Schistes métamorphiques des Bassaris | 10 — Séries métamorphiques de Mako | |
| 5 — Grès de la Falémé et de Youkounkoun | 11 — Séries de Dialé et du Dalema : schistes, quartzites, cipolins | |

Δ_1 et Δ_2 directions des structures conductrices

Stations Profil 1

MIS : MISSIRA
 NIO : NIOKOLO-KOBA
 MAK : MAKO
 TAN : TANKOTO
 KED : KEDOUGOU
 VEL : VELINGARA

Stations profil 2

GOU : GOUDIRY
 BEL : BELLE
 COZ : COLOMBO
 PLA : PLANTATION
 OUA : OUAGUILOU

de l'O.R.S.T.O.M., deux profils de sondages géomagnétiques différentiels ont été réalisés en 1978 au travers de la bordure orientale du craton ouest africain au Sénégal Oriental (fig. 1).

Le premier profil s'étend, selon une direction NO-SE, de Missira (Mis) à Velingara (Vel) en traversant successivement le bassin sédimentaire du Sénégal, la chaîne des Mauritanides et les terrains birrimiens de la boutonnière du Sénégal Oriental.

Le deuxième profil, situé au nord du premier, est aligné suivant une direction OSO-ENE. Partant du bassin sédimentaire (Goudiry : GOU), il recoupe les Mauritanides, passe au sud de la boutonnière birrimienne de Kayes et se termine sur les formation grése-siliceuses du cambrien (Ouaguilou : OUR).

D'autre part, une récente étude (Z. GUETAT, 1981), présente une nouvelle interprétation des mesures gravimétriques de l'O.R.S.T.O.M. (Y. CRENN, J. RECHENMANN, 1965).

Cet article expose les résultats obtenus et se propose d'en faire un essai d'interprétation.

Sondages géomagnétiques différentiels (S.G.D.)

PRINCIPE

Le sondage géomagnétique différentiel consiste à étudier la répartition spatiale du champ magnétique transitoire supplémentaire de variations créé par une structure conductrice (K. BABOUR et J. MOSNIER, 1973). Cette méthode suppose que le champ source est homogène à l'échelle de la zone étudiée. Cette condition n'est pas vérifiée, de jour, pour les stations du profil 1, proches de l'électrojet. Pour ce profil, nous étudierons uniquement des enregistrements nocturnes.

Appareillage utilisé

Les magnétomètres (H mètre et D mètre) sont des capteurs de type Mosnier construits par le C.R.G. (J. MOSNIER et P. YVETOT, 1977); les aimants des capteurs sont maintenus dans une direction fixe (N ou E magnétique) par les champs créés dans des bobines (contre-réaction). Ce sont les variations des courants des bobines proportionnelles aux variations du champ magnétique, qui sont enregistrées.

Chaque station est équipée d'une unité d'enregistrement numérique, pilotée par une horloge interne très stable (10^{-7}); les deux signaux analogiques sont numérisés toutes les 4 s et enregistrés sur une bande magnétique : la dynamique de l'enregistrement est de 400 nT avec une définition de 0.1 nT.

Nous disposons, pour cette expérience, de 5 stations, dont la mise au point venait d'être terminée par le C.R.G.

Étude du profil 1

Sur ce profil, 8 points de mesure ont été occupés, quoique 6 seulement soient représentés sur la fig. 1; en effet les 2 autres stations situées entre Niokolo-Koba (NIO) et Missira (MIS), ne présentaient entre elles aucune différence appréciable. C'est donc Niokolo qui a été choisie comme nouvelle station de référence et les 3 autres unités de mesure ont été déplacées vers le S.E.

La figure 2 présente des enregistrements synchrones nocturnes, du champ anormal en 4 stations et du champ normal à la station de référence.

