

## FOSSÉS D'EFFONDREMENT EN ARRIÈRE DE L'ARC DES NOUVELLES-HÉBRIDES. MÉCANISMES PROPOSÉS

par J. DUBOIS\*, F. DUGAS\*, A. LAPOUILLE\* et R. LOUAT\*

**RÉSUMÉ.** — En rassemblant de nombreuses données recueillies sur l'arc des Nouvelles-Hébrides et en étendant ces observations à d'autres arcs jeunes, nous donnons une description morphologique des fossés d'effondrement qui se situent en arrière des arcs volcaniques. La bathymétrie et la sismique réflexion nous permettent de donner un schéma type de ces fossés. On trouve généralement la succession suivante d'avant en arrière de l'arc : un affaissement, un môle étroit, un fossé profond avec une gouttière, un môle étroit. L'étude stratigraphique et tectonique montre clairement qu'une tectonique de tension est à l'origine de l'effondrement des fossés, les formations observées sur les bords et au fond seraient plio-quaternaires. Les anomalies magnétiques observées sur plusieurs profils ainsi que quelques données gravimétriques apportent des renseignements importants sur leur structure profonde et leur formation. On peut en effet en déduire que ces bassins d'effondrement récents présentent une relative symétrie par rapport à leur axe qui est le lieu d'une montée actuelle de magma sous-jacent. Une comparaison entre les anomalies magnétiques sur les différents fossés, permet de conclure que le stade d'évolution est inégal dans chacun d'eux, les fossés du Nord étant plus anciens que ceux du Sud. Cette observation est confirmée par l'activité sismique qu'il est possible par ailleurs de bien séparer de celle du plan de Benioff. Les fossés du Sud sont sismiquement plus actifs que ceux du Nord.

Dans l'interprétation de leur formation, nous envisageons 4 mécanismes possibles. Celui qui nous paraît le plus vraisemblable suivrait cette séquence : formation de failles transcurrentes dans les parties incurvées des arcs puis création de cellules de convection dans l'asthénosphère au-dessus du plan de Benioff. La colonne montante des cellules provoque une tectonique de tension au niveau des fossés qui se forment le long des failles préexistantes, et la matière ascendante est à l'origine des intrusions responsables des anomalies magnétiques. Un des arguments essentiels à l'appui de ce schéma est la position de l'extrémité de la lithosphère plongeante à la verticale sous les fossés.

**ABSTRACT.** — From a volume of data gathered in the New Hebrides island arc, and by extension of observations to other young arcs, we are able to provide a geomorphological description of the tectonic troughs lying behind the volcanic arcs. From the bathymetry and seismics a typical plan of these troughs may be made. From the front to the rear of the arc this sequence is generally found : first a small depression then a broad, deep depression with a narrow ridge along either side. Stratigraphy and tectonics clearly show that the troughing was induced by crustal stretching; sedimentary formations observed on the edge and bottom are thought to be Plio-Quaternary. Magnetic anomalies obtained on several profiles and some gravimetric data have brought to light some important knowledge on the deep structure and genesis of the troughs. Indeed we may deduce from this data that these recently faulted basins are symmetrical relative to the longitudinal axis where rising magma is causing uplift. A comparison of the magnetic anomalies from different troughs shows that the state of evolution is different in each case, though in general the southerly troughs are more recently formed than their more northerly counterparts. This observation has been confirmed from seismic activity which it has been possible to differentiate from the presence of the Benioff zone. Seismicity in the troughs is more active towards the South.

As a guide to the formation of these troughs, we suggest four possible mechanisms. The most likely seems to be that transcurrent faults occurred in the curved parts of the arcs, then convection cells appeared in the asthenosphere above the Benioff zone. The rising columns of the cells caused tensional tectonic movement beneath the troughs along pre-existing fault lines, then ascending material formed intrusions as observed through the magnetic anomalies. One point in favour of this theory is the positioning of the dipping end of the lithosphere, which disappears vertically beneath the troughs.

\* O.R.S.T.O.M., B.P. A5, Nouméa Cedex (Nouvelle-Calédonie).

7 JAN. 1976 Ex 1

O. R. S. T. O. M.

Collection de 'Références

n° 7964 Geoph.

## I. — INTRODUCTION

L'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides (fig. 1) s'étire du Nord au Sud sur 1 400 km, s'incurvant au Nord en direction des îles Salomon, et au Sud en direction des îles Fidji. Au niveau de sa partie centrale il sépare deux grandes structures orientées E-W : la fracture de Hazel Home à l'Est et la zone de fracture d'Entrecasteaux à l'Ouest. Cette partie centrale se distingue des parties nord et sud par l'existence de grandes îles et par l'interruption de la fosse. On distinguera donc trois sections : le Nord, la partie centrale (des îles Espiritu Santo et Maewo à l'île Epi) et le Sud. Cependant le plan de Benioff existe du Nord au Sud avec un plongement vers l'Est de 70° dans l'ensemble (J. Dubois, 1969) mais sa continuité paraît moins nette depuis que des études fines de sismicité ont pu être faites (G. Pascal, 1974). La ligne volcanique matérialisée par les volcans récents est parallèle à la fosse. Les volcans actifs existent tout le long de l'arc y compris dans la section centrale. Le long de l'arc, à l'Est de la ligne volcanique, dans les sections nord et sud, apparaissent des bassins sous-marins étroits et allongés suivant la direction de l'arc. On se propose ici de faire l'inventaire de ces bassins, d'étudier leur structure sur les profils bathymétriques, magnétiques et sismiques que nous possédons et leur sismicité. Nous tenterons ensuite d'interpréter tectoniquement ces structures caractéristiques.

Pour les situer de façon précise sur l'arc rappelons les traits morphologiques fondamentaux d'un arc insulaire (fig. 2) tels qu'ils ont été décrits lors de la Conférence sur la sédimentation géosynclinale (*in* W.R. Dickinson, 1973 et D.E. Karig et G.S. Sharman, 1974). On trouve à partir de la fosse un flanc interne (inner wall) à pente raide interrompue par une rupture de pente (trench slope break) puis une nouvelle discontinuité dans la partie supérieure de la pente (upper slope discontinuity). Entre la fosse et cette discontinuité se développe le prisme d'accrétion (accretionary prism), d'origine sédimentaire, redressé par la subduction de la lithosphère océanique au niveau de la fosse selon D.E. Karig et G.S. Sharman

(1974). Ensuite vient l'arc frontal qui précède la ligne des volcans actifs. En arrière des volcans se trouvent les bassins marginaux actifs (active marginal basins), puis un arc volcanique fossile (remnant arc) et des bassins marginaux inactifs.

W.R. Dickinson (1973) et D.E. Karig et G.S. Sharman (1974) ont montré que ces structures évoluaient avec le temps et qu'il y avait une relation entre l'âge de l'arc et la distance fosse-volcans. Cet élargissement de l'arc en fonction du temps serait dû à l'accumulation des sédiments par accrétion en prisme redressé en arrière de la fosse, et tout se passerait comme si, par rapport à un repère fixe pris dans le manteau, la fosse se déplaçait vers l'avant et la ligne de volcans vers l'arrière (fig. 2). La vitesse d'écartement entre la ligne volcanique et la rupture de pente serait de 1 km/M.a. (W.R. Dickinson, 1973).

L'étroitesse de l'arc des Nouvelles-Hébrides dont la largeur n'excède pas 200 km a conduit ces auteurs à le considérer comme un arc très jeune (10 M.a. pour W.R. Dickinson, 3 M.a. dans sa partie sud pour D.E. Karig et G.S. Sharman). La distance fosse-volcans est, avec celle que l'on mesure aux Salomon, l'une des plus courtes que l'on connaisse : 125 km. On retrouve apparemment le schéma type avec le prisme d'accrétion et on observe (fig. 4 a et 4 b) dans les parties nord et sud : la fosse profonde (8 500 et 7 500 m), une pente en gradins (l'un d'eux étant peut-être l'amorce de la rupture de pente), un plateau parfois dépressionnaire, une ligne volcanique discontinue, puis un fossé entre deux môles à l'aspect de horsts, le môle le plus à l'Est constituant le troisième arc de D.E. Karig (1972).

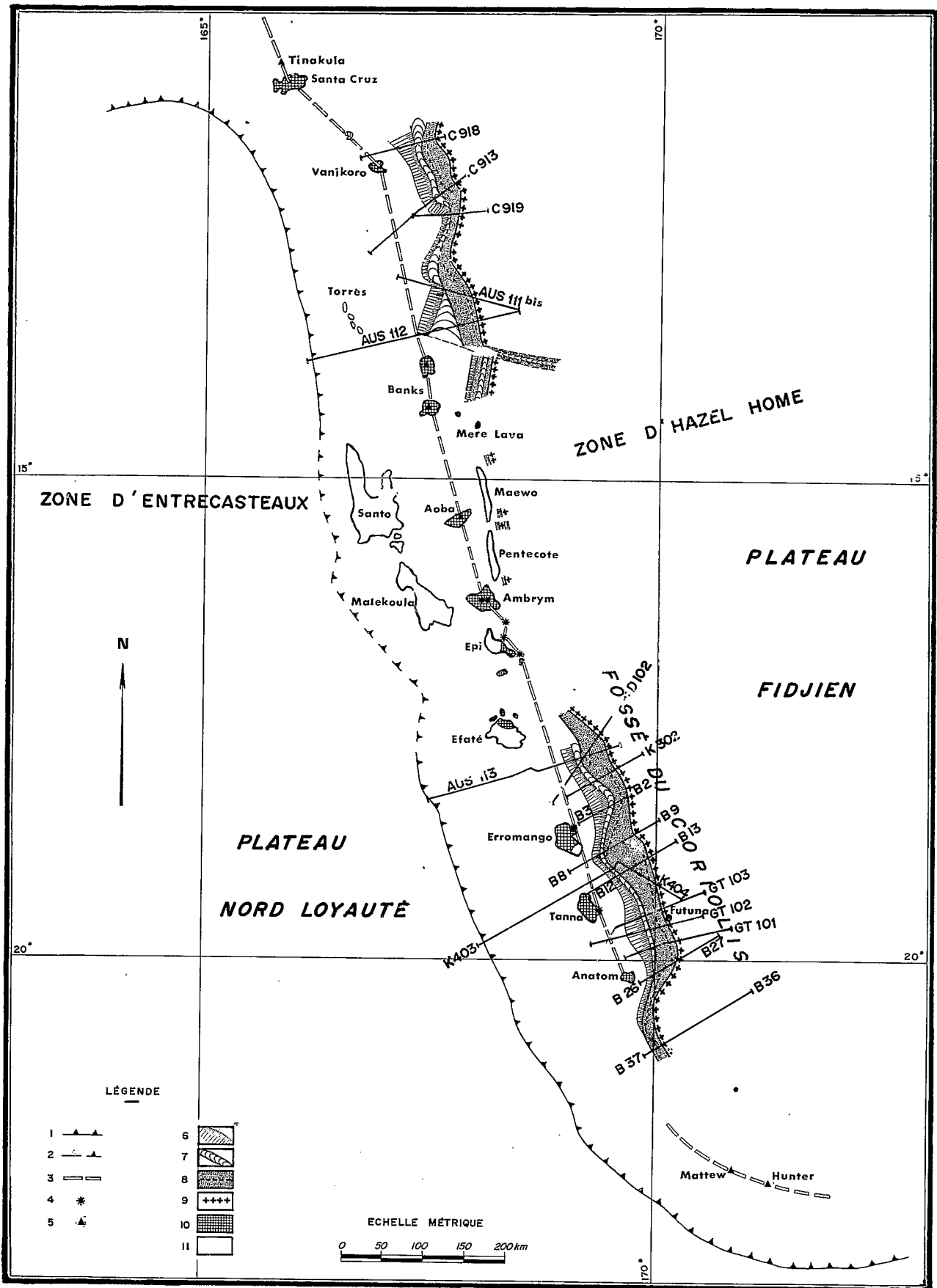
Au sujet des fossés plusieurs hypothèses ont été émises. A la suite de leur découverte lors des premières croisières Coriolis (fig. 3) (M. de Chalvron *et al.*, 1967 ; J.L. Puech et C. Reichenfeld, 1968, 1969), D.E. Karig et J. Mammerickx (1972) les assimilent à des bassins inter-arcs disposés en échelon. Remarquons qu'une étude précise de leur bathymétrie avec positionnement par satellites montre que la disposition en échelon est moins évidente que ces auteurs ne l'affirment. Leur distance à la fosse au Nord et au Sud est relativement constante : 170 km entre celle-ci et leur flanc ouest.

B.P. Luyendyck *et al.* (1974) ont ensuite appelé ces dépressions « extensional fault troughs » ou

FIGURE 1

L'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides. Position des profils des fig. 4 a, 4 b, 8.

1 : Fosse avec trace du plongement de la lithosphère ; 2 : Trace du plongement sans fosse ; 3 : Ligne volcanique ; 4 : Volcan actif ; 5 : Volcan avec solfatares ; 6 : Compartiment affaissé à l'Ouest du fossé ; 7 : Môle ouest ; 8 : Fossé d'effondrement avec sa gouttière ; 9 : Môle est ; 10 : Volcanisme plio-quatenaire ; 11 : Volcanisme ante plio-quatenaire.



