

Étude régionale magnéto-tellurique des structures de la conductivité électrique sur la bordure occidentale du craton ouest africain en République du Sénégal

M. RITZ

Centre Géophysique, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer de Mbour, B.P. 50, Mbour, Sénégal

Reçu le 15 juillet 1981

Révision acceptée le 29 janvier 1982

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 Mbour, le long d'un profil approximativement est-ouest. Ce profil comprend quatre stations espacées d'une vingtaine de kilomètres. L'objet de cet article est l'analyse et l'interprétation des données obtenues. On a limité les données magnéto-telluriques à la bande de période allant de 20 à 300 s. Ces 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 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.

La présence d'une zone conductrice dans la croûte de la zone mobile peut être interprétée comme étant dûe à un processus d'hydratation. Sur le craton, la croûte est devenue deshydratée et le niveau conducteur est absent.

Magnetotelluric soundings were carried out in the Senegal Republic on the western border of the west African craton by a team of geophysicists from Mbour's Observatory, along an approximately east-west profile. This profile includes four stations about 20 km apart. The purpose of this paper is to analyse and interpret the obtained data. The magnetotelluric data were restricted to a period range of 20-300 s. The measurements were performed individually with a reference station located in the sedimentary basin at approximately 130 km from the craton border, and they allowed one to calculate the amplitude ratios of the electromagnetic field components at the mobile stations. A two-dimensional model indicates the presence of a deep conducting layer at a depth of 80 km for the four stations. For the three stations located on the craton border the introduction of a conducting layer at a depth of 30 km permits a better approximation of the data. On the other hand, the presence of a conducting layer underneath the fourth station located on the craton is not justified by the two-dimensional model.

The presence of a conducting zone in the mobile zone crust seems to have resulted from a hydration process. On the craton, the crust became hydrated and the conducting level is not present.

[Journal translation]

Can. J. Earth Sci., 19, 1408-1416 (1982)

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 faible résistivité. Kurtz et Garland (1976) mettent en évidence un changement important de la conductivité entre le plateau précambrien et la région nord des Appalaches en Amérique du Nord (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. À cet effet une série de mesures magnéto-telluriques ont été effectuées 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 faits 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 (Hermance et Thayer 1975). 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 1 et sur la figure 1. (La station de référence située sur le bassin sédimentaire n'est pas représentée sur la figure 1.)

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

TABLEAU 1. Position géographique des stations

Indicatif de la station	Nom de la station	Latitude (N)	Longitude (O)
Référence	Missira	13°30'	13°30'
1	Parce	13°07'	12°55'
2	Niokolo-Koba	12°58'	12°44'
3	Niéméniké	12°55'	12°37'
4	Mako	12°51'	12°26'

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 est constituée par un bassin sédimentaire dont les terrains s'étagent du Tertiaire au Quaternaire.

Dans cette partie du Sénégal coexistent deux zones tectoniques différentes: à l'ouest, les formations paléozoïques mises en place il y a environ 500 Ma et correspondant à la partie occidentale de la zone mobile de l'Afrique de l'ouest; à l'est des formations plus anciennes (séries birrimiennes) figées depuis 2 Ga et correspondant au craton ouest africain.

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:

(1) Série de Youkounkoun

Cette série a été plissée, son flanc est est recoupé par une faille qui la sépare de la série des Bassaris. Les différents éléments de la série comprennent des grès et un complexe volcanique de base. Les grès forment des massifs allongés sur un axe nord-est, ils constituent l'élément dominant de la série. Cette mise en place s'est sans doute effectuée dans la mer. L'épaisseur des terrains non métamorphiques dépasserait 3000 m.

Sur le flanc ouest de la série, on signale la présence au milieu du complexe volcanique, d'un granite de direction nord-est qui appartient probablement au socle. La station 1 est située sur le contact granite-grès de la série.

(2) Série des Bassaris

Elle forme une bande étroite allongée sud-sud-ouest-nord-nord-est. Cette série, violemment tectonisée, est légèrement métamorphique. Elle est constituée de schistes et de facies paléovolcaniques. La station 2 est située sur cette série.