On observe sur cette figure que :

(a) le champ anormal est linéairement polarisé. La direction des courants responsables de ce champ (perpendiculaire à la direction du champ anormal) est à la station de VEL de 45° E magnétique, soit 32° E géographique;

(b) le module du champ anormal croît régulièrement de Mako à Velingara : si nous normalisons les modules du champ anormal par rapport à VEL, nous obtenons les valeurs suivantes :

$$\text{MAK} : 0.25, \text{TAN} : 0.35, \text{KED} : 0.75, \text{VEL} : 1,$$

valeurs reportées sur la figure 3. Il n'apparaît pas d'anomalie importante liée à la bordure occidentale du craton que jusqu'à une période récente les géologues plaçaient à proximité de Mako; l'accroissement

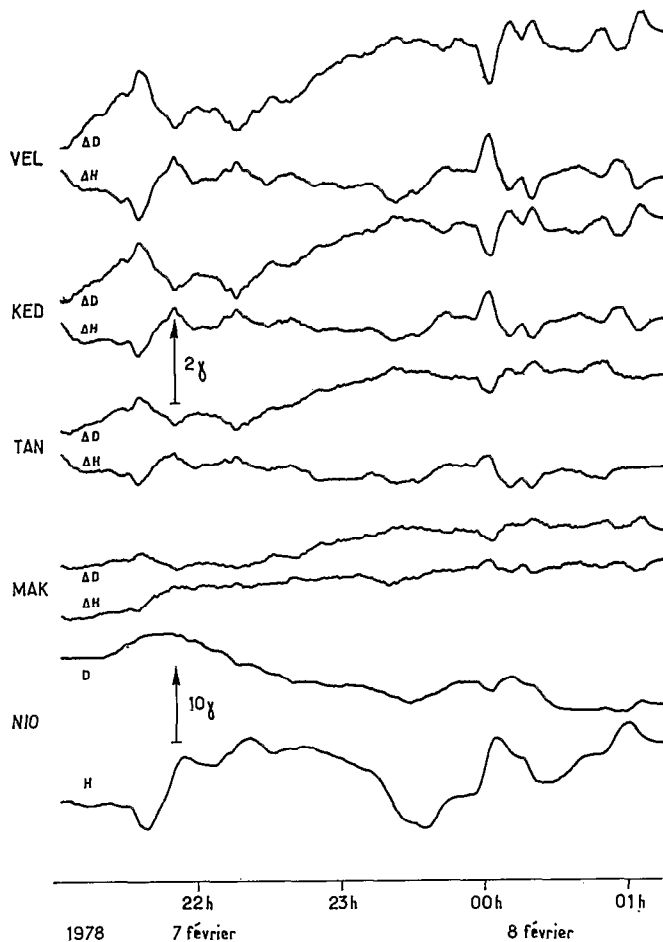


FIG. 2. -- Enregistrement du champ magnétique horizontal (D et H) à la station de référence (N 10) et des différences correspondantes aux quatre stations du profil. Les valeurs d'échelle identiques pour les différences (flèche 2γ) sont différentes de la valeur d'échelle pour le champ (flèche 10γ).

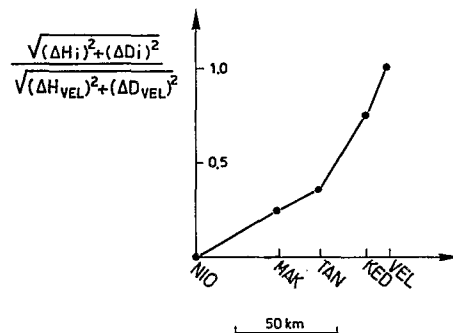


FIG. 3. -- Rapport des modules des vecteurs différence par rapport au module du Velingara.

net du champ anormal vers le sud-est traduit la présence d'une structure conductrice située à l'intérieur du craton (1).

Les caractéristiques géométriques de l'anomalie ne sont que partiellement décrites vu l'impossibilité d'étendre le profil au-delà de la frontière guinéenne. Cependant on constate que la longueur d'onde spatiale de l'anomalie est d'au moins 80 km; pour cette valeur, la profondeur *maximum* de l'anomalie, en admettant que les courants circulent dans un fil, serait de 50 km. Une anomalie superficielle, dont la conductivité intégrée croit vers l'est, pourrait aussi expliquer ce type d'anomalie.

Étude du profil 2

Le champ magnétique est resté extrêmement calme lors des enregistrements du profil 2. Le seul événement d'amplitude notable est représenté en figure 4.

