

3**ÉTUDE PAR RÉFRACTION
DE LA STRUCTURE INTERNE DE L'ARC DES TONGA**

Par Bernard PONTOISE et Gary LATHAM

Les techniques d'investigation des couches profondes de l'arc des Tonga que nous avons utilisées sont la sismique réfraction et la gravimétrie. Avec la première nous avons fait six profils réfraction parallèles aux structures qui complètent les premières données acquises par RAITT *et al.* (1955) dans cette région.

APPORTS NOUVEAUX

Durant la campagne EVA VII, six profils de sismique réfraction, notés de 7 R 12 à 7 R 17, ont été réalisés à travers l'arc des Tonga. Ces profils ont été implantés perpendiculairement à une transversale

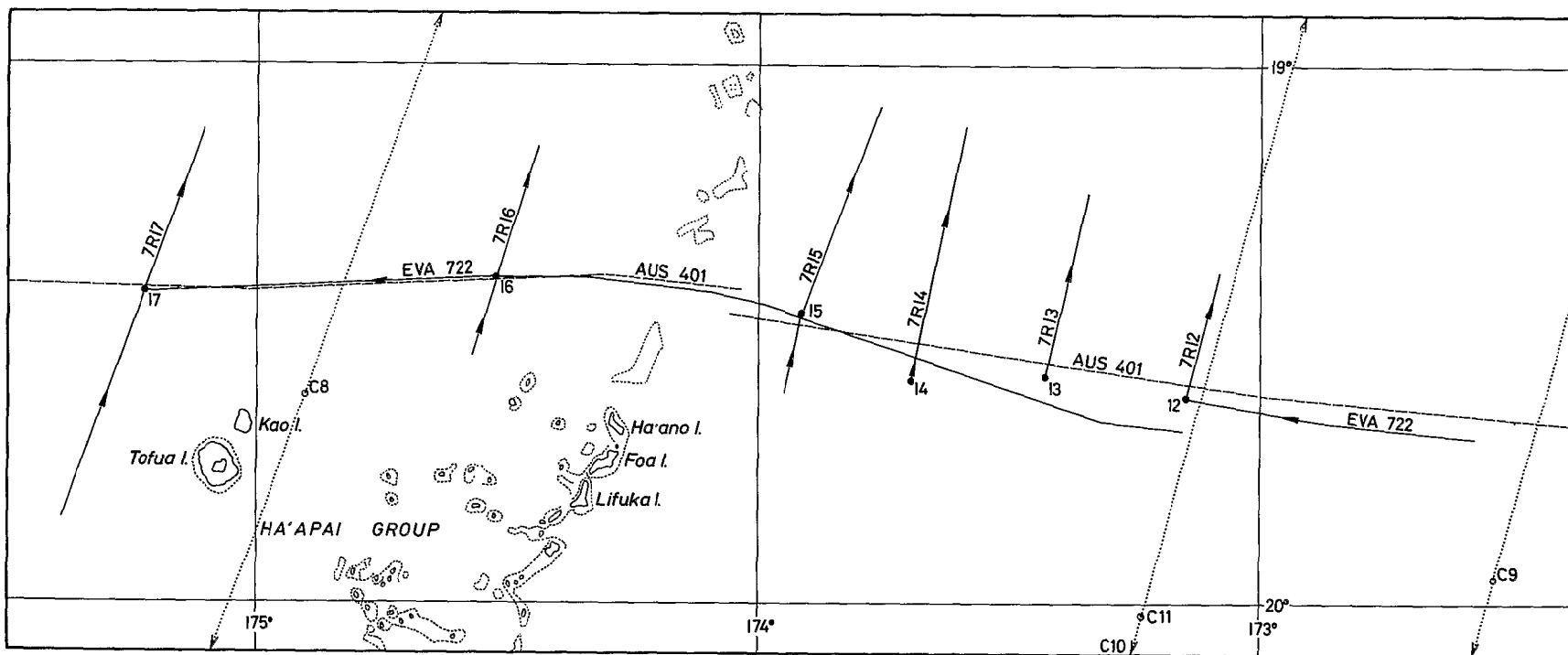


Fig. V-17 . Localisation des profils réfraction EVA VII sur les profils EVA 722 et AUS 401. Les profils de 7 R 12 à 7 R 17 sont les profils réfraction ORSTOM-TEXAS, ceux de RAITT *et al.* (1955) sont numérotés de C 8 à C 10-11.

