

4**SISMIQUE RÉFRACTION : STRUCTURE DE LA CROUTE
AUX NOUVELLES-HÉBRIDES***par*

Bernard PONTOISE, Gary V. LATHAM et Abou-Bakr K. IBRAHIM

A notre connaissance, aucun travail de sismique réfraction n'a été réalisé dans cette région.

APPORTS RÉCENTS

C'est en novembre 1976 qu'ont débuté les premiers travaux de sismique réfraction aux Nouvelles-Hébrides. A cette date, la première campagne EVA II, a permis la réalisation de quatre profils, situés entre les îles de Vaté et d'Erromango. Durant la campagne EVA IV, en septembre 1977, dix nouveaux profils ont pu être implantés, cinq d'entre eux étaient destinés à compléter l'étude de la première zone, ~~les cinq autres entamaient l'étude d'un nouveau couloir situé au sud du premier entre les îles~~

Les résultats des campagnes EVA II et EVA IV ont été publiés (PONTOISE, 1977 ; IBRAHIM *et al.*, 1980). Nous les reprendrons pour les compléter par l'apport de quatre nouveaux profils effectués en novembre 1978 pendant la campagne EVA VII.

Dans la première zone, les profils de réfraction ont été implantés le long d'un profil de sismique réflexion (AUS 113) et d'un profil de gravimétrie et de bathymétrie (EVA 646). Dans la deuxième zone, ils sont répartis sur un profil de réflexion (MOBIL 246) et de bathymétrie-gravimétrie (EVA 656).

La figure II-31 montre la situation géographique de tous les profils de réfraction. Entre la plaque plongeante à l'ouest et le début du plateau Nord-Fidjien à l'est, la densité de profils est voisine de un profil pour 40 km dans les deux couloirs étudiés. Cette densité de profils est tout à fait comparable à celle dont nous disposons sur l'arc des Tonga. Une comparaison raisonnable est donc rendue possible entre ces deux structures.

DONNÉES TECHNIQUES

numéro lui-même du profil.

Pour réaliser ces profils, nous avons utilisé trois sortes de sources : canon à air de 5 litres et de 15 litres (EVA II, IV, VII), explosifs (EVA IV, VII) et Flexichoc (EVA IV). Une discussion sur les sources utilisées se trouve en annexe (voir Annexe D).

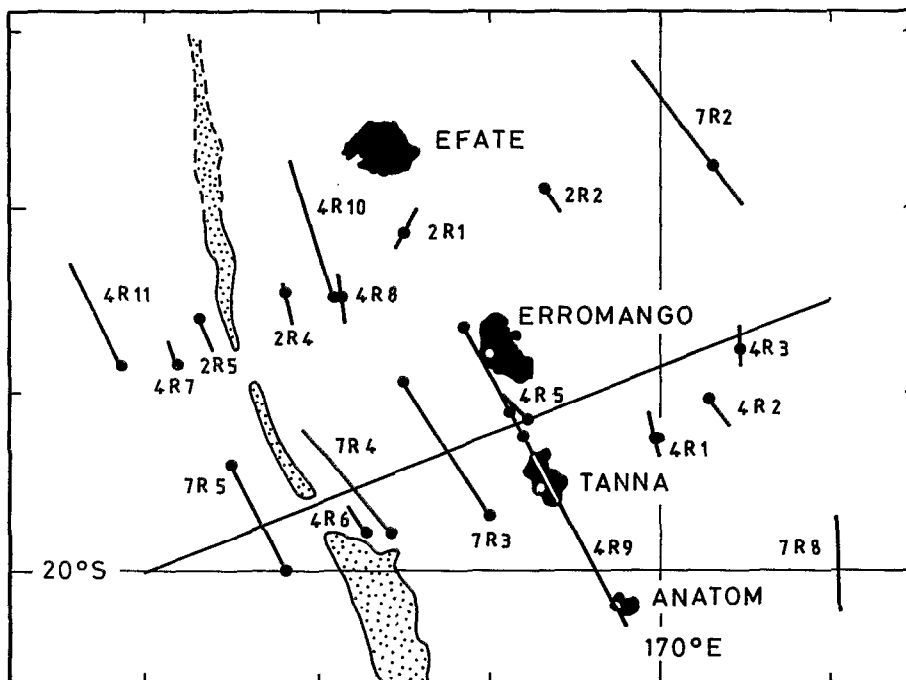


Fig. II-31 - Carte de l'implantation des profils de sismique réfraction réalisés au cours des campagnes EVA II, IV et VII. Le figuré en pointillés marque l'emplacement de la fosse (matérialisée par l'isobathe 6000 m). Chaque profil est représenté par sa ligne de tir (en trait plein) et la position de la station d'enregistrement (point noir). Le profil 4R9 situé à cheval sur Erromango, Tanna et Anatom a été réalisé avec des OBS (points noirs) et des stations terrestres (points blancs). Le plan de coupe WE utilisé sur la figure II-37 est représenté en trait plein.

Les stations d'enregistrement sont des Ocean Bottom Seismographs (O.B.S.). Ils ont été décrits par LATHAM *et al.*, (1978). Dans la plupart des cas, les gains moyens des stations sont de l'ordre de 3.10^6 à 15 Hz ce qui permet des portées satisfaisantes pour des sources de relativement faible énergie.

On trouvera en annexe une description schématique de ces appareils, ainsi qu'un exposé des techniques de dépouillement. Notons cependant que ces techniques sont basées sur les méthodes traditionnelles d'ajustement par segments et d'interprétation par modèles en couches de vitesses homogènes.

Dans le but de minimiser les perturbations dues à la topographie du fond ainsi que d'étudier isolément chaque structure majeure de l'arc, tous les profils ont été implantés dans une direction parallèle à la fosse. On s'est aussi efforcé de les implanter en quinconce entre les couloirs nord et sud de manière à pouvoir éventuellement les regrouper en une coupe synthétique générale.