Les différences sont établies par rapport à Belle (BEL) et non pas par rapport à Goudiry (GOU) : nous constatons qu'à GOU, initialement choisie comme station de référence, il existe un champ anormal appréciable. Entre COL (Colombo) et BEL, les différences sont nettement plus faibles : quelques % du champ normal. Enfin, le champ normal croit nettement vers l'est, Plantation (PLA).

(1) Il fait remarquer que la distance entre stations (50 km) ne permet pas de détecter des anomalies d'origine superficielle et de faible largeur (10 km).

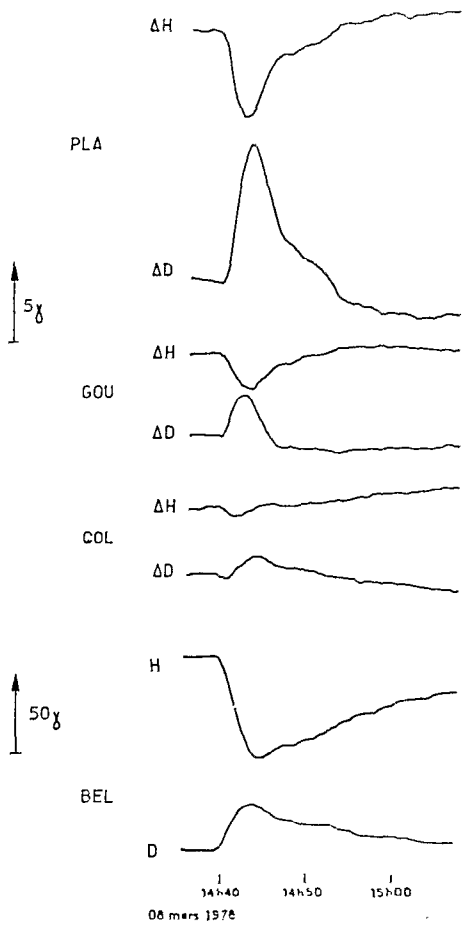


FIG. 4 — Enregistrement du champ magnétique horizontal à BEL et différences correspondantes à COL, GOU et PLA (profil 2). Les rapports des valeurs d'échelle sont de 10.

