

## Interprétation gravimétrique de la Sierra-Leone : mise en évidence d'une suture de collision dans la chaîne panafricaine des Rokelides

Sylvain BONVALOT, Michel VILLENEUVE et Yves ALBOUY

**Résumé** — L'interprétation de données gravimétriques nouvelles sur la Sierra-Leone permet de proposer un modèle structural de la chaîne panafricaine des Rokelides qui prolonge, sur la bordure occidentale du craton ouest africain, les chaînes des Mauritanides et des Bassarides. La signature gravimétrique des Rokelides, comme celle des Bassarides, s'explique par un modèle classique de chaîne de collision. La structure profonde des Rokelides serait acquise lors d'une collision continent-continent affectant toute la bordure occidentale du craton ouest africain vers 800-600 Ma, tandis que sa structure superficielle résulterait d'une remobilisation de la partie méridionale de cette zone vers 550-500 Ma.

### Gravity data interpretation in Sierra-Leone: evidence of collision suture in the Rokelides pan-African orogenic belt

**Abstract** — The interpretation of new gravity data in Sierra-Leone, allows the modelling of the pan-African Rokelides orogenic belt which constitutes the southern part of the Mauritanides-Bassarides belts on the western edge of the West African craton. Like most pan-African orogenic belts in West Africa and particularly Bassarides, the gravity signal of the Rokelides is explained by a classical model of a collision suture. The deep and superficial Rokelides structures would respectively result from a collision on the western edge of the West African craton 800-600 Ma B.P. and a remobilization of the southern part of the orogenic belt 550-500 Ma.

**Abridged English Version** — The West African craton (WAC) is belted on its western edge by a mostly pan-African mobile area constituted from N to S by Mauritanides, Bassarides and Rokelides. In previous studies, the crustal structures of the Mauritanides, Bassarides and southern Rokelides (Liberia) orogenic belts have been modelled from gravity data ([1] to [3]). Recent gravity survey in Sierra-Leone ([4], [5]) allows us to propose a structural model of the Rokelides orogenic belt.

**GEOLOGY.** — From East to West, Sierra-Leone displays an Archean cratonic province (>2,500 Ma), a pan-African orogenic province (800-550 Ma) and a Cenozoic cover (Fig. 1). The pan-African province is subdivided into three NNW-SSE trending units ([6] to [9]). The eastern unit, the Rokel River Group (RRG) consists of three sedimentary formations (Tabe-Makani, Teye, Mabole-Taia) composed of sandstones, argillites, shales and one volcanic formation (Kasewe Hills) including basaltic and andesitic lavas and dacitic tuffs. The central unit contains granito-gneissic metamorphosed rocks (Kenema assemblage) and a volcanic formation (Marampa group) considered as a greenstone belt [9] or as Archean material thrust over the WAC [7]. The tectonic contact between eastern and central units is interpreted as an inverse thrusting fault ([6], [9]). The western unit forms a narrow sedimentary outcrop (Taban formation) and a large metamorphic belt (Kasila group) made of metamorphic rocks (amphibolites, metagabbros) tectonized during Archean and remobilized during pan-African times (550-500 Ma). A westward dipping mylonitic accident separates central and western units [7].

**GRAVITY INTERPRETATION.** — The Bouguer anomaly map of Sierra-Leone (Fig. 2) is characterized by a linear series of positive and negative anomalies distributed on each part of a

Note présentée par Georges MILLOT.