(3) Série de la Falémé

Cette série orientée nord-nord-est-sud-sud-ouest 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 pelites 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 2300 m à la hauteur du 13ème 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 nord-nord-est. 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 composantes H et D du champ magnétique (Mosnier et Yvetot 1972). Ce sont des variomètres horizontaux à aimant suspendu avec contre-réaction ayant une sensibilité de 10 mV. 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 avant d'arriver au système d'enregistrement composé de deux enregistreurs graphiques "Sefram." Le même appareillage existe à la station mobile et à la station de référence.

Les meilleurs enregistrements sont ensuite numérisés avec un pas de 3 s.

Méthode d'analyse

À une station donnée nous admettons avec Cantwell (1960) et Vozoff (1972) que les composantes horizontales du champ électrique induit E sont reliées aux composantes horizontales du champ magnétique H par un tenseur d'impédance Z (Cantwell 1960; Vozoff 1972)

$$E_1 = Z_{11}H_1 + Z_{12}H_2$$

$$E_2 = Z_{21}H_1 + Z_{22}H_2$$

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 découplé

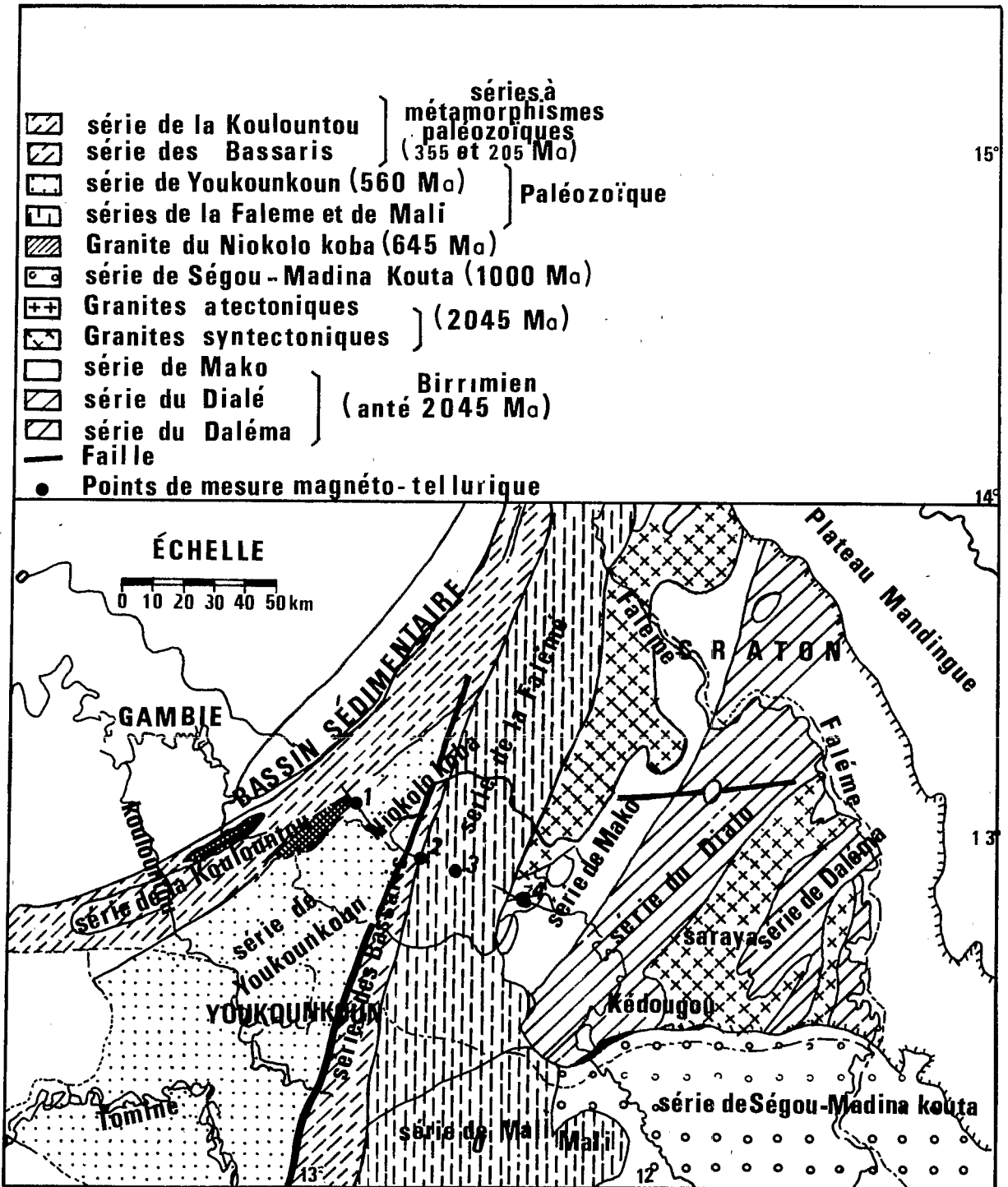


Fig. 1. Carte géologique simplifiée montrant les formations précambriennes et paléozoïques du Sénégal oriental. La direction préférentielle de circulation des courants telluriques est montrée à chaque station par un trait discontinue.