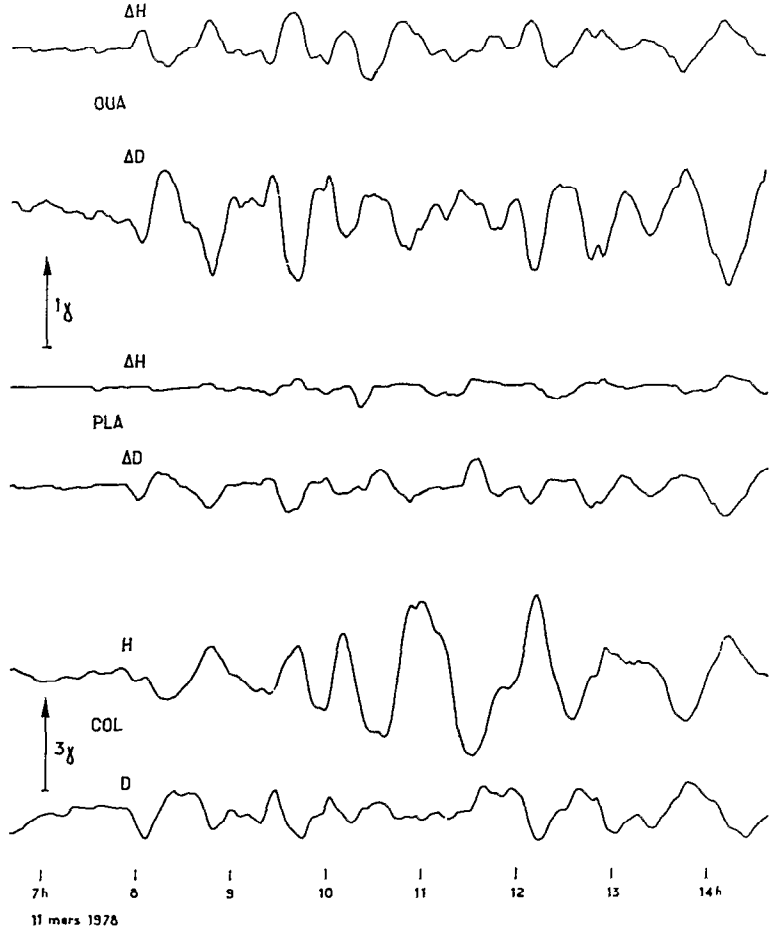


FIG. 5 — Enregistrement du champ magnétique horizontal à COL et différences correspondantes à OUA et PLA. Les rapports des valeurs d'échelle sont de 3.

La figure 5 présente des enregistrements simultanés des champs anormaux de PLA et OUA (Ouaguilou) par rapport à COL. Les amplitudes des signaux filtrés, par un filtre passe-bande, sont très faibles : les différences observées à PLA sont à peine supérieures au bruit notamment sur la composante H. Il apparaît très nettement que le champ anormal continue de croître vers l'Est : le module du champ anormal est environ quatre fois plus grand à OUA qu'à PLA.

Comme pour le profil 1, nous ne mettons en évidence que le début de l'anomalie. De plus le problème de la station de référence n'est pas résolu : il aurait fallu pouvoir vérifier la qualité des stations du COL et BEL par rapport à MIS ou NIO ; cette vérification n'ayant pas été faite, la comparaison des 2 profils n'est que qualitative.

— Comme dans le profil 1, la bordure du craton n'est marquée par aucune anomalie et le début de l'anomalie est à l'intérieur du craton.

— La longueur d'onde spatiale minimum est grande : plus de 50 km.

— La direction des courants responsables de l'anomalie s'incurve vers le nord : 10-15° E à OUA au lieu de 32° E à VEL.

Géologie

Le craton ouest africain, stable depuis 1600 MA est représenté dans cette région par les boutonnières du Sénégal Oriental et de Kayes.

Au Sénégal Oriental J.-P. BASSOT (1966) distingue les séries suivantes :

LA SÉRIE DE MAKO

Ce sont des terrains volcano-sédimentaires métamorphisés : roches basiques, schistes et conglomérats, les pendages apparents sont NNE-SSW.

LES SÉRIES DU DIALE ET DU DALEMA

Ces séries moins métamorphiques que les précédentes sont vraisemblablement postérieures. Les formations sédimentaires y sont représentées par des schistes, des grauwackes, des cipolins dont l'épaisseur totale peut atteindre 2 000 m. Ces formations sont du type flysch.

Les granites occupent 30 % des affleurements de surface. En général syntectoniques, ils ont été datés à 2045±50 MA. L'ensemble de ces séries est donc d'âge birrimien.

LA BOUTONNIÈRE DE KAYES

Les affleurements de la boutonnière de Kayes occupent une superficie bien plus faible. Pour J. P. BASSOT (déjà cité) ils constituent le prolongement de la série de Mako, pour ce qui est des roches basiques métamorphiques et les granites qui y sont dominants seraient synchronématiques.

LES SÉRIES POST-BIRRIMIENNES

Nous avons conservé pour ces séries les anciennes dénominations, en accord avec celles de J.-P. BASSOT, pour la partie sud, quoique la tendance actuelle soit à la dénomination par supergroupes (allant de I à IV, suivant la description d'O. DIA, J.-P. LECORCHE et A. LE PAGE, 1979).

Dans la partie sud, d'est en ouest, nous rencontrons successivement :

La série de Madina-Koula

C'est un ensemble de grès et pélites, d'une puissance de 2 000 m, à pendages faibles.

La série de Mali

Peu plissée, elle débute par une tillite, comprend des dolomies, des grès et des pélites : sa puissance pourrait être de 1 000 m.

La série de La Faleme

Cette série forme un vaste synclinal, dont la partie supérieure est constituée de grès rouges épais (1 000 m). La partie inférieure débute, tout comme la série de Mali, par une tillite, elle comprend, en plus, des formations volcaniques, soit acides, soit basiques, et se compose essentiellement, pour sa partie sédimentaire, de pélites et de dolomies. Son épaisseur peut dépasser 2 000 m.

