

ANOMALIES DES TEMPS DE PROPAGATION DES ONDES P

Catherine et Louis DORBATH

Géophysiciens ORSTOM, BP 893, Bangui, Empire Centrafricain

RÉSUMÉ

Les résidus des temps de propagation des ondes P ont été calculés aux stations permanentes et temporaires installées au Sénégal. Une variation d'ouest en est de l'ordre de 2s a été mise en évidence; cette variation est très rapide entre Tambacounda et Kédougou, c'est-à-dire lors du passage du bassin sédimentaire au craton. Cette région va être étudiée de façon plus détaillée en collaboration avec l'Université de Leeds.

ABSTRACT

ANOMALY OF P WAVES PROPAGATION TIME IN SENEGAL

The residues of P waves propagation time were calculated at permanent and temporary stations in Senegal. A 2 seconds variation from west to east has been pointed out. This variation is very important between Tambacounda and Kedougou, i.e. between mobile zone and Craton. This area will be studied in a more detailed way with the University of Leeds.

Introduction

Depuis une quinzaine d'années plusieurs stations sismiques équipées d'un sismographe vertical courte-période ont été temporairement mises en service au Sénégal par les soins de l'ORSTOM. Ces stations, dont l'installation a été faite sous la responsabilité de Y. CRENN et J. METZGER en particulier, ont fonctionné entre quelques semaines et quelques mois, à l'exception de celle de Kedougou qui fournit des enregistrements de façon permanente depuis 1974. Elles étaient à l'origine essentiellement destinées à étudier l'agitation sismique au Sénégal afin de déterminer le site le plus favorable à l'implantation d'une station permanente, annexe à l'Observatoire de M'Bour (GUILLON 1970). Les enregistrements effectués au cours de ces missions sont cependant suffisamment nombreux et d'assez bonne qualité pour qu'on ait pu entreprendre l'étude des anomalies des temps de propagation de l'onde P en ces différents sites.

De très nombreux travaux ont porté sur les anomalies des temps de propagation et sur les structures de la croûte et du manteau supérieur qui en sont à l'origine. Citons en particulier TRYGVARSON (1964), CARDER *et al.* (1966) CLEARY ET HALES (1966). HERRIN et TAGGART (1968) HALES (1972), KURITA (1976), etc. De ces différentes études plusieurs éléments ressortent (KURITA, 1976) :

- Les variations des résidus des temps de propagation apparaissent nettement avoir une origine régionale.
- Ces variations régionales des résidus pour les télé-séismes (c'est-à-dire pour des distances supérieures à 30°) ne peuvent généralement pas être expliquées par les seules différences crustales; des différences dans la structure du manteau supérieur — jusqu'à quelques centaines de kilomètres — doivent être introduites dans cette explication. De ce fait l'étude des variations régionales des résidus constitue une des méthodes d'observation des variations de structure du manteau supérieur.

