

LA CORRÉLATION DE LA RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE AVEC LA TEMPÉRATURE SUR LE BOUCLIER OUEST AFRICAÏN CONSÉQUENCE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'ASTHÉNOsphÈRE

Michel RITZ

Géophysicien O.R.S.T.O.M., Centre Géophysique O.R.S.T.O.M., B.P. 1386, Dakar Sénégal

RÉSUMÉ

A l'aide des modèles magnétotelluriques déterminés sur le bouclier ouest africain, nous avons calculé les températures au niveau de la croûte et du manteau supérieur. A la base de la croûte nous trouvons une température voisine de 400 °C et dans le manteau supérieur, à une profondeur de 100 km, une température de 860 °C. Utilisant une relation entre la conductivité observée et la conductivité de la phase liquide, nous avons estimé la fraction de volume de fusion partielle dans le manteau supérieur. L'utilisation de géothermes continentaux nous a permis de montrer que le flux de chaleur sur le bouclier ouest africain est voisin de 40 mWm⁻². L'absence de fusion partielle, généralement admise sur les boucliers précambriens, ne permettrait pas le développement de l'asthénosphère.

ABSTRACT

THE ELECTRICAL RESISTIVITY AS RELATED TO TEMPERATURE IN THE WEST AFRICAN SHIELD AND IMPLICATIONS FOR THE ASTHENOSPHERE

We have calculated temperatures in the crust and the upper mantle using the magnetotelluric models which were determined in the West African shield. The temperature is close to 400 °C at the basis of the crust and amounts to 860 °C in the upper mantle at a depth of 100 km. Using a relationship between the conductivity observed and the conductivity of the liquid phase, we evaluated the respective percentages of the liquid phase and the solid phase in the upper mantle. The continental geotherms allowed us to show that the heat flow is close to 40 mWm⁻² in the West African shield. The asthenosphere could not develop in the absence of partial fusion which is typical of the Precambrian shields.

РЕЗЮМЕ

КОРРЕЛЯЦИЯ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЗАПАДНО-АФРИКАНСКОМ ЩИТЕ. ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РАЗВИТИЯ АСТЕНОСФЕРЫ

Посредством магнитотеллурических моделей, определенных на западно-африканском щите, мы рассчитали температуры на уровне коры и верхней мантии. На основе коры, температура приблизительно равна 400 градусов и, в верхней мантии, на глубине 100 км до поверхности, температура достигает 800 градусов. Употребляя соотношение между наблюдаемым сопротивлением и сопротивлением жидкой фазы, мы определили долю объема частичной плавки в верхней мантии. Употребление континентальных геоизотерм нам позволило указать, что тепловой поток на западно-африканском щите приблизительно равно 40 мвт/мин⁻². Отсутствие частичной плавки, обычно допускаемая на докамбийских щитах, не позволило бы развитие астеносферы.

Des sondages magnéto telluriques effectués sur le bouclier ouest africain dans les Républiques du Niger et de Haute-Volta ont mis en évidence des changements significatifs de la conductivité électrique dans la croûte inférieure et le manteau supérieur (RITZ, 1982 a).

Sur le craton ouest africain considéré comme stable depuis 2 000 M.A. la modélisation à deux dimensions des données MT suggère l'existence d'une couche conductrice vers 100-130 km de profondeur, la couche conductrice ultime se situerait vers 400 km de profondeur (RITZ, 1982 b). De telles zones conductrices ont été mises en évidence sur les boucliers très anciens (ADAM, 1980 ; VAN ZIJL, 1977). SCHMUCKER and JANKOWSKI (1971) remarquent qu'un grand nombre de sondages MT dans de telles provinces tectoniques impliquent en général une réduction de la résistivité dans le manteau supérieur entre 60 et 120 km de profondeur. Cette zone de transition haute-basse résistivité pourrait coïncider avec la base de la lithosphère.

Dans la zone mobile de l'Afrique Centrale et du bassin sédimentaire nigérien, on constate en plus des zones conductrices du manteau supérieur, une couche conductrice à la base de la croûte. Ce changement de résistivité pourrait être en relation avec la discontinuité de Mohorovičić.