ZONE D'ENTRECASTEAUX

ZONE D'HAZEL HOME

PLATEAU

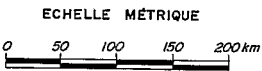
FIDJEN

PLATEAU

NORD LOYAUTE

LÉGENDE

- |   |  |    |  |
|---|--|----|--|
| 1 |  | 6  |  |
| 2 |  | 7  |  |
| 3 |  | 8  |  |
| 4 |  | 9  |  |
| 5 |  | 10 |  |
|   |  | 11 |  |



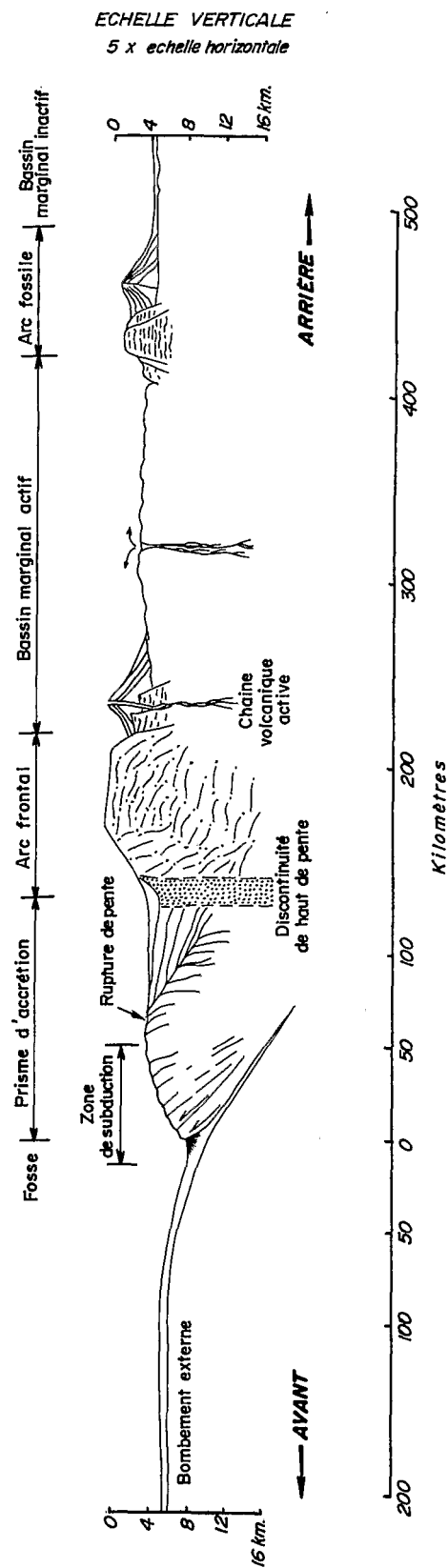


FIGURE 2  
Coupe type transversale d'un arc insulaire, principales unités tectoniques et la terminologie d'après D.E. Karig et G.S. Sharman (1974)

« inter-arc basins », mais ils n'ont pu mettre en évidence une nouvelle croûte océanique. Ensuite D.I.J. Mallick (1973) et N.H. Sleep (1973) les ont appelées « intra-arcs basins », réservant l'appellation « inter-arcs » aux larges bassins de la section centrale qui ne seront pas étudiés ici.

Dans cet article, nous décrirons d'abord leur développement au Nord et au Sud et leur morphologie. Nous examinerons ensuite les anomalies magnétiques qu'ils induisent et des modèles d'interprétation de ces anomalies seront proposés. Puis nous essayerons de voir si la sismicité superficielle observée à leur niveau peut se relier à une tectonique active. Enfin après avoir examiné les structures d'autres arcs jeunes, des mécanismes généraux de formation de ces fossés seront proposés.

## II. — PHYSIOLOGIE DES FOSSÉS DES NOUVELLES-HÉBRIDES

### A. — POSITION.

Ces fossés s'étendent de façon continue, à peu près parallèlement à la ligne volcanique, à l'exception de la partie centrale de l'arc où ils sont peu développés ou absents. Nous constaterons qu'ils n'existent que dans les sections nord et sud où la fosse est bien définie. Ils sont continus entre 11° et 14° S et entre 18° et 21° S, formant ainsi 2 segments de 300 km de long séparés par un intervalle de 400 km environ. Cette correspondance nous apparaît comme un trait structural fondamental. Nous ne possédons cependant pas suffisamment de données pour préciser leur terminaison aux extrémités nord et sud de l'arc.

La distance entre la ligne volcanique et le bord ouest du fossé central est comprise entre 35 et 55 km environ (fig. 1). On observe des variations d'orientation qui ont amené D.E. Karig et J. Mamerickx (1972) à les considérer comme des structures en échelon. Toutefois une étude plus fine (fig. 1) nous a montré qu'il y avait une continuité et que le terme de structure en dents de scie serait plus conforme aux observations. Remarquons que la carte bathymétrique du Sud-Ouest Pacifique établie par la Scripps Institution of Oceanography, dessinée en tenant compte des conclusions des auteurs précités, oriente nettement NE-SW les fossés d'Efaté, d'Erromango et de Tanna, alors que nos profils montrent des structures continues parallèles à la ligne volcanique ; seule la gouttière centrale est décrochée (voir fig.

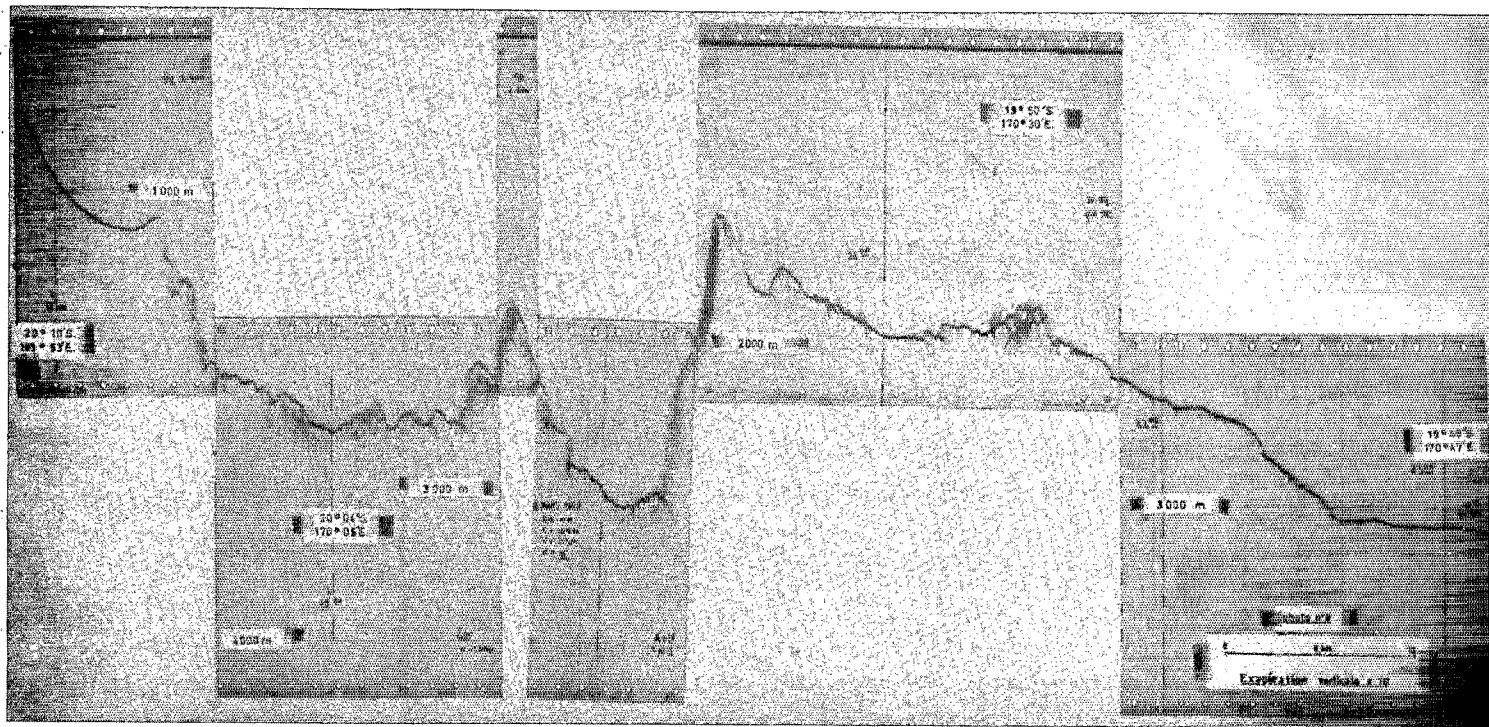


FIGURE 3  
Le fossé du Coriolis à la latitude de l'île Anatom (J.L. Puech et C. Reichenfeld, 1968)

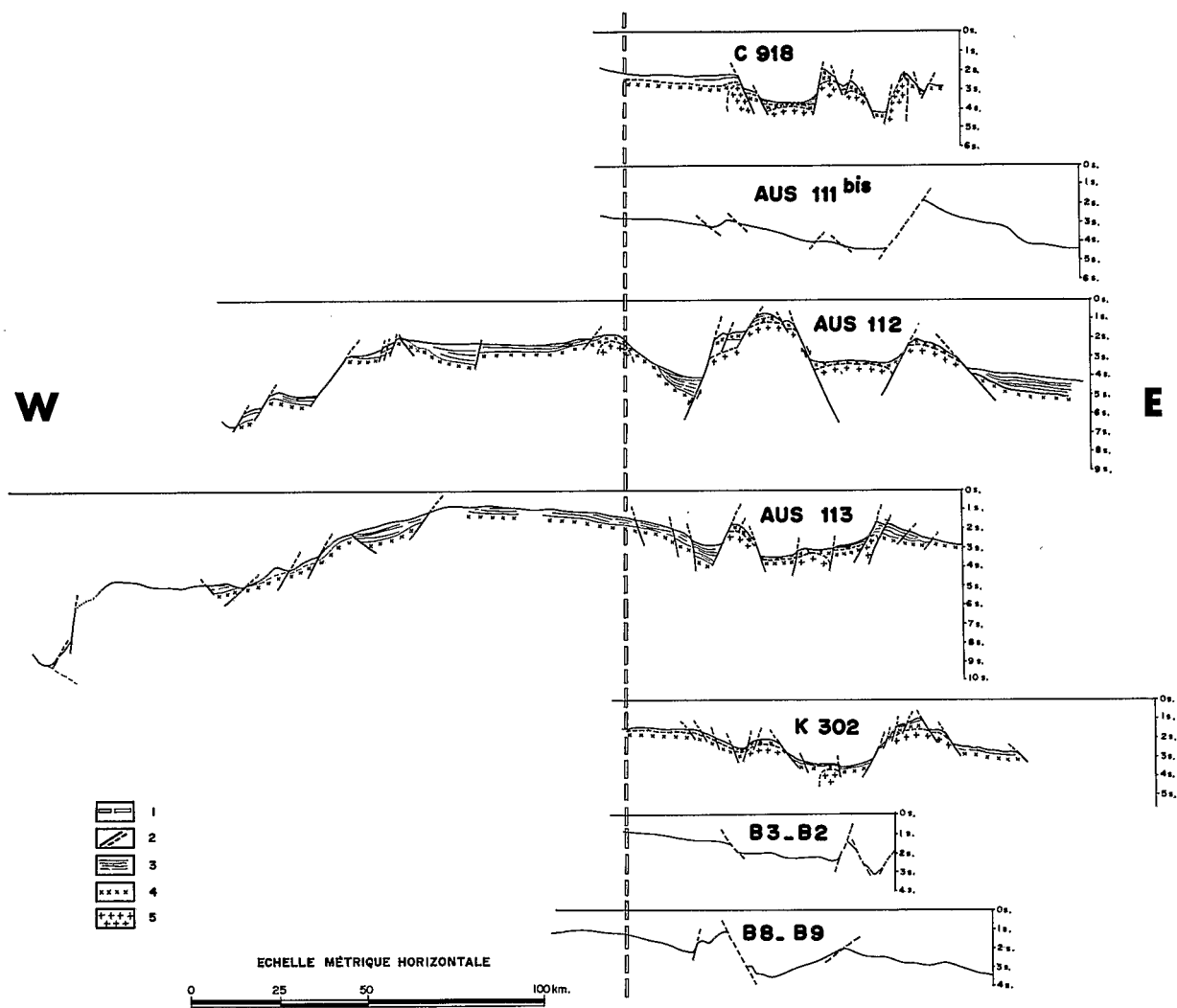


FIG. 4 a

FIGURES 4 a, 4 b

Coupes bathymétriques et sismiques. La figure 1 donne la position des coupes

1 : Ligne volcanique; 2 : Faille observée et faille supposée; 3 : Formation supérieure; 4 : Formation inférieure; 5 : Intrusion volcanique. Les profils AUS 111 bis et les profils B-B sont uniquement bathymétriques.

1). Nous appelons gouttière la partie la plus profonde du fossé.

#### B. — MORPHOLOGIE.

Les fossés se présentent comme des dépressions étroites plus ou moins complexes. On peut distinguer d'Ouest en Est :

1°) un affaissement en escalier de 20 à 45 km de large, et de profondeur 1 500 à 2 200 m, exceptionnellement 3 000 m ;

2°) un môle étroit à l'aspect de horst de 2 à 10 km de large dont le sommet est de 800 à 1 500 m sous le niveau de la mer ;

3°) un fossé profond avec une gouttière de largeur 35 km environ et de profondeur 2 500 à 3 300 mètres ;

4°) un môle étroit limitant à l'Est la structure et dont le sommet se trouve à une profondeur de 0 à 1 500 m (émergeant à l'île Futuna).

