

Structure profonde de la marge continentale sud-guinéenne : apport des données gravimétriques

Sylvain BONVALOT, Bernard PONTOISE et Jean MASCLE

Résumé — L'interprétation de données gravimétriques nouvelles, acquises sur deux secteurs caractéristiques de la marge continentale sud-guinéenne (Campagne EQUAMARGE II) permet d'en préciser la structure profonde. La comparaison des modèles proposés avec des résultats antérieurs permet de mettre en évidence, dans la zone de transition continent-océan, certains caractères structuraux caractéristiques des marges transformantes et d'autres qui semblent typiques de la marge continentale sud-guinéenne. Ces structures, créées en liaison avec les mouvements transformants, ont joué un rôle important dans l'évolution tectonique et sédimentaire de ce segment de la marge ouest africaine.

Model of crustal structure of the south Guinean continental margin derived from gravity data

Abstract — The interpretation of new gravity data collected over the south Guinean margin (EQUAMARGE II) leads to precise its crustal structure. The proposed models matched with previous works display some structural features commonly identified on continental transform margins and others typical of the south Guinean margin. These structures, created in relation with transform faulting, have controlled the tectonic and sedimentary evolution of this west african margin segment.

Abridged English Version — The guinean continental margin is characterized by a wide marginal plateau bounded to the west by the Jurassic central Atlantic and to the south by the Cretaceous equatorial Atlantic ([1] to [3]). This margin and its conjugated margin (Demerara plateau) are interpreted as a rifted margin of the central Atlantic, probably reactivated by shearing during early-middle Cretaceous times, in relation to the opening of the equatorial Atlantic ([2], [3]). The southern segment displays an E-W trending continental slope and constitutes a transform margin segment which has been locally affected, along the Guinean fracture zone, by volcanic activity ([1] to [3]).

During a recent cruise (EQUAMARGE II, Feb-88), geophysical and geological data (gravity, magnetic, seismic, seabeam, dredgings) have been collected over two typical sectors (G1, G2) of this southern margin segment ([4] to [6]). The free air gravity map of sector G1 (Fig. 1 a) reveals four distinctive areas related to the main physiographic provinces of the south Guinean margin. The northern area displays a very strong NW-SE trending gradient landward bounded by a gravity high (+30 mgal) and is coincident with the shelf break. To the South, this major gradient is outlined by two gravity lows (−50, −40 mgal) forming a NW-SE negative trend which is connected with a sedimentary basin. The SW and SE areas are characterized by positive anomalies, respectively NW-SE and WSW-ENE oriented and seaward bounded by a negative gravity line. Both of them are morphologically related to bathymetric highs. The sector G2 (Fig. 1 b) shows a very high amplitude anomaly (+110 mgal) connected with a broad volcanic seamount setted in continental to epicontinental environment ([5], [6]).

The 2D models of crustal structure derived from two free air gravity profiles on sectors G1 and G2 are given on Figures 2 a and 2 b (C, D). These models fitting the observed values are matched with an isostatic model computed under the assumption of a local compensation of water and sedimentary layers (Figs. 2 a-B, 2 b-B). Then, our models are

Note présentée par Georges MILLOT.

compared with other results previously proposed for neighbouring areas [1]. This interpretation allows to point out, under the continental shelf a normal depth to moho at 25 km, close to its isostatic level. Seaward, the moho depth steeply decreases and reaches 12 km at the continent-ocean boundary. This boundary, also located from seismic data at the inner scarp base ([1], [5], [7]) is associated with gravity lows and magnetic signal which is considered as an edge effect between 2 differently magnetized crusts ([1], [8]). The residual positive isostatic anomaly observed on the edge of the continental shelf is attributed to a buried basement ridge within the upper sedimentary layers. Southward, in the transitional area of sector G1, the gravity high is related to a rooted crustal ridge. Between those two crustal structures, the observed gravity and magnetic anomalies (*Fig. 2 a-A*) are not consistent with the assumption of a strong crustal thinning and oceanic crust formation under the sedimentary basin [1]. On sector G2 (*Fig. 2 b*), the deviation from isostatic equilibrium implies that the assumption of an Airy compensation is not justified under the volcanic seamount. This fact can be due to the effective stiffness of the continental crust which could not account for such unrealistic isostatic crustal root, to a possible alteration of the crustal root or to higher densities of volcanic material [6].