Depuis quelques années un grand nombre d'expériences de laboratoire ont été effectuées pour connaître la résistivité des différentes roches à hautes températures (DUBA, 1976). De nombreuses mesures ont été faites sur les basaltes et sur différentes roches ultramafiques.

En général, on admet que le matériau le plus représentatif de la partie inférieure de la croûte des boucliers continentaux est constitué de basalte du type amphibolite dont la résistivité électrique varie de façon appréciable selon la température (de plus de 10 000 ohm. mètre à 300 °C à une dizaine d'ohm. mètre à 1 000 °C). Le manteau supérieur, quant à lui, est principalement constitué de roches ultramafiques telles les péridotites. La résistivité électrique de ces matériaux dépend fortement de la température.

HAAK (1979) a réuni la plupart des données existantes sur les basaltes et les roches ultramafiques. La dispersion des données est très grande et semble dépendre considérablement des conditions d'expérimentation. La figure 1 montre la résistivité électrique en fonction de la température pour deux types de matériaux. On observe une zone de recouvrement dans la distribution des résistivités du basalte et des roches ultramafiques, la résistivité du basalte, étant plus faible, à une température donnée, que celle des roches ultramafiques. On note également un changement significatif de la pente des courbes température-résistivité vers environ 1 000 °C. Ceci

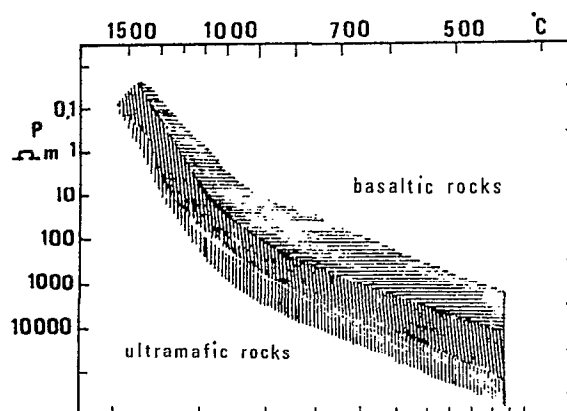


FIG. 1. — La résistivité électrique des roches basaltiques et des roches ultramafiques en fonction de la température

pourrait être dû au commencement de la fusion partielle des roches. Ce phénomène, mettant en jeu des températures élevées, débiterait dans le manteau supérieur.

On peut ainsi estimer grossièrement la température à l'interface basse — haute résistivité du manteau supérieur en comparant les résistivités électriques obtenues à partir des données magnétotelluriques à celles des données de laboratoire en fonction de la température.

Si le conducteur d'une résistivité de 30 ohm. mètre est constitué de basalte, sa température devrait être comprise entre 720° et 1 000 °C. Quant au niveau le plus profond, constitué de roches ultramafiques (péridotite), de résistivité de l'ordre de 1 000 à 2 000 ohm. mètre, il serait à une température comprise entre 770° et 950 °C. Dans l'un et l'autre cas la température moyenne est de l'ordre de 860 °C. Sur la figure 2 nous avons représenté la courbe de fusion T_m des roches ultramafiques ; on admet généralement que la fusion partielle peut commencer à une température de $0.85 T_m$ (ADAM, 1978). A la profondeur de 100 km et à la température de 860 °C, on ne recoupe pas la courbe de fusion partielle : le phénomène de fusion partielle n'existerait pas à cette profondeur dans le manteau supérieur.

Pour confirmer le résultat précédent, nous avons utilisé les formules de WAFF (1974) qui permettent de calculer la fraction de volume de fusion partielle.