Ces structures apparaissent sur la majorité des profils étudiés (fig. 4 a et 4 b) bien que le môle ouest ne soit pas toujours bien défini. Par contre

FOSSÉS D'EFFONDREMENT EN ARRIÈRE DE L'ARC DES NOUVELLES-HÉBRIDES

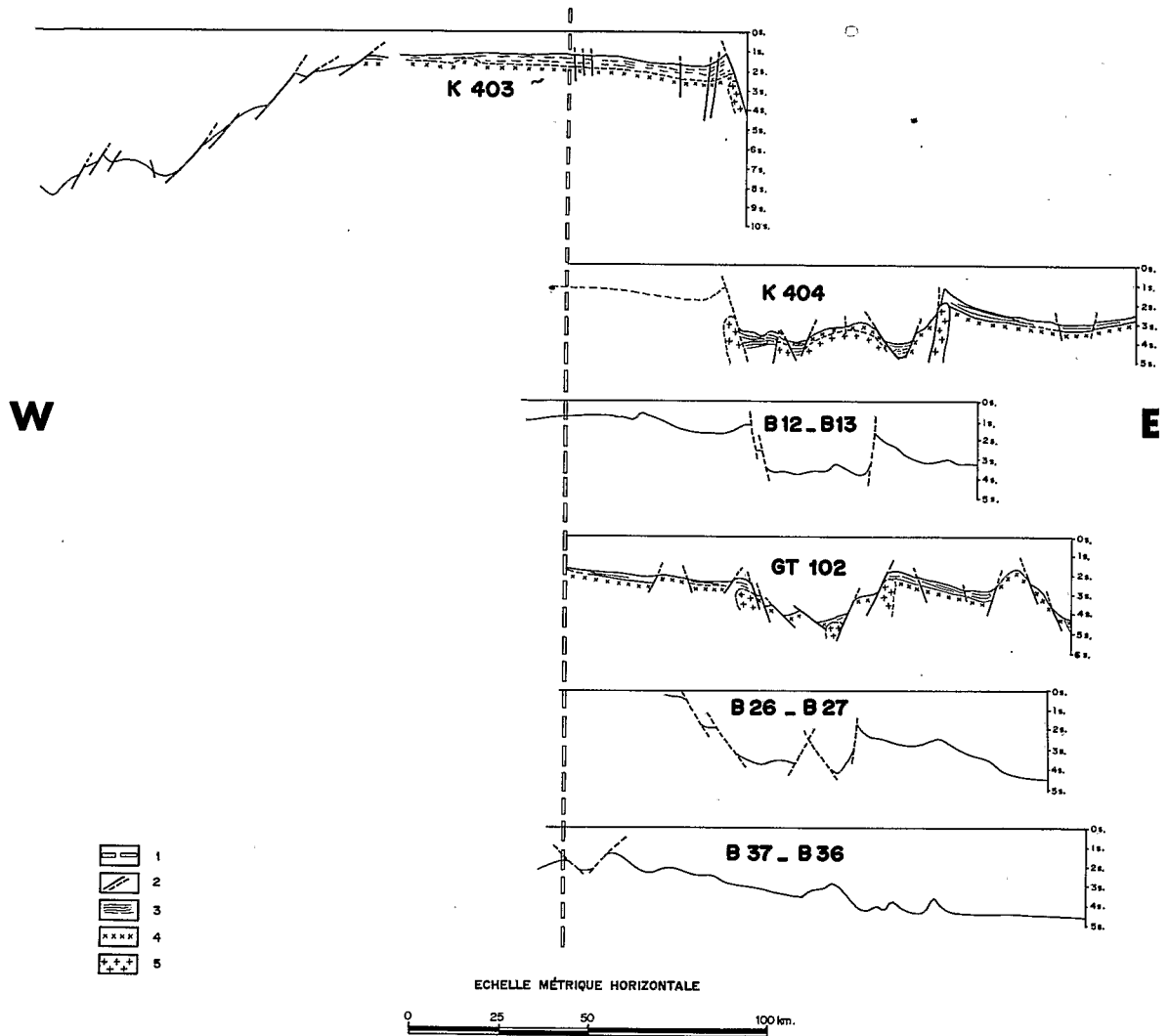


FIG. 4 b

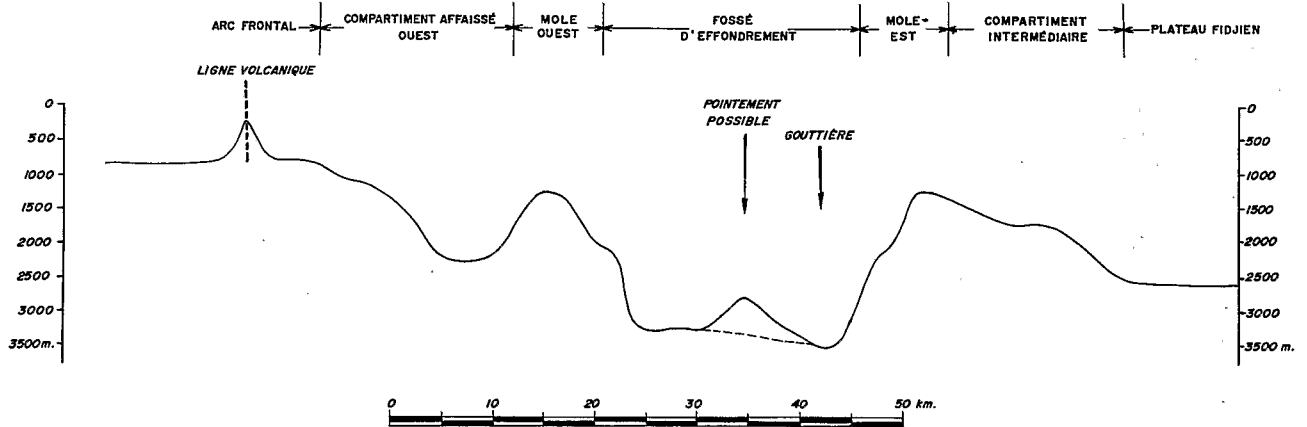


FIGURE 5  
Profil morphologique du fossé d'effondrement des Nouvelles-Hébrides

la gouttière et le môle est sont nets. Quelques inégalités apparaissent pourtant d'un profil à l'autre : le compartiment affaissé semble se rétrécir au niveau des décrochements, le môle ouest est plus développé au Nord (profil AUS 113) et à l'Est d'Erromango (AUS 113, K 302, B 3 - B 2, B 8 - B 9), la gouttière profonde est décrochée aussi bien au Nord qu'au Sud. Au niveau de ces décrochements la largeur du fossé est plus grande. Les pentes des flancs est et ouest sont voisines de 45 %. Le fond, au Nord d'Erromango, est assez régulier et plat mais au Sud apparaissent un ou plusieurs pointements (B 27). Le môle, très relevé, pointe à une profondeur relativement constante de 2 s.t.d., à l'exception de l'île Futuna où il émerge.

Cette analyse nous conduit à représenter (fig. 5) le profil type de ces fossés en les situant par rapport à la ligne volcanique.

### III. — GÉOLOGIE

#### A. — STRATIGRAPHIE.

Les coupes sismiques (fig. 4 a et 4 b) mettent en évidence deux formations : l'une superficielle d'épaisseur réduite, excepté dans certaines dépressions où elle peut atteindre 1 s.t.d., reposant sur une deuxième à très faible pénétration, 0 à 0,5 s.t.d.

Le toit de la formation inférieure est irrégulier et laisse apercevoir des séries latéralement discontinues. Cette formation dont l'épaisseur n'est pas connue paraît exister sur tout l'arc. On peut l'assimiler à une série volcano-clastique datant du dernier paroxysme volcanique.

La formation supérieure présente des strates régulières, transparentes, peu déformées, en discordance sur la formation précédemment décrite. Ces dépôts récents s'accumulent dans les creux, gouttière du fossé et compartiment effondré, dont ils tendent à niveler le fond (fig. 6). Par ailleurs on constate que des mouvements récents ou actuels les déforment par endroits (à proximité d'intrusions semble-t-il), ce qui est un argument en faveur d'une tectonique active.

Un dragage réalisé lors de la croisière Géotransit (J. Récy, 1973) sur le flanc est du fossé à proximité de l'île Futuna a ramené des vases et des tufs semi-consolidés, volcano-clastiques fins et moyens avec souvent des foraminifères et en surface des encroûtements de manganèse et de fer. Les échantillons

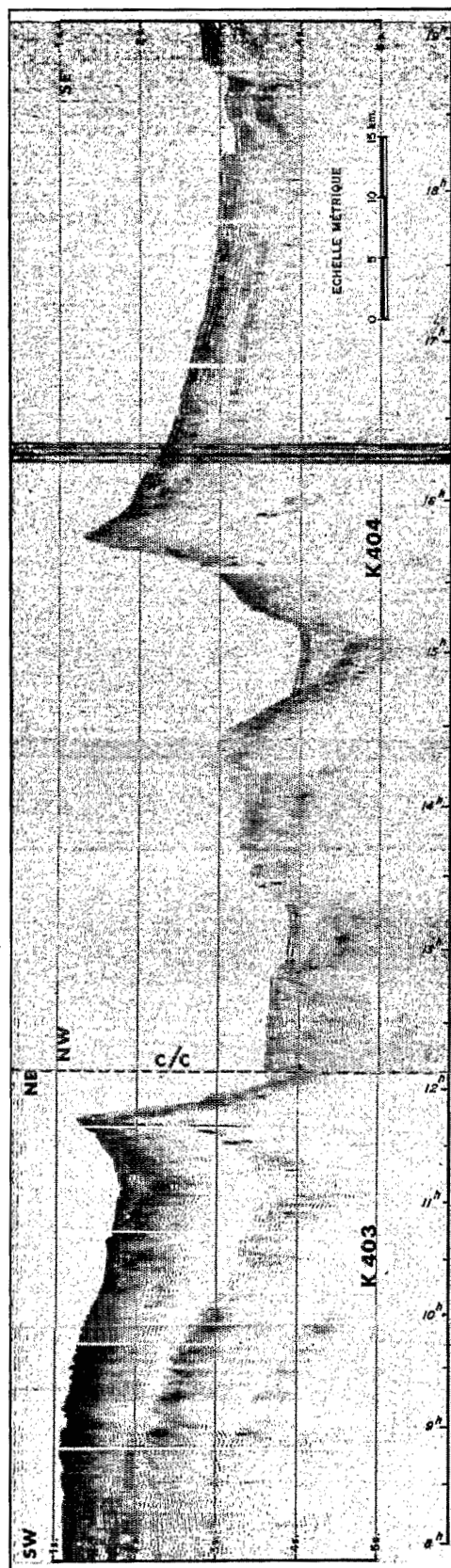


FIGURE 6  
Photographie d'une coupe sismique réflexion du fossé d'effondrement (profils K 403 et K 404)



semblent appartenir aux deux formations, les plus grossiers et consolidés représentant très probablement la formation inférieure.

L'âge de ces unités n'a pu être précisé, mais l'histoire géologique du volcanisme des Nouvelles-Hébrides (A.M.G. Mitchell et A.J. Warden, 1971 ; D.I.J. Mallick, 1973) permet de faire des hypothèses sur leur origine. Les volcans actifs se présentent comme des constructions plio-quadernaires édifiées sur un substratum pénéplané observable sur l'île Erromango (B. Lemaire, 1965 ; H. Colley, 1968) d'âge  $5,76 \pm 0,59$  M.a. (R.P. Ash, 1971 ; H. Colley et R.P. Ash, 1971). Les dépôts volcaniques plio-quadernaires sont moins importants que ceux du Mio-Pliocène car ils n'ont ni comblé les bassins situés entre les îles centrales ni recouvert les formations anciennes d'Epi et d'Erromango. On peut supposer que la formation supérieure correspond à ce volcanisme plio-quadernaire, la formation inférieure étant contemporaine du plateau volcanique d'Erromango (fin Miocène ou début Pliocène).

#### B. — TECTONIQUE.

Son principal caractère est l'existence d'une tectonique cassante et la quasi absence de déformations plastiques de grande amplitude. Nous distinguerons, par leurs effets, deux types d'accidents. Les accidents verticaux sont les plus visibles : môles, fossés et compartiments effondrés. Les môles ouest et est relèvent les couches et leur sommet se situe au-dessus de la courbe de niveau théorique reliant l'arc frontal au plateau nord-fidjien. Le fossé est par contre nettement plus bas que celle-ci et la stratigraphie montre qu'il résulte d'un effondrement. La nature volcanique des môles (magnétisme, pétrographie de l'île Futuna, *in* C.E.F. Williams et A.J. Warden, 1964) et leur morphologie impliquent une mise en place sous forme de dyke. Les deux phénomènes, effondrement et intrusion, peuvent produire un rejet vertical total de 3 km sur le flanc est du fossé.

Les accidents horizontaux sont visibles seulement par les décrochements de la gouttière. Les changements de direction du fossé sont les résultats de ces décrochements. Ils peuvent atteindre 35 km entre les îles Erromango et Tanna, et se font le long de failles actives (voir sismicité) de direction E-W.

En résumé l'étude physiographique et géologique des fossés d'effondrement montre l'existence d'une tectonique active de tension qui est à l'origine de leur formation. Nous proposerons plus loin quelques mécanismes possibles pouvant engendrer ces tensions.

#### IV. — ÉTUDE MAGNÉTIQUE DES FOSSÉS

Les mesures du champ magnétique terrestre apportent des éléments essentiels à la compréhension de la structure géologique et de la géodynamique de ces fossés.

Nous possédons en effet d'assez nombreuses mesures effectuées lors des campagnes qui y ont été conduites (Danaïdes, Kimbla, Austradec I, Géotransit, Chain de Woods Hole Oceanographic Institution), ces mesures étant associées ou non à des mesures de sismique-réflexion, mais toujours accompagnées d'enregistrements de la bathymétrie. Les mesures brutes du champ magnétique terrestre total ont été traitées en soustrayant le champ géomagnétique théorique défini par un développement à 80 coefficients sphériques harmoniques donné par les tables « International Geomagnetic Reference Field » du « Coast and Geodetic Survey » (I.B. Fabiano et N.W. Peddie, 1969), de sorte qu'il ne reste que les variations géographiques ou anomalies du champ magnétique qui sont dues aux roches proches du sous-sol et sur lesquelles nous travaillons.

