

# SONDAGES MAGNÉTO-TELLURIQUES AU SÉNÉGAL ORIENTAL

Michel RITZ

Géophysicien O.R.S.T.O.M.

Centre Géophysique O.R.S.T.O.M., B.P. 50, M'Bour, Sénégal

## RÉSUMÉ

Des sondages magnéto-telluriques ont été exécutés en République du Sénégal sur la bordure occidentale du craton ouest africain par l'équipe des géophysiciens de l'Observatoire de M'Bour,

mesures ont été faites séparément avec une station de référence située sur le bassin sédimentaire à environ 130 km de la bordure du craton ce qui nous a permis de calculer les rapports d'amplitude des composantes du champ électromagnétique aux stations mobiles. La modélisation bi-dimensionnelle suggère l'existence d'une couche conductrice profonde dans le manteau supérieur à 80 km de profondeur pour l'ensemble des quatre stations.

Pour les trois stations situées sur la bordure du craton l'introduction d'une couche conductrice à 30 km de profondeur permet une meilleure approximation des données. Par contre l'existence de cette couche conductrice sous la quatrième station, située sur le craton, ne semble pas justifiée par la modélisation à deux dimensions.

Au niveau de la troisième station, l'introduction dans le modèle d'une couche conductrice peu profonde est justifiée par les rapports d'amplitude du champ électromagnétique.

## ABSTRACT

### M. T. SOUNDING IN EASTERN SENEGAL

*Magneto-telluric soundings have been performed recording variations in the period range from 20 to 300 seconds at four stations spaced at about 20 km and located across the western border of the West African Craton. Using a reference station located in the Senegalese sedimentary basin, amplitude ratios of magnetic and telluric components were obtained. Using 2D-modelling techniques, the observed results may be explained by inferring the existence of a conductive layer located at great depth (> 80 km).*

## Introduction

Au cours de l'année 1979, nous avons entrepris l'étude de la bordure occidentale du craton ouest africain par la méthode magnéto-tellurique.

Cette étude avait pour but de savoir si une différenciation pouvait exister dans les résistivités de la zone de transition allant du craton vers la zone mobile (ou vers le bassin sédimentaire). En effet différents auteurs (REDDY *et al.*, 1977, SCHEELKE, 1974) ont montré l'existence dans la croûte et le manteau supérieur de couches de faibles résistivités. KURTZ *et al.*, 1976, mettent en évidence un changement important de la conductivité entre le plateau précambrien et la région nord des Appalaches (zone mobile). La question immédiate qui se pose alors dans notre cas est de savoir comment se comporte les structures de la conductivité électrique dans la zone de transition en bordure du craton?

A cet effet une série de stations magnéto-telluriques a été effectuée en mesurant le champ tellurique et le champ magnétique horizontal le long d'un profil quasiment perpendiculaire à la limite supposée du craton.

Ces stations au nombre de quatre sont espacées d'une vingtaine de kilomètres et les enregistrements sont fait séparément avec une station de référence située sur le bassin sédimentaire à 130 km de la limite du craton. Cette station de référence avait pour but de voir, si des résultats équivalents pouvaient être obtenus par les méthodes tellurique et magnéto-tellurique. La présence d'un conducteur est indiquée par une décroissance de l'amplitude du signal tellurique.

La position géographique des stations est montrée sur le tableau I et sur la figure 1.

TABLEAU I  
Position géographique des stations

| Indicatif de la station | Nom de la station | Latitude (N) | Longitude (W) |
|-------------------------|-------------------|--------------|---------------|
|                         | Tambacounda       | 13° 48'      | 13° 42'       |
|                         | Missira           | 13° 30'      | 13° 30'       |
| 1                       | Parc              | 13° 07'      | 12° 55'       |
| 2                       | Niokolo-Koba      | 12° 58'      | 12° 41'       |
| 3                       | Niépnénié         | 12° 55'      | 12° 37'       |
| 4                       | Mako              | 12° 51'      | 12° 20'       |

## Géologie

La région concernée par cette étude se trouve dans la partie sud-est du Sénégal au niveau de la latitude nord 13° et entre 12° et 13° de longitude ouest. Du point de vue géologique, cette région présente un intérêt particulier, puisque c'est dans l'est du Sénégal que l'on rencontre les formations les plus anciennes du pays. La majeure partie du Sénégal étant constituée par un bassin sédimentaire dont les terrains récents s'étagent du tertiaire au quaternaire.

Dans cette partie du Sénégal coexistent deux zones tectoniques différentes : à l'ouest, les formations récentes de l'Afrique de l'ouest, à l'est, des formations plus anciennes (séries limonienne) (Bassot, 1966).