La série des Bassaris

Il s'agit encore d'un synclinal : les séries sédimentaires sont de même nature que celles de la Faleme et de Mali, mais elles ont subi un métamorphisme et sont formées de schistes verts et de quartzites.

La série de Youkounkoun

Ce synclinal, limité par une grande faille à l'est, est formé d'un complexe volcanique, de pélites et argilites et, surtout, de grès. L'épaisseur de la série, non métamorphique, peut dépasser 3 000 m, le long de l'axe du synclinal, orienté N.E.

La série de la Koulounlou

Cet anticlinal est constitué de roches métamorphiques (quartzites essentiellement) ou d'écaillés de socle.

Les grandes directions tectoniques

Peu de grandes failles affectent les terrains birrimiens.

La faille de Kayes, cartographiée d'abord suivant la direction EW, devrait être plus inclinée ENE-WSW (70° E) d'après des études récentes (O. DIA, déjà cité).

Les clichés satellites permettent de définir deux grands linéaments ENE-WSW (70° ou 80° E environ), traversant tout le Mali, l'un passant par Kayes, l'autre passant au sud de la boutonnière du Sénégal Oriental (BEICIP, 1980), cf. fig. 1.

Mais aucun accident important n'emprunte dans les terrains birrimiens, les directions 15° ou 30° E qui sont celles de la circulation des courants responsables de l'anomalie dans les régions de Kayes et de Kedougou.

Prospection magnétique

La carte interprétative, d'après la prospection aéroportée réalisée en 1965 par la C.G.G. (rapport C.G.G. 1965) montre dans la fenêtre du Sénégal Oriental 2 anomalies négatives Z_{14} et A_{23} orientées sensiblement suivant la direction 30° E : l'une coïncide avec le granite de Saraya, la seconde (A_{23}) est attribuée à un batholite granitique enfoui à faible profondeur.

Étude gravimétrique

La carte des anomalies de Bouguer est représentée en fig. 6.

L'on remarque, au NE de Kedougou, une anomalie négative allongée de direction 25-30° E, et à l'aplomb de Kayes une anomalie positive de direction 15°.

La 1^{re} anomalie correspond au granite syntectonique de Saraya (cf. fig. 1), aligné à l'affleurement selon la direction 30° E. La seconde est à relier au granite d'Aourou, partie sud des granites de Kayes, qui présente localement des intrusions basiques, visibles à l'affleurement, responsables de l'anomalie positive, exceptionnelle à l'aplomb d'un granite. Cette anomalie est difficile à interpréter quantitativement; pour ce qui est de la 1^{re} anomalie l'interprétation quantitative conduit à placer la base du granit de Saraya, plus homogène que celui de Kayes, à une profondeur max. de 4 km (Z. GUETAT).

Entre ces 2 anomalies, de Kayes et de Saraya, il n'apparaît, sur la carte de la fig. 6, aucune structure gravimétrique importante.

Anomalies de conductivité et géologie

Les structures responsables des anomalies de conductivité doivent présenter avec le milieu encaissant d'importants contrastes de résistivité, et relier deux vastes régions conductrices (K. BABOUR *et al.*, 1977).

La structure conductrice responsable de l'anomalie du profil 1 est certainement à rechercher dans les séries birrimiennes; sa direction de 30° E est la direction birrimienne principale, celle de l'axe