This interpretation of new gravity, data, is partially consistent with previous models [1] and allows (1) to confirm the location of the ocean-continent boundary initially assumed from seismic data, (2) to recognize some typical features of transform margins ([8] to [10]) (a strong crustal thinning under the transitional area, the presence of a buried basement ridge near the shelf break and also (3) to point out typical features of the south Guinean margin which are a rooted crustal ridge in the transitional area and an original moho configuration under a sub-continental volcanic seamount.

I. INTRODUCTION. — Au cours de la campagne EQUAMARGE II, conduite en 1988 à bord du *N.O. Jean-Charcot*, par le Groupe d'Étude de la Marge Continentale et de l'Océan (G.E.M.C.O.), une étude détaillée d'un segment de la marge passive sud-guinéenne (Afrique de l'Ouest) a été réalisée. Cette étude a porté sur deux secteurs de la marge, qui présentent des caractéristiques morphologiques et structurales particulières (secteurs G1 et G2). Ces deux secteurs ont fait l'objet d'un levé bathymétrique de détail (sondeur multifaisceaux Seabeam, sondeur 3,5 kHz), d'une couverture géophysique complète (sismique réflexion monotrace, gravimétrie, magnétisme) et de prélèvements (dragages, carottages). L'interprétation des données gravimétriques nouvelles, en relation avec les résultats de campagnes antérieures, permet de préciser la structure profonde de la marge transformante sud-guinéenne.

II. CONTEXTE GÉOLOGIQUE. — La marge guinéenne, entre 8° et 10°N et 15° et 18°W, présente deux directions morphologiques NW-SE et E-W qui constituent respectivement les bordures occidentale et méridionale du plateau marginal de Guinée. Elle fait face, à l'Ouest, au bassin profond sénégal-mauritanien d'âge Jurassique et au Sud, à la plaine abyssale de Sierra-Leone, d'âge Crétacé ([1] à [3]). Cette marge et sa marge conjuguée (plateau du Démérara) constituaient, au Jurassique, un secteur élevé de la marge passive de l'Atlantique central, probablement réactivé, au Crétacé inférieur, lors de l'ouverture, en transtension, de l'Atlantique équatorial ([2], [3]). Le segment méridional, caractérisé par une pente continentale orientée EW, représente un segment de marge transformante, en prolongement structural de la zone de fracture de Guinée (ZFG) ([2], [3]). D'importantes manifestations magmatiques, liées aux directions de fracturation le long de la ZFG

soulignent la limite méridionale de ce secteur ([1], [2]). Les résultats d'une campagne antérieure (EQUAMARGE I) avaient permis de définir une stratigraphie acoustique du plateau marginal, de la pente et du domaine océanique voisin ([2], [3]) et de mettre en évidence, un ensemble inférieur profond d'âge anté-Cénomaniens (séquence 1) et un ensemble supérieur (séquences 2 à 5), discordant sur le précédent, attribué aux dépôts du Crétacé supérieur à l'actuel ([2], [3]).

Le premier secteur (G1) (*fig. 1 a*) a une morphologie complexe avec, du Nord vers le Sud : la bordure du plateau marginal, un escarpement supérieur, une zone intermédiaire de dépressions et de reliefs, un escarpement inférieur, et un glacis conduisant vers la plaine abyssale de Sierra-Leone ([1] à [5]). Il est caractérisé par l'absence de phénomène magmatique. Le second secteur (G2) est centré sur un large édifice volcanique sous-marin qui oblitère en grande partie la zone intermédiaire et l'escarpement inférieur identifié sur le secteur G1 ([2] à [5]). L'étude pétrographique du matériel volcanique, obtenu par dragage, indique des basaltes alcalins vacuolaires et fortement altérés qui témoignent d'une mise en place sub-aérienne en domaine continental à épicontinental [6].

III. DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES. — Les données gravimétriques ont été acquises selon des profils subméridiens et transverses, par enregistrement continu. La carte de l'anomalie à l'air libre du secteur G1 (*fig. 1 a*), comporte quatre domaines caractéristiques. Ces différents domaines sont affectés par deux directions gravimétriques principales, correspondant au découpage morpho-structural de la marge : NW-SE à l'Ouest de $17^{\circ}30'W$ et proches d'E-W à l'Est. Le domaine septentrional est constitué d'une zone de forts gradients, limitée au Nord par une anomalie positive (+30 mgal). Il correspond à l'escarpement supérieur qui borde, au Sud, le plateau marginal de Guinée. Le domaine central limite, au Sud, la zone précédente par un axe négatif avec une large anomalie centrale (-50 mgal) et une anomalie étroite (-40 mgal). Au Sud de $9^{\circ}N$, l'anomalie centrale s'oriente vers le SW. Ce domaine est corrélé avec une dépression bathymétrique qui correspond au bassin intermédiaire reconnu par la sismique réflexion ([1] à [4]). Le domaine sud-occidental présente une large anomalie positive relative (0 mgal) orientée NW-SE. Cette anomalie, qui semble se prolonger vers l'Ouest, est bordée au Sud par un petit axe négatif (-20 mgal). Le domaine sud-oriental se caractérise par une anomalie positive relative (-20 mgal) orientée E-W à ENE-WSW. Au plan morphologique, ces deux derniers domaines correspondent à des hauts-fonds appartenant à une ride limitant vers le Sud le bassin intermédiaire. Le glacis, qui est souligné par des minimums gravimétriques, est considéré, d'après l'interprétation sismique, comme le lieu probable de la transition continent-océan ([1], [2]).

La carte de l'anomalie à l'air libre du secteur G2 (*fig. 1 b*) offre dans sa partie septentrionale, des directions gravimétriques comparables à celles du secteur G1 (zone de gradients et ceinture négative). Cependant, la partie méridionale comporte une très large anomalie positive de forte amplitude (+110 mgal) et de forme concentrique. Cette anomalie est corrélée avec un large appareil volcanique (20 km de diamètre, sommet à -840 m) ([4] à [6]).

IV. INTERPRÉTATION. — 1. *Les profils d'anomalie.* — Une modélisation 2D des structures a été réalisée selon des profils subméridiens recoupant les directions morpho-structurales de la marge (*fig. 1, 2 a et 2 b*). Ces profils ont été prolongés par des données obtenues à partir de documents publiés [1]. Les anomalies du modèle isostatique (*fig. 2 a et 2 b*) ont été calculées, en supposant une compensation isostatique locale (Airy) de l'épaisseur

d'eau et des sédiments superficiels, à la profondeur de 31 km. Cette hypothèse d'une compensation locale est globalement justifiée, excepté sur le domaine océanique et sur la bordure du plateau marginal, caractérisés l'un et l'autre par des anomalies positives (+20 à +50 mgal). L'équilibre isostatique est mieux réalisé en G1 qu'en G2, où le relief volcanique paraît insuffisamment compensé. Les profils d'anomalie magnétique, issus d'enregistrements nocturnes (afin de minimiser les effets liés à l'électrojet équatorial), sont également reportés sur les figures 2a et 2b (A).

2. *Les contraintes du modèle.* — Dans sa partie superficielle, le modèle est contrôlé par les données bathymétriques de détail (Seabeam, sondeur 3,5 kHz) et par les résultats de profils de sismique réflexion. La pénétration de la sismique (inférieure à 4 std) ne permet d'identifier que la base de la série sédimentaire non déformée (séquences 2 à 5).