Les tableaux II-13 et II-14 regroupent les données principales relatives à tous les profils de cette région. Y figurent : le nom du profil et son type (voir Annexe I) entre parenthèses, la position des stations d'enregistrement, la source utilisée, la profondeur d'immersion des stations (en km), la direction de la branche c'est-à-dire la direction entre stations et tirs, la longueur maximale de la branche puis, pour chaque unité lithologique, les vitesses apparentes (en km/s), les épaisseurs sous la station (en km) et les intercepts (en sec). Les vitesses marquées d'un astérisque sont observées soit en seconde arrivée soit sur le multiple qui leur correspond.

Nom type	Position	Source	Prof. (km)	Dir.	Long. (km)	Sédiments			Socle			Croûte			Manteau	
						V km/s	H km	τ (s)	V	H	τ	V	H	τ	V	τ
2R1 (2)	18°07.8 S 168°31.0 E	AG 5	0.81		14	1,8*	0.03	0.30	5.5	-	1.84					
						2.4	0.18	0.47								
						2.6	1.09	0.54								
						4.3	1.29	1.39								
2R2 (1)	18°02.0 S 169°26.0 E	AG 5	2.61		13	2.2*	0.12	1.28			6.0	-	2.71			
						2.7	0.43	1.52								
						3.5	1.31	1.87								
2R4 (1)	18°27.0 S 167°50.0 E	AG 5	4.32		14	1.9*	0.02	1.77	4.7	-	3.97					
						2.1*	0.60	1.98								
						4.1	3.00	3.20								
2R5 (1)	18°36.0 S 167°20.8 E	AG 5	4.83		13	2.0*	0.30	2.08	5.4	0.48	4.37					
						2.4*	1.35	2.72								
4R7 (2)	18°51.8 S 167°14.0 E	Flex.	4.31		12	2.0*	0.20	1.90	5.3	-	3.37					
						3.6	1.08	2.78								
4R8 (2)	18°28.7 S 168°09.8 E	AG 5	2.80	N	17	2.9	0.60	1.59	5.2	-	2.62					
						4.1	1.60	2.04								
4R10 (1)	18°30.8 S 168°08.0 E	Dyn.	2.86		100	-	-	-	5.1	3.91	2.95	6.1	8.06	3.91	8.1	6.15
4R11 (1)	18°51.9 S 166°53.4 E	Dyn.	4.16		75	4	2.73	2.82	-	-	-	7.0	7.76	9.1	8.1	5.3
7R2 (2)	17°46.0 S 170°20.0 E	Dyn. + AG 15	2.56	N	83	2.0*	0.55	1.13	5.3	0.85	2.30	6.7	5.75	2.57	7.81	3.58
						4.2*	0.50	2.05								
						2.0*	0.55	1.13								
				S	30	2.0*	0.55	1.13	5.2	1.55	2.30	6.3	-	2.70		
			3.9*	0.43	2.05											

Les vitesses marquées d'un astérisque sont observées soit en seconde arrivée soit sur le multiple qui leur correspond.

Tabl. II- 13 - Données de sismique réfraction - Section Efaté - Erromango

Nom type	Position	Source	Prof. (km)	Dir.	Long. (km)	Sédiments			Focle			Croûte			Manteau	
						V km/s	H km	τ (s)	V	H	τ	V	H	τ	V	τ
4R1 (2)	19°17.0 S 169°59.0 E	AG 5	2.39	N	20	2.5	0.73	1.23	5.9	-	3.13					
						3.4	2.27	1.77								
				S	16	2.1*	0.33	1.10	5.9	-	3.13					
						3.6	3.00	1.65								
4R2 (1)	19°05.5 S 170°17.0 E	AG 5	2.12		17	1.8*	0.32	0.72	5.5	-	2.93					
						2.4*	0.44	1.23								
4R3 (2)	18°47.0 S 170°30.0 E	AG 5	3.01	N	18	2.0*	0.48	1.21	5.3	3.64?	2.89				7.6?	4,00?
						3.2	1.22	2.05								
				S	6	2.0	1.48	1.26	5.0	-	3.1					
4R5 (1)	19°00.0 S 169°10.0 E	AG 5	0.97		18	2.0	0.60	0.44	5.0	-	2.28					
						3.4	2.66	1.06								
4R6 (2)	19°47.5 S 168°18.6 E	AG 5	5.12	N	12	2.1*	0.21	2.26								
						2.8	0.66	2.96								
						4.1	-	3.60								
				S	18	2.1*	0.27	2.30								
4R8 (2)	18°28.7 S 168°09.8 E	AG 5	2.58	N	17	2.9	0.60	1.59	5.2	-	2.62					
						4.1	1.60	2.04								
				S	18	3.2	1.39	1.67	5.3	-	2.52					
4R9	(voir Fig II-31)	Dyn.	-	-	170	-	-	-	5.0	4.11	2.28	6.6	18.5	3.48	7.9	7.08
7R3 (4)	(N) 18°57.2 S 168°30.0 E	Dyn. + AG 15	1.00	N	10	2.2*	0.2	0.52	-							
						4.5	-	0.80								
				S	95	2.4*	0.2	0.52	5.3*	0.90	0.93	6.2		2.18		
						4.9	1.50	0.70	5.6	5.60	1.08					
	(S) 19°42.0 S 169°03.0 E	Dyn. + AG 15	1.00	N	95	2.1	1.25	0.46	5.5	1.95	2.01	6.9	8.15	3.45	7.7	4.40
						4.5*	0.62	1.65	5.8	3.82	2.30					
				S	30	2.1*	1.22	0.46	5.2*	1.30	2.01					
						4.4	1.12	1.75	5.6	-	2.60					
						4.7*	0.55	1.80								
7R4 (1)	19°47.0 S 168°27.0 E	Dyn. + AG 15	5.30	N	82	2.5*	0.35	2.90				7.2	6.70	7.12	8.1	8.47
						3.7*	0.72	3.54								
						4.7	8.75	3.96								
7R5 (3)	(N) 19°24.8 S 167°30.9 E	Dyn.	4.80	S	72	2.0*	0.55	2.08	5.2	1.50	3.69	7.0	5.5	4.88	8.3	6.03
						3.7*	0.65	3.37	5.9	3.35	4.05					
	(S) 19°59.5 S 167°50.0 E	Dyn.	4.50	N	70	2.8*	0.54	2.54	5.4*	2.08	3.75	7.0	7.63	4.46	8.3	5.81
						4.2	1.80	3.09								