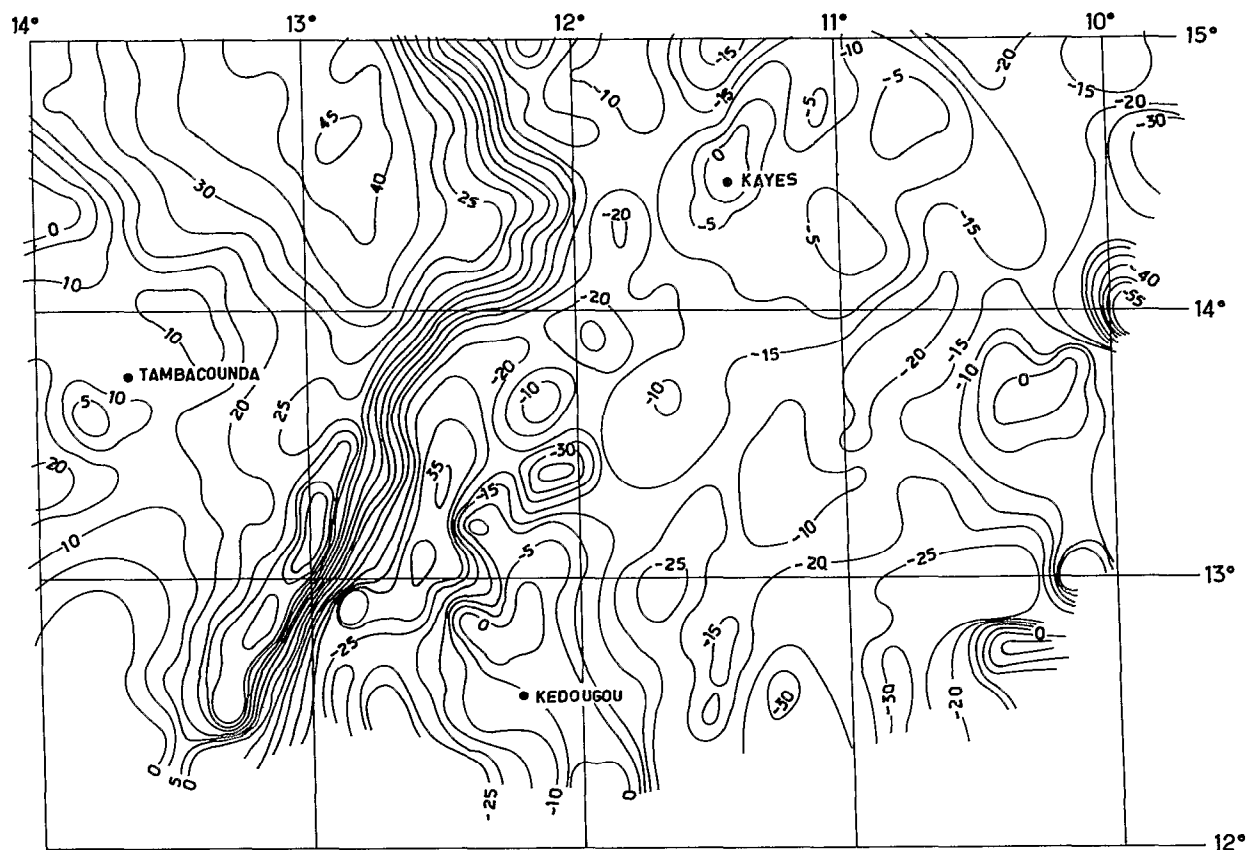


Fig. 6. — Carte d'anomalies de Bouguer. Isanomaies de 5 en 5 milligals.

du grand synclinal que forment les terrains du Diale et du Dalema. Cette direction apparaît très nettement sur les documents gravimétriques et magnétiques, soulignée par les batholites granitiques allongés : les courants responsables de l'anomalie circuleraient parallèlement aux granites résistants suivant l'axe principal du synclinal birrimien.

Les formations sédimentaires qui constituent les séries du Diale et du Dalema sont essentiellement des schistes et, en quantité plus limitée des quartzites et des cipolins électriquement résistants. La conductivité des schistes peut être très grande : au sud-est de Kedougou des faciès carbonés ont été reconnus dont la résistivité est seulement de quelques ohm.m (C. DORBATH, 1979) : l'épaisseur de ces terrains est très faible dans cette zone, mais on ne peut écarter l'hypothèse de tels terrains plus épais en profondeur, les géologues estimant que la puissance des séries birrimiennes peut atteindre plusieurs milliers de mètres.

Les structures canalisant les courants anormaux peuvent être géologiquement différentes pourvu que la continuité électrique soit assurée entre elles. Ainsi le fait de supposer — simple hypothèse — la canalisation par des schistes carbonés sous le profil 1 n'implique pas l'existence de tels terrains sous le profil 2, mais seulement l'existence de terrains conducteurs électriquement connectés aux premiers.