strong NNW-SSE trending gradient. The short western positive anomalies (Kb, Mb, Vc) are uncorrelated with surface geology whereas the large negative anomaly (Rk) is well connected to the RRG trough. This original gravity signal has been observed over pan-African collision zones in West Africa [10] such as in Guinea ([2], [11]) and Liberia [3]. We have separated NNE-SSW trending profiles into regional and residual (positive or negative) anomalies. The residual anomalies are studied by spectral analysis ([5], [12]) and by inverse methods—ideal body computations ([13], [14])—to constrain depth, density and geometrical features of perturbing bodies. Then, a 2D forward model is performed from the original Bouguer anomaly. The *regional anomaly* is interpreted as an edge effect due to the opposition of two crustal blocks limited by a south-westward dipping suture. The evidence for a denser western crust, corresponding to the Kasila group, is given by ideal body computations (density contrast: 0.04) [5] and by density measurements on rocks belonging to the WAC (2.70) and to the western reactivated area (2.75) in Guinea, Liberia and Sierra-Leone ([3], [11], [15]). The computed ideal body for *positive anomalies* (Kb, Mb, Vc) along SW-NE profiles has a mean density contrast of 0.21 *i.e.* a minimal density of 2.95 and a mean thickness of 10 km (Fig. 3). The 2D model displays a massive body which vertically extends along the suture from 4 to almost 20 km (Fig. 4). Such intracrustal bodies are usually interpreted as basal crustal rocks or mantle intrusions emplaced along a suture during collision ([10], [16]). The *negative anomaly* (Rk): previous geological studies [17] about volcano-sediments of Sierra-Leone and Guinea have allowed us to subdivide the RRG into a volcanic formation (Kasewe Hills) and a sedimentary formation (Tabe Makani, Mabole and Teye) of respective density 2.60 and 2.45 ([2], [5]). The 2D model, constrained by results of spectral analysis [5] and by geological surfaces [9], reveals a NE vergence for the RRG series (Fig. 4).

DISCUSSION. — The deep crustal structure of the Rokelides orogenic belt inferred from gravity data corresponds to a classical model of collision suture around cratonic areas ([2], [10], [16]). It appears that Bassarides and Rokelides display the same deep crustal structure and then may result from the same tectonic process. Previous geodynamical interpretations ([17] to [19]) have already suggested that those two orogenic belts were related to the collision during 800-660 Ma (pan-African I), between two continental plates which are the WAC and a piece of the Brazilian shield; the oceanic area separating those two plates became shorter from north (Mauritanides-Bassarides) to south (Rokelides) as confirmed by changes in the gravity patterns and also by the cryptic suture in Liberia ([18], [20]). This would explain why evidence for subduction (oceanic relicts, metamorphic markers) are sparse in this southern part of the orogenic belt. A second orogenic episode associated with a NE displacement of the Brazilian shield at 550 Ma (pan-African II), may be responsible for the tangential structure of the Rokelides ([17], [20]). This study is in a better agreement with a geodynamical hypothesis of the pan-African continental collision than with others in which Rokelides would result from an Archean suture and from an aborted rift or a back-arc basin of a pan-African suture located NW of Sierra-Leone ([7], [21]).

INTRODUCTION. — Le craton ouest africain (COA) est ceinturé par une zone mobile composée de chaînes orogéniques d'âge principalement panafricain. Sur la bordure occidentale du COA la zone mobile se compose, du Nord vers le Sud, des Mauritanides (Mauritanie-Sénégal), des Bassarides (Sénégal-Guinée) et des Rokelides (Sierra-Leone-Libéria). En l'absence de données géophysiques en Sierra-Leone, seules les Mauritanides,

les Bassarides et la partie méridionale des Rokelides au Libéria ont fait l'objet d'interprétations gravimétriques ([1] à [3]). Le récent levé gravimétrique de la Sierra-Leone ([4], [5]), permet de modéliser ce segment de la zone mobile panafricaine et de le relier aux segments situés plus au Nord.

I. LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE. — Située sur la bordure SW du COA, la Sierra-Leone comprend d'Est en Ouest (*fig. 1*) un domaine cratonique d'âge archéen (> 2 500 Ma), un domaine remobilisé au panafricain (800-550 Ma) et une couverture sédimentaire cénozoïque. Des études géologiques ([6] à [9]) ont permis de subdiviser le domaine panafricain en trois unités orientées NNW-SSE :

1. *Une unité orientale* représentée par un sillon volcano-sédimentaire (*Rokel River group*: RRG) dont le flanc oriental est discordant sur le COA. Ses formations se sont déposées au Panafricain entre 650-620 et 550 Ma et sont plissées uniquement sur le bord occidental du sillon. Elle est constituée de quatre formations superposées; *Tabe Makani* : arénites, grès fins et tillites, discordante sur le socle; *Teye* : sédiments argileux; *Mabole et Taïa* : conglomérat concordant et sédiments argileux; *Kasewe Hills*: volcano-sédimentaire basaltique et spilitique et laves d'affinités océaniques, andésites en « pillow » ou massives et tuffs dacitiques.