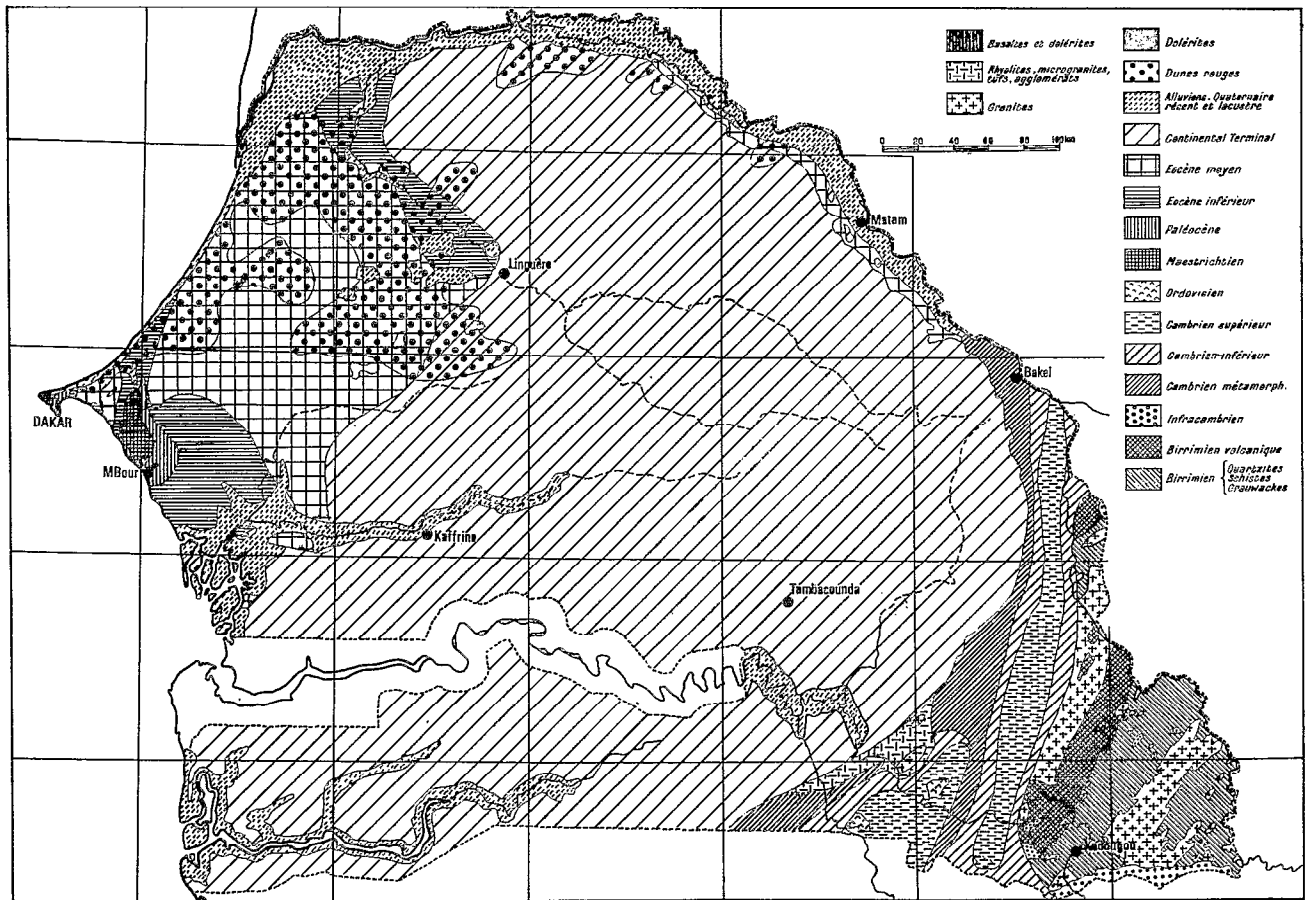


FIG. 1. — Carte géologique du Sénégal avec situation des stations sismologiques.

TABLEAU I

Nom de la station	Période de fonctionnement	Coordonnées	Formation géologique
M'Bour	Permanente depuis 1950	14.3908 N 10.9547 W	Paléocène (tertiaire)
Kaffrine	Avril/mai 1961	14.1500 N 15.5000 W	Continental Terminal (tertiaire)
Linguere	Février/juin 1963	15.4083 N 15.1194 W	Continental Terminal (tertiaire)
Tambacounda	Mai/juin 1964	13.7583 N 13.6767 W	Continental Terminal (tertiaire)
Matam	Sept./octobre 1961	15.6283 N 13.3317 W	Eocène moyen (tertiaire)
Bakel	Permanente depuis novembre 1976	14.9027 N 12.4648 W	Cambrien (primaire)
Kedougou	Permanent depuis 1974	12.5533 N 12.1917 W	Birrimien (précambrien)

— Il n'est évidemment pas possible de déduire les structures de la croûte et du manteau supérieur de façon unique par la seule étude des anomalies des temps de propagation qui intègrent les résultats de plusieurs effets. Il nous a cependant paru intéressant d'entreprendre ce travail qui peut marquer une première étape dans la connaissance de ces structures au Sénégal, connaissance qui fait à peu près totalement défaut à l'heure actuelle.

Données

On trouvera sur la fig. 1 la situation des stations sur le territoire sénégalais, les données les concernant sont résumées dans le tableau I.