Les contraintes de densité sont issues de l'interprétation de données de sismique réfraction [1]. Ces données ont mis en évidence une croûte océanique composée d'une couche 2 de nature basaltique (2,70) et d'une couche 3 de nature gabbroïque (2,90). En domaine continental, sous les dépôts sédimentaires non consolidés (2,30) (séquences 2 à 5), le socle acoustique (2,67) correspondrait *pro parte* au sommet de formations calcaires et gréseuses du Crétacé inférieur (séquence 1) et plus profondément à des formations jurassiques et paléozoïques ([1], [2], [7]).

La limite continent-océan, sur le secteur G1, est placée, par la sismique, à la base de l'escarpement inférieur (vers 9°N). Elle est soulignée par une série de minimums gravimétriques et par une anomalie magnétique positive (fig. 2a-A). Ce signal magnétique, fréquemment observée en bordure de marges passives, serait dû à un effet de bord entre une croûte océanique fortement magnétisée et une croûte continentale peu magnétisée ([1], [8]). Le prolongement, vers le secteur G2, de l'alignement de minimums gravimétriques observée sur le secteur G1, indique une limite probable continent-océan au Sud de l'appareil volcanique (vers 8°30N). L'importance des phénomènes magmatiques dans ce secteur perturbe fortement le signal magnétique (fig. 2b-A).

3. *Les modèles retenus.* — *Le domaine continental.* — Sous le plateau marginal, le Moho se situe à une profondeur de 25 à 26 km, proche de la profondeur du « Moho isostatique ». La série sédimentaire atteint une épaisseur de 3 000 à 4 000 m. L'anomalie gravimétrique positive (+30 mgal), observée sur la bordure du plateau marginal, est interprétée par la présence d'une ride (ride interne) qui forme un relief d'environ 2 000 à 3 000 m de matériel crustal dense (2,80) dans des séries sédimentaires légères.

La zone de transition. — Les deux secteurs G1 et G2 sont caractérisés par un brusque amincissement de la croûte continentale (60 km), qui passe de 25 km sous le plateau marginal, à 12 km, au niveau du contact avec la croûte océanique. A l'aplomb de l'anomalie gravimétrique négative, l'ensemble de la série sédimentaire s'épaissit pour constituer le bassin intermédiaire, dont les dépôts atteignent 3 000 à 4 000 m. Dans le secteur G1, ce bassin est limité au Sud, par une ride constituée de matériel continental (ride externe). L'anomalie gravimétrique observée implique un enracinement crustal de cette ride jusqu'à une profondeur de 20 km. Dans le secteur G2, l'écart au modèle isostatique, à l'aplomb du relief volcanique, implique soit une racine crustale moins importante que celle supposée par une compensation locale, soit une densité plus élevée du matériel volcanique. Pour une densité de 2,85 (2,75 pour un échantillon obtenu par dragage), on aboutit à une racine crustale moins profonde d'environ 5 000 m par rapport au « Moho isostatique ».