Les formations paléozoïques peuvent être définies suivant leur stratigraphie en un certain nombre de séries dont chacune constitue une entité géologique plus ou moins marquée (BASSOT, 1966). Sur la figure 1 nous distinguons :

série de la Koulountou } séries à  
 série des Bassaris } métamorphismes  
 (355 et 205 M.A.)

15'

Granite du Niokolo koba (645 M.A.)  
 série de Ségué - Médina Kouta (1000 M.A.)  
 Granites atectoniques } (2045 M.A.)  
 Granites syntectoniques }  
 série de Mako } Birrimien  
 série du Dialé } (anté 2045 M.A.)  
 série du Daléma }  
 Faille  
 - Pointe de mesure magnéto-tellurique

### 3. SÉRIE DE LA FALÉMÉ

Cette série orientée NNE-SSW est formée de terrains non métamorphiques. Elle est bordée à l'est par les terrains birrimiens. Au point de vue géologique la série comprend deux bandes de pélites séparées par des grès feldspathiques. Il semble que la série de la Falémé se soit déposée dans une fosse profonde, bien limitée par des zones de flexure accompagnées de fractures (BASSOT, 1966). La puissance maximale des formations non métamorphiques et non éruptives est de l'ordre de 2 300 mètres à la hauteur du 13<sup>e</sup> parallèle : la station 3 est située au milieu de cette série.

Les formations birrimiennes correspondent, dans la zone étudiée, à la série de Mako. Elle forme une bande orientée NNE. Cette série est caractérisée par la présence d'anciennes roches volcaniques d'origine sous-marine. La station 4 se trouve sur le contact birrimien (d'origine sédimentaire) roches volcaniques.

#### Acquisition des données

Les variations magnétiques ont été mesurées à l'aide de capteurs du type Mosnier donnant les variations horizontales à aimant suspendu avec contre-réaction ayant une sensibilité de 10 mV/γ. Les variations telluriques dans les directions nord-sud et est-ouest magnétiques ont été détectées en mesurant la différence de potentiel entre deux électrodes de plomb espacées de 500 m et enterrées à une profondeur de 1,50 m.

Les signaux magnétiques et telluriques ont été filtrés et amplifiés dans la bande de période comprise entre 10 et 300 secondes avant d'arriver au système d'enregistrement composé de deux électrodes de plomb. Les signaux sont enregistrés sur bande magnétique à l'aide d'un système de référence.

Les meilleurs enregistrements sont ensuite numérisés avec un pas de trois secondes.

#### Méthode d'analyse

A une station donnée nous admettons avec CANTWELL et VOZOFF que les composantes horizontales du champ électrique induit  $E$  sont reliées aux composantes horizontales du champ magnétique  $H$  par un tenseur d'impédance  $Z$  défini par (CANTWELL, 1960; VOZOFF, 1972).

$$\begin{aligned} E_1 &= Z_{11} H_1 + Z_{12} H_2 \\ E_2 &= Z_{21} H_1 + Z_{22} H_2 \end{aligned}$$

Dans le cas d'une terre homogène, le tenseur  $Z$  est tel que  $Z_{11} = Z_{22} = 0, Z_{12} = -Z_{21}$  et il a la valeur  $Z = E_1/H_2$ .

$$\text{On définit alors la résistivité apparente } \rho_a = 0,2 T \left( \frac{E_1}{H_2} \right)^2,$$

$T$  est la période en secondes,  $E_1$  est le champ tellurique en mV/km et  $H_2$  le champ magnétique en gamma.

Cette résistivité apparente, pour une terre homogène et isotrope est indépendante de l'orientation des axes de mesure.

Cependant il est rare de trouver de telles structures, et la plupart du temps les entités géologiques étudiées se rapprochent beaucoup plus de structure à deux ou même à trois dimensions et par conséquent les impédances  $Z_{11}$  et  $Z_{22}$  ne sont pas nulles et les impédances  $Z_{12}$  et  $Z_{21}$  ont des valeurs différentes.