Ces stations étaient généralement équipées d'un sismographe vertical Grenet-Coulomb de 1s de période propre couplé à un galvanomètre de 0.45s de période propre. L'enregistrement s'effectuait photographiquement avec des vitesses de déroulement de 30 mm/mn ou 60 mm/mn. Les corrections d'heure étaient faites deux fois par jour en moyenne. Compte tenu de tous ces éléments on peut estimer l'erreur commise sur l'heure d'arrivée des phases comme sensiblement inférieure à 0.5s.

Les données relatives aux séismes ont été extraites des bulletins mensuels de l'ISC (anciennement ISS). On n'a conservé que les séismes de magnitude assez grande pour que le pointé de la phase P ne souffre pas d'ambiguïté et qu'ils aient été enregistrés par un nombre suffisamment élevé de stations dans le monde pour que leurs coordonnées, profondeur et heure origine soient déterminées avec une bonne précision. L'ouverture de Bakel est trop récente pour qu'on ait pu utiliser les données de l'ISC, aussi s'est-on servi des PDE du NEIS pour cette station. Ceci ne doit pas modifier sensiblement les résultats, au moins statistiquement.

Résultats

Le résidu R du temps de propagation de l'onde P en une station à la distance Δ est :

$$R = t_0 - t_T(\Delta) - \epsilon(\Delta) - h \cos i / \alpha$$

où : t_0 est le temps de propagation observé

t_T le temps de propagation calculé à partir de la table T

$\epsilon(\Delta)$ la correction d'ellipticité à la distance Δ

$h \cos i / \alpha$ est le temps correctif de l'altitude h de la station, i l'angle d'incidence et α la vitesse locale des P.

La correction d'ellipticité a été effectuée, mais pas celle d'altitude puisqu'on ne connaissait pas les vitesses locales α sous toutes les stations. Etant donné l'absence de relief marqué au Sénégal cette correction est faible (quelques centièmes de seconde). Une estimation de l'erreur sur la moyenne des résidus en chaque station est donnée dans le tableau II.

TABLEAU II

Station	Nombre de données	Moyennes des résidus	Erreur standard
M'Bour	165	1.06	0.12
Kaffrine	12	1.24	0.43
Linguere	60	0.83	0.20
Tambacounda	31	0.52	0.28
Matam	28	0.44	0.21
Bakel	62	— 0.58	0.17
Kedougou	107	— 1.12	0.11

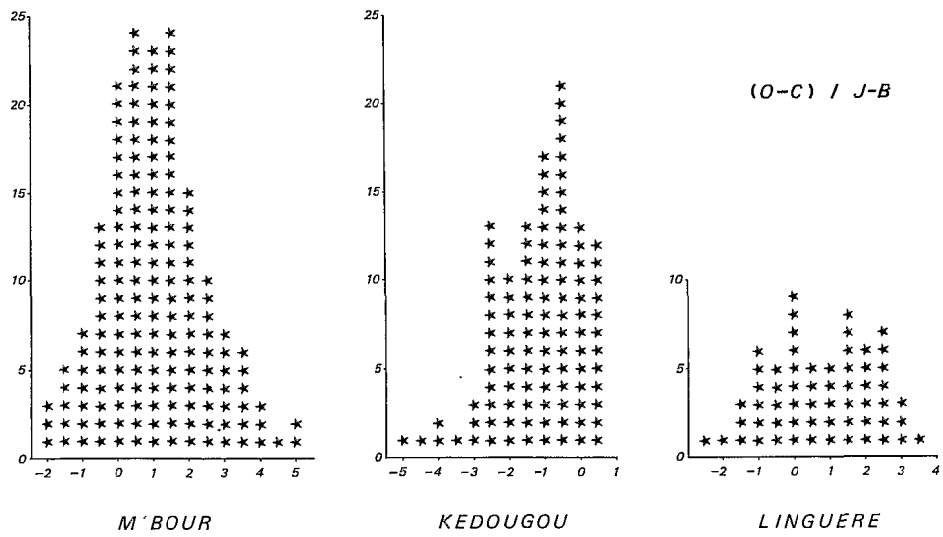


FIG. 2. — Histogrammes des résidus des ondes P aux stations de M'Bour, Kedougou et Linguere.