2. *Une unité médiane* composée de roches granito-gneissiques métamorphisées (*Kenema Assemblage*) et d'une formation volcanique basique (*Marampa group*) interprétée comme un lambeau d'anciennes ceintures vertes [9] ou comme du matériel archéen charrié sur le COA [7]. Cette unité, d'âge indéterminé (Archéen ou Protérozoïque inférieur) a été remobilisée au Panafricain. Elle est séparée de l'unité orientale par un contact tectonique interprété comme une faille inverse chevauchante ([6] et [9]).

3. *Une unité occidentale* formant une ceinture de roches métamorphiques (*Kasila group*) et une étroite bande de matériel sédimentaire (*Taban formation*). Elle est séparée de l'unité médiane par un grand accident tectonique mylonitique, à faible pendage vers l'Ouest [7]. *Le Kasila group*, recouvert à l'Ouest par les dépôts côtiers cénozoïques (*Bullom group*), est constitué par des roches métamorphiques archéennes (granulites basiques, amphibolites, métagabbros) remobilisées au Panafricain (vers 550-500 Ma).

II. LES DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES. — Les données ont été acquises en 1987 par cheminement le long des pistes avec une équidistance d'environ 3 km à partir des stations du réseau I.G.S.N.71 ([4], [5]). Les coordonnées des stations ont été obtenues par cheminement topographique et nivellement barométrique à partir des stations d'un réseau géodésique Doppler. L'anomalie de Bouguer, corrigée des variations de la topographie, est définie à  $\pm 3$  mgal. La carte d'anomalie de Bouguer de la Sierra-Leone (*fig. 2*) se caractérise dans sa partie occidentale par la juxtaposition d'anomalies positives et négatives disposées respectivement à l'Ouest et à l'Est d'un fort gradient (3 mgal/km). Ce gradient, orienté NNW-SSE, s'étend parallèlement à la côte depuis le Sénégal jusqu'au Libéria [4]. Les anomalies positives (Kb, Mb, Vc), de courtes longueurs d'onde et de fortes amplitudes (+60 à +80 mgal) ne présentent pas de corrélation avec la géologie de surface. L'anomalie négative (Rk), caractérisée par une plus grande longueur d'onde et une plus faible amplitude (-40 mgal) se superpose au sillon volcano-sédimentaire RRG. Une forte anomalie positive le long de la côte est associée à l'intrusion gabbroïque mésozoïque de Freetown. Cette ceinture d'anomalies positives et négatives a déjà été observée en Afrique de l'Ouest et interprétée comme un témoin des zones de collision sur la bordure du COA [10]. Elle a ainsi été mise en évidence et étudiée en Guinée

([2], [11]) et au Libéria [3] où elle est liée à la chaîne panafricaine. En raison de la linéarité des directions géologiques et gravimétriques, l'interprétation 2D de cette signature a été réalisée suivant des profils SW-NE échantillonnés au pas de 4 km (fig. 3 et 4).

III. INTERPRÉTATION GRAVIMÉTRIQUE. — 1. *Contraintes du modèle.* — Les profils gravimétriques peuvent être décomposés en un gradient régional et deux anomalies résiduelles de plus courte longueur d'onde (l'une positive à l'Ouest, l'autre négative à l'Est) (fig. 4). Cette séparation régionale-résiduelle, en supposant chaque anomalie liée à une source unique, a permis d'utiliser des méthodes d'interprétation indirectes (analyse spectrale des profils d'anomalie) [12] ou inverses (programmation linéaire : calcul du « corps idéal », corps homogène de plus petite densité) ([13], [14]) précisant la profondeur moyenne, la géométrie et les limites de densité des masses perturbatrices. En partant de ces contraintes, une modélisation synthétique directe 2D est réalisée d'après un profil d'anomalie de Bouguer.

2. *L'anomalie régionale.* — Le calcul du corps idéal rendant compte du gradient régional observé révèle un contraste de densité de 0,04 entre deux blocs crustaux [5]. En surface, la limite entre ces blocs se superpose à la zone mylonitique qui sépare une croûte occidentale dense (*Kasila group*) d'une croûte orientale plus légère (COA). Ce résultat concorde avec des mesures de densité obtenues sur des roches du domaine occidental remobilisé (2.75) et du COA (2.70) en Guinée, en Sierra-Leone et au Libéria ([3], [11], [15]). L'anomalie régionale s'interprète alors comme un effet de bord lié à la juxtaposition de deux blocs, de densités différentes, séparés par une suture inclinée vers le SW (fig. 4).