Les vitesses marquées d'un astérisque sont observées soit en seconde arrivée soit sur le multiple qui leur correspond.

DESCRIPTION DES RÉSULTATS

Nous ne reviendrons pas en arrière sur la description des résultats des profils des campagnes EVA II et EVA IV, et nous nous contenterons de présenter les profils réalisés durant la campagne EVA VII. Ils sont au nombre de quatre. Le premier (7R2) est situé sur le plateau Nord-Fidjien, le second (7R3) au niveau de l'arc frontal, le troisième (7R4) pratiquement en fond de fosse et le dernier (7R5) sur la plaque plongeante en avant de la fosse. Deux de ces profils sont inversés, les deux autres sont à une seule station d'enregistrement. Prenons ces profils un à un.

Le profil 7R2

Il a été implanté sur le plateau Nord-Fidjien, en arrière de l'arc, dans une région où l'âge présumé du plateau, calculé à partir des anomalies magnétiques observées, devrait se situer entre 5 et 10 M.A.. Ce profil est du type 2 c'est-à-dire avec une seule station et une ligne de tir à débordement. On ne peut donc prétendre mesurer des vitesses vraies pour les couches profondes. La topographie du fond n'est pas tourmentée puisqu'elle reste entre 2500 et 3000 mètres tout au long de la ligne de tir. Les tirs de dynamite ont été alternés avec des tirs au canon à air de 15 litres. La portée maximale du profil est de 83 km dans la direction nord. La figure II-32 (A) montre l'hodochrone obtenue pour ce profil. Notons que cette hodochrone, comme les suivantes, est établie en temps réduit ($t - \Delta / V_r$) avec une vitesse de réduction de 6 km/s. Les vitesses des couches sédimentaires superficielles ne sont pas observées en première arrivée mais la relativement haute densité des tirs permet de bonnes corrélations pour la ~~détermination de ces vitesses en seconde arrivée.~~ Sur la figure II-32 (B) sont représentés les modèles en vitesse répondant aux hodochrones observées. Les modèles HN et HS sont les modèles en vitesses apparentes dans l'hypothèse des couches homogènes, planes et horizontales pour les branches nord et sud du profil. Le modèle en couches homogènes planes inclinées est dessiné sur cette figure. Les pendages des couches sont indiqués en degrés.

Il est à noter que l'énergie des ondes réfractées sur ce profil est beaucoup plus faible, à puissance de source et distance égales, que pour la plupart des profils situés en dehors de cette zone. Ceci serait, bien que l'estimation ne soit que qualitative, l'indication d'une croûte à plus faible facteur de qualité que les régions de l'arc ou en avant de l'arc.

Le profil 7R3

C'est un profil destiné à préciser la structure superficielle et intermédiaire de l'arc frontal. Il a été réalisé avec deux stations et une ligne de tir à débordement de 8 km pour la station nord et de 30 km pour la station sud. La topographie du fond est calme puisqu'elle ne varie qu'entre 750 m et 1000 m sur les 130 km de longueur totale de la ligne de tir. Ici encore la cadence des tirs est de 1 tir toutes les 5 minutes avec alternance de tirs à la dynamite et de tirs au canon à air de 15 litres. La figure II-33 (A) représente les hodochrones obtenues pour les stations sud et nord et la figure II-33 (B) le modèle en vitesse correspondant à ces hodochrones. Pour la station sud, les pendages et les vitesses vraies des couches superficielles (1 à 5 km de profondeur) sont bien déterminés et tout à fait compatibles avec les modèles en couches horizontales HS1 et HN1. Pour ce qui concerne la station nord, le débordement de 8 km s'avère tout à fait insuffisant pour déterminer le modèle en couches inclinées au-delà de 1.5 km de profondeur.

Les vitesses apparentes 5.61 km/s et 5.84 km/s observées sous la station sud fournissent une vitesse vraie de 5.72 km/s. Sur l'hodochrone de la station nord, cette vitesse n'est observée que par une seule ~~vitesse apparente 5.66 km/s~~ qui correspond très vraisemblablement à un pendage constant ascendant vers le nord et voisin de 1°. La vitesse vraie de la couche à 6.53 km/s est obtenue à partir des vitesses apparentes observées sur les hodochrones des stations nord et sud. Les rais correspondant à ces vitesses apparentes ont un trajet commun, sur une cinquantaine de kilomètres, au centre du profil. Le pendage ainsi déterminé est vraisemblablement le pendage le plus représentatif du modèle et il indique une ascendance de 2° vers le nord. La vitesse apparente 7.75 km/s observée sur l'hodochrone de la station nord n'est pas définie avec beaucoup de précision mais si son niveau, sous la station nord, est voisin de 20 km et si on confère à cet interface le même pendage que les couches plus superficielles, alors son niveau sous la station sud est proche de 22 km.