En utilisant le tenseur d'impédance  $Z$ , il est possible de déterminer l'orientation des structures à deux dimensions par rotation du système de coordonnées pour trouver les résistivités apparentes

minimum et maximum. Pour une structure parfaitement bi-dimensionnelle les composantes  $Z_{11}$  et  $Z_{22}$  sont nulles suivant les axes parallèle et perpendiculaire à la direction de la structure et dans ce cas le tenseur  $Z$  peut-être décomposé en deux modes représentés par

$$E'1 = Z_{//} H'2 \quad E'2 = Z_{\perp} H'1$$

A partir des impédances principales  $Z_{//}$  et  $Z_{\perp}$  les valeurs des résistivités apparentes suivant la direction parallèle à la structure (polarisation E) et suivant la direction perpendiculaire (polarisation H) sont déterminées par

$$\rho_{//} = 0.2 T |Z_{//}|^2 \quad \rho_{\perp} = 0.2 T |Z_{\perp}|^2$$

On détermine également un invariant S appelé le « skew » qui se rapproche de zéro dans le cas d'une structure à deux dimensions (SWIFT, 1967). Il est défini par

$$S = |Z_{11} + Z_{22}| / |Z_{12} - Z_{21}|$$

D'importantes structures tri-dimensionnelles existeraient pour des valeurs du skew supérieures à 0.6.

Dans le cas d'un modèle simple à deux dimensions tel une faille ou un contact constitué de deux blocs adjacents de résistivités différentes, la direction de circulation des courants induits a tendance à se faire au voisinage de la discontinuité parallèlement au contact du côté du bloc conducteur et perpendiculairement du côté du bloc résistant.

Par conséquent il est possible de déterminer la direction préférentielle de circulation des courants qui doit en principe être identique à la direction de la structure.

## Résultats et analyse des données

Pour chaque station, les résistivités apparentes suivant les axes principaux, la direction de l'axe minés et représentés sur les figures 2 à 7.

Nous avons également calculé les barres d'erreurs qui représentent la déviation standard centrée sur la valeur moyenne.

Les résistivités apparentes des stations 1, 2 et 4 sont fortement anisotropes, les courants telluriques présentent un haut degré de polarisation. Malgré les valeurs importantes de skew, en moyenne 0.5, la direction préférentielle des courants induits semble coïncider avec la direction de l'axe majeur d'anisotropie. Aux stations 3 et 4 les valeurs du skew sont très importantes et des structures à trois dimensions sont sans doute présentes.

En général la direction de circulation des courants telluriques est principalement contrôlée par les structures géologiques locales ou régionales et peut changer d'une station à l'autre.

La rotation des directions préférentielles sur une courte distance indique la présence de frontières entre des milieux géologiques différents et on a ainsi une bonne représentation de la distribution de la conductivité latérale. Pour des structures à deux dimensions, la direction de circulation des courants s'effectue parallèlement à l'axe de la structure du côté conducteur et perpendiculairement du côté résistant.

Ces directions sont représentées sur la figure 6.

La station 1 se trouve sur un contact granite-grès d'azimut N 45° E, la direction de circulation des courants telluriques dominants est N 25° W.

La station 2 est située sur un contact granite-grès d'azimut N 15° E, la direction de circulation des courants est N 85° W.

La station 3 est située dans la série de la Falémé de direction générale N 15° E, la circulation des courants est N 15° E.

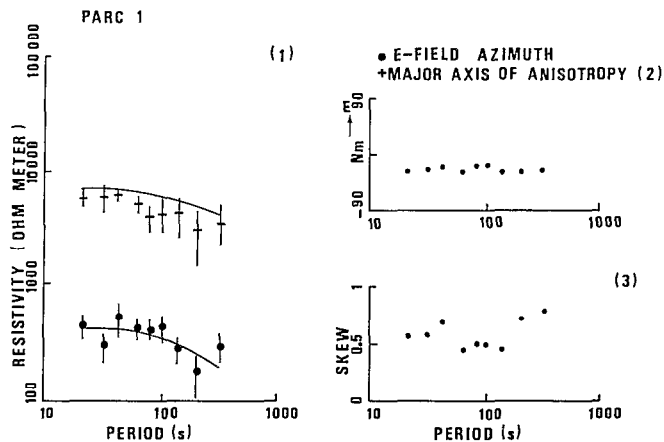


FIG. 2. — Station Parc. (1) Les croix et les points sont les valeurs de la résistivité calculées suivant les axes principaux. La courbe en trait plein représente le résultat de la modélisation à deux dimensions. (2) Les points représentent l'angle de polarisation des courants telluriques correspondant à la direction de circulation des courants induits. Les croix représentent la direction de l'axe majeur d'anisotropie. Pour certaines stations à différentes périodes les points et les croix peuvent être confondus. (3) Les points représentent la variation du skew en fonction de la période c'est un invariant.