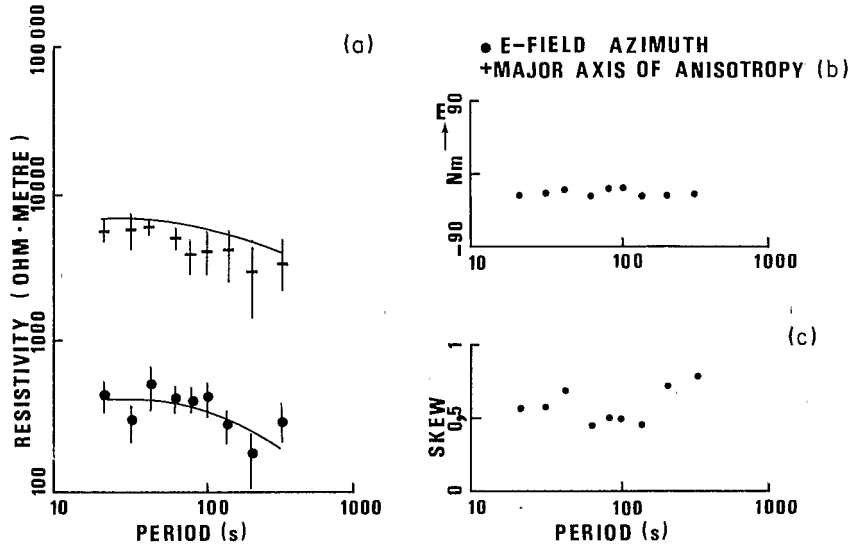


FIG. 2. Station Parc (1). (a) Les croix et les points sont les valeurs de la résistivité calculées suivant les axes principaux. La courbe en trait plein représente le résultat de la modélisation à deux dimensions. (b) Les points représentent l'angle de polarisation des courants telluriques correspondant 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. (c) Les points représentent la variation du skew en fonction de la période; c'est un invariant.

en deux modes représentés par

$$E_1' = Z_{\parallel} H_2' \quad E_2' = Z_{\perp} H_1'$$

À partir des impédances principales Z_{\parallel} 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

$$\rho_{\parallel} = 0,2T|Z_{\parallel}|^2 \quad \rho_{\perp} = 0,2T|Z_{\perp}|^2$$

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 existaient 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 conductrice.

Résultats et analyse des données

Pour chaque station, les résistivités apparentes suivant les axes principaux, la direction de l'axe principal, le skew et la direction préférentielle de circulation des courants telluriques sont déterminés et représentés sur les figures 2-5. Pour la figure 2b la direction de l'axe principal d'anisotropie est confondue avec la direction préférentielle de circulation des courants telluriques. Nous avons également calculé les barres d'erreur pour les résistivités apparentes 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 conductivité latérale.