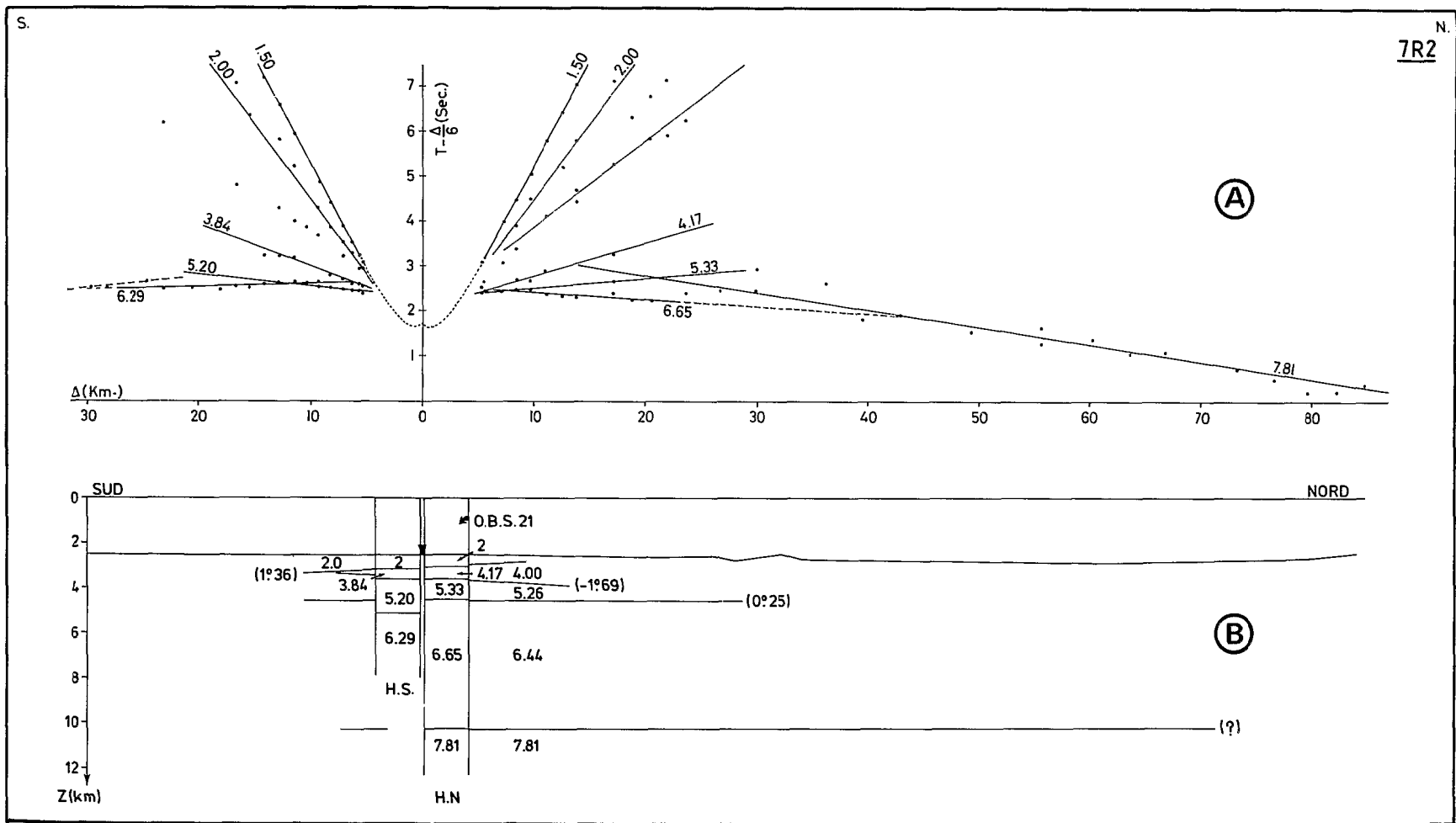


Fig. II-32 - A : Hodochrone, en temps réduit, du profil 7R2. B : modèles correspondants.