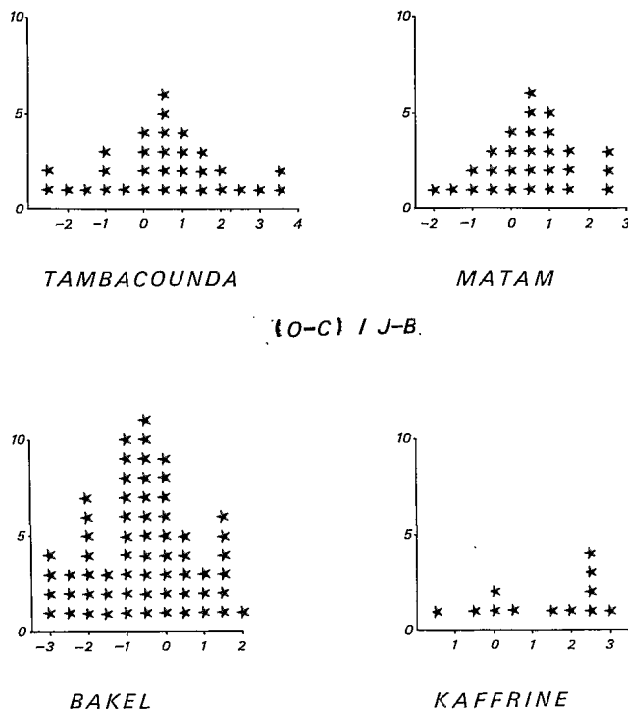


FIG. 3. — Histogrammes des résidus des ondes P aux stations de Tambacounda, Matam, Bakel et Kaffrine.