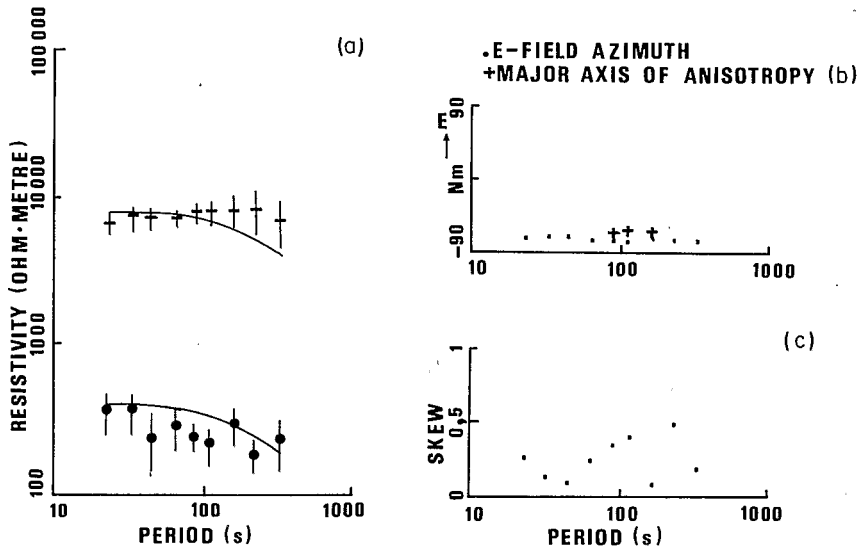


FIG. 3. Station de Niokolo-Koba (2). Même nomenclature que la figure 2.

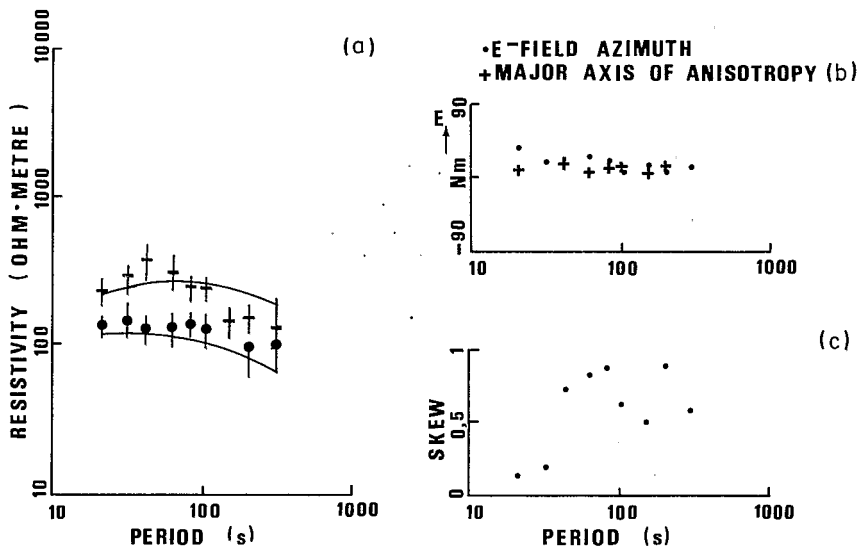


FIG. 4. Station Niéméniké (3). Même nomenclature que la figure 2.

La station 1 se trouve apparemment du côté résistant d'un contact granite-grès d'azimut N45°E, la direction de circulation des courants telluriques dominants est N25°O. La station 2 est située pratiquement au milieu de la série des Bassaris de direction N15°E et la direction de circulation des courants est N83°O. La station 3 est située dans la série de la Falémé de direction générale N15°E, la circulation des courants est N15°E. La station 4 se trouve sur le côté résistant d'un contact roches volcaniques-birimien d'azimut N14°E et la direction de circulation des courants est N75°E. Cette direction diffère légèrement de celle de l'axe principal d'aniso-

tropie qui est de N98°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

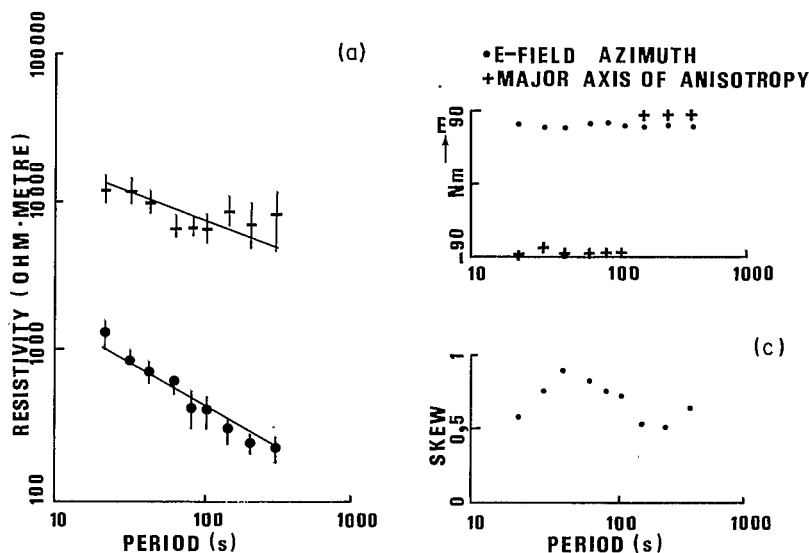


FIG. 5. Station de Mako (4). Même nomenclature que la figure 2.