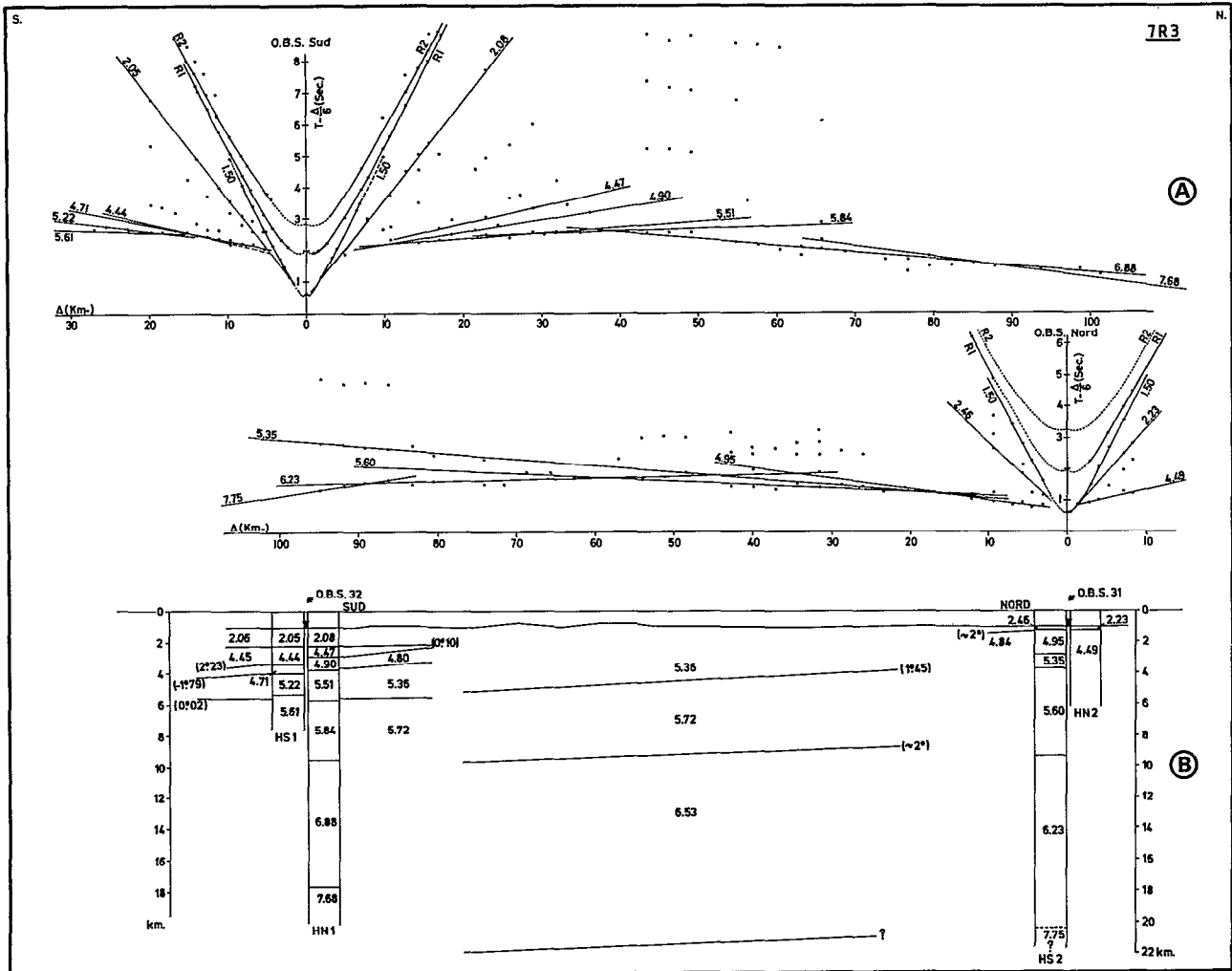


Fig. II-33 - A : Hodochrones, en temps réduit, du profil 7R3. B : modèles correspondants.

Le profil 7R4

Il a été implanté sur le prisme d'accrétion pour en étudier la structure mais cependant assez près de la fosse pour tenter de préciser la géométrie de la plaque plongeante sous le prisme d'accrétion. Ce profil n'a malheureusement pu être inversé puisque une des deux stations n'a pas fonctionné correctement. Seule la station sud a enregistré les tirs et fourni des résultats. La profondeur d'eau n'a pas permis au canon à air de 15 litres de donner de bons résultats ce qui fait que ce profil est principalement bâti sur une ligne de tir à cadence de 1 tir toutes les 10 minutes. La topographie du fond présente des reliefs de 1500 m pour une profondeur moyenne de 5000 m. Cependant, après corrections, la corrélation entre relief topographique et hodochrones est supprimée.

L'hodochrone obtenue (Fig. II-34 A) présente des décrochements sur ses branches qui sont presque
 décrochement. Ces sauts positifs sur l'hodochrone peuvent être interprétés par la présence de couches
 à moindre vitesse bien que les zones d'ombre qui leur correspondraient ne soient pas observées (ceci
 pourrait à la rigueur s'expliquer par l'espacement des tirs). A cette interprétation par couches à