3. *Les anomalies positives (Kb, Mb, Vc).* — En l'absence d'information géologique *a priori*, des indices sur la profondeur des sources ont été fournis par l'analyse spectrale [5]. En utilisant ces contraintes, les solutions du problème inverse, calculées pour plusieurs profils SW-NE, donnent un corps idéal de contraste moyen 0,21 (soit une densité minimale de 2,95) et d'épaisseur moyenne de 10 km (fig. 3).

4. *L'anomalie négative (Rk).* — Des études géologiques [17] ont permis de relier les formations volcano-sédimentaires de Sierra-Leone à celles de Guinée et donc de subdiviser le RRG en un ensemble sédimentaire (*Tabé Makani, Mabole, Teye, Taïa*) et un ensemble volcanique (*Kasewe Hills*) de densités respectives 2,45 et 2,60 ([2], [5]). Les contraintes du modèle proviennent de l'analyse spectrale donnant l'épaisseur moyenne du sillon RRG et des limites d'affleurement ([5], [9]). Le modèle 2D (fig. 4) montre une vergence vers le NE du sillon RRG et son chevauchement par les formations métamorphiques de l'unité médiane (*Kenema Assemblage*).

IV. DISCUSSION. — Le modèle gravimétrique obtenu (fig. 4) correspond au modèle classique des chaînes de collision péricratoniques caractérisées par la juxtaposition de deux plaques séparées par une suture matérialisée par des corps denses ([2], [10] et [16]). Ces corps sont alors interprétés comme des roches de base de croûte (charnockites, granulites), des intrusions mantelliques ou du matériel océanique mis en place tectoniquement le long d'une suture de collision. Ce modèle a déjà été proposé pour d'autres chaînes panafricaines bordant le COA [10] et en particulier pour les Bassarides [2]. Cette interprétation montre que les structures profondes des Rokelides et des Bassarides sont identiques, et peuvent donc être héritées d'un processus commun. Sur des arguments géologiques, plusieurs auteurs ([17] à [19]) avaient déjà supposé que ces deux chaînes résultaient d'une collision entre deux plaques suivant un cycle d'accrétion continentale conduisant à la formation d'une proto-Pangée vers 800-600 Ma (épisode Panafricain I);