Compte tenu des directions respectives des anomalies des profils 1 et 2 (30 et 15°), on peut penser que les vastes zones conductrices où sont induits les courants anormaux peuvent être, au sud, l'océan Atlantique (golfe de Guinée), au nord le bassin sédimentaire très épais de Taoudenni. Il ne s'agit là que d'une hypothèse, que seules de nombreuses études futures pourraient confirmer ou démentir.

La faible densité de stations et le petit nombre de stations utilisées font de ce travail une simple

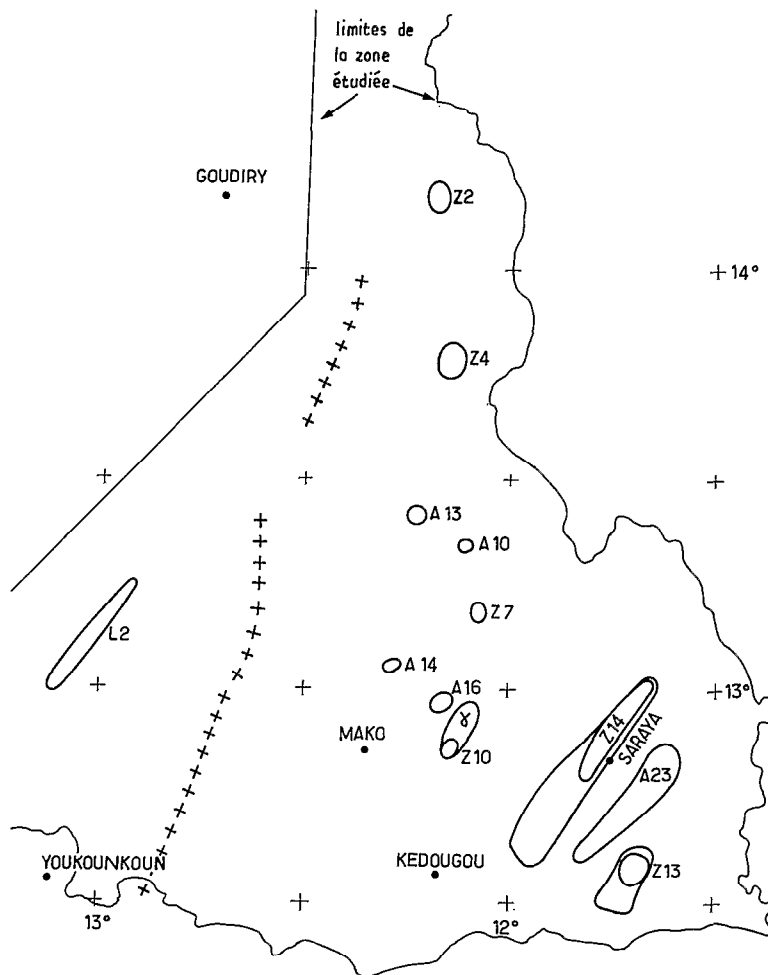


FIG. 7. — Carte magnétique interprétative (extrait de la carte de C.G. 1965) les croix figurent la ride de cordillère, les anomalies importantes sont représentées par des lettres et des numéros (Z 14, A 23, etc.).

étude de reconnaissance, d'ailleurs sur les profils étudiés des incertitudes demeurent : qualité des stations de référence, petite anomalie de Goudiry, indéterminations d'éventuelles anomalies superficielles situées entre les stations.

Il n'en reste pas moins que les 2 anomalies mises en évidence se situent à l'intérieur du craton et qu'aucune anomalie d'importance comparable n'a été révélée au voisinage de l'importante anomalie positive gravimétrique de Gamon et de l'anomalie de résidus des temps de propagation (BRIDEN J. C. *et al.*, 1981).

De plus d'autres études par la méthode géomagnétique classique semblaient montrer l'existence d'une couche conductrice sous Tambacounda continue jusqu'à M'Bour et disparaissant entre Tambacounda et Kedougou (Y. ALBOUY *et al.*, 1979). Mais ces études basées sur un petit nombre de stations, au demeurant fort peu précises (Askania) ne pouvaient conduire qu'à des conclusions incertaines.