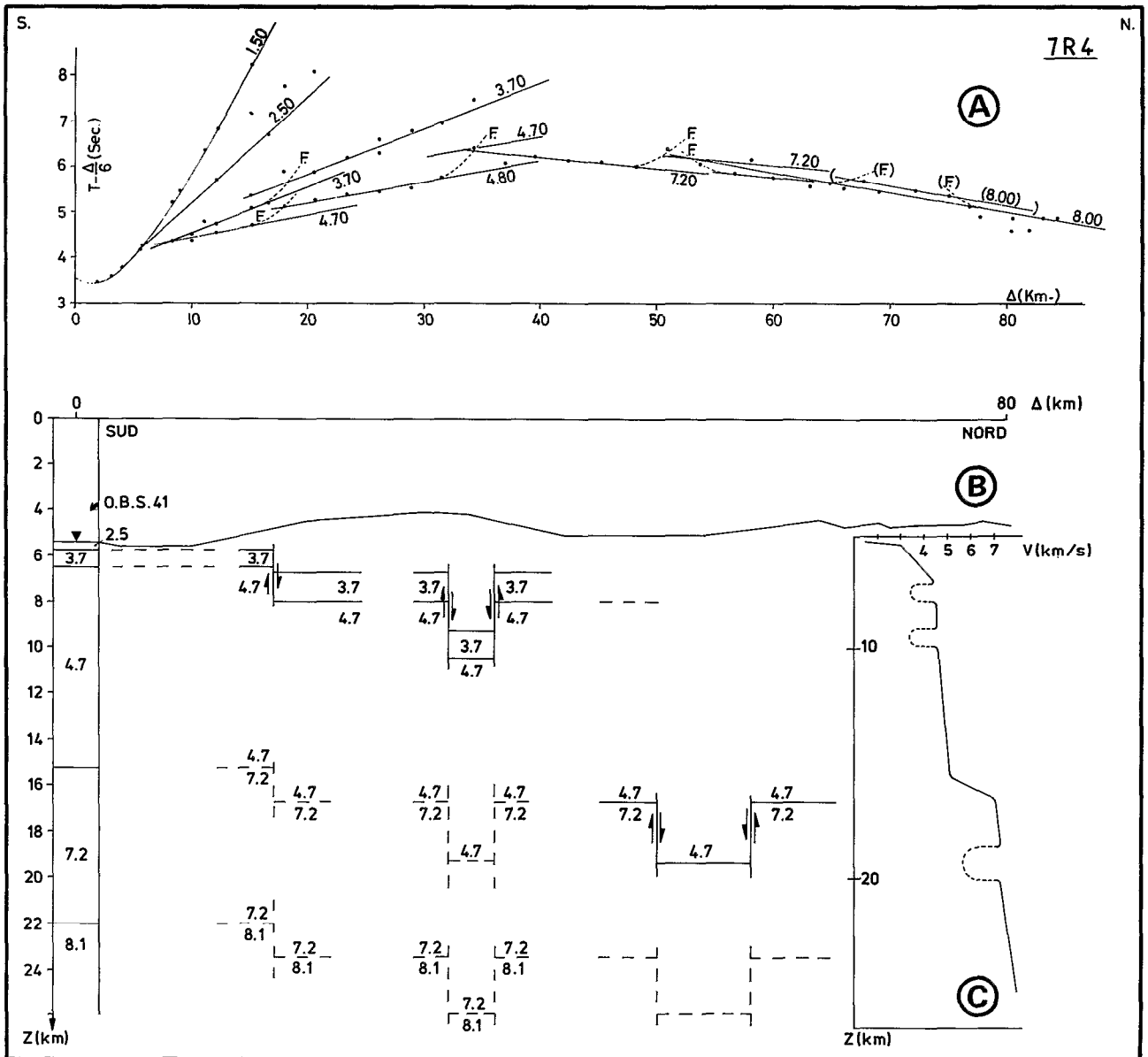


Fig. II-34 - A : Hodochrone, en temps réduit, du profil 7R4. B et C : modèles correspondants.

moins vite, dont nous donnons quand même, sur la figure II-34 (C), une solution possible, nous préférons l'interprétation où des failles verticales sont responsables de ces décrochements. Cette solution a l'avantage de pouvoir expliquer aussi les sauts négatifs sur les branches de l'hodochrone. En effet, ces sauts négatifs, c'est-à-dire correspondant localement à des vitesses apparentes très élevées ne peuvent être expliqués que par des failles que les rais descendent (voir Annexe I). De plus, un tel modèle provoque des perturbations dans les amplitudes des signaux observés mais non pas des zones d'ombre (que nous n'observons pas d'ailleurs). Nous donnons, figure II-34 (B) un modèle de vitesse présentant des failles aux interfaces à partir d'un modèle de vitesses apparentes en couches horizontales homogènes et planes sous la station. En traits interrompus figurent les failles qui pourraient affecter certains interfaces mais qui ne sont pas observées directement sur l'hodochrone. Le jeu vertical de ces décrochements est compris entre 1 km et 2.5 km. Il est évident qu'un profil inverse aurait définitivement levé l'indétermination entre modèle faillé et couches à moindre vitesse puisque le comportement de l'hodochrone est inversé si le trajet du rai est inversé sur la faille.