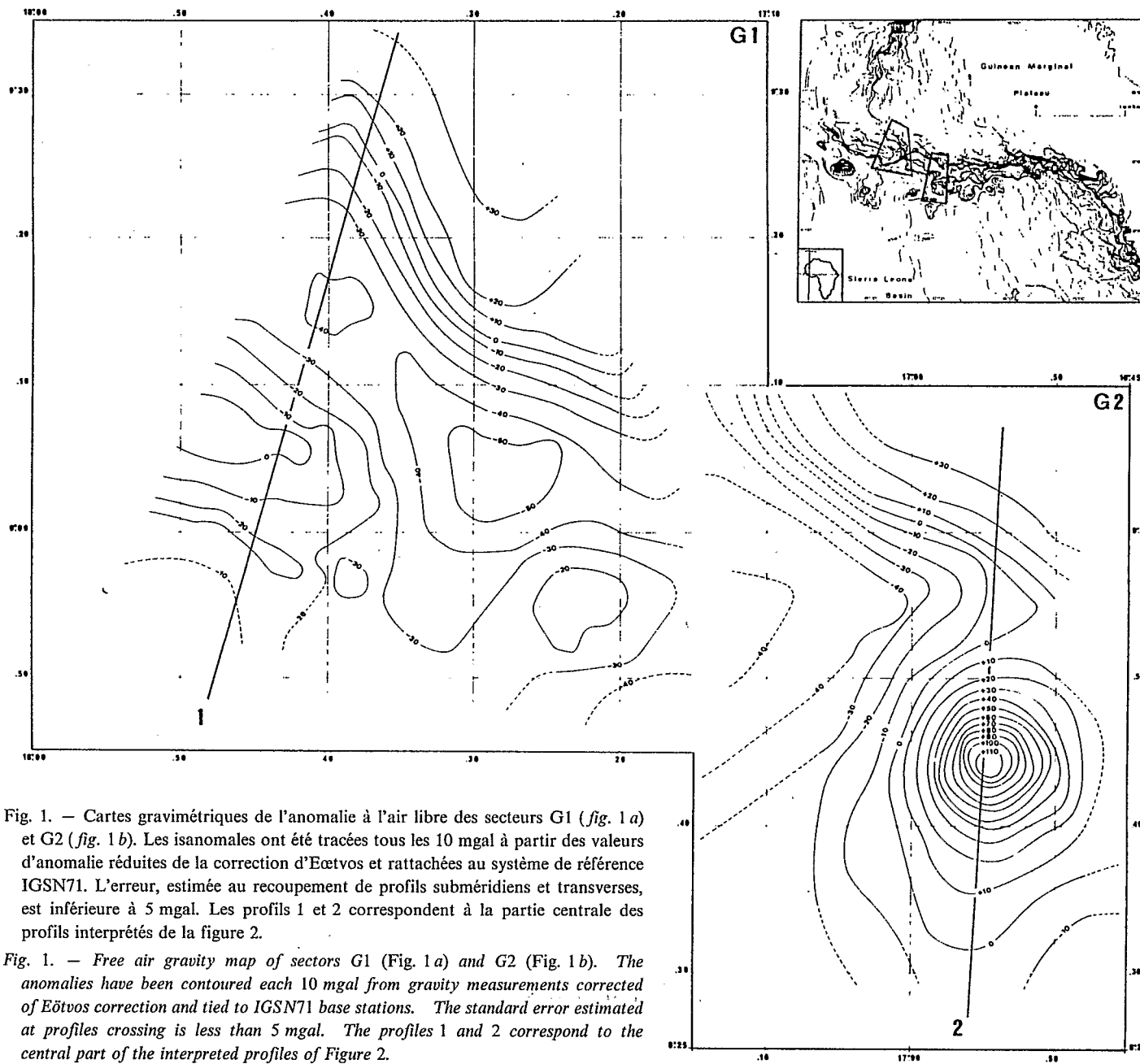


Fig. 1. — Cartes gravimétriques de l'anomalie à l'air libre des secteurs G1 (fig. 1 a) et G2 (fig. 1 b). Les isanomaes ont été tracées tous les 10 mgal à partir des valeurs d'anomalie réduites de la correction d'Eötvos et rattachées au système de référence IGSN71. L'erreur, estimée au recoupement de profils subméridiens et transverses, est inférieure à 5 mgal. Les profils 1 et 2 correspondent à la partie centrale des profils interprétés de la figure 2.

Fig. 1. — Free air gravity map of sectors G1 (Fig. 1 a) and G2 (Fig. 1 b). The anomalies have been contoured each 10 mgal from gravity measurements corrected of Eötvos correction and tied to IGSN71 base stations. The standard error estimated at profiles crossing is less than 5 mgal. The profiles 1 and 2 correspond to the central part of the interpreted profiles of Figure 2.