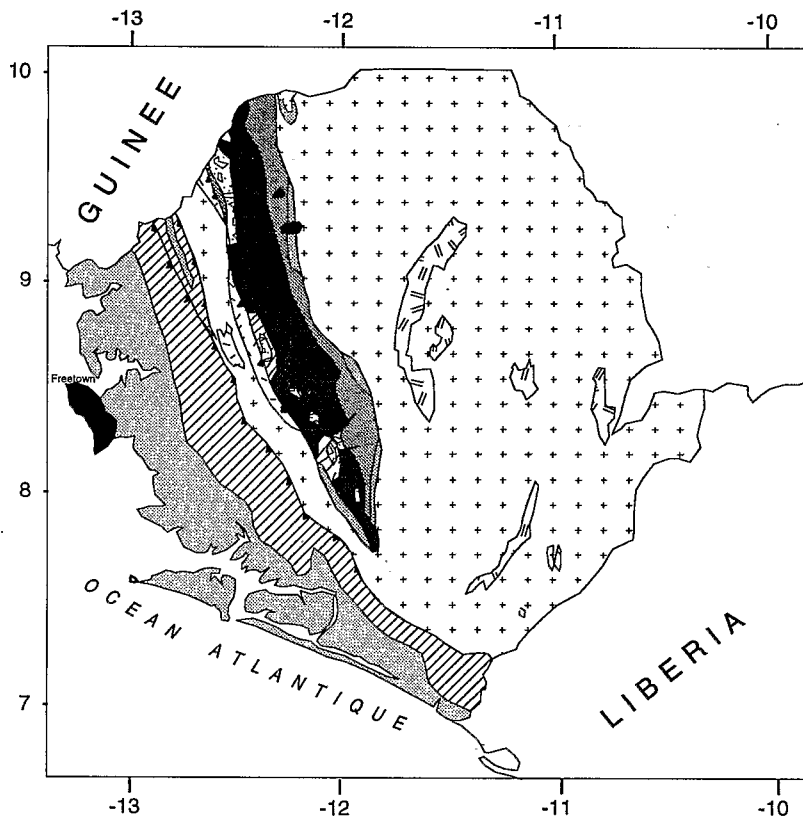


Fig. 1

	Bullom Group	MEZOSOIC - CENOZOIC
	Basic Intrusives	TRIASSIC - JURASSIC
	Saionia Scarp Group	LATE ORDOVICIAN
	Kasewe Hills Formation	UPPER PROTEROZOIC- MID CAMBRIAN ROKEL RIVER GROUP
	Taia Formation	
	Mabole Formation	
	Teye Formation	ARCHAIC LOWER PROTEROZOIC
	Taba-Makani Formation	
	Greenstone Belts	ARCHAIC LOWER PROTEROZOIC
	Kasila Group	
	Marampa Group	
	West African Craton	
	Thrust fault (Pan-African)	

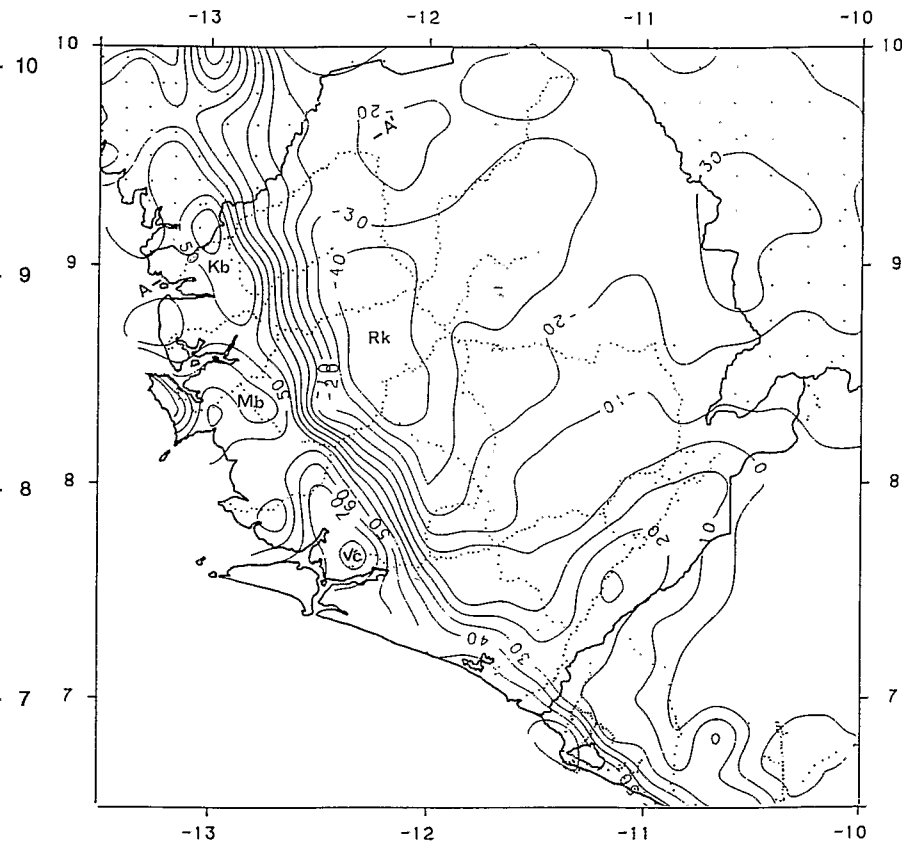


Fig. 2

Fig. 1. — Carte géologique schématique de la Sierra-Leone (d'après Culver et Williams, 1979).

Fig. 1. — Geological sketch map of Sierra-Leone (after Culver and Williams, 1979).

Fig. 2. — Carte d'anomalie de Bouguer de la Sierra-Leone (isolignes de 10 mgal) montrant la distribution des stations de mesures et le profil interprété AA' de la figure 4.

Fig. 2. — Bouguer anomaly map of Sierra-Leone (isolines each 10 mgal) showing the data distribution. AA' is the interpreted profile of Figure 4.