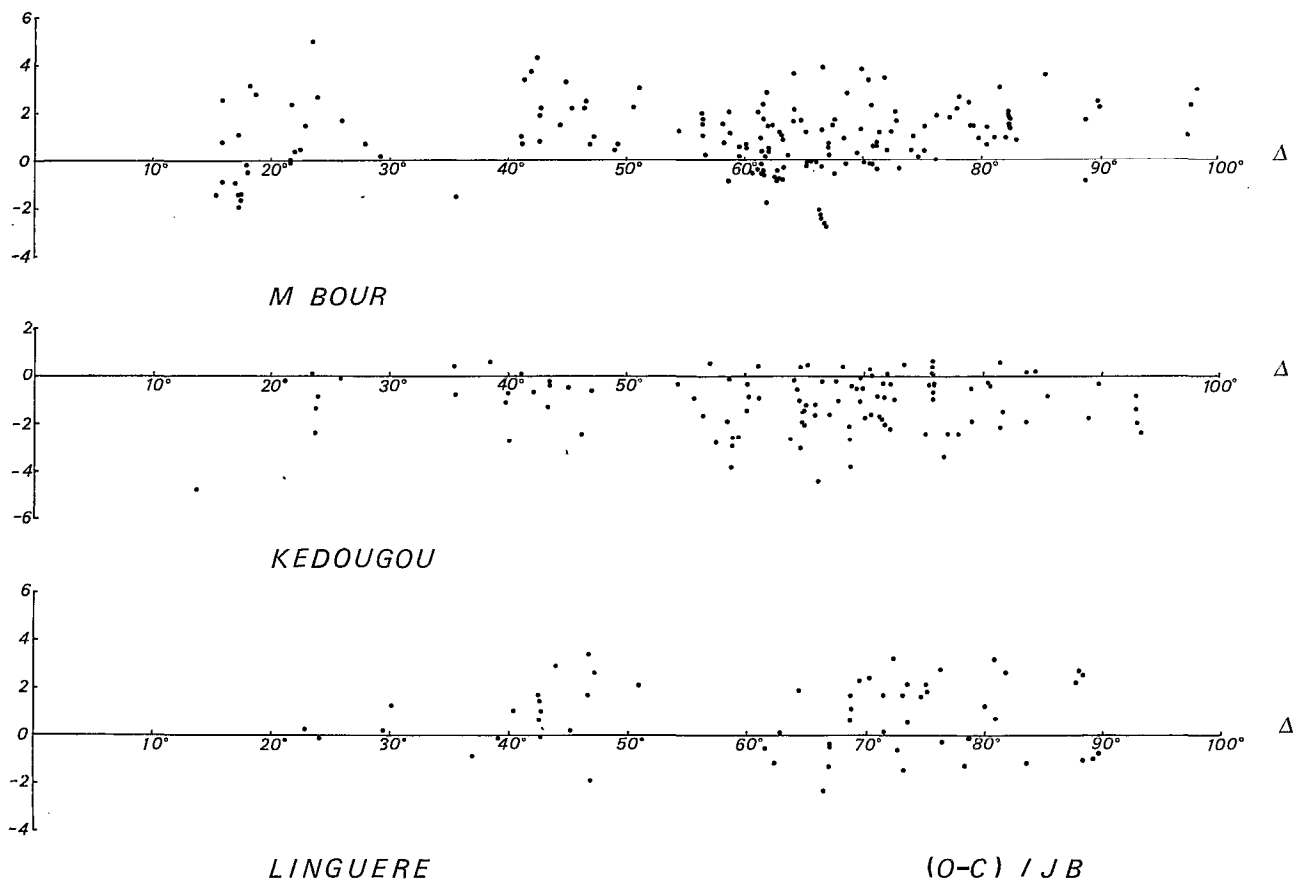


FIG. 4. — Résidus de P en fonction de la distance aux stations de M' Bour, Kedougou et Linguere.

Pour chaque station on a calculé le résidu par rapport au modèle de Terre de Jeffreys-Bullen (JB).

Le tableau II donne le résidu moyen observé en supposant qu'il n'y a pas de variation, ni en azimut ni en distance.

Les histogrammes des résidus pour chaque station sont reportés sur les fig. 2 et 3.

On remarque qu'aux stations permanentes (M' Bour et Kedougou l'erreur est plus faible, ceci étant dû non seulement au plus grand nombre de données mais aussi à la qualité supérieure des enregistrements. Les erreurs aux stations temporaires sont comparables entre elles, à l'exception de celle à Kaffrine beaucoup plus grande (station ayant fonctionné le moins longtemps, pour laquelle le nombre de données est le plus faible).

Pour les stations temporaires surtout les résidus moyens donnés dans le tableau II ne peuvent être considérés que comme des estimations car les données sont biaisées par la répartition inégale des séismes en azimut (majorité de séismes en Amérique du Sud et dans les îles Sandwich du Sud) et en distance (fig. 4 et 5).

L'effet qui apparaît avec le plus d'évidence est la variation d'ouest en est des résidus, passant de 1.1s à M' Bour (16.9547°W) à - 1.1s à Kedougou (12.1917°W) sur 500 km environ. Les autres stations se placent à peu près régulièrement entre ces deux valeurs, même Kaffrine si on tient compte de l'importante incertitude sur son résidu. On peut immédiatement corrélérer cet effet avec la géologie du pays (fig. 1, GUILLON, 1970) - M' Bour, Linguere et Kaffrine sont situés sur plusieurs milliers de mètres de sédiments, Tambacounda et Matam sur quelques centaines de mètres au-dessus du socle ancien, Bakel et Kedougou sur des formations primaires et antécambriennes. Il faut noter le fait très marquant que la variation est beaucoup plus rapide dans l'est du pays (de Tambacounda à Kedougou 1.6s sur moins de 200 km, 1s de Matam à Bakel) que sur le bassin sédimentaire Sénégalais (0.6s de M' Bour à Tambacounda sur 300 km environ, 0.4s de Linguere à Matam). Ces résultats, anomalies positives sur les bassins sédimentaires et négatives sur les structures stables anciennes, concordent avec les