à l'arc sur laquelle ont été effectués un profil de sismique réflexion monotrace (AUS 401) et un profil de bathymétrie et de gravimétrie (EVA 722). La figure V-17 montre l'implantation de ces profils. On a obtenu de la sorte une coupe sismique avec une densité de 3 profils pour 100 km, analogue à la coupe déjà réalisée à travers l'arc des Nouvelles-Hébrides. Une comparaison entre ces deux structures est alors rendue possible (PONTOISE *et al.*, 1980).

Données techniques

La source utilisée est un canon à air Bolt équipé d'une chambre de 15 litres (915 in³). La cadence de tir adoptée est de 1 tir toutes les 3 minutes à la pression de 1800 psi (125 kg/cm²). Un aileron à dépression maintient le canon à une profondeur de 29m, lorsque la vitesse du bateau est de 6 nœuds. A cette profondeur, la fréquence d'oscillation de la bulle est de 12.5 Hz, et les interférences constructives entre onde directe et onde réfléchiée sous la surface de l'eau améliorent les résultats.

Les OBS (Ocean Bottom Seismograph) utilisés durant cette campagne ont été décrits par LATHAM *et al.* (1978) toutefois une présentation schématique de ces appareils se trouve en annexe (1). Notons cependant que, dans cette région et par grande profondeur surtout, les gains moyens sont de l'ordre de 3.10^6 à 15 Hz et que la courbe de réponse des OBS utilisés est centrée entre 8 Hz et 20 Hz.

Les techniques de dépouillement sont rappelées en annexe. Notons toutefois qu'elles sont basées sur les méthodes traditionnelles d'ajustement par segments (Fig. V-18) qui sont, à l'heure actuelle, non pas remises en question mais discutées (ORCUTT *et al.*, 1977).

Les nouveaux profils réfraction ont été implantés de telle sorte que, ajoutés à ceux de RAITT *et al.* (1955), leur densité soit à peu près uniforme le long de la transversale.

Description des données

Les profils 7 R 12, 7 R 13 et 7 R 14 sont à une seule branche, les autres sont à débordement. Les coordonnées des stations, la longueur maximale du profil, les profondeurs, les vitesses apparentes observées, les intercepts et les épaisseurs calculées sont regroupés dans le tableau V-4.

Les figures V-19 et 20 montrent les courbes de propagation, ou hodochrones, pour les profils 7 R 12 à 7 R 17. Ces hodochrones sont établies en utilisant le temps réduit (temps réduit = temps réel — distance / vitesse de réduction), la vitesse de réduction étant égale à 6 km/s.

Les hodochrones des profils 7 R 12 à 7 R 15 présentent des décrochements, positifs ou négatifs, pour certaines de leurs branches. Dans l'hypothèse des couches homogènes, ce fait ne peut s'expliquer que par l'existence de fractures ou de très fortes pentes au sommet des couches qui présentent ce phénomène de décrochements dans les hodochrones. En effet, la solution introduisant des couches à moindre vitesse n'est pas satisfaisante puisqu'elle ne peut rendre compte des décrochements négatifs (voir annexe réfraction). Une confirmation de l'hypothèse des fractures pourrait être obtenue en réalisant des profils pseudo-inversés. Les secondes arrivées reportées sur les courbes de propagation correspondent généralement à des multiples des premières arrivées après réflexion dans la couche d'eau.

Sur les profils 7 R 16 et 7 R 17, des interruptions de tir font que les vitesses des premières couches sédimentaires ne sont pas observées. Les valeurs supposées de 2 km/s pour le profil 7 R 16 et 2.15 km/s pour le profil 7 R 17 sont des valeurs raisonnables pour un sédiment non consolidé. Ces valeurs conduisent d'ailleurs à une bonne concordance entre réfracteurs et réflecteurs observés sur AUS 401.