WAFF (1974) considère que la conductivité effective σ de la roche est liée à la conductivité de la phase liquide σ_f et à la fraction de volume de ce fluide N par la relation : $\sigma \simeq \frac{2}{3} \sigma_f N$. Il trouve pour σ_f une valeur d'environ 3 mho/mètre pour une fusion du basalte tholéiitique à 1 200 °C. Si nous

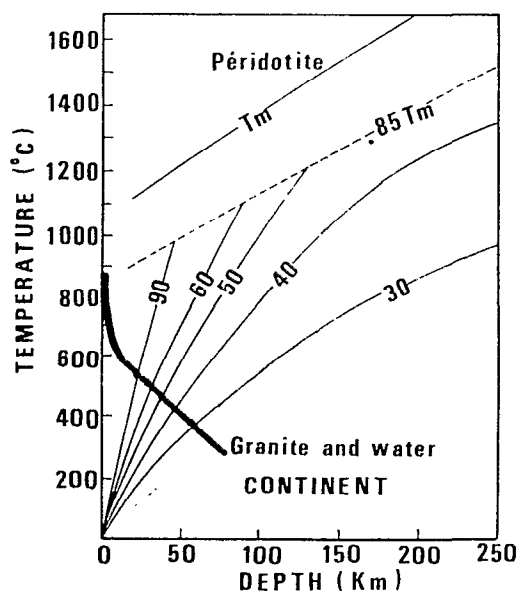


Fig. 2. — La température en fonction de la profondeur pour différents flux de chaleur (en mWm^{-2}) et la courbe de fusion du granite en présence d'eau

prenons cette valeur de W_{AFF} pour la conductivité de la phase liquide et en supposant que la chute de conductivité dans le manteau supérieur soit exacte (0.033 mho/mètre), nous trouvons que la fraction de volume de fusion partielle est de l'ordre de 0.02 %, cette valeur est très faible et ne doit pas permettre un début de fusion, de sorte que la conductivité électrique du manteau supérieur à cette profondeur doit être encore dominée par la phase solide.

La présence de roches hydratées, avec ou sans association de fusion partielle, est l'interprétation la plus fréquente pour les niveaux conducteurs dans la partie inférieure de la croûte (HYNDMAN and HYNDMAN, 1968; CANER, 1970). D'après FELDMAN (1976), cette zone conductrice pourrait être due à la granitisation et à la fusion à la frontière entre le faciès granulite et le basalte du type amphibolite. A une profondeur de 40 km, en tenant compte de la courbe de fusion du granite en présence d'eau de la figure 2, nous trouvons une température légèrement supérieure à 400 °C.

Sur la figure 2 nous avons tracé les courbes de température en fonction de la profondeur pour

différentes valeurs du flux de chaleur en mWm^{-2} (POLLACK et CHAPMAN, 1977 b).

Si nous reprenons les valeurs de la température trouvées de la croûte et du manteau supérieur respectivement à 40 et 100 km de profondeur, nous voyons que l'intersection se fait à proximité de la courbe correspondant à un flux de chaleur de 40 mWm^{-2} , ce flux de chaleur étant insuffisant pour intercepter la courbe de fusion partielle. De nombreux auteurs (ADAM, 1978; RINGWOOD, 1976; VANYAN *et al.*, 1977; POLLACK and CHAPMAN, 1977) s'accordent pour penser que le flux de chaleur sur les boucliers cristallins est en général inférieur ou égal à 40 mWm^{-2} et le phénomène de fusion partielle peut ainsi difficilement exister.

Un sondage MT profond à Dori en Haute-Volta (RITZ, 1982 b) nous a permis de situer la couche conductrice ultime vers 400 km de profondeur.

VANYAN *et al.* (1977) considère une asthénosphère « bien développée » si : son épaisseur atteint 100 km, la phase liquide s'élève à 5-7 % et les chambres de fusion sont en relation étroite. Selon HONKURA (1975), la résistivité d'une telle asthénosphère diminue vers des valeurs voisines de 10-15 ohm/mètre et sa conductivité totale S serait de l'ordre de 7.10^3 à 10^4 mho/mètre. Dans notre région la conductivité totale est de l'ordre de 700 mho/mètre et la fraction de volume de fusion partielle est de l'ordre de 0,02 %. Il semble donc peu probable qu'une asthénosphère « bien développée » existe sous le craton ouest africain. Des estimations similaires ont pu être faites sur la plupart des plates-formes et des boucliers continentaux.