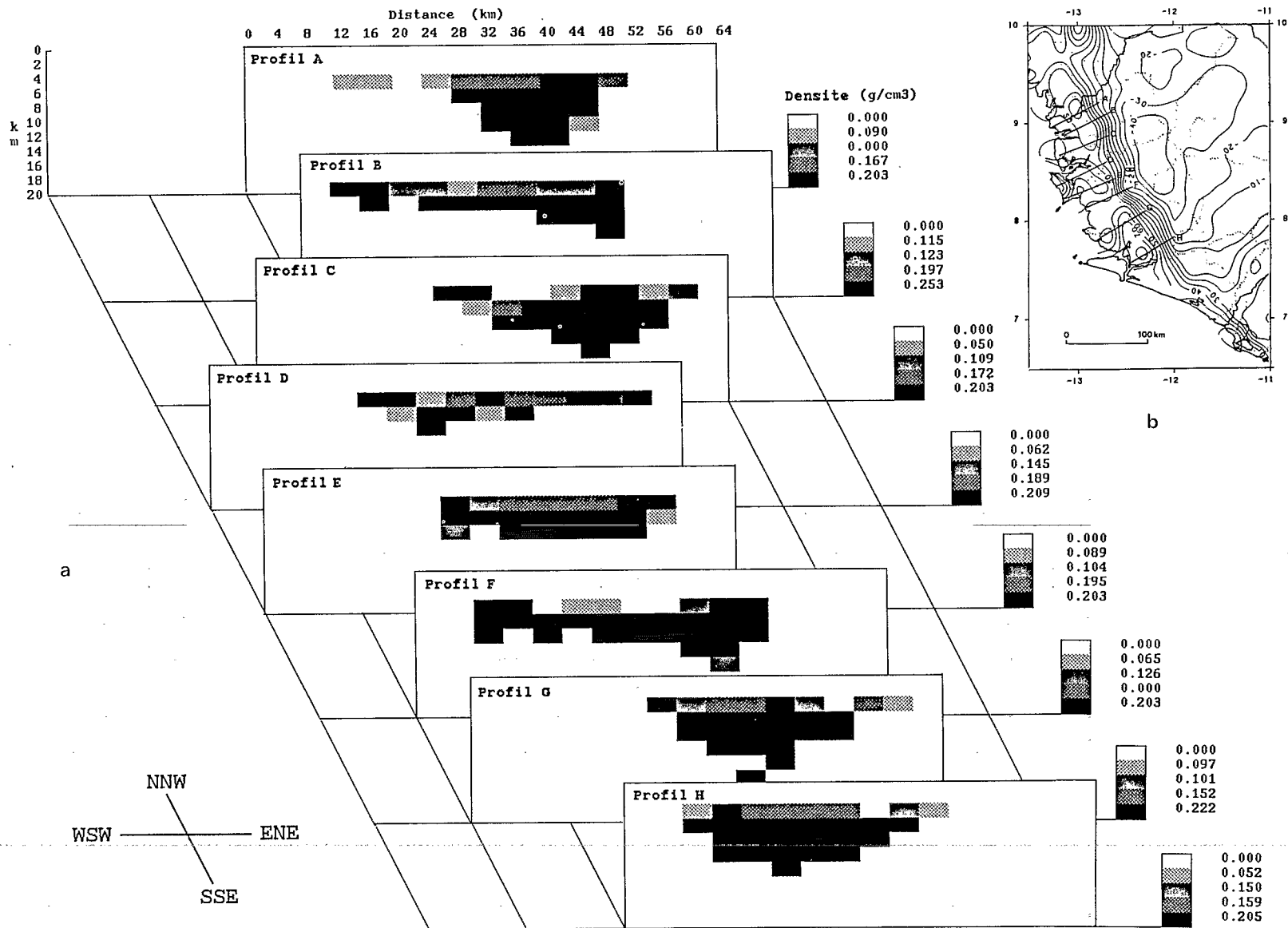


Fig. 3. — Modèle gravimétrique 2D des anomalies positives de Sierra-Leone. (a) solution du corps idéal (figuré noir) suivant les profils A à H (contraste de densité max. *a priori* : 0,5; erreur sur les valeurs d'anomalie : 2 mgal; taille des prismes : 4 × 2 km), (b) localisation des profils A à H.

Fig. 3. — 2D gravity model of positive anomalies of Sierra-Leone. (a) Ideal body solution (black filling) across profiles A to H (maximum *a priori* density contrast: 0.5; data standard error: 2 mgal; size of elementary prism: 4 × 2 km); (b) distribution of SW-NE profiles A to H.