Dans la région qui nous intéresse, l'aimantation thermorémanente est la seule dont on ait à tenir compte. Elle est en effet la plus courante en région océanique et surtout elle est beaucoup plus intense et résistante que les autres types d'aimantation. La sismique-réflexion nous montre en effet que la couche de sédiments est soit faible soit inexistante ; nous rencontrons donc très vite le socle basaltique

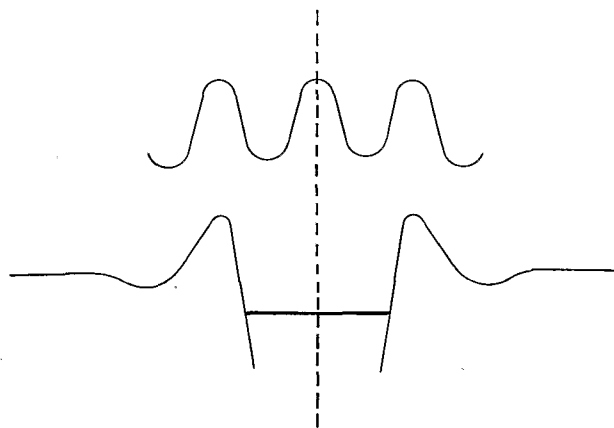
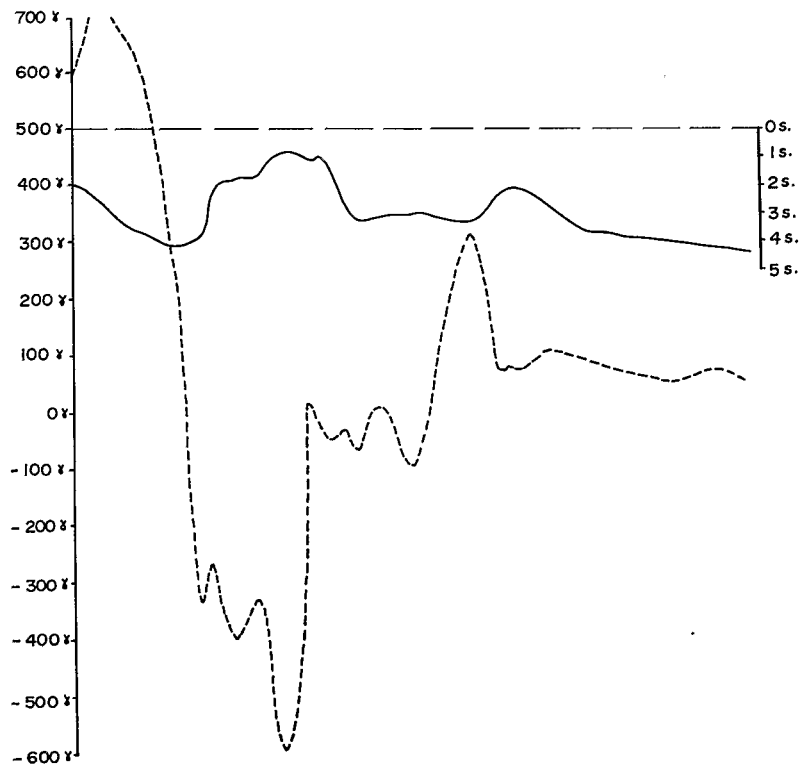


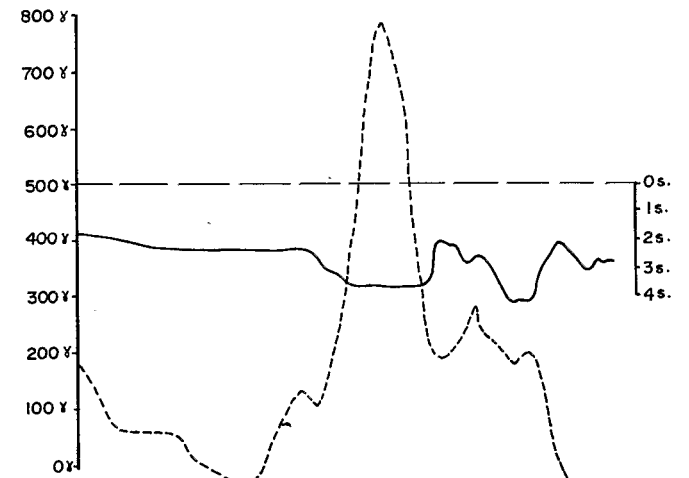
FIGURE 7

Schéma structural simplifié de la topographie des fossés et des anomalies magnétiques associées

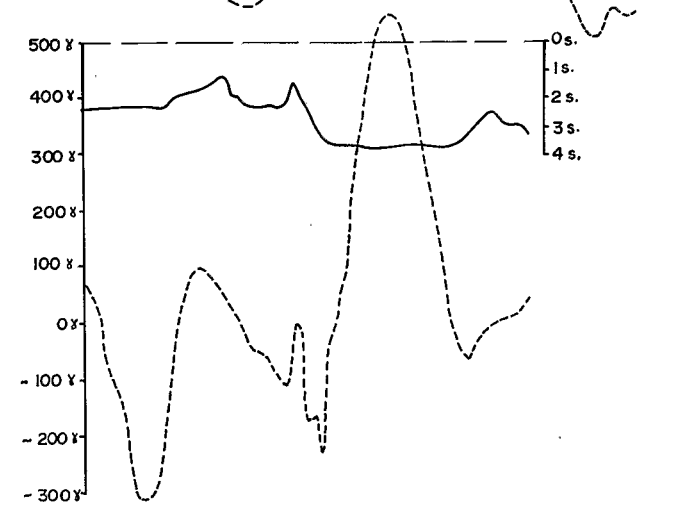
**AUS 112**



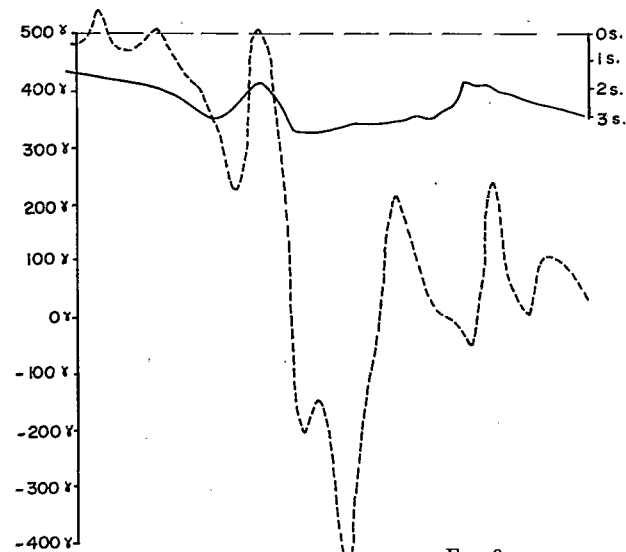
**C 918**



**C 913**



**AUS 113**



**C 919**

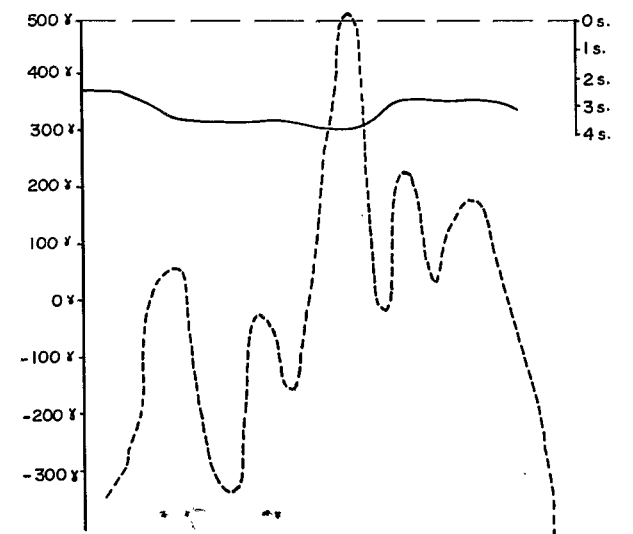


FIG. 8 a

FIG. 8 b

**D 102**

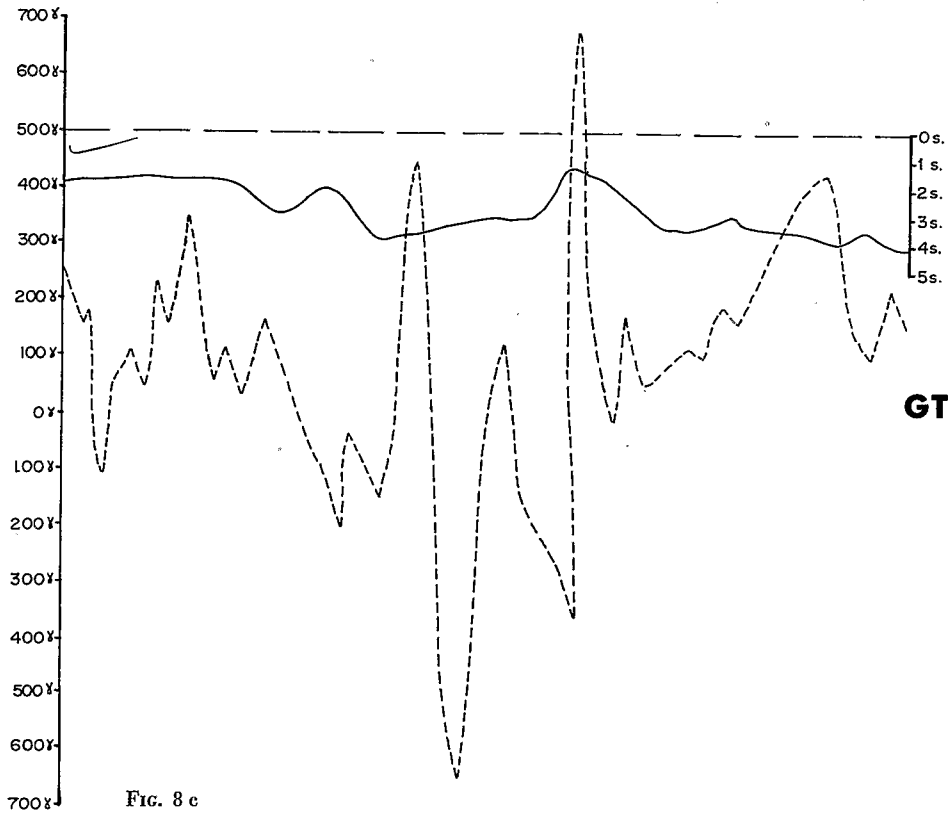
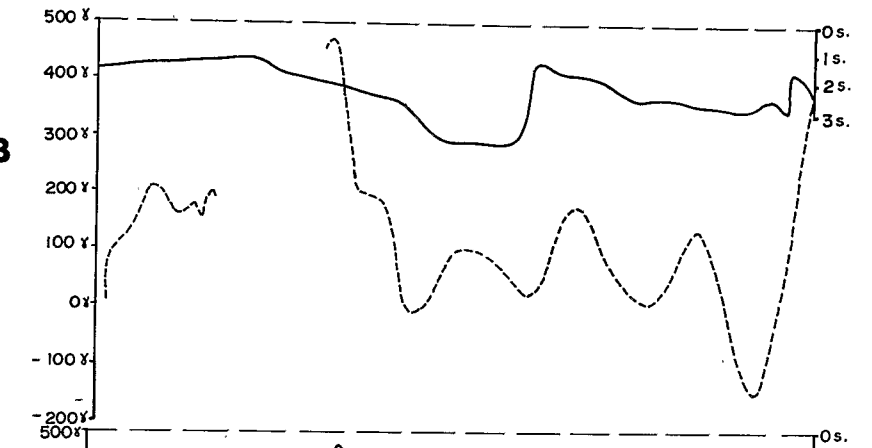
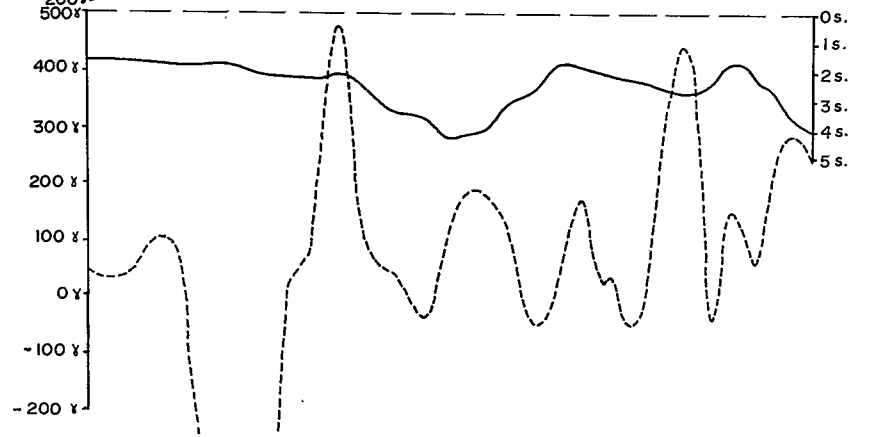


FIG. 8 c

**GT 103**



**GT 102**



**GT 101**

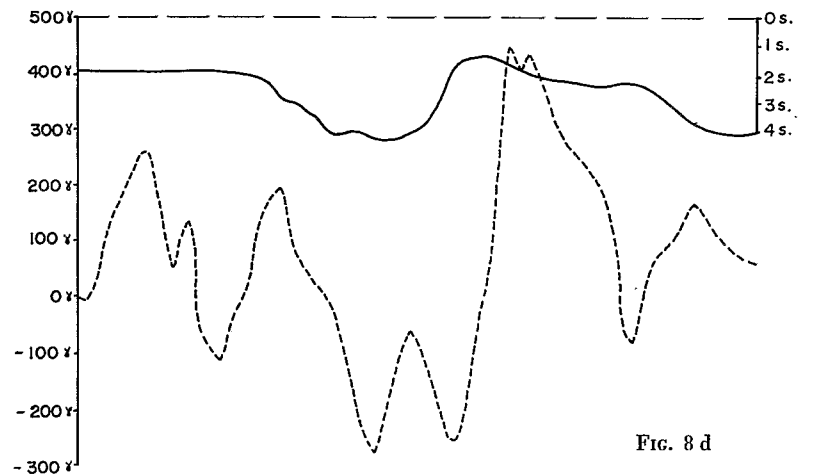


FIG. 8 d

FIGURES 8 a, 8 b, 8 c, 8 d  
Exemples de profils bathymétriques et magnétiques  
sur les fossés des Nouvelles-Hébrides

pour lequel l'aimantation rémanente obtenue lorsque la croûte océanique s'est formée après refroidissement est, d'après les résultats obtenus par P.J. Fox et N.D. Opdyke (1973) sur des échantillons de croûte basaltique de l'Atlantique Nord et de la mer des Caraïbes, de 10 à au moins 100 fois supérieure à l'aimantation induite que l'on peut alors négliger. On peut donc estimer que nous sommes en présence d'anomalies magnétiques dues à l'aimantation thermorémanente des roches de la croûte océanique, c'est-à-dire représentant le champ magnétique terrestre au moment de la formation de cette croûte.