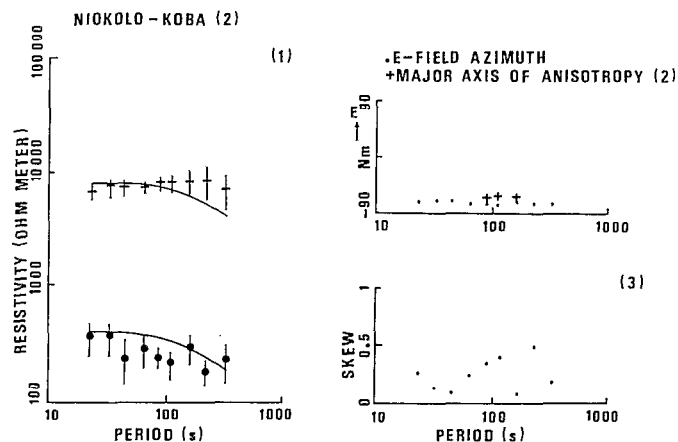


FIG. 3. — Station de Niokolo-Koba. Même nomenclature que la figure 2.

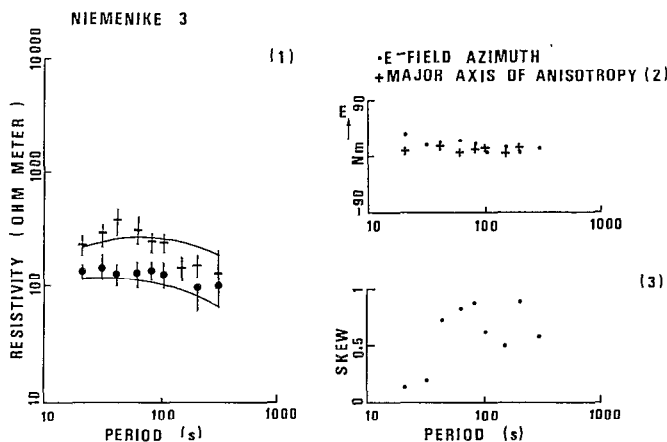


FIG. 4. — Station de Niéméniké. Même nomenclature que la figure 2.

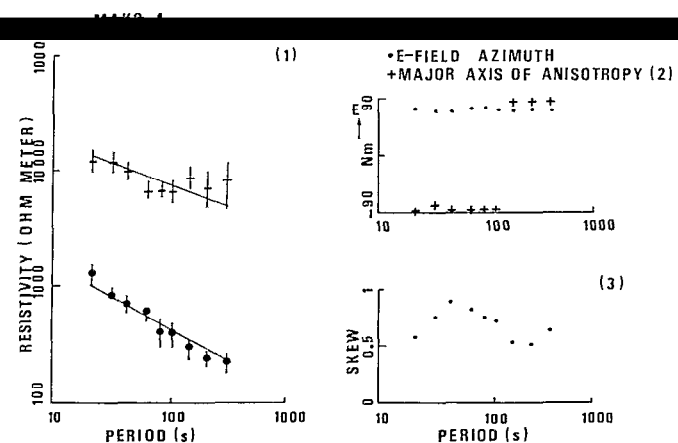


FIG. 5. — Station de Mako. Même nomenclature que la figure 2.

La station 4 se trouve sur le côté résistant d'un contact roches volcaniques biméridien d'azimut N 14° E et la direction de circulation des courants est N 75° E. Cette direction diffère légèrement de celle de l'axe principal d'anisotropie qui est de N 98° E due sans doute à la forte valeur du skew à cette station.

Ainsi pour l'ensemble des stations on constate bien que les courants ont tendance à circuler perpendiculairement au contact lorsque les stations se trouvent du côté résistant (stations 1-2 et 4) et parallèlement au contact lorsque les stations se trouvent du côté conducteur (station 3).

Bien que les valeurs du skew soient importantes pour l'ensemble des stations, c'est-à-dire que des structures à trois dimensions peuvent être présentes, le comportement des courants telluriques dominants semblerait pourtant indiquer que les différents contacts géologiques peuvent tout de même être représentés en première approximation par des contacts à deux dimensions. Pour cette raison,

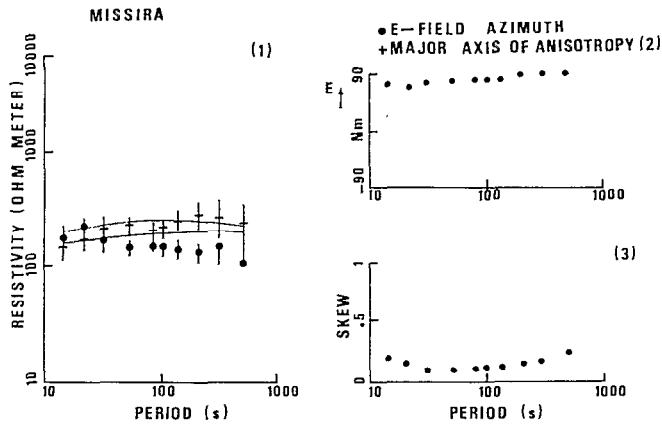


FIG. 6. -- Station de Missira. Même nomenclature que la figure 2.