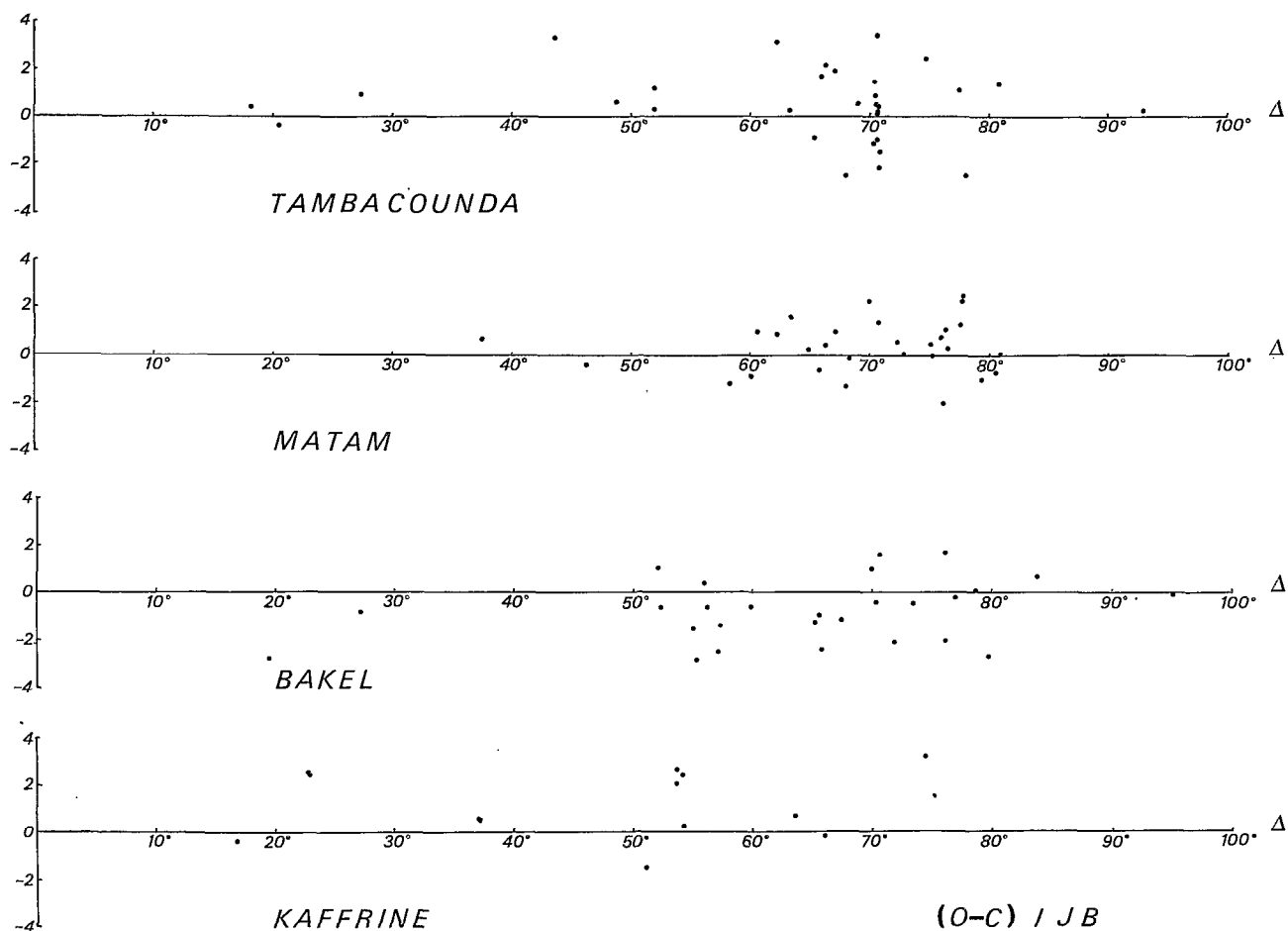


FIG. 5. — Résidus de P en fonction de la distance aux stations de Tambacounda, Matam, Bakel et Kaffrine.

observations de HERRIN et TAGGART (1968) concernant les résidus des ondes P sur l'ensemble du globe.