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, 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.

Interprétation et discussion

Nous avons utilisé la méthode de modélisation à deux dimensions de l'Université de Utah (Stodt 1978) pour déterminer les courbes de résistivité apparente. Les violentes fluctuations dans les phases ne permettent pas une interprétation raisonnable et nous n'en avons pas tenu compte dans cet article.

Le modèle initial pour les structures de sub-surface est basé sur les données géologiques et gravimétriques effectuées dans la région (Creen et Rechenmann 1965). Pour les couches profondes, nous avons choisi des résistivités vraies en relation avec celles obtenues sur les plateformes et les boucliers stables (Dowling 1970; Tammemagi and Lilley 1973; Vanyan 1981). La couche conductrice à 80 km de profondeur a été suggérée en particulier par les travaux de Schmucker et Jankowski (1971) qui ont constaté sur la majeure partie des continents une diminution importante de la résistivité électrique entre 60 et 120 km de profondeur.

Ce modèle de départ ainsi conçu avec des résistivités vraies en fonction de la profondeur, permet le calcul des résistivités apparentes théoriques et on les compare avec les résistivités apparentes mesurées. Le modèle est successivement amélioré jusqu'à une bonne adaptation entre les résistivités calculées et mesurées. Nous n'avons pas essayé de voir si un modèle différent

dans sa géométrie ne conduisait pas à des résultats équivalents c'est-à-dire à l'intérieur des barres d'erreur expérimentales. Nous pouvons dire seulement que la MT n'infirme pas le modèle. Mais elle ne le justifie pas non plus.

À partir du manteau supérieur entre 40 et 80 km de profondeur des valeurs de la résistivité prise entre 1000 et 5000 $\Omega \cdot m$ s'adapte encore aux résistivités apparentes mesurées (on se trouve toujours à l'intérieur des barres d'erreur). Le niveau conducteur dans la croûte inférieure entre 30 et 40 km de profondeur dans la zone mobile est par contre violemment contraint par le mode TE. À la période de 30 s la suppression de cette couche entraîne une augmentation de près de 80% de la résistivité apparente calculée, c'est-à-dire que nous sommes largement en dehors de la déviation standard. Pour le mode TM la différence est beaucoup moindre, de l'ordre de 20% en plus par rapport au modèle avec la couche conductrice.

Les résultats de la modélisation sont représentés en trait plein sur les figures 2a-5a. Des modèles réalistes ont ainsi pu être obtenus qui s'adaptent assez bien aux données expérimentales. La figure 6 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. 6) suggèrent la présence d'une zone conductrice au niveau de la station 3. Cette anomalie est bien marquée sur la composante E_{\perp} et atténuée sur la composante E_{\parallel} . La présence de cette zone conductrice est également visible sur la composante H_{\perp} . La composante H_{\parallel} doit théoriquement