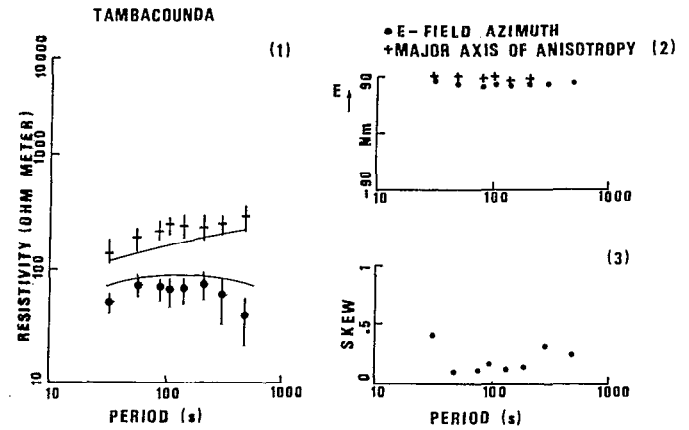


FIG. 7. — Station de Tambacounda. Même nomenclature que la figure 2.

nous avons décidé de faire une interprétation quantitative des résultats au moyen des techniques de modélisation à deux dimensions même si certaines stations présentent des valeurs du skew importantes.

Nous avons représenté sur les figures 6 et 7, deux stations qui ont été effectuées sur le bassin sédimentaire à quelque 130 km de la bordure du craton. Ce sont les stations de Missira et de Tambacounda. Par rapport aux stations situées sur les séries anciennes (stations 1-2 et 4) on note une décroissance importante des résistivités apparentes, la valeur du skew est très faible, en moyenne de l'ordre de 0.1. Aux deux stations, la direction de circulation des courants telluriques dominants est pratiquement identique, de l'ordre de N 80° E et constante dans la gamme de périodes. La station de Missira a un comportement quasiment isotrope, les valeurs des résistivités  $\rho_{\parallel}$  et  $\rho_{\perp}$  sont pratiquement identiques avec une faible valeur du skew. Nous sommes dans les conditions idéales pour l'interprétation pour des modèles à une dimension. La station de Tambacounda, bien qu'ayant une faible valeur du skew est anisotrope, mais nous pouvons l'interpréter pour des modèles à deux dimensions.

De façon à montrer le changement de structures de ces stations par rapport aux sites situés sur des séries plus anciennes nous avons entrepris pour ces deux localités une modélisation à deux dimensions en tenant compte des études effectuées par sondage électrique par la C.G.G. (1957).

Ces sondages donnent une profondeur du substratum résistant de 600 m à Tambacounda et de 477 m à Missira avec une résistivité voisine de 8  $\Omega$ m.

Une coupe à Tambacounda, due à GORODISKI (1955) donne une épaisseur d'environ 600 m pour les sédiments d'origine tertiaire, puis 600 m de schistes et de grès d'origine primaire.

## Interprétation

Nous avons utilisé la méthode de modélisation à deux dimensions de l'Université de l'Utah (STODT, 1978) pour déterminer les courbes de résistivité apparente. Les modèles de conductivité utilisés pour interpréter le diagramme de skew sont basés sur les informations géologiques disponibles dans la région.

Sur ces terrains de sédiments, les modèles théoriques donnent de bons résultats dans des conditions bien définies où la résistivité change abruptement. Cette approche ignore les changements graduels de résistivité qui peuvent exister.

Pour l'ensemble des stations un grand nombre de modèles ont été utilisés pour trouver ceux qui s'adaptent le mieux aux données expérimentales. Pour les stations 1-2 et 3 nous avons dû introduire deux couches conductrices à 30 et 80 km de profondeur pour pouvoir approximer au mieux les résistivités apparentes. Les modèles utilisés sans ces couches conductrices donnent des valeurs de la résistivité apparente beaucoup trop élevées dans la direction du petit axe d'anisotropie. Par contre pour la

station 4, la maintenance de la couche conductrice à 30 km de profondeur donne des valeurs de la résistivité apparente trop faible par rapport aux données expérimentales suivant l'axe mineur d'anisotropie. Pour cette raison, nous avons dû supprimer la première couche conductrice sous la station 4 située sur le craton.