Pour vérifier les conclusions déduites de l'étude qualitative des anomalies magnétiques et d'autres méthodes géophysiques (sismique-réflexion, gravimétrie), on a été amené à construire des modèles de blocs structuraux bâtis d'après les conclusions précédentes. On en a calculé le champ magnétique et on l'a comparé aux anomalies observées. Les modèles utilisés sont à deux dimensions : on peut en effet considérer que les structures géologiques sont longitudinales et que leur dimension dans le sens N-S est grande par rapport à leurs dimensions perpendiculaires. Les modèles calculés représentent donc la section droite de ces structures géologiques. Ils sont composés d'une somme de polygones juxtaposés, chaque polygone étant caractérisé par ses dimensions géométriques et son aimantation.

Des mesures paléomagnétiques ont été effectuées sur les terres émergées (laves et tufs) de la région (D.H. Tarling, 1967) entre les latitudes 15° S et 18° S. Les résultats montrent en général une remarquable cohérence due à une forte stabilité de l'aimantation rémanente naturelle et à une absence de déformations plastiques des sites sur lesquels ont été prélevés les échantillons. L'orientation moyenne du champ paléomagnétique représenté dans ces échantillons est définie par une déclinaison  $D = 1^\circ$  et une inclinaison  $I = -22^\circ$ , peu différente de l'orientation du champ de dipôle ( $D = 0^\circ$ ,  $I = -30^\circ$  à la latitude 18° S) et du même ordre de grandeur que celle du champ actuel ( $D = 11^\circ$ ,  $I = -39^\circ$  toujours pour 18° S). Cependant les tufs sous-marins d'Efaté présentent l'orientation opposée ( $D = 184^\circ$ ,  $I = 41^\circ$ ). On peut donc raisonnablement supposer que l'aimantation rémanente a été acquise dans un champ magnétique terrestre qui était soit identique au champ actuel en direction, sens et intensité, soit exactement opposé. L'hypothèse relative à la direction et au sens est probablement justifiée puisqu'il semble que les roches en place n'ont pas bougé depuis leur formation et que le champ géomagnétique a toujours été approximativement celui du dipôle terrestre N-S. Pour l'intensité c'est moins sûr, car l'intensité du champ géomagnétique a du être

variable au cours des âges géologiques, spécialement au moment des inversions du champ.

Pour la construction de nos modèles, nous avons traité l'aimantation rémanente acquise comme une aimantation induite actuelle. En conséquence, nous avons été amenés à affecter à chacun des polygones une susceptibilité magnétique et nous avons supposé que l'aimantation rémanente acquise était proportionnelle à la susceptibilité (il est logique de penser que l'aimantation rémanente croît avec la susceptibilité même si elle ne lui est pas linéairement proportionnelle). On caractérisera donc une aimantation négative par une susceptibilité négative tout en gardant le sens du champ inducteur actuel, ce qui a pour effet de changer le signe de l'aimantation.

Les enregistrements de sismique-réflexion nous montrent en général les bassins situés à l'Est de l'arc des Nouvelles-Hébrides comme des fossés d'effondrement ou grabens (cf. K 403, K 404, GT 102). Ils présentent grossièrement une symétrie axiale par rapport à leur centre, et on peut représenter une section droite par le schéma de la figure 7. Cette symétrie structurale se traduit naturellement dans les anomalies magnétiques.

Le champ magnétique au-dessus de cette région (fig. 8) y est très variable et perturbé, caractérisé par des anomalies de courtes longueurs d'ondes (20 km en moyenne) et de grandes amplitudes (500 gammas pour les anomalies bien marquées, mais pouvant atteindre 2 000 gammas) prouvant par là que l'on est dans une région magnétiquement hétérogène dont les corps perturbateurs sont à faible profondeur (petites longueurs d'onde des anomalies) et les susceptibilités magnétiques grandes (fortes amplitudes des anomalies).

Ce sont là les caractéristiques d'une région jeune marquée par des mouvements verticaux récents et actuels ayant engendré les fossés, mais aussi d'autres affaissements visibles sur les enregistrements de sismique-réflexion (effondrements sur la bordure orientale du fossé de Futuna ou sur les deux bordures du fossé d'Efaté). Nous pensons que ces mouvements verticaux sont la cause des variations du champ magnétique qui se présentent sous la forme d'une succession de sinusoides de 20 km de longueur d'onde lorsque l'on a un fossé type avec, comme nous l'avons vu précédemment, une apparence de symétrie.

Le fait important de cette signature magnétique est la présence sur chaque fossé d'une anomalie positive située en son centre et entourée de deux autres anomalies positives qui, elles, surplombent les deux môles latéraux limitant le fossé. On a donc sur le fossé proprement dit l'image magnétique schématique représentée sur la figure 7. Cette

# AUS 113

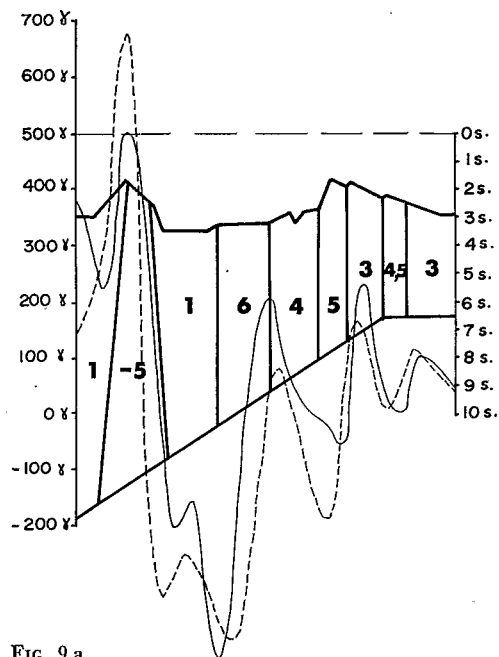
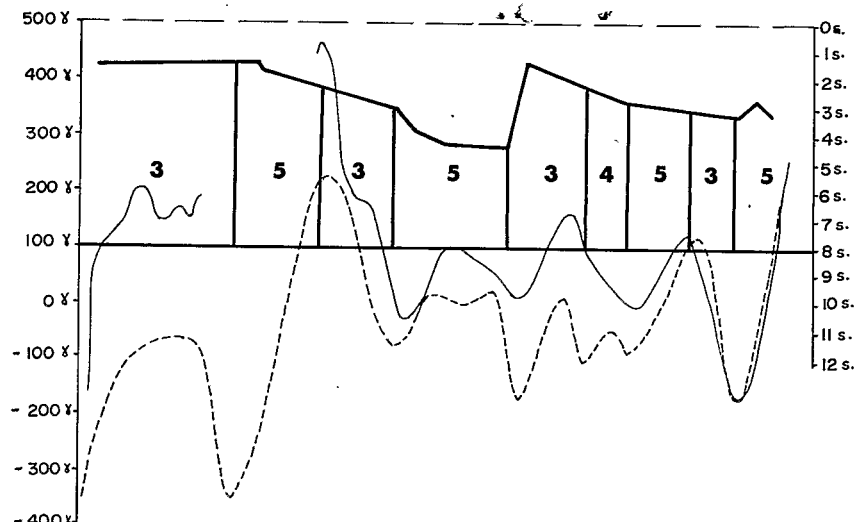


FIG. 9 a

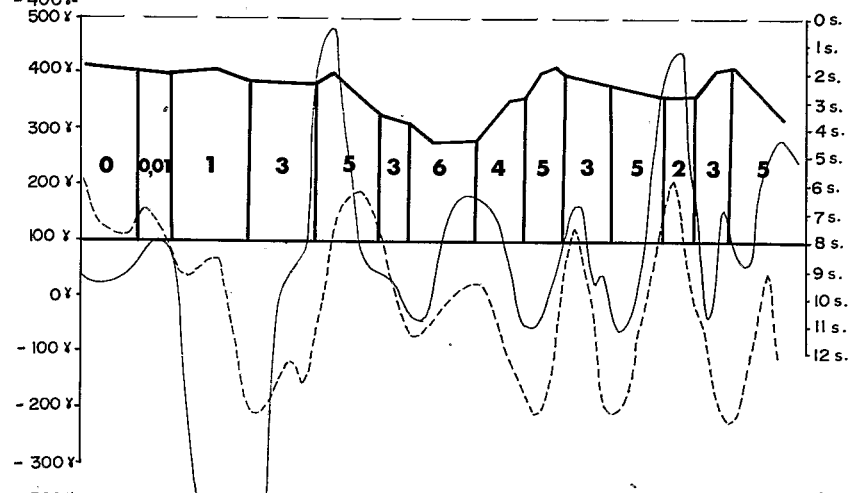
FIGURES 9 a, 9 b

Recherche de modèles de susceptibilités magnétiques (exprimées en  $10^{-3}$  u.e.m.c.g.s.) pour les profils AUS 113, GT 103, GT 102, GT 101. Anomalies magnétiques calculées (tireté) et observées (trait plein)

# GT 103



# GT 102



# GT 101

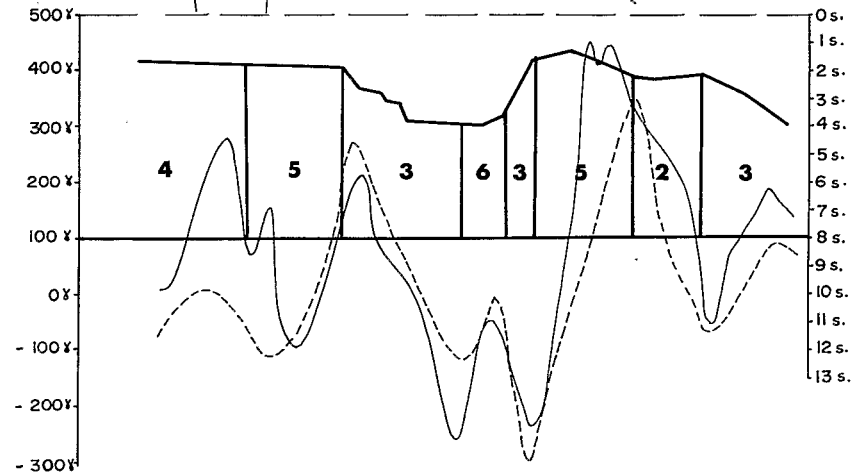


FIG. 9 b

image se continue de part et d'autre des môles à peu près aussi régulièrement.

La cause des anomalies latérales est aisément décelable à la vue des enregistrements de sismique-réflexion. On doit en effet naturellement chercher cette cause dans l'existence des deux môles limitant le fossé. Il n'en est cependant pas de même pour l'anomalie centrale que rien en général ne laissait prévoir.

Notre interprétation de la géodynamique de la région telle qu'on peut la déduire des anomalies magnétiques est donc celle-ci. Il y a eu effondrement du fossé le long des failles séparant le fossé des môles latéraux et sans doute aussi surélévation de ces môles. Mais en outre il y a actuellement naissance d'un pointement central, c'est-à-dire une montée de magma du manteau supérieur vers la surface au centre du fossé. Ce fait joint à l'existence d'une relative symétrie dans la position et souvent l'amplitude des anomalies (cf. fig. 8, profil D 102) aurait pu faire penser à l'existence d'un centre de renouvellement de la croûte océanique au milieu du fossé avec expansion de part et d'autre de ce centre. Divers auteurs, en particulier D.E. Karig et J. Mammerrickx (1972), pensent en effet que ces structures, qu'ils décrivent comme des « rifts en échelons », sont soumises à un développement extensionnel par montée de matériau du manteau et représentent le stade primaire de futurs « bassins d'expansion inter-arcs » tels que le bassin de Lau aux Tonga ; D.E. Karig (1971) évalue même la vitesse maxima d'expansion qui pourrait approcher 10 cm/an aux endroits des fossés les plus larges. Cependant, comme l'ont noté B.P. Luyendyck *et al.* (1974), l'essai de mise en évidence de création de croûte dans les bassins hébridais a été un échec ou bien, au mieux, a laissé planer le doute. D'ailleurs l'existence d'un tel fait est difficilement compatible avec la présence de zones d'effondrement. De plus il n'y a pas concordance entre les longueurs d'onde des anomalies magnétiques observées et l'échelle des inversions du champ magnétique terrestre. Un calcul de modèle géologique utilisant des aimantations alternativement positives et négatives suivant l'échelle des inversions du champ magnétique terrestre s'est révélé infructueux. L'interprétation par le seul effet du relief n'est pas suffisante et nous avons dû effectuer une aimantation variable (sous forme de susceptibilité fictive) aux différents éléments constitutifs de nos modèles.

Nous pensons que le mécanisme de montée du magma sous-jacent qui existe dans chacun des fossés, en son centre, n'en est pas au même stade d'évolution dans chacun d'eux et que l'on pourrait ainsi classer l'âge de ces fossés en fonction du développement de l'anomalie magnétique positive cen-

trale. En effet dans certains fossés, au Sud, cette anomalie est seulement amorcée, de faible amplitude (200 gammas dans le fossé du Coriolis), normalement développée dans ceux de la région centrale de l'archipel (500 gammas dans le fossé à l'Est de l'île Efaté, 400 gammas dans celui des Banks) et maximale au Nord (700 gammas dans le fossé à l'Est de l'île Vanikoro). On peut donc en conclure que le stade d'évolution des fossés est plus avancé au Nord qu'au Sud.

La gravimétrie nous apporte un argument complémentaire de ce que nous avançons. En effet des mesures gravimétriques effectuées par la Mobil Oil Corporation dans le fossé du Coriolis, à l'Est de l'île Aniwa, montrent une anomalie gravimétrique de Bouguer positive d'environ 30 milligals au centre du fossé, en phase avec l'anomalie positive, tandis que les môles latéraux sont surmontés d'une anomalie gravimétrique négative de valeur égale aussi à environ 30 milligals, donc en opposition de phase avec l'anomalie magnétique. Cette caractéristique paraît d'ailleurs être commune à toutes les structures identiques : l'anomalie de Bouguer centrée sur le bassin d'Okhotsk, qui représente l'élément équivalent sur l'arc des Kouriles des fossés d'effondrement hébridais, présente une amplitude positive de plusieurs dizaines de milligals flanquée de deux anomalies négatives sur les bords du fossé (M.G. Kogan, 1974). Nous supposons donc avoir affaire au centre du fossé à une matière fortement aimantée et dense (basalte jeune, non altéré, de densité 3, ou péridotites, de densité 3,2), tandis que les môles latéraux sont formés de roches moins denses (gabbro, de densité 2,98, ou roches extrusives de densité inférieure à 3 comme, par exemple, l'andésite dont la densité est 2,6).