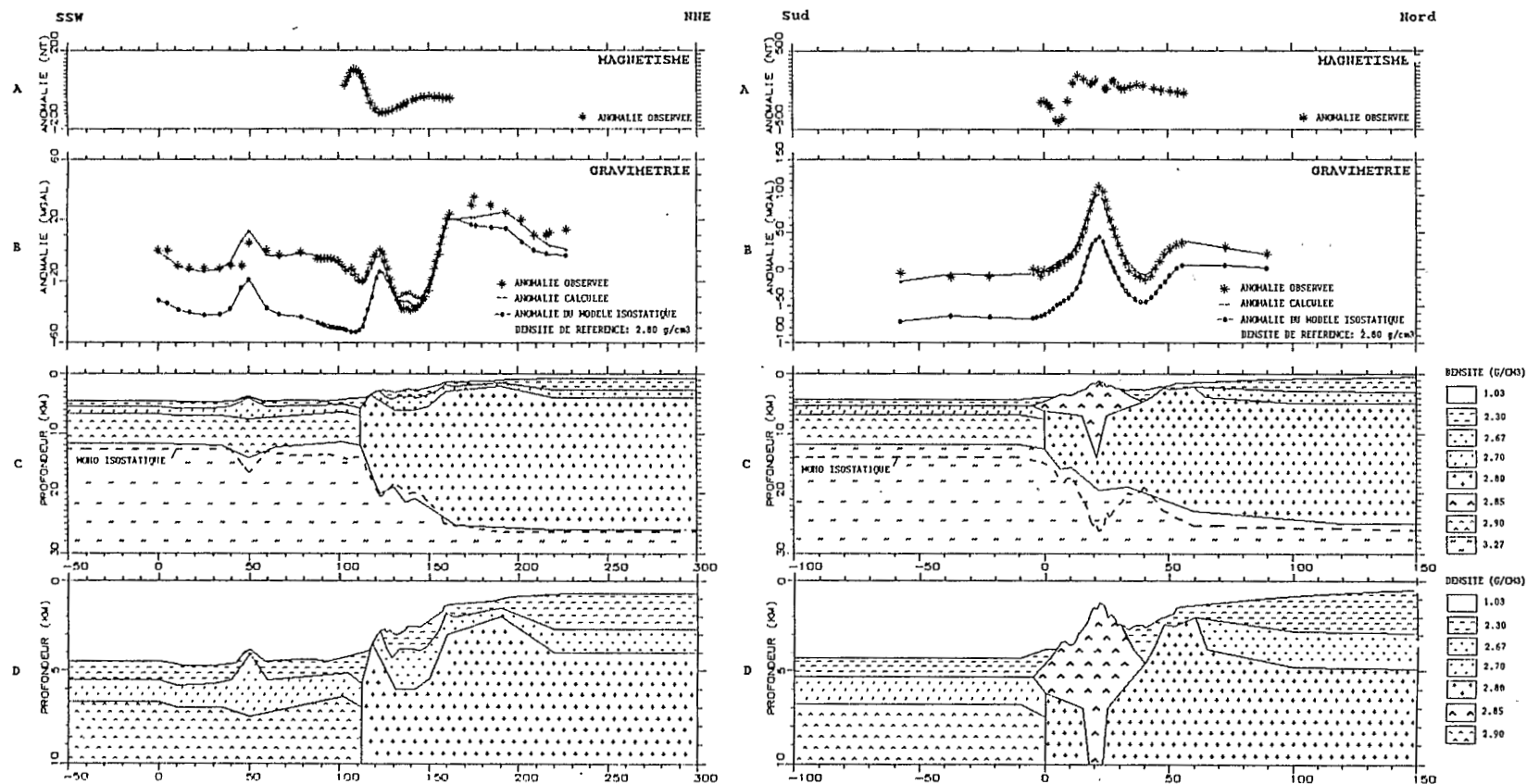


Fig. 2. — Modèles gravimétriques proposés pour les secteurs G1 (fig. 2a) et G2 (fig. 2b). Les coupes D et C représentent les modèles gravimétriques superficiel et profond. L'interface dénommée « Moho isostatique » correspond au Moho théorique calculé pour une compensation locale d'Airy (profondeur de compensation 31 km) des épaisseurs d'eau et de sédiments superficiels. Dans le cadre supérieur A, est reporté le profil magnétique nocturne et corrigé du champ de référence IGRF.

Fig. 2. — Two dimensional gravity models of sectors G1 (Fig. 2a) and G2 (Fig. 2b). C and D are respectively the entire and superficial gravity models. The dashed line named "isostatic moho" corresponds to the theoretical moho computed under the assumption of a local isostatic compensation of water and superficial sedimentary layers (compensating depth 31 km). A is the observed magnetic anomaly, issued from nocturnal profile, and corrected of the IGRF reference field.

Le domaine océanique. — L'anomalie isostatique observée provient de la différence de composition de la croûte par rapport au modèle isostatique et de la non-compensation d'une croûte océanique élevée près de la limite océan-continent [8]. En partant d'une composition typique de croûte océanique d'âge crétacé [9], nous mettons en évidence un Moho (profondeur 12 km), plus superficiel que le « Moho isostatique » et un socle situé vers une profondeur de 5 à 6 km. Au Sud du secteur G1, le modèle indique une flexure de la croûte océanique de quelques kilomètres de largeur; cette dernière traduit le comportement élastique de la lithosphère en réponse à la surcharge d'un mont sous-marin.

V. DISCUSSION. — Jones et Mgbatogu [1], à partir des données de sismique réfraction [7] et de mesures gravimétriques, ont proposé un modèle pour la structure profonde de ce secteur de la marge guinéenne. Les modèles, discutés ici, sont compatibles avec ces interprétations qui concluaient (a) à un amincissement crustal rapide sous la zone de transition, (b) à l'existence d'une ride de socle sous la bordure du plateau marginal et (c) à un enracinement probable