Pour les stations situées sur le bassin sédimentaire, la modélisation bidimensionnelle suggère l'existence de deux couches conductrices à 30 et 80 km de profondeur. Il semble qu'il y ait une continuité de ces couches avec la zone mobile.

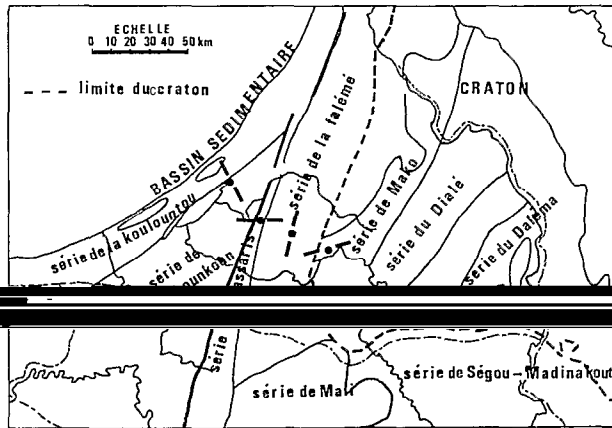
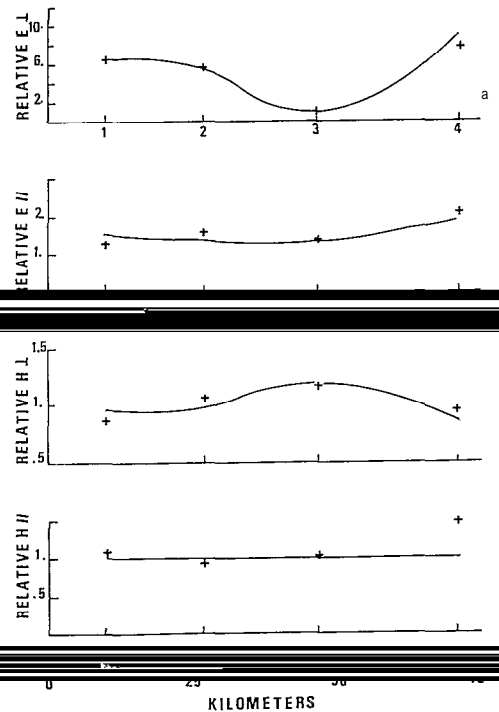


FIG. 8. — Directions préférentielles de circulation des courants telluriques.

FIG. 9. — Amplitudes relatives du signal électromagnétique le long du profil.



croix sont les points expérimentaux pour la période de 40 secondes.

Les résultats de la modélisation sont représentés en trait plein sur les figures 2 (1) à 7 (1). Des modèles réalistes ont ainsi pu être obtenus qui s'adaptent assez bien aux données expérimentales. La figure 9 montre les valeurs relatives des composantes du champ électromagnétique suivant les axes des structures par rapport à une station de référence située sur le bassin sédimentaire (période  $T = 40$  s). Les traits pleins représentent le résultat de la modélisation à deux dimensions. Les variations du champ tellurique le long du profil (fig. 9) suggèrent la présence d'une zone conductrice au niveau de la station 3. Cette anomalie est bien marquée sur la composante  $E_L$  et est atténuée sur la composante  $E_H$ . La présence de cette zone conductrice est également visible sur la composante  $H_L$ . La composante  $H_H$  doit théoriquement rester invariante; on remarque pour la station 4 des effets de structures à trois dimensions (valeur différente de 1).

La figure 10 montre le modèle final obtenu par la modélisation à deux dimensions pour les localités situées sur la bordure du craton. Chaque série géologique est mise en évidence par des blocs de résistivités différentes.

#### 1. ZONE MOBILE : SÉRIES PALÉOZOÏQUES

La station 1 se trouve sur le contact d'un granite ( $1\ 000\ \Omega\text{m}$ ) et de grès ( $70\ \Omega\text{m}$ ). Cet ensemble forme la série de Youkounkoun.