Les accidents géologiques ne se limitent pas à la dépression proprement dite mais se poursuivent de part et d'autre des môles latéraux. Ils sont prouvés d'une part par la sismique-réflexion montrant des effondrements plus ou moins importants, d'autre part par la succession d'anomalies magnétiques avec toujours la même longueur d'onde de 20 km et traduisant des intrusions de matière magnétique le plus souvent invisibles sur les enregistrements de sismique-réflexion.

Pour vérifier ce que nous avançons, nous avons donc construit des modèles géologiques de la manière définie précédemment. Les susceptibilités magnétiques choisies s'étendent de  $10^{-3}$  à  $6 \cdot 10^{-3}$  u.e.m.c.g.s. (susceptibilités de roches basiques), les valeurs les plus courantes étant  $5 \cdot 10^{-3}$  et  $3 \cdot 10^{-3}$ , soit un contraste moyen de 50 %. Le fond topographique marin a été choisi comme surface supérieure des modèles, étant donné la faible épaisseur ou même l'inexistence de sédiments montrée par la sismique-réflexion. La surface inférieure (surface

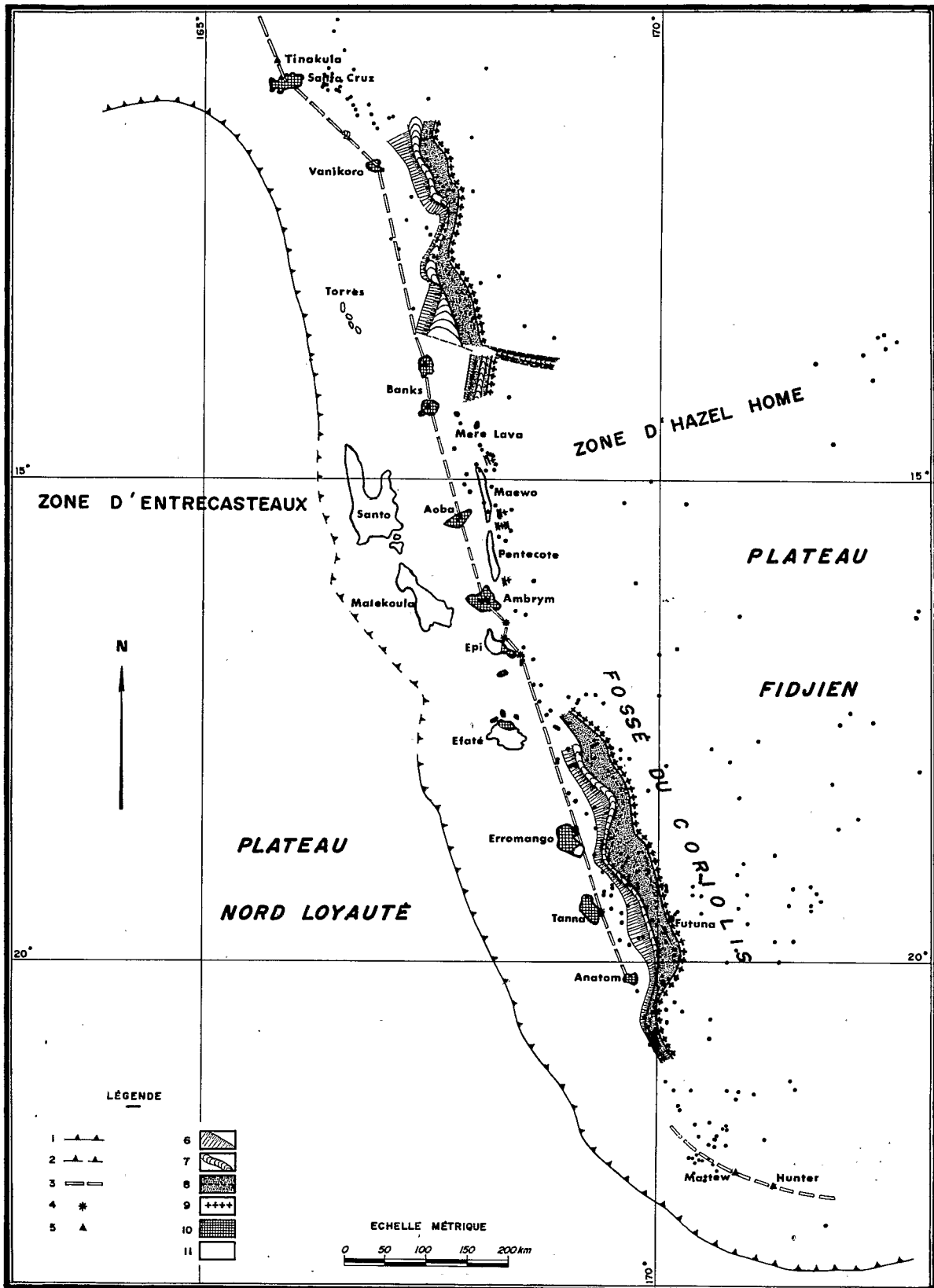


FIGURE 10  
 Seismicité superficielle (profondeur de 0 à 50 km) à l'Est de la ligne volcanique  
 (d'après l'International Seismological Centre)  
 (voir légende fig. 1)

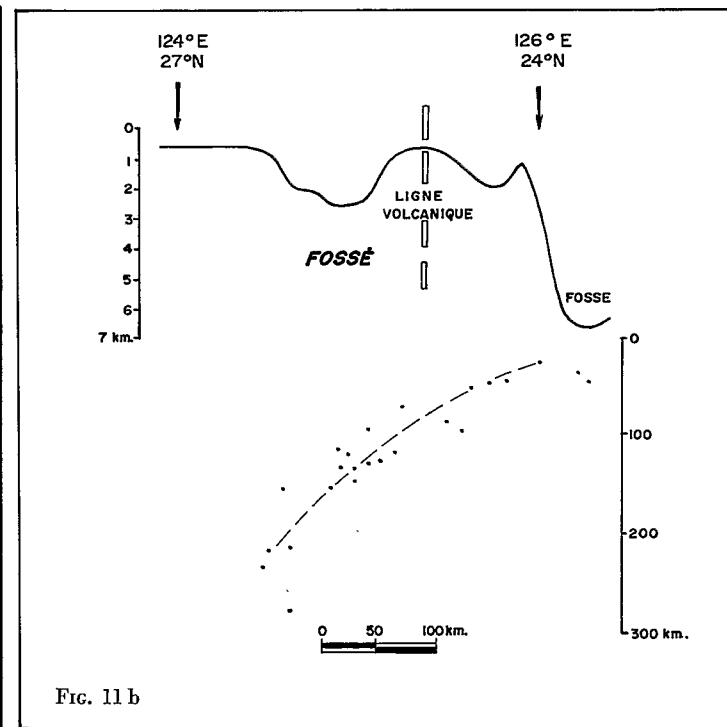
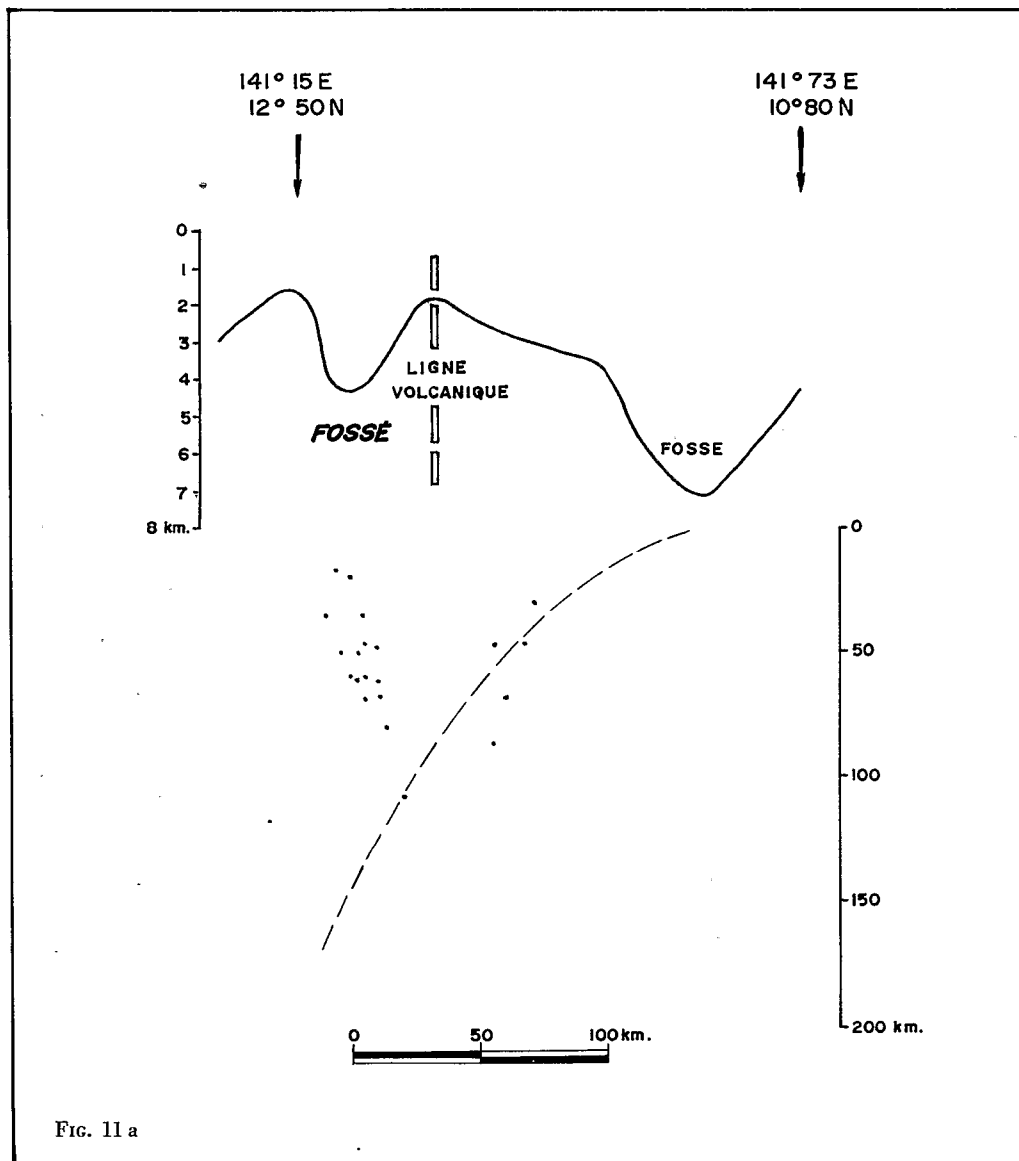


FIGURE 11  
 Profils bathymétriques et sismiques des arcs des îles Mariannes  
 Ryukyu et Nouvelles-Hébrides  
 11 a : Arcs des îles Mariannes. Bathymétrie et sismicité : D.R. Bracey  
 et T.A. Ogden (1972); 11 b : Arc des îles Ryukyu. Bathymétrie :  
 D.E. Karig (1973). Sismicité : M. Katsumata et L.R. Sykes (1969);  
 11 c : arc des Nouvelles-Hébrides. Bathymétrie et Sismicité suivant le  
 profil K 403 avec projection des hypocentres (déterminations I.S.C.)  
 situés à 50 km de part et d'autre de la coupe



isotherme représentant la température du point de Curie) a été prise en général constante, à 5 ou 6 km sous le niveau de la mer, ou variable avec une profondeur croissant vers l'Ouest pour le fossé d'Efaté. Nous retrouvons les variations observées, vérifiant nos conclusions déduites précédemment, à savoir une intrusion en cours d'évolution au centre du fossé, lui-même limité par deux môles magnétiques, et des intrusions placées de façon plus ou moins régulière de part et d'autre du fossé. La figure 9 représente les modèles calculés pour les fossés d'Efaté (AUS 113) et de Futuna (GT 101, GT 102, GT 103).

Nous en concluons donc que la cause des anomalies magnétiques semble due à des mouvements verticaux de matière qui peuvent être produits par l'existence d'une tectonique de tension.

## V. — SISMICITÉ DES FOSSÉS

Sur la figure 10, nous avons reporté les épicentres des séismes de profondeur comprise entre 0 et 50 km et situés à l'Est de la ligne des volcans.

Dans le Sud, les séismes se corréllent bien avec les fossés, toutefois l'incertitude sur les positions des épicentres ne permet pas de dire s'ils sont associés ou non aux failles qui semblent limiter les effondrements.