Dans le Niger occidental (1974), CHAPMAN et POLLACK ont obtenu des valeurs très faibles de flux de chaleur. Ils concluent à une lithosphère très épaisse et à un pauvre développement ou à l'absence d'asthénosphère. A l'extrême limite la plaque serait rendue immobile. BURKE and WILSON suggèrent que tel a été le cas de la plaque africaine depuis le Miocène supérieur. Selon POLLACK et CHAPMAN (1977) l'épaisseur de la lithosphère sous le bouclier ouest africain serait supérieure ou égale à 400 km.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.,
le 9 juin 1983

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM (A.), 1978. — Geothermal effects in the formation of electrically conducting zones and temperature distribution in the earth. *Phys. of the Earth and Plan. Int.*, 17 : 21-28.
- ADAM (A.), 1980. — The change of electrical structure between an orogenic and an ancient tectonic area (Carpathians and Russian Platform). *J. Geomag. Geoelectr.*, 32 : 1-46.
- BURKE (K.) and WILSON (J. T.), 1972. — Is the African plate stationary ? *Nature*, 239, 5372 : 389-390.
- CANER (B. J.), 1970. — Electrical conductivity structure in western Canada and petrological interpretation. *J. Geomag. and Geoelectr.*, 22 : 113-129.
- CHAPMAN (D. S.) and POLLACK (H. N.), 1974. — « Cold spot » in West Africa : Anchoring the African Plate. *Nature*, 250 : 477-478.
- DUBA (A.), 1976. — Are laboratory electrical conductivity data relevant to the earth ? *Acta Geophys. Mont. Hung.*, 11 : 485-497.
- FELDMAN (I. S.), 1976. — On the nature of conductive layers in the earth's crust and upper mantle. In : *Geoelectric and Geothermal studies*. K.A.P.G., *Geophys. Monograph* : 721-731.
- HAAK (V.), 1979. — Relations between electrical conductivity and petrological parameters of the crust and upper mantle. *J. Geomag. Geoelectr. (in press)*.
- HONKURA (Y.), 1975. — Partial melting and electrical conductivity anomalies beneath the Japan and Philippine Seas. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 10 : 128-134.
- HYNDMAN (R. D.) and HYNDMAN (D. W.), 1968. — Water saturation and high electrical conductivity in the lower continental crust. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 4 : 427-432.
- POLLACK (H. N.) and CHAPMAN (D. S.), 1977. — On the regional variation of heat flow geotherms and lithospheric thickness. *Tectonophysics*, 38 : 279-296.
- RINGWOOD (A. E.), 1976. — Phase transformations in descending plates and implications for mantle dynamics. *Tectonophysics*, 32 : 129-143.
- RITZ (M.), 1982 a. — La distribution de la conductivité électrique sur la bordure orientale du craton ouest africain (République du Niger). *Geophys. J. of the R.A.S. (sous presse)*.
- RITZ (M.), 1982 b. — Contribution à une meilleure connaissance du craton ouest africain par la méthode magnéto-tellurique (République de Haute-Volta). *(A paraitre)*.
- RITZ (M.), 1982 c. — Sondage magnéto-tellurique profond sur le craton ouest africain (République de Haute-Volta). Esquisse de modèles pour le craton ouest africain. *J. Geomag. Geoelectr. (sous presse)*.
- SCHMUCKER (U.) and JANKOWSKI (J.), 1971. — Geomagnetic induction studies and the electrical state of the upper mantle. *Tectonophysics*, 13 (1-4) : 233-256.
- VANYAN (L. L.), BERDICHEWSKY (M. N.), FAINBERG (E. B.) and FISKINA (M. V.), 1977. — The study of the asthenosphere of the east european platform by electromagnetic sounding. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 14 : 1-2.
- VAN ZIJL (J. S. V.), 1977. — Electrical studies of the deep crust in various tectonic provinces of southern Africa. The Earth's crust. In : *Geophys. Monograph* 20 (A.G.U.) : 470-500.
- WAFF (H. S.), 1974. — Theoretical considerations of electrical conductivity in a partially molten mantle and implications for geothermometry. *J. Geophys. Res.*, 79 : 4003-4010.