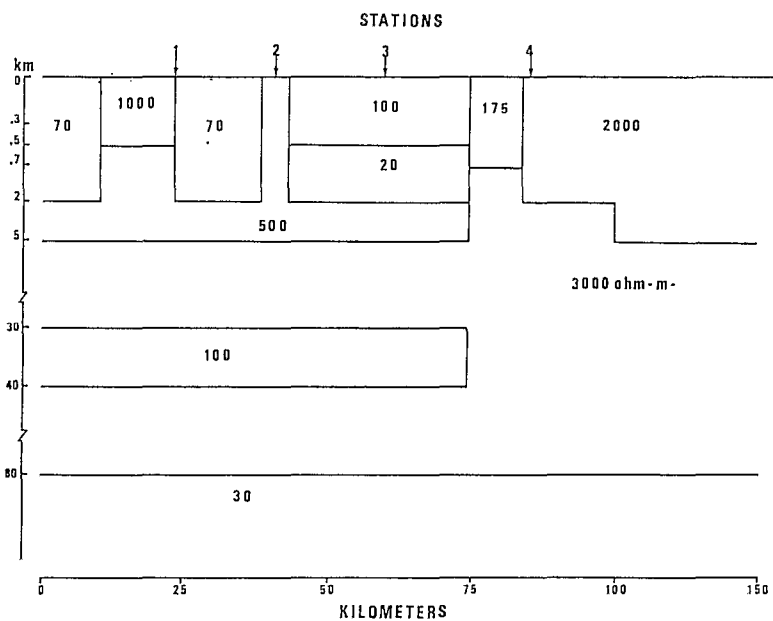


Fig. 10. -- Résultat de la modélisation à deux dimensions le long du profil.

La station 2 est située sur la série des Bassaris formant une bande étroite de 4,5 km de large et formée de schistes.

La station 3 est située dans une fosse profonde avec une couche conductrice de 1 000 m d'épaisseur à une profondeur de 500 m ayant une résistivité de 20  $\Omega\text{m}$ , sans doute des argiles.

L'ensemble des trois stations possède une zone identique ayant une résistivité de 500  $\Omega\text{m}$  et pouvant être en relation avec le complexe volcanique de base des formations paléozoïques.

La croûte est séparée du manteau par une couche légèrement conductrice de 100  $\Omega\text{m}$  ayant une épaisseur de 10 km. La résistivité de la croûte et du manteau supérieur serait de l'ordre de 3 000  $\Omega\text{m}$ .

On constate également l'existence d'une couche conductrice profonde située à 80 km de profondeur avec une résistivité de 30  $\Omega\text{m}$ .

## 2. CRATON : SÉRIES BIRRIMIENNES

La station 4 est située du côté résistant d'un contact entre le birrimien sédimentaire (schistes) et des roches volcaniques. On constate la disparition de la zone conductrice intermédiaire entre la croûte et le manteau supérieur. La couche conductrice profonde existe toujours.

La figure 11 montre le résultat final de la modélisation bi-dimensionnelle pour les deux stations du bassin sédimentaire. On retrouve pratiquement les épaisseurs des sédiments données par le C.G.G. La résistivité des schistes et des grès serait d'environ 500  $\Omega\text{m}$  jusqu'à une profondeur de 1 300 m. Ensuite vient la croûte résistante de 1 000  $\Omega\text{m}$ . La couche conductrice située entre 30 et 40 km de profondeur a une résistivité plus faible que celle trouvée sous les séries paléozoïques.

Au niveau du manteau supérieur, la nature de la couche résistante et de la couche conductrice semble être identique à celle trouvée sous les séries paléozoïques et birrimiennes.

Des études de sondages géomagnétiques effectuées par ALBOUY *et al.* (1981) donnent pour le site de Tambacounda des résultats pratiquement équivalents, à savoir une couche conductrice au niveau croûte-manteau avec une résistivité maximum de 50  $\Omega\text{m}$ . La résistivité du manteau supérieur serait

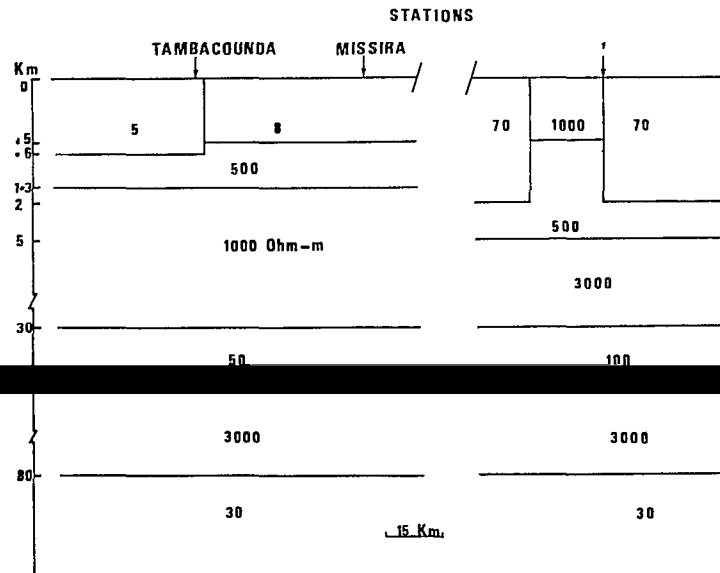


FIG. 11. — Résultat de la modélisation à deux dimensions des deux stations du bassin sédimentaire.