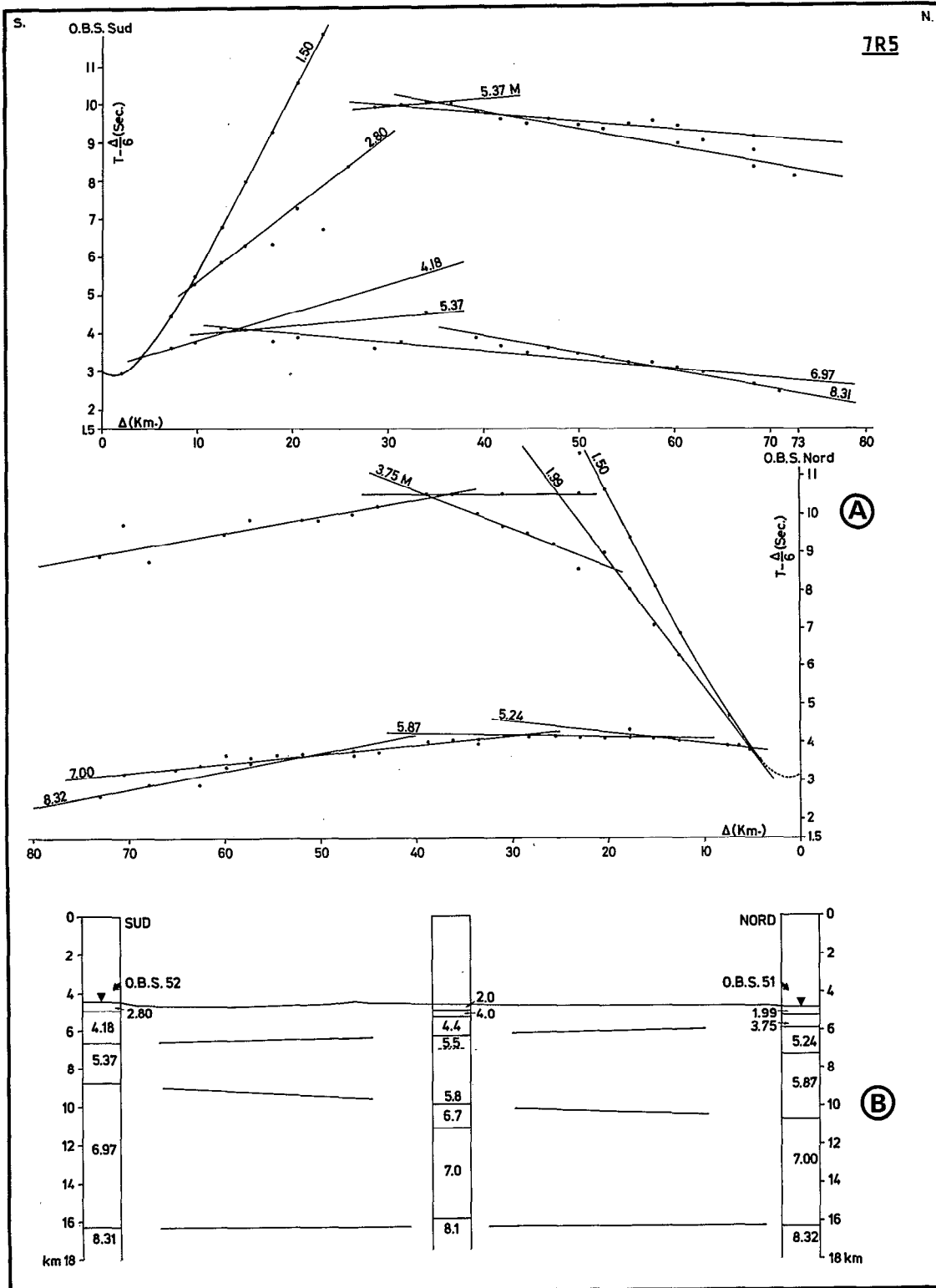


Fig. II-35 - A: Hodochrones, en temps réduit, du profil 7R5. B: modèles correspondants.

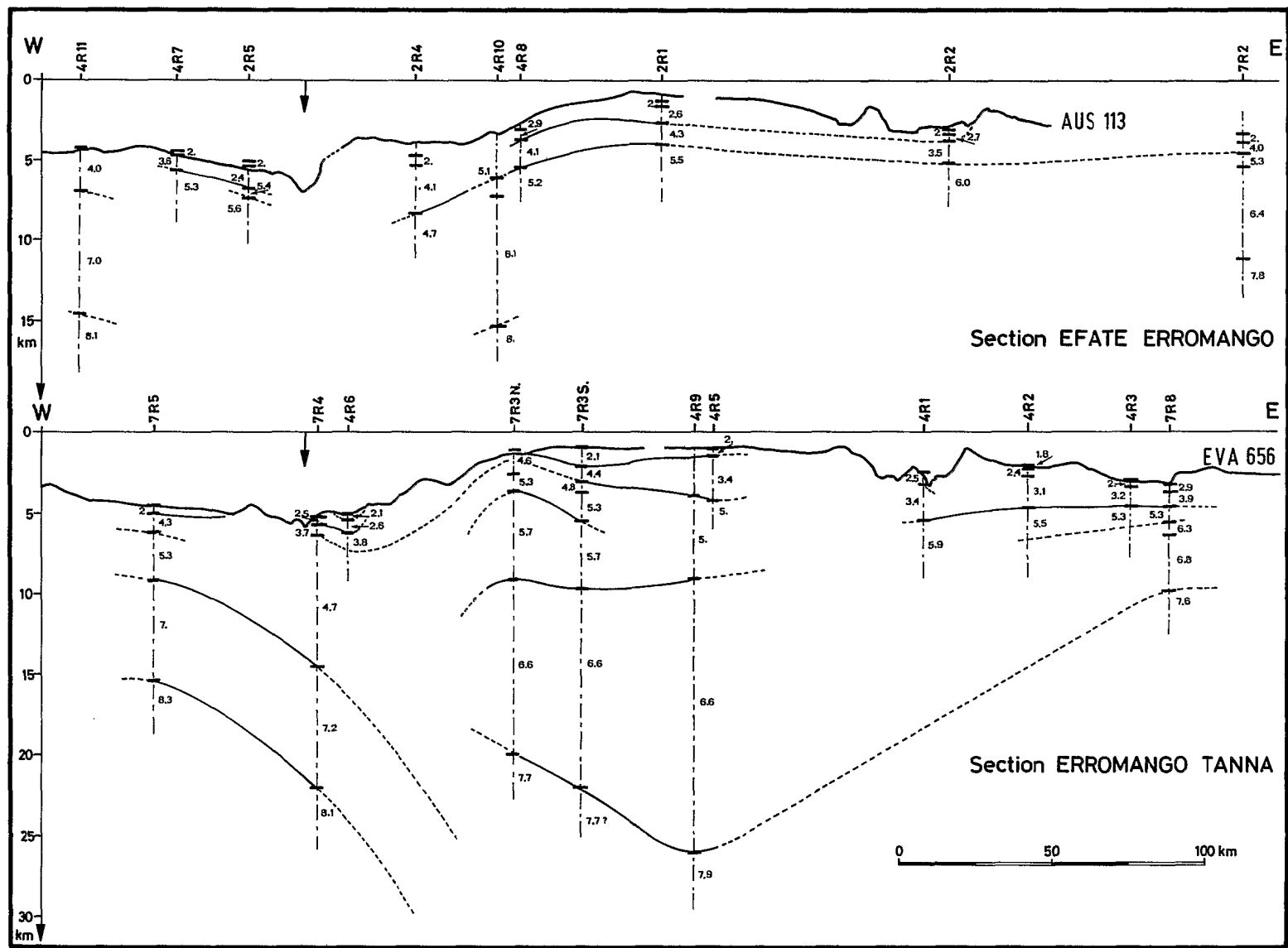


Fig. II-36 - Coupes structurales des deux couloirs étudiés.

Le profil 7R5

Situé en avant de la fosse, à une quarantaine de kilomètres de celle-ci, ce profil est destiné à étudier la structure de la croûte plongeante. C'est un profil à deux stations mais dont la ligne de tir ne présente pas de débordement. La cadence de tir est de 1 tir toutes les 10 minutes excepté à proximité de la station nord où des petites charges ont été intercalées. La topographie du fond de la mer ne présente pas d'accidents majeurs le long du profil et la profondeur varie entre 4400 m et 4800 m.