Vers le Sud, le fossé s'incurve, vers l'Ouest la sismicité suit la courbure et se prolonge suivant une direction parallèle à la fosse. Entre Erromango et Tanna les séismes se concentrent autour du

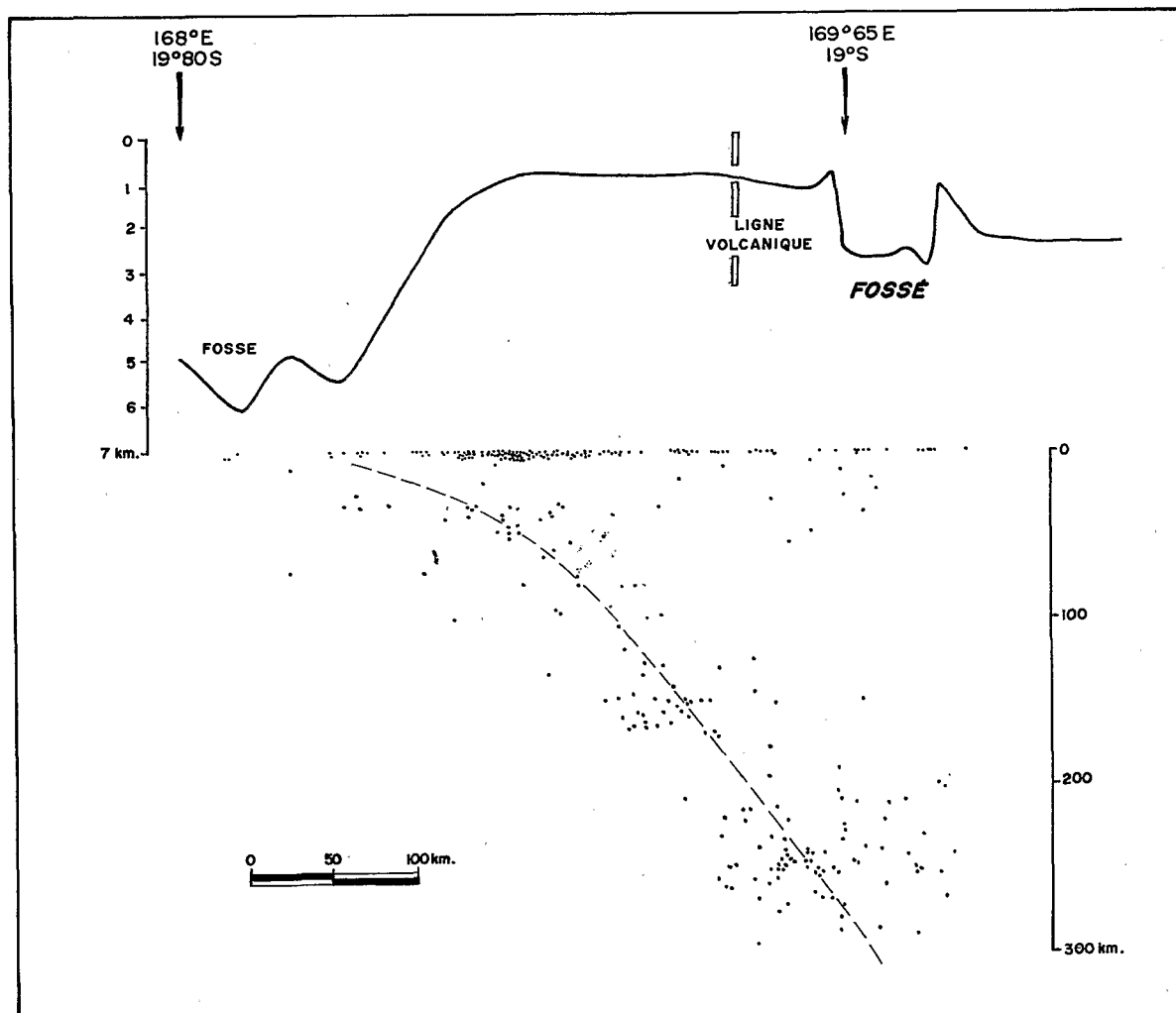


FIG. 11 c

décrochement structural que nous avons observé. Ils semblent se répartir le long d'une direction W-E qui traverse tout l'arc et se prolonge sur le plateau nord fidjien. Cette faille d'après le décalage de la gouttière serait senestre. Vers l'île Efaté l'activité sismique apparaît plus diffuse. Par contre, dans le Nord de l'archipel, il n'y a pas de liaison apparente entre les séismes superficiels et les fossés d'effondrement. Ces structures pourraient ne pas être actives actuellement, bien que comme dans le Sud on observe un prolongement actif (faille ?) parallèle à la fosse.

Cet aperçu de l'activité sismique confirme les résultats donnés par le magnétisme qui impliquent que les fossés d'effondrement du Sud sont plus jeunes que ceux du Nord.

## VI. — INTERPRÉTATION ET CONCLUSIONS

Les études physiologiques, sismiques et magnétiques des fossés ont montré que ces structures devaient être associées à l'histoire tectonique des arcs insulaires. Sont-ils caractéristiques des arcs jeunes ? C'est ce que nous cherchons maintenant à voir. Pour D.E. Karig le terme de fossé d'expansion (extensional trough) qu'il leur donne implique un mécanisme de formation. Il s'agit pour lui de structures caractéristiques des arcs jeunes dans leur première phase d'ouverture avant de se transformer en grands bassins d'expansion (type bassin de Lau).

Le schéma structural des arcs tel qu'il a été proposé lors de la Conférence sur la sédimentation géosynclinale ne différencie pas ces bassins qui sont classés sous le nom de bassins inter-arcs.

Cherchons sur d'autres arcs jeunes, Salomon, Ryukyu, Mariannes (W.R. Dickinson, 1973 ; D.E. Karig et G.S. Sharman, 1974) si des fossés, identiques à ceux des Nouvelles-Hébrides, existent.

La succession des rides caractérisant les Salomon, leur complexité géologique traduisant des reprises successives de plusieurs subductions, font que cet archipel ne se présente pas de façon conforme au schéma structural type. Par contre les arcs de Ryukyu et des Mariannes étudiés par D.R. Bracey et T.A. Ogden (1972) et D.E. Karig (1973) ont bien des fossés d'effondrement étroits en arrière de la ligne des volcans (fig. 11). Nous remarquons aussi des structures semblables en arrière de l'arc des Carpathes (M. Boccaletti *et al.*, 1973).

Par ailleurs, une autre caractéristique des arcs jeunes a été observée par M. Barazangi et W. Pennington (1973), la forte atténuation des ondes

pP au-dessus du plan de Benioff. Cette observation apportera un argument important à l'interprétation par les cellules de convection du mécanisme tectonique de l'effondrement des fossés.

Nous examinerons d'abord 4 mécanismes possibles qui peuvent intervenir séparément ou de façon complémentaire.

### A. — FLEXURE ET RUPTURE.

On connaît bien le phénomène de la flexure de la lithosphère avant son plongement sous les Nouvelles-Hébrides (J. Dubois *et al.*, 1973). On peut se demander si mécaniquement la plaque qui est en contact ne subit pas une flexure identique du fait du frottement. Soient « A » la plaque plongeante et « B » la plaque opposée. Si le frottement est faible on peut penser que le bord de « B » sera soulevé. Si le frottement est suffisamment important il peut y avoir flexure de « B » (fig. 12). Par leur étude sur les mécanismes possibles de la formation du rift du lac Baïkal, M.E. Artemjev et E.V. Artyushkov (1971) ont montré qu'une flexure de la croûte (ou de la lithosphère) pouvait par extension provoquer des fossés d'effondrement.

Dans cette hypothèse si on suppose que la plaque « B » a des caractéristiques identiques à celles de la plaque « A » (paramètre de rigidité en flexion  $\alpha$  compris entre 100 et 140 km) une rupture pourrait apparaître en haut de la plaque (hypothèse discutable, cf. L. Lliboutry, 1969; T. Hanks, 1971) à  $\pi\alpha/2$  de la limite des plaques, soit à 220 km pour  $\alpha = 140$  km ou à 160 km pour  $\alpha = 100$  km. Ces valeurs seraient acceptables. Cependant des objections sur l'aspect mécanique du schéma se présentent en plus de l'indétermination relative au frottement de « A » sur « B ». En effet si l'on peut raisonner sur la plaque « A » en la considérant comme homogène et parfaitement rigide sur une

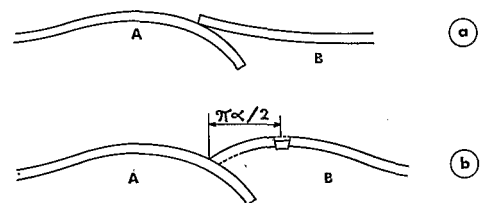


FIGURE 12

Deux hypothèses mécaniques possibles de flexure au contact de deux plaques rigides :

- a) frottement faible; b) frottement fort; interprétation dans l'hypothèse b) de la formation d'un fossé

épaisseur d'au moins 30 km (D.L. Turcotte, 1974), il n'en est pas de même pour la bordure de « B » qui se présente comme un bourrelet très tectonisé traversé par les appareils volcaniques, etc...

### B. — EXPANSION SECONDAIRE.

C'est l'interprétation de Karig sur les fossés en échelons. Dans cette interprétation cet auteur considère qu'ils représentent le stade initial de l'ouverture conduisant par la suite à la création de bassins marginaux inter-arcs. Un certain nombre d'objections se présentent à l'esprit : l'aspect morphologique en dents de scie plutôt « qu'en échelon » ne correspond pas à une image aussi simple d'un rift d'ouverture telle qu'elle est proposée par cet auteur. Il a été montré par ailleurs (C. Chase, 1971 ; J. Dubois *et al.*, 1973) qu'une zone d'expansion secondaire existait et donnait naissance au Plateau nord fidjien dont la formation est comparable à celle du Bassin de Lau. Les bassins étroits de la bordure ouest de ce plateau ne semblent pas entrer dans ce processus d'ouverture. En effet des linéations magnétiques ont été reconnues de part et d'autre des deux « pseudo-dorsales » au centre du bassin et sur son bord est. Par ailleurs on a vu que les anomalies magnétiques associées aux fossés ne sont pas assimilables par leur signature à celles qui sont produites par les inversions du champ géomagnétique entre 10 M.a. et nos jours.

### C. — FAILLES PARALLÈLES A LA FOSSE.

Cette interprétation tectonique est à rapprocher de celle de T.J. Fitch (1972) dont elle utilise les arguments.

Dans le schéma théorique que propose cet auteur, soit  $\beta$  l'angle de la direction des contraintes liées au mouvement relatif des plaques « A » et « B » avec la direction de la fosse, axe du plongement. Si  $\beta$  est différent de  $90^\circ$  (fig. 13) des forces parallèles à la fosse (« transcurrent faults » de Fitch). Aux Nouvelles-Hébrides une telle zone de faiblesse pourrait apparaître en arrière de la ligne des volcans où l'écorce s'amincit rapidement vers l'Est (A. Malahoff, 1970). Considérons la limite des deux plaques « A » et « B » dont nous connaissons les directions du mouvement relatif centré sur un pôle de rotation situé en  $58^\circ$  S,  $179^\circ$  E (D. Mc Kenzie et J.G. Selater, 1971). Les directions des mouvements relatifs sont figurées par les vecteurs  $\vec{V}$ ,  $\vec{V}'$ ,  $\vec{V}''$  (fig. 13). On voit que le long de l'arc on passe depuis la partie au Nord de M jusqu'à celle qui est

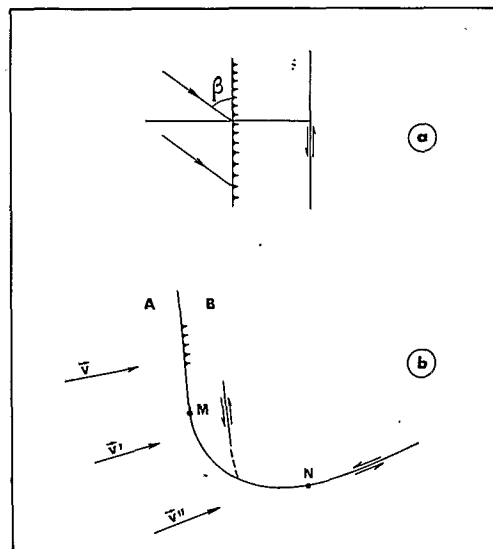


FIGURE 13

a) Création de failles transcurrentes d'après T.J. Fitch (1972), la direction du mouvement relatif fait un angle  $\beta$  avec l'axe du plongement ce qui entraîne la création d'une faille transcurrente senestre.

b) Application aux Nouvelles-Hébrides :  $\vec{V}$ ,  $\vec{V}'$ ,  $\vec{V}''$  sont les vecteurs des mouvements relatifs de « A » par rapport à « B » : plongement au bord de M, faille transformante senestre à l'Est de N, apparition d'une faille transcurrente senestre entre M et N.

à l'Est de N d'un mouvement de plongement suivant un axe à peu près exactement perpendiculaire au vecteur  $\vec{V}$  (confirmé par les mécanismes focaux ; T. Johnson et P. Molnar, 1972) à un mouvement de faille parallèle à  $\vec{V}''$ . Ces deux mécanismes dans les deux cas satisfont entièrement au mouvement relatif de « A » par rapport à « B ».

Par contre entre M et N on se trouve dans une situation comparable à celle qui est décrite par Fitch. L'angle  $\beta$ , différent de  $90^\circ$ , que fait  $\vec{V}$  avec l'axe du plongement produit tout le long de MN sur la bordure de « B » des forces dirigées vers le Sud. Il peut donc en résulter l'apparition de failles transcurrentes le long des zones de faiblesse de l'écorce. Ces failles, ici, apparaîtraient au-delà de la ligne volcanique (zone d'amincissement de la lithosphère) au niveau des fossés.

Si l'on ajoute à ce mécanisme, créant la rupture de l'écorce le long des failles nord-sud, la lente progression de l'arc vers l'Ouest (W.R. Dickinson, 1973 ; D.E. Karig et G.S. Sharman, 1974) on a alors ouverture au niveau de ces lignes de fractures et formation de fossés d'effondrement.

Quelques arguments appuient cette interprétation :

— les fossés apparaissent dans les parties incurvées de l'arc (nord et sud) ;

- ils sont sismiquement actifs ;
- leur forme en éventail, légèrement plus ouverte vers leur limite nord où le déplacement de l'arc perpendiculairement à la fosse est plus grand, puis le prolongement de la structure vers le Sud des fossés par une faille active que l'on suit grâce à la sismicité superficielle.

Quelques arguments apparaissent en contradiction avec cette interprétation :

- décrochement de la gouttière centrale ;
- absence de structures corrélables de part et d'autre de la faille supposée.

#### D. — MÉCANISME PROFOND.

Lorsque l'on examine la position des fossés d'effondrement par rapport à l'emplacement des foyers sismiques on constate que ces fossés, lorsqu'ils existent, se trouvent à la verticale de séismes les plus profonds de l'arc. Autrement dit, ils se trouvent à la verticale de l'extrémité plongeante de la lithosphère. Cette position relative, séismes profonds-fossés, s'observe pour les arcs des Nouvelles-Hébrides, des Mariannes, de Ryukyu (fig. 11) ainsi que des Kouriles.

Nous avons noté qu'une forte atténuation des ondes sismiques au-dessus du plan de Benioff caractérisait les arcs jeunes. M. Barazangi et W. Pennington (1973) ont observé une très forte atténuation aux Nouvelles-Hébrides, aux Mariannes (ainsi qu'aux Tonga). Par contre, Ryukyu constituerait une exception.