de l'ordre de 2 000  $\Omega\text{m}$ . Par contre la couche conductrice à 80 km de profondeur n'a pas pu être mise en évidence par ces auteurs.

L'introduction d'une couche résistante de 1 000  $\Omega\text{m}$  à partir de 100 km est possible pour les six stations. Pour la période de 300 secondes, les résistivités apparentes calculées d'après les modèles 10 et 11 ne changent pratiquement pas, de l'ordre de 5 %. La confirmation de ce niveau résistant nécessiterait des enregistrements sur de longues périodes pour définir exactement l'épaisseur de cette couche.

## Conclusions

L'étude des variations directionnelles de l'amplitude du champ tellurique nous a donc permis de mettre en évidence la direction des axes des structures.

La direction de circulation des courants telluriques dominants apparaît être liée à la géologie locale.

Les résultats des amplitudes relatives du champ tellurique ont montré que cette étude donne de bons résultats pour la détection de zones conductrices, en particulier sur la composante  $E_{\perp}$ .

Le phénomène est atténué sur la composante  $E_{\parallel}$ .

L'interprétation des données magnéto-telluriques à l'aide d'une modélisation à deux dimensions suggère l'existence d'une couche conductrice profonde dans le manteau supérieur sur l'ensemble du profil. Un autre fait important est la disparition de la couche conductrice intermédiaire au niveau du craton.

D'autres études faites sur la bordure orientale du craton semblent montrer que le même phénomène existe pour cette couche (RITZ, 1981). On notera également l'existence d'une couche conductrice superficielle dans la série de la Falémé.

## REMERCIEMENTS

Je remercie particulièrement le Professeur K. VOZOFF ainsi que le Docteur WEAVER pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans la réalisation des modèles à deux dimensions.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M. le 5 novembre 1981*

## BIBLIOGRAPHIE

- ALBOUY (Y.), BARSCZUS (H. G.), et CANER (B.), 1981. — Sondages géomagnétiques préliminaires dans l'Ouest Africain. O.R.S.T.O.M., *Géophys.* : n° 16 : 3-25.
- BASSOT (J.-P.), 1966. — Étude géologique du Sénégal Oriental et de ses confins guinéo-maliens. *Mémoires du B.R.G.M.*, 40.
- CANTWELL (T.), 1960. — Detection and analysis of low frequency magneto-telluric signals. *Ph. D. Thesis MIT*.
- C.G.G., 1957. — Sondages électriques au Sénégal, en Mauritanie et en Casamance.
- GORODISKY (A.), 1955. — Rapport de fin de sondage de Tombouctou. Direction Fédérale des Mines de la Géologie de l'A. O. F.
- KURTZ (R. E.) and SHERMAN (W. E.), 1970. — Magnetotelluric measurements in Eastern Canada. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 49 : 321-347.
- MOSNIER (J.) et YVETOT (P.), 1972. — Nouveau type de variomètre à aimant asservi en direction. *Ann Geophys.*, 28 : 219-224.
- REDDY (I. K.), PHILLIPS (R. J.), WHITCOMB (J. H.) and RANKIN (D.), 1977. — Electrical structure in a region of the transverse ranges. *Southern California Earth and Planetary Sciences Letters*, 34 : 313-320.
- RITZ (M.), 1981. — La distribution de la conductivité électrique sur la bordure orientale du craton ouest-africain (République du Niger). En préparation.
- SCHHEELKE (I.), 1974. — Models for the resistivity distribution from magneto-telluric soundings. Approaches to Taphrogenesis, *Scientific Report*, n° 8.
- STODT (J. A.), 1978. — Documentation of a limite of a finite element program for solution of geophysical problems governed by the inhomogeneous 2D scalar Helmolz equation, University of Utah.
- SWIFT (C. M.), 1967. — A magneto-telluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the Southwestern United States. Ph. D., Thesis, *Geophysics Laboratory, MIT*.
- VOZOFF (K.), 1972. — The magneto-telluric method in the exploration of sedimentary basins. *Geophysics*, 37 : 98-141.