Des données relatives aux vitesses dans la croûte permettent d'estimer la contribution de celle-ci aux variations observées. Pour M'Bour nous disposons de résultats de carottage sismiques effectués par une compagnie pétrolière (communication personnelle) donnant une vitesse moyenne de 4.3 km/s jusqu'à 4 km, profondeur à laquelle on atteint une vitesse de 5.8 km/s. Des modèles de croûte ont déjà été établis en Afrique dans des régions semblables à celles de Kedougou (GUMPER et POMEROY, 1970, BARD *et al.* 1976) qu'on peut utiliser pour cette station : vitesse moyenne dans la croûte 6.3 km/s, profondeur du Moho 35 km, vitesse sous le Moho 8.05 km/s. Avec cette hypothèse qui paraît raisonnable, la différence de 2.18s des résidus entre M'Bour et Kedougou ne peut s'expliquer uniquement par des différences crustales. En effet il faudrait dans ce cas que la vitesse moyenne sous les 4 km connus et jusqu'à un Moho (entre 25 et 30 km, vitesse sous le Moho 7.8 km/s) comparable à ceux observés dans d'autres bassins sédimentaires soit inférieure à 4.3 km/s, ce qui est à rejeter. Des différences de structure existent donc dans le manteau supérieur.

Conclusion et perspective

Le fait le plus marquant qui ressort de l'étude des résidus des ondes P au Sénégal est l'importante variation d'ouest en est (plus de 2s) de ces résidus. Cette variation, relativement lente sur le bassin sédimentaire, devient très rapide dans l'est du pays où l'on passe de ce bassin au craton ouest-africain (1.5s environ sur 200 km). Les quelques données qu'on possède et les hypothèses qu'on peut faire au sujet de la croûte — par comparaison à

des régions semblables — nous conduisent à conclure que les variations observées doivent être en grande partie imputées à des différences de structure dans le manteau supérieur. Ce travail va se poursuivre en collaboration avec le département des Sciences de la Terre de l'Université de Leeds. Pendant 6 mois 26 sismomètres (dont 2 réseaux fixes de 11 sismomètres chacun à Kédougou et Tambacounda et 3 sismomètres longue période) vont être installés de part et d'autre de la bordure occidentale du craton. On doit ainsi être en mesure de déterminer les structures du craton et du bassin sédimentaire et d'étudier comment s'effectue la transition de l'un à l'autre.

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

BIBLIOGRAPHIE

- BARD (J.P.), BURLLOT (R.) et DELAYE (F.), 1976. — Etude préliminaire de la morphologie de la discontinuité de Mohorovicic dans la région de Toumodi (Côte-d'Ivoire) et essai d'interprétation géologique. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, T. 283 : 1.153-1.156.
- CARDER (D.S.), GORDÓN (D.W.) et JORDAN (J.N.), 1966. — Analysis of surface-foci travel times. *B.S.S.A.*, 56 : 815-840.
- CLEARY (J.), HALES (A.L.), 1966. — An analysis of the travel times of P waves to North American stations in the distance range 32° to 100°. *B.S.S.A.* 56 : 467-489.
- DOREL (J.), 1968. — Quelques résultats sismiques sur l'Afrique Occidentale. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 266 : 1.470-1.472.
- GUILLON (J.), 1970. — Carte du toit du socle au Sénégal. Rapport interne, Centre de Géophysique ORSTOM M'Bour, *multigr.*
- GUMPER (P.G.) et POMEROY (P.), 1970. — Seismic waves velocities and earth's structure on the African continent. *B.S.S.A.*, 60 : 651-668.
- HALES (A.L.), 1972. — The travel time of P seismic waves and their relevance to the upper mantle velocity distribution. *Tectonophysics*, 13 : 447-482.
- HERRIN (E.) et TAGGART (J.N.), 1968. — Regional variations P travel times. *B.S.S.A.*, 58 : 1.325-1.337.
- JEFFREYS (H.), BULLEN (K.E.), 1958. — Seismological tables. British association for advancement of science, Gray Milne Trust, London.
- KURITA (T.), 1976. — Crustal and upper-mantle structure in the central U.S.A. from body-waves spectra, surface-waves dispersion, travel-time residual and synthetic seismograms. *Phys. Earth. Planet. Inter.*, 12 : 65-86.
- PRESS (F.) et BIEHLER (S.), 1964. — Inferences on crustal velocities and densities from P waves delays and gravity anomalies. *J. Geophys. Res.* : 69 : 2.979-2.996.
- TRYGVARSON E., 1964. — Arrival times of P waves and upper-mantle structure. *B.S.S.A.*, 54 : 727-736.