de la ride externe dans la zone de transition. L'absence d'une anomalie magnétique, à la base de l'escarpement supérieur, nous amène à infirmer l'hypothèse d'un fort amincissement crustal sous le bassin intermédiaire et celle d'une mise en place d'une croûte océanique ou transitionnelle, proposée auparavant [1]. Ce fait implique que les mouvements le long de la ZFG n'ont pu détacher un bloc de croûte continentale et entraîner la création d'une croûte océanique sous le bassin intermédiaire. Dans cette hypothèse, la limite océan-continent située, par la sismique, à la base de l'escarpement inférieur, est confirmée par les données gravimétriques et magnétiques. Dans le cas d'un volcanisme de type océanique, la zone de transition serait plutôt caractérisée par un épaissement important de la croûte océanique [1], alors que dans le cas d'un volcanisme mis en place en contexte continental (secteur G2), l'absence d'un équilibre isostatique, implique soit un comportement rigide de la croûte continentale, soit une altération en profondeur de la racine crustale, soit des densités plus importantes de matériel volcanique. La nature du volcanisme qui s'exprime le long de la ZFG, se reflète, quoi qu'il en soit, dans la structure profonde de la zone de transition.

VI. CONCLUSIONS. — L'interprétation de données gravimétriques nouvelles de deux secteurs caractéristiques de la marge sud-guinéenne, et leur comparaison avec des résultats antérieurs, permet (1) de confirmer l'emplacement de la limite continent-océan proposée par la sismique, (2) de mettre en évidence des caractéristiques déjà reconnues sur des secteurs voisins et qui semblent communes à d'autres marges continentales soumises à des mouvements transformants ([1], [8], [10]) (à savoir un amincissement crustal rapide sous la zone de transition, un socle océanique situé à une profondeur de 5 à 6 km et une ride de socle sous la bordure du plateau marginal) enfin (3) de mettre en évidence des structures qui semblent propres à la marge sud-guinéenne (ride externe de croûte continentale enracinée et absence apparente d'une racine crustale à l'aplomb du relief volcanique).