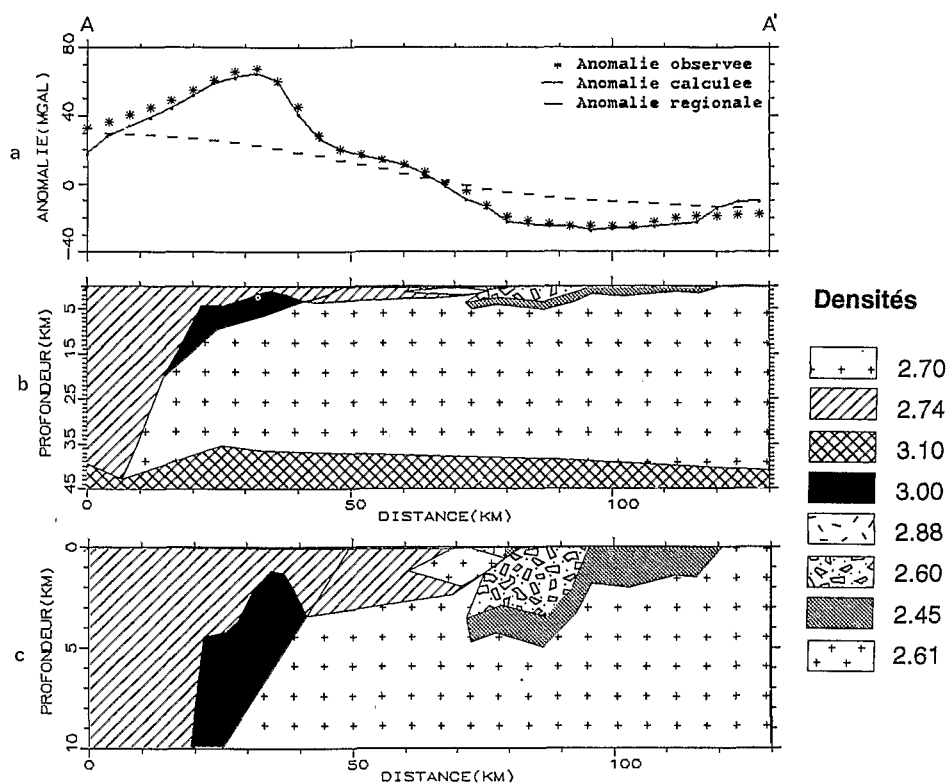


Fig. 4. — Modèle gravimétrique 2D des Rokelides suivant AA' (densité de référence : 2.67; prof. de compensation : 35 km). (a) anomalie de Bouguer observée et calculée, (b) modèle de distribution de densité, (c) partie supérieure de (b).

Fig. 4. — 2D gravity model of Rokelides orogenic belt following AA' profile (reference density: 2.67, compensation depth: 35 km). (a) observed and computed Bouguer anomalies, (b) density distribution model, (c) superficial part of (b).

les plaques orientale et occidentale correspondant respectivement au COA et au craton brésilien *pro parte*. D'après ces auteurs, l'espace océanique refermé par subduction aurait été plus réduit au Sud (Rokelides) qu'au Nord (Mauritanides, Bassarides) comme en témoigne l'existence d'une suture cryptique dans les Rokelides du Libéria et les changements dans la signature gravimétrique du Nord vers le Sud ([18], [20]). Ceci expliquerait alors l'absence ou la rareté dans les Rokelides, par rapport aux Mauritanides, de certains témoins caractéristiques des zones de subduction (métamorphisme HP-BT, séries ophiolitiques, matériel calco-alcalin). En effet, les plus hauts faciès métamorphiques de l'unité occidentale (*Kasila group*) sont du type « schistes verts » ou « granulites » et seules des traces de matériel volcanique à affinités océaniques ou calco-alcalines sont décrites dans la formation *Kasewe Hills* [6]. La structure superficielle de la chaîne et notamment le chevauchement des unités métamorphiques occidentales et médianes sur le sillon RRG et sur le COA, peuvent être reliés au second épisode orogénique ayant affecté vers 550 Ma (épisode Panafricain II) la partie méridionale de la zone mobile en liaison avec la remontée du craton brésilien vers le NE ([17], [20]). Le modèle gravimétrique s'accorde mieux avec l'hypothèse d'une collision-continent, qu'avec d'autres hypothèses qui reconnaissent dans les Rokelides une suture archéenne puis un arrière-arc ou un rift avorté d'une suture de collision panafricaine située au NW de la Sierra-Leone ([7], [21]).