En conclusion cette campagne de sondages géomagnétiques différentiels doit être considérée comme une approche nouvelle de détermination des anomalies de conductivité dans cette région : bien d'autres études du même type seraient nécessaires pour décrire la géométrie de l'anomalie de l'intérieur du craton et son prolongement éventuel en Guinée et dans le bassin de Taoudenni.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les directions de la recherche du Sénégal et des mines du Mali (D.G.R.S.T. et D.N.G.M.) d'avoir bien voulu les autoriser à entreprendre cette étude. Ils remercient de leurs conseils les géologues J.-P. LECORCHÉ et A. LE PAGE et de leur aide les géophysiciens du centre O.R.S.T.O.M. de Dakar, notamment J. VASSAL qui a participé au traitement des données.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M. le 17 juin 1981

BIBLIOGRAPHIE

- ALBOUY (Y.), BARSCZUS (H. G.), GANNER (B.), 1979 — Sondages Géomagnétiques préliminaires dans l'Ouest Africain. O.R.S.T.O.M., *Geophys.*, n° 16 : 3-25.
- BABOUR (K.), MOSNIER (J.), 1973. — Nouvelle méthode d'étude des anomalies magnétiques du type bord de mer, *Ann. de Géophysique*, t. 29, fasc. 2 : 171-178.
- BABOUR (K.), DAIGNIÈRES (M.), MENVIELLE (M.), MOSNIER (J.), ROSSIGNOL (J.-C.), VASSEUR (G.), 1977. — L'anomalie de conductivité des Pyrénées ; signification physique et géologique. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, n° 3 : 553-562.
- BASSOT (J.-P.), 1969. — Aperçu sur les formations précambriennes et paléozoïques du Sénégal oriental. *Bull. Soc. Géol. Fr. Série 7*, n° 11 : 160-169.
- BAYER (R.), LESQUER (A.), 1978. — Les anomalies gravimétriques de la bordure orientale du craton ouest-africain. Géométrie d'une suture pan-africaine. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, sér. 7, t. XX, n° 6 : 863-873.
- B.E.I.C.I.P., D.N.G.M., D.M.G., 1980. — Synthèse géologique et pétrolière du bassin de Taoudenni.
- BLOT (C.), CRENN (Y.) et METZGER (J.), 1963. — Mesures gravimétriques et magnétiques en Afrique Occidentale de 1956 à 1958. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Géophys.* n° 3, 49 p.
- BRIDEN (J. C.), WHITCOMBE (D. N.), STUART (G. W.), FAIRHEAD (J. D.), DORBATH (C.), DORBATH (L.), 1981. — Seismological evidence that the geological contrast across the west African craton margin extends deep into the upper mantle. *Nature*, n° 292 : 123-129.
- C.G.G., 1965. — Rapport sur la prospection magnétique aéroportée du Sénégal oriental. Direction des Mines. Dakar.
- CRENN (Y.) et RECHENMANN (J.), 1965. — Mesures gravimétriques et magnétiques au Sénégal et en Mauritanie occidentale. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géophys.* n° 6, 89 p.
- DIA (O.), LECORCHE (J.-P.), LE PAGE (A.), 1979. — Trois événements orogéniques dans les Mauritanides d'Afrique Occidentale, *Rev. Géol. Dyn. et Géog. phys.*, vol. 21, fasc. 5 : 403-409.
- DORBATH (C.), 1979. — Prospections géophysiques des cipolins de Bandafassi. O.R.S.T.O.M., *Géophys.* n° 16 : 35-46.
- GUETAT (Z.), 1981. — Étude gravimétrique de la bordure Occidentale du craton ouest-africain. Thèse 3^e cycle, *mulligr.*, Université de Montpellier.
- MOSNIER (J.), YVETOT (P.), 1977. — Nouveau type de variomètres horizontaux à asservissement de champ et capteur capacitif. *Ann. Géophys.* t. 33 : 391-396.