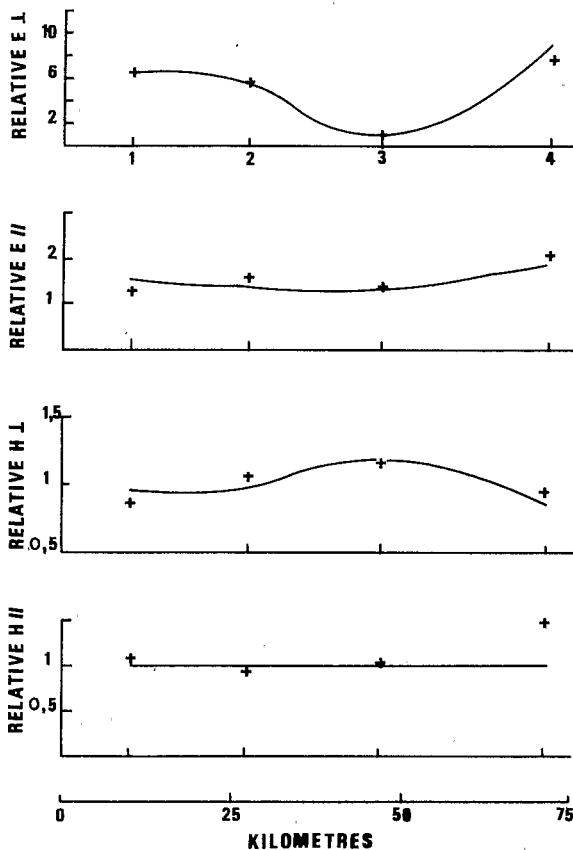


FIG. 6. Amplitudes relatives du signal électromagnétique le long du profil. La courbe en trait plein représente le résultat de la modélisation à deux dimensions avec une station de référence située sur le bassin sédimentaire. Les croix sont les points expérimentaux pour la période de 40 s.

rester invariante, on remarque pour la station 4 des effets de structures à trois dimensions (valeur différente de 1).

La figure 7 montre le modèle final obtenu par la modélisation à deux dimensions. 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 ($1000 \Omega \cdot m$) et de grès ($70 \Omega \cdot m$). Cet ensemble forme la série de Youkounkoun. 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 1500 m d'épaisseur à une profondeur de 500 m ayant une résistivité de $20 \Omega \cdot m$, sans doute des argiles. L'ensemble des trois stations possède une zone identique avec une résistivité de $500 \Omega \cdot m$ et pourrait correspondre avec le complexe volcanique de base des formations paléozoïques. La croûte est séparée du manteau par une couche légèrement conductrice de $100 \Omega \cdot m$ ayant une

épaisseur de 10 km. La résistivité de la croûte et du manteau supérieur serait de l'ordre de $3000 \Omega \cdot m$. On constate également l'existence d'une couche conductrice profonde située à 80 km de profondeur avec une résistivité de $30 \Omega \cdot m$.

(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 présence de roches hydratées avec ou sans association de fusion partielle est l'interprétation la plus fréquente pour les niveaux conducteurs de la partie inférieure de la croûte (Hyndman et Hyndman 1968; Caner 1970). Le manteau supérieur quand à lui est principalement constitué de roches ultramafiques comme l'olivine et la péridotite, la résistivité électrique de ces matériaux dépend fortement de la température. Ainsi d'après les études effectuées par Volarovich and Parkhomenko (1976), on constate pour ces roches une chute brutale de la résistivité de plusieurs décades à une profondeur de 70–80 km à une température de $850^\circ C$.

Le craton semble être caractérisé par une zone de haute résistivité s'étendant de la surface jusqu'à 80 km de profondeur. Le fait que nous retrouvons la même résistivité dans la croûte inférieure de la zone mobile suggère qu'il existe également du matériau d'origine cratonique dans cette région. Pour les stations 1 et 2, on constate en surface une zone modérément résistante qui pourrait correspondre à des roches métamorphiques intensément déformées et fracturées (grès et schistes), elle correspond avec l'anomalie de Bouguer positive. Pour la station 3, le modèle suggère une zone de sédiments non métamorphisés et volcaniques (anomalie de Bouguer négative). Une surprise étonnante est qu'une portion de la croûte inférieure dans la zone mobile soit conductrice. Elle pourrait être en relation avec la présence d'eau dans cette région. Ceci semble en contradiction avec les zones de plateformes et de boucliers stables. D'après Hyndman et Hyndman (1968) dans ces régions la croûte est devenu déshydratée à travers les processus métamorphiques et le niveau conducteur dans la croûte est en principe absent. La zone du craton semble par contre correspondre à ce schéma. La présence d'une telle couche dans la croûte inférieure de la zone mobile peut suggérer que le processus de développement de la croûte continentale n'est pas terminée.