V. CONCLUSIONS. — L'interprétation de données gravimétriques nouvelles en Sierra-Leone met en évidence dans la chaîne des Rokelides (*a*) une structure profonde identique à celle des Bassarides et caractéristique d'une suture de collision et (*b*) une structure superficielle tangentielle. Des corrélations géologiques et géophysiques ([5], [17], [19], [20]) montrent que ces structures profondes et superficielles pourraient être acquises respectivement lors d'une collision continent-continent affectant toute la bordure occidentale du COA au Panafricain I (800-660 Ma) et lors d'une remobilisation de la partie méridionale de la zone mobile du Panafricain II (550-500 Ma). L'évolution géodynamique de la chaîne des Rokelides fait encore l'objet de discussions mais les données gravimétriques montrent qu'elle pourrait s'apparenter à celle des Bassarides dont elle constitue le prolongement méridional.

Nous remercions Claude Villeneuve (ORSTOM Sénégal) et Tom Nhabay (Land and Survey, Sierra-Leone) pour leur participation aux travaux de terrain ainsi que les responsables du Land and Survey et Geological Survey de Sierra-Leone pour l'accès au réseau géodésique Doppler.

Note remise le 4 février 1991, acceptée le 6 février 1991.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Z. GUETAT, *Thèse 3<sup>e</sup> cycle*, Université de Montpellier, 1981, 183 p.
- [2] J. F. PONSARD, *Trav. Lab. Sci. Terre*, Saint-Jérôme, Marseille (B), 25, 1985, 198 p.
- [3] J. C. BEHRENDT et C. S. WOTORSON, *U.S. Geol. Survey Prof. Pap.*, 810, 1974, 33 p.
- [4] S. BONVALOT, M. VILLENEUVE, A. LEGELEY et Y. ALBOUY, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, série II, 1988, p. 1863-1868.
- [5] S. BONVALOT, *Thèse de Doctorat*, Université de Paris-VI, 1990, 356 p.
- [6] P. M. ALLEN, *Geol. Rundsch.*, 58, n° 2; 1969, p. 588-620.
- [7] H. R. WILLIAMS, *Nature*, 282, 1979, p. 608-609.
- [8] S. J. CULVER, H. R. WILLIAMS et P. A. BULL, *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, 30, 1980, p. 65-81.
- [9] A. MACFARLANE, M. J. CROW, J. W. ARTHURS, A. F. WILKINSON et J. W. AUCOTT, *Overseas Mem. Inst. Geol. Sci., London*, 7, 1981, 103 p.
- [10] R. BAYER et A. LESQUER, *Bull. Soc. géol. Fr.*, série 7, XX, 6, 1978, p. 863-876.
- [11] B. S. AKHMETJANOV, V. F. LOUJSENKO et H. DIALLO, *Rap. Technoexport*, Conakry, 1976, p. 184-205.
- [12] A. SPECTOR et F. S. GRANT, *Geophysics*, 35, 1970, p. 428-438.
- [13] R. L. PARKER, *Geophysics*, 39, 1974, p. 644-649.
- [14] M. E. ANDER et S. P. HUESTIS, *Geophysics*, 52, n° 9, 1987, p. 1265-1278.
- [15] C. O. BAKER et M. H. P. BOTT, *Overseas Geol. Min. Resources*, 8, 1961, p. 260-278.
- [16] R. A. GIBB et M. D. THOMAS, *Nature*, 262, 1976, p. 199-200.
- [17] M. VILLENEUVE, *Thèse Sci.*, Université Aix-Marseille-III, France, 1984, 552 p.
- [18] K. C. BURKE et J. F. DEWEY, In: *1st. conference on African Geology*, T. F. J. DESSAUVAGIE et A. J. WHITEMAN, éd., *Proc. univ.*, Ibadan, Nigeria, 1972, p. 583-608.
- [19] M. VILLENEUVE et R. D. DALLMEYER, *Precambrian Research*, 37, 1987, p. 19-28.
- [20] M. VILLENEUVE, S. BONVALOT et Y. ALBOUY, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 310, série II, 1990, p. 955-962.
- [21] H. R. WILLIAMS et S. J. CULVER, *Precambrian Research*, 18, 1982, p. 261-273.

S. B. et Y. A. : Laboratoire de Géophysique, ORSTOM, 72, route d'Aulnay, 93140 Bondy;  
M. V. : Institut de Géodynamique, Sophia Antipolis, avenue Albert-Einstein, 06560 Valbonne.