Un modèle de manteau supérieur avec des cellules de convection dans l'asthénosphère visqueuse (J. Coulomb, 1969 ; J. Dubois, 1969) permet de proposer un mécanisme possible de formation des fossés. En effet on peut imaginer avec N.H. Sleep (1973) que la descente de la lithosphère plongeante peut induire un flux visqueux dans l'asthénosphère et dans la région de transition de viscosité intermédiaire entre la lithosphère et l'asthénosphère. Le flux de matière visqueuse chaude peut monter à la verticale de l'extrémité de la lithosphère plongeante et la matière moins visqueuse plus froide peut remplacer le matériau entraîné par la lithosphère. Une cellule continue se forme ; une deuxième cellule opposée prend naissance (fig. 14) et tout se passe comme si une tranche de matière visqueuse chaude montait à la verticale depuis l'extrémité de la lithosphère plongeante.

Dans ces conditions, des tensions apparaissent dans l'écorce qui peuvent produire des fossés d'effondrement. M.E. Artemjev et E.V. Artyushkov

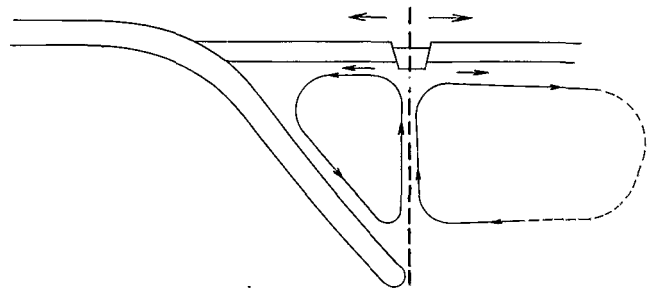


FIGURE 14

Schéma théorique proposé : cellules de convection dans l'asthénosphère sur le plan de Benioff, colonne montante de matière chaude à la verticale de l'extrémité de la lithosphère plongeante, effet possible : effondrement des fossés et intrusions.

(1971) expliquent la formation du rift du lac Baïkal par un processus de tension semblable. Une deuxième conséquence de la remontée de matière est la possibilité d'intrusion de matière dense dans la lithosphère et dans l'écorce sous les fossés.

Plusieurs arguments vont à l'appui de ce modèle :

- aspect physiographique et géologique des fossés impliquant une tectonique d'extension ;
- position relative séismes profonds-fossés ;
- absence aux Nouvelles-Hébrides de fossé dans la partie centrale de l'arc où manquent précisément les séismes profonds (raccourcissement de la lithosphère ?) ;
- anomalie magnétique centrale pouvant être causée par une intrusion donnant également une anomalie gravimétrique correspondant à une densité élevée de la matière ;
- flux de chaleur élevé dans les fossés (M. Yasui, 1968, 1970) ;
- déplacement de l'arc vers l'avant (D.E. Karig et G.S. Sharman, 1974) rendant possible l'ouverture et conservant les positions relatives centre du fossé-extrémité de la lithosphère.

Par contre un certain nombre d'observations sont difficilement explicables par ce schéma :

- atténuation faible sur l'arc jeune des Ryukyu (M. Barazangi et W. Pennington, 1973) ;
- différences sur l'arc des Nouvelles-Hébrides entre les fossés du Nord, très peu actifs sismiquement et ceux du Sud, actifs.

Pour nous résumer, compte tenu des mécanismes analysés et des observations qu'ils permettent d'interpréter, nous présentons comme hypothèse de travail pour des études ultérieures le mécanisme 4 avec 3 pour complément.

Nous proposons donc la séquence :

1. — Un mécanisme de failles transcurrentes

dans des zones de faiblesse de la lithosphère de part et d'autre de la ligne des volcans déclenchant le processus sur les parties incurvées des arcs sismiques (T.J. Fitch, 1972);

2. — La formation de cellules de convection par la subduction dans le matériau visqueux de l'asthénosphère au-dessus du plan de Benioff;

3. — L'apparition, avec la formation des cellules, d'une tectonique de tension à la verticale des colonnes ascendantes des cellules;

4. — L'ouverture et l'effondrement des fossés à la verticale des colonnes (à l'aplomb de l'extrémité de la lithosphère plongeante) aux emplacements où les failles transcurrentes actives ont déjà affecté la lithosphère;

5. — L'intrusion de matière profonde dense sous les fossés avec des émissions volcaniques sur les flancs; les intrusions peuvent se faire successivement mais l'écartement lent et leur mise en place irrégulière expliqueraient l'absence de linéations magnétiques exactement symétriques.

Un tel mécanisme est comparable en partie à celui de la formation des dorsales d'expansion, mais il n'en a pas l'ampleur. On rejoint ainsi l'hypothèse de D.E. Karig (1971) sur les bassins inter-arcs; pourtant le passage au cours de l'histoire tectonique de l'arc, de cette forme de fossés des arcs jeunes aux bassins du type Bassin du Lau, est encore difficile à établir.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions B.P. Luyendyck (Woods Hole O.I.) et la Mobil Oil Corporation de nous avoir aimablement permis de prendre connaissance de profils magnétiques et sismiques sur la région étudiée. Nous sommes reconnaissants aux Professeurs J. Goguel et J. Coulomb qui ont revu ce manuscrit.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARTEMJEV M.E. et ARTYUSHKOV E.V. (1971). — Structure and isostasy of the Baikal Rift and the Mechanism of Rifting. *J. Geophys. Res.*, vol. 76, n° 5, p. 1197-1211.
- ASH R.P. (1971). — Southeast Erromango. An. Rep. for 1970. *New Hebrides Geol. Survey*, p. 22-23.
- BARAZANGI M. et PENNINGTON W. (1973). — Global study of seismic-wave attenuation behind Island Arcs and above inclined seismic zones using P and pP waves. *EOS, Trans. Amer. Geophys. Univ.*, vol. 54, n° 4, S 20, p. 364.
- BOCCALETTI M., MANETTI P., PECCERILLO A. et PELTZ S. (1973). — Young volcanism in the Calimani-Harghita Mountains (East Carpathians): Evidence of a paleo-seismic zone. *Tectonophysics*, vol. 19, p. 299-313.
- BRACEY D.R. et OGDEN T.A. (1972). — Southern Mariana Arc: Geophysical Observations and hypothesis of Evolution. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 83, p. 1509-1522.
- CHALVRON (de) M., DUBOIS J., MERLE J., PUECH J.L. et REICHENFELD C. (1967). — Croisière bathymétrique aux Nouvelles Hébrides à bord du Coriolis, ORSTOM Nouméa, mult.
- CHASE C. (1971). — Tectonic history of the Fiji Plateau. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 82, p. 3087-3110.
- COLLEY H. (1968). — Erromango, in Warden (ed.) *New Hebrides Geol. Surv. An. Rep. for 1966*, p. 34-40.
- COLLEY H. et ASH R.P. (1971). — The geology of Erromango. *Reg. Rep. New Hebrides Geol. Survey*, 112 p.
- COULOMB J. (1969). — *L'expansion des fonds océaniques et la dérive des continents*. Presses Univ. France, 224 p.
- DICKINSON W.R. (1973). — Widths of modern arc-trench gaps proportional to past duration of igneous activity in associated magmatic arcs. *J. Geophys. Res.*, vol. 78, p. 3376-3389.
- DUBOIS J. (1969). — Contribution à l'étude structurale du Sud-Ouest Pacifique d'après les ondes sismiques observées en Nouvelle-Calédonie et aux Nouvelles Hébrides. Thèse ORSTOM, Paris, et *Ann. Geophys.*, vol. 25, n° 4, p. 923-972.
- DUBOIS J., LAUNAY J. et RECY J. (1973). — Les mouvements verticaux en Nouvelle-Calédonie et aux îles Loyauté et l'interprétation de certains d'entre eux dans l'optique de la tectonique des plaques. *Cah. ORSTOM, Géol.*, t. V, n° 1, p. 3-24.
- DUBOIS J., LARUE B., PASCAL G. et REICHENFELD C. (1973). — Seismology and structure of the New Hebrides. In Coleman P.J. (ed.) *the Western Pacific: Island Arcs, Marginal Seas and Geochemistry*, Western Australia Press, p. 213-222.
- FABIANO I.B. et PEDDIE N.W. (1969). — Grid values of total magnetic intensity IGRF-1965; ESSA Tech. Rept. C and GS, 38, 55 p.
- FITCH T.J. (1972). — Plate convergence, transcurrent faults and internal deformation adjacent to Southwest Asia and the Western Pacific. *J. Geophys. Res.*, vol. 77, p. 4432-4460.
- FOX P.J. et OPDYKE N.D. (1973). — Geology of the oceanic crust: magnetic properties of oceanic rocks. *J. Geophys. Res.*, vol. 78, p. 5139-5154.
- GEOLOGICAL SURVEY OF NEW HEBRIDES. — Geological map of the New Hebrides, 1/1 000 000, Port Vila (inédit).
- HANKS T. (1971). — The Kuril Trench-Hokkaido rise system: Large shallow earthquakes and simple models of deformation. *Geophys. J. Astr. Soc.*, vol. 23, p. 173-189.
- INTERNATIONAL SEISMOLOGICAL CENTRE BULLETIN. — 1961 à 1970, Edinburgh.
- JOHNSON T. et MOLNAR P. (1972). — Focal mechanism and plate tectonics in the Southwest Pacific. *J. Geophys. Res.*, vol. 77, p. 5000-5032.
- KARIG D.E. (1971 a). — Origin and development of marginal basins in the western Pacific. *J. Geophys. Res.*, vol. 76, p. 2542-2561.
- KARIG D.E. (1971 b). — Structural history of the Marianna Island arc system. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 81, p. 323-344.

- KARIG D.E. (1972). — Remnant Arcs. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 83, p. 1057-1068.
- KARIG D.E. et MAMMERICKX J. (1972). — Tectonic framework of the New Hebrides Island Arc. *Marine Geol.*, vol. 12, p. 187-206.
- KARIG D.E. (1973). — Plate convergence between the Philippines and the Ryukyu Islands. *Marine Geol.*, vol. 4, p. 153-168.
- KARIG D.E. et SHARMAN G.S. (1974). — Subduction and Accretion in trenches (sous presse).
- KATSUMATA M. et SYKES L.R. (1969). — Seismicity and tectonics of the Western Pacific. Izu-Mariana Caroline and Ryukyu-Taiwan Regions. *J. Geophys. Res.*, vol. 74, p. 5923-5948.
- KOGAN M.G. (1974). — Gravity field of the Kuril-Kamchatka arc and its relation to thermal regime of the lithosphere. *J. Geophys. Res.* (sous presse).
- LEMAIRE B. (1965). — Etude géologique de l'île Erromango. *Bur. Rech. Geol. Min.*, Paris, mémoire n° 38, 183 p.
- LLIBOUTRY L. (1969). — Sea-floor spreading, continental drift and lithosphere sinking with an asthenosphere at melting point. *J. Geophys. Res.*, vol. 74, p. 6525-6540.
- LUYENDYCK B.P., BRYAN W.B. et JESEK P.A. (1974). — Shallow structure of the New Hebrides Island arc. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 85, n° 8, p. 1287-1300.
- MALAHOFF A. (1970). — Gravity and magnetic studies of the New Hebrides Island Arc. *New Hebrides Geol. Survey, reg. rep.*, 67 p.
- MALLICK D.I.J. (1973). — Some petrological and structural variations in the New Hebrides. In Coleman P.J. (ed.). *The Western Pacific: Island Arcs, Marginal Seas and Geochemistry*, Western Australian Press, p. 195-211.
- McKENZIE D. et SCLATER J.G. (1971). — The evolution of the Indian Ocean since the late Cretaceous. *Geophys. J. Roy Astr. Soc.*, vol. 25, p. 437-528.
- MITCHELL A.M.G. et WARDEN A.J. (1971). — Geological evolution of the New Hebrides Island Arc. *J. Geol. Soc. London*, vol. 127, p. 501-529.
- PASCAL G. (1974). — The slab of the New Hebrides Island arc. *EOS, Trans. Amer. Geophys. Un.*, vol. 55, p. 350.
- PASCAL G. et DUBOIS J. (1974). — High resolution study of the spatial distribution of the New Hebrides Earthquakes. *EOS, Trans. Amer. Geophys. Un.*, vol. 55, n° 4, S 20, p. 350.
- PUECH J.L. et REICHENFELD C. (1968). — Croisière bathymétrique aux Nouvelles-Hébrides à bord du Coriolis, ORSTOM Nouméa, multigr., 11 p.
- PUECH J.L. et REICHENFELD C. (1969). — Etudes bathymétriques dans la région des îles Erromango, Tanna et Anatom (Nouvelles Hébrides). *C. R. Acad. Sci.*, t. 268, p. 1259-1261.
- RECY J. (1973). — Rapport de croisière Geotransit, ORSTOM Nouméa, inédit.
- SLEEP N.H. (1973). — Induced flow beneath island arcs and intra-arcs spreading. *EOS, Trans. Amer. Geophys. Un.*, vol. 54, n° 4, p. 467.
- TARLING D.H. (1967). — Results of a paleomagnetic reconnaissance of the New Hebrides and New Caledonia. *Tectonophysics*, vol. 4, n° 1, p. 55-68.
- TURCOTTE D.L. (1974). — Arc transform faults thermal contraction cracks? Cornell University (pre-print).
- WILLIAMS C.E.F. et WARDEN A.J. (1964). — Futuna. In: progress report for 1959-1962. *New-Hebrides Geol. Survey*, p. 28.
- YASUI M., NAGASAKA K. et KISHII T. (1968). — Terrestrial heat flow in the Okhotsk Sea (2). *Oceanogr. Mag.*, vol. 20, p. 73-86.
- YASUI M., EPP D., NAGASAKA K. et KISHII T. (1970). — Terrestrial heat flow in the seas around Nansei shoto (Ryukyu Islands). *Tectonophysics*, vol. 10, p. 225-234.

Manuscrit déposé le 10 octobre 1974  
 accepté le 10 décembre 1974.