La figure II-35 (A) représente l'hodochrone obtenue pour ce profil et pour chaque station. Sur la figure II-35 (B) sont représentés les modèles répondant aux observations. La différence entre les structures superficielles des stations nord et sud peut s'expliquer par la relativement faible densité de tirs qui fait que chaque branche d'hodochrone n'est pas déterminée par un grand nombre de points d'une part et d'autre part par le fait que la station nord se situe dans une petite dépression alors que la station sud est, elle, sur un relief. Cette différence entre les structures superficielles fait que le modèle en

profondeur moyenne. Les hodochrones nord et sud sont tout à fait compatibles entre eux ce qui indiquerait que les différences observées entre nord et sud ne sont pas réelles mais dues à la faible densité des tirs. Toujours est-il que l'épaisseur totale de la croûte est relativement bien déterminée. La vitesse du Moho est observée dans de bonnes conditions d'inversion et n'indique aucun pendage notable. Sur ce profil apparaît nettement le manque des deux facteurs essentiels qui sont : une haute densité de tirs à proximité des stations et un recouvrement de la ligne de tir.

Le profil 7R8

On peut mentionner ici ce profil situé sur le plateau Nord-Fidjien, en arrière de l'arc, et au sud du couloir sud. Une présentation de ce profil est faite dans le chapitre traitant du plateau Nord-Fidjien. Notons qu'il est très proche, dans ses grandes lignes, du profil 7R2.

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Cette figure II-36 est une coupe transversale obtenue à partir de tous les sondages de sondages sur la bathymétrie des profils AUS 113 pour la section nord et EVA 656 pour la section sud. La densité d'information disponible sur les deux coupes est très différente dans la mesure où la section nord ne possède que trois sondages de grande pénétration. Si on excepte les différences entre les structures superficielles, rien n'empêche cependant de regrouper ces deux coupes en un schéma structural général. Un tel schéma est représenté sur la figure II-37. Ce sont les sondages nord qui ont été projetés dans la section sud (le sondage 4R11 projeté est la combinaison du 4R10-4R8). D'autre part le sondage 4R11 est géographiquement situé à 80 km de la fosse mais éloigné aussi des îles

Reprenons la description de l'arc unité par unité d'ouest en est. Les faits marquants sont :

- L'épaisseur de la croûte portée par la lithosphère plongeante. En effet, comparativement à la croûte océanique standard (SHOR *et al.*, 1969) et mise à part la couche sédimentaire, toutes les autres unités lithologiques sont plus épaisses que la croûte standard.

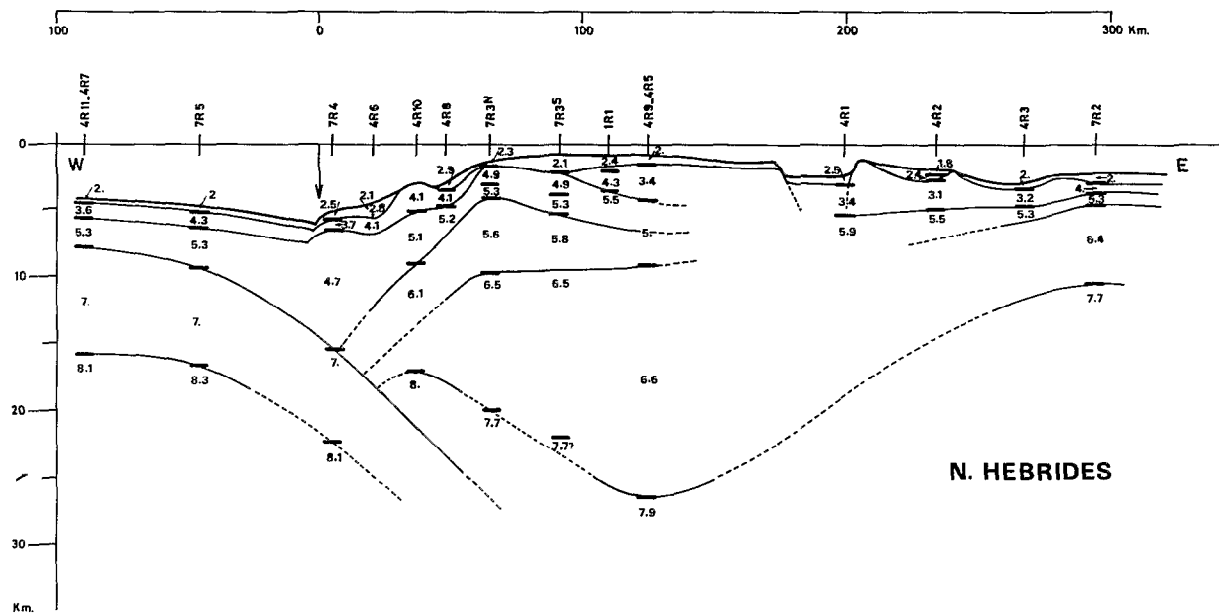


Fig. II-37 - Coupe synthétique à travers les Nouvelles-Hébrides.

- L'épaisseur de la couche relativement peu rapide et d'aspect tourmenté qui constitue le prisme d'accrétion.
- La présence, en avant de la zone de Benioff, d'une remontée de matière à vitesse élevée (7.7 km/s - 8 km/s) visible sur deux profils (4R10 et 7R3).
- La remontée de toutes les couches au niveau de l'arc frontal.
- L'épaisseur importante de la croûte au niveau de l'arc insulaire.
- Les caractéristiques des profils du plateau Nord-Fidjien qui sont en bon accord avec l'hypothèse d'une croûte jeune surmontant un manteau anormal.
- La très pauvre définition des structures profondes du fossé arrière arc nécessite un bon profil de réfraction (type explosifs composé) si la gravimétrie ne permet pas de lever le doute sur la nature de cette structure.