Concernant les deux niveaux conducteurs dans la croûte inférieure et le manteau supérieur, on constate que Van Zijl (1977) met en évidence également deux couches conductrices dans différentes provinces tecto-

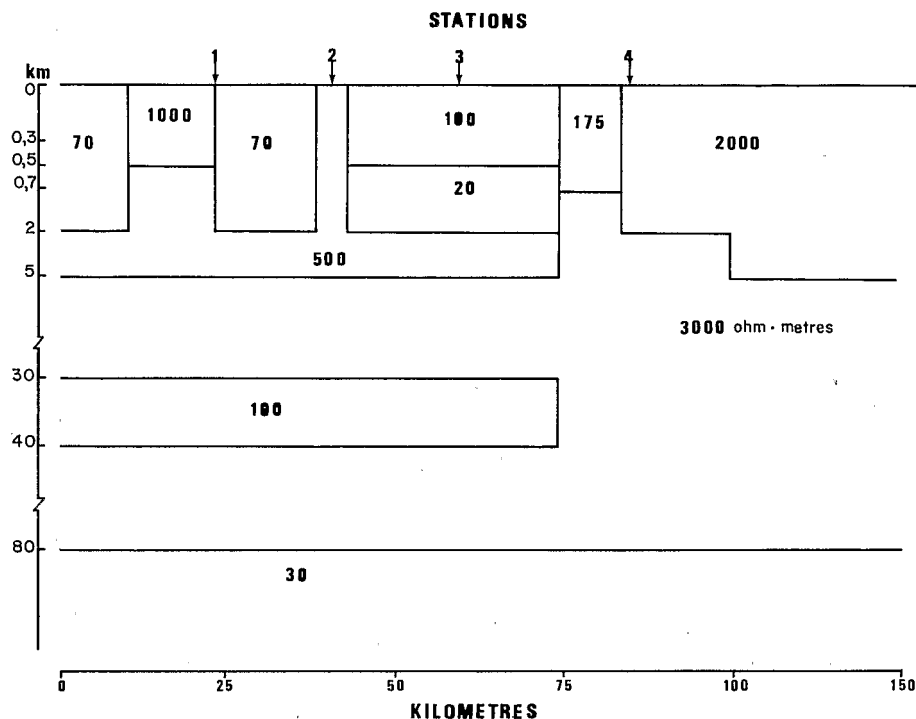


FIG. 7. Résultat de la modélisation à deux dimensions le long du profil.

niques en Afrique du Sud (Rhodesian and Kaapvaal cratons et Limpopo Mobile Belt) entre 25 et 40 km de profondeur et à partir de 90 km dans le manteau supérieur. Il semble que la présence de deux couches conductrices à l'intérieur du bouclier ouest africain ne soit pas l'exception en Afrique.

Des études sismiques récentes effectuées sur la marge du craton ouest africain par Briden *et al.* (1981) ont montré des contrastes de vitesse entre 80 et 220 km de profondeur. Ce contraste de vitesse à 80 km de profondeur pourrait être en relation avec la couche conductrice du manteau supérieur obtenue par sondage magnéto-tellurique.

Des études de sondages géomagnétiques profonds (GDS) effectuées par Albouy *et al.* (1981) donnent des résultats pratiquement équivalents pour la zone mobile et le craton ouest africain, à savoir la présence d'une couche conductrice dans la zone mobile située à l'interface croûte - manteau supérieur avec une résistivité de $50 \Omega \cdot m$ et sa disparition sous le craton.

Conclusions

A l'aide d'une modélisation à deux dimensions nous avons pu trouver un modèle qui s'adapte d'une façon satisfaisante aux données expérimentales et ceci malgré la forte anisotropie constatée à chaque station.

L'utilisation de la méthode magnéto-tellurique sur le bouclier ouest africain a permis la différenciation de deux provinces tectoniques majeures. La zone mobile de

l'Afrique de l'ouest est caractérisée par une couche conductrice au niveau de l'interface croûte - manteau supérieur, la résistivité de cette zone est de l'ordre de $100 \Omega \cdot m$. Une des causes possibles de l'augmentation de la conductivité dans cette région pourrait être due au phénomène d'hydratation ou à une fusion partielle des roches. Le craton stable depuis le Précambrien est marqué par une zone continue de haute résistivité dans la croûte et le manteau supérieur. La présence d'une croûte résistante dans la zone mobile suggère la présence de matériau cratonique dans cette région. Sur l'ensemble du profil le manteau supérieur est caractérisé par une importante couche de haute résistivité qui devient plus conductrice quand la profondeur et la température augmentent. On constate une chute brutale de la conductivité vers 80 km de profondeur.

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.

ALBOUY, Y., BARSCZUS, H. G., et CANER, B. 1981. Sondages géomagnétiques préliminaires dans l'Ouest Africain. Cahiers ORSTOM, Série Géophysique, 16, pp. 3-25.