Ces structures, créées pour la plupart, pendant les premiers stades de la création de la marge et d'océanisation, en liaison avec les mouvements d'ouverture transformante guidée par la ZFG, ont joué un rôle important dans l'évolution de la marge, notamment en guidant son évolution tectono-sédimentaire. Des travaux de sismique profonde seraient nécessaires pour préciser la structure et donc l'évolution de ce segment de la marge ouest-africaine.

Contribution n° 521 du G.E.M.C.O. (U.R.A.-C.N.R.S. n° 718) et de l'U.R. 1F (O.R.S.T.O.M.). Nous remercions l'IFREMER Genavir, l'équipe technique et l'équipage du *N/O Jean-Charcot* pour le bon déroulement de la campagne Equamarge II, le C.N.R.S.-I.N.S.U. pour le support financier fourni lors de la réalisation de la campagne et le gouvernement de la Guinée pour les autorisations de travail accordées dans ses eaux économiques. Nous remercions Pierre Maillard (laboratoire de Géodynamique interne, O.R.S.T.O.M.) pour sa contribution au tracé des cartes gravimétriques.

Note remise le 6 novembre 1989, acceptée le 9 novembre 1989.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] E. J. W. JONES et C. C. S. MGBATOGU, In *The ocean floor*, R. A. SCRUTTON et M. TALWANI éd., Wiley, London, 1982, p. 165-202.
- [2] M. MARINHO, Le plateau marginal de Guinée, transition entre Atlantique central et Atlantique équatorial, *Thèse de 3^e cycle*, Université P.-M.-Curie, 1985, 183 p.
- [3] J. MASCLE, M. MARINHO et J. WANESSON, *Geol. Rundschau*, 75, 1, 1986, p. 57-70.
- [4] J. BENKHELL, J. MASCLE, M. VILLENEUVE, P. TRICART, C. AUROUX, C. BASILE, G. CIAIS et le groupe Equamarge, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 308, série II, 1989, p. 655-661.
- [5] J. MASCLE, C. AUROUX et le groupe Equamarge II, *les marges continentales transformantes ouest-africaines (Guinée, Côte-d'Ivoire, Ghana) et la zone de fracture de la Romanche, Campagne Equamarge II*; COF Publication IFREMER, 1988, p. 150.
- [6] H. BERTRAND, J. MASCLE, M. VILLENEUVE, C. ROBERT et M. COUSIN et le groupe Equamarge II, *C. R. Acad. Sci. Paris* (en cours).
- [7] R. E. SHERIDAN, R. E. HOUTZ, C. L. DRAKE et M. EWING, *J.G.R.*, 74, 1969, p. 2512-2530.
- [8] P. D. RABINOWITZ et J. L. LABRECQUE, *E.P.S.L.*, 35, 1977, p. 145-150.
- [9] J. C. SIBUET et B. VEYRAT-PEYNET, *J.G.R.*, 85, 1980, p. 943-954.
- [10] R. A. SCRUTTON, In *Dynamics of passive margins*, R. A. SCRUTTON éd., Geodynamics series, 6, Am. Geophys. Union, New York, 1982, p. 133-140.

S. B. : Laboratoire de Géodynamique interne, O.R.S.T.O.M., 70-74 route d'Aulnay, 93140 Bondy;
 B. P. : Laboratoire de Géodynamique sous-marine, O.R.S.T.O.M., B.P. n° 48, 06230 Villefranche-sur-Mer;
 J. M. : Laboratoire de Géodynamique sous-marine, U.A.-C.N.R.S. n° 718,
 B.P. n° 48, 06230 Villefranche-sur-Mer.