BASSOT, J. P. 1966. Etude géologique du Sénégal oriental et de ses confins guinéo-maliens. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, N° 40, pp. 106-244.

BRIDEN, J. C., WHITCOMBE, D. N., STUART, G. W.,

- FAIRHEAD, J. D., DORBATH, C., et DORBATH L. 1981. Depth of geological contrast across the west African craton margin. *Nature*, **292**, pp. 123-128.
- CANER, B. J. 1970. Electrical conductivity structure in western Canada and petrological interpretation. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, **22**, pp. 113-129.
- CANTWELL, T. 1960. Detection and analysis of low frequency magnetotelluric signals. Ph. D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- GREEN, Y., et RECHENMANN, J. 1965. Mesures gravimétriques et magnétiques au Sénégal et en Mauritanie Occidentale. *Cahiers ORSTOM, série Géophysique*, **6**, pp. 1-59.
- DOWLING, F. L. 1970. Magnetotelluric measurements across the Wisconsin Arch. *Journal of Geophysical Research*, **75**(14), pp. 2683-2698.
- HERMANCE, J. F., et THAYER, R. E. 1975. The telluric-magnetotelluric method. *Geophysics*, **40**(4), pp. 664-668.
- HYNDMAN, R. D., et HYNDMAN, D. W. 1968. Water saturation and high electrical conductivity in the lower continental crust. *Earth and Planetary Science Letters*, **4**, pp. 427-432.
- KURTZ, R. D., et GARLAND, G. D. 1976. Magnetotelluric measurements in eastern Canada. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, **45**, pp. 321-347.
- MOSNIER, J., et YVETOT, P. 1972. Nouveau type de variomètre à aimant asservi en direction. *Annales de Géophysique*, **28**, pp. 219-224.
- REDDY, I. K., PHILLIPS, R. J., WHITCOMB, J. H., et RANKIN, D. 1977. Electrical structure in a region of the transverse ranges, southern California. *Earth and Planetary Science Letters*, **34**, pp. 313-320.
- SCHEELKE, I. 1974. Models for the resistivity distribution from magnetotelluric soundings. Approaches to taphrogenesis. Inter-Union Commission on Geodynamics, Scientific Report n°8.
- SCHMUCKER, U., et JANKOWSKI, J. 1971. Geomagnetic induction studies and the electrical state of the upper mantle. *Tectonophysics*, **13**, pp. 233-256.
- STODT, J. A. 1978. Documentation of a finite element program for solution of geophysical problems governed by the inhomogeneous 2D scalar Helmholtz equation. Department of Geology and Geophysics, University of Utah, Salt Lake City, UT, Report AER 76-11155.
- SWIFT, C. M. 1967. A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States. Ph. D. thesis, Geophysics Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- TAMMAMAGI, H. Y., et LILLEY, F. E. M. 1973. A magnetotelluric traverse in southern Australia. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, **31**, pp. 433-445.
- VANYAN, L. L. 1981. Deep geoelectrical models: geological and electromagnetic principles. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **25**, pp. 273-279.
- VAN ZIJL, J. S. V. 1977. Electrical studies of the deep crust in various tectonic provinces of southern Africa. In *The Earth's crust*. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series, **20**, pp. 470-500.
- VOLAROVICH, M. P., et PARKHMENKO, E. I. 1976. Electrical properties of rocks at high temperatures and pressures. *Akademiai Kiado Budapest, Geoelectric and Geothermal Studies, KAPG Geophysical Monograph*, pp. 320-369.
- VOZOFF, K. 1972. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins. *Geophysics*, **37**, pp. 98-141.

Reprinted from

Canadian Journal of Earth Sciences

Réimpression du



Journal canadien des sciences de la terre

**Étude régionale magnéto-tellurique des
structures de la conductivité électrique sur la
bordure occidentale du craton ouest africain en
République du Sénégal**

M. RITZ

Volume 19 • Number 7 • 1982

Pages 1408-1416



National Research
Council Canada

Conseil national
de recherches Canada

Canada **C.R.S.T.O.M.**

Fonds Documentaire

N° : 82/82/02164

Cote : B-2164

Date : 29 DEC. 1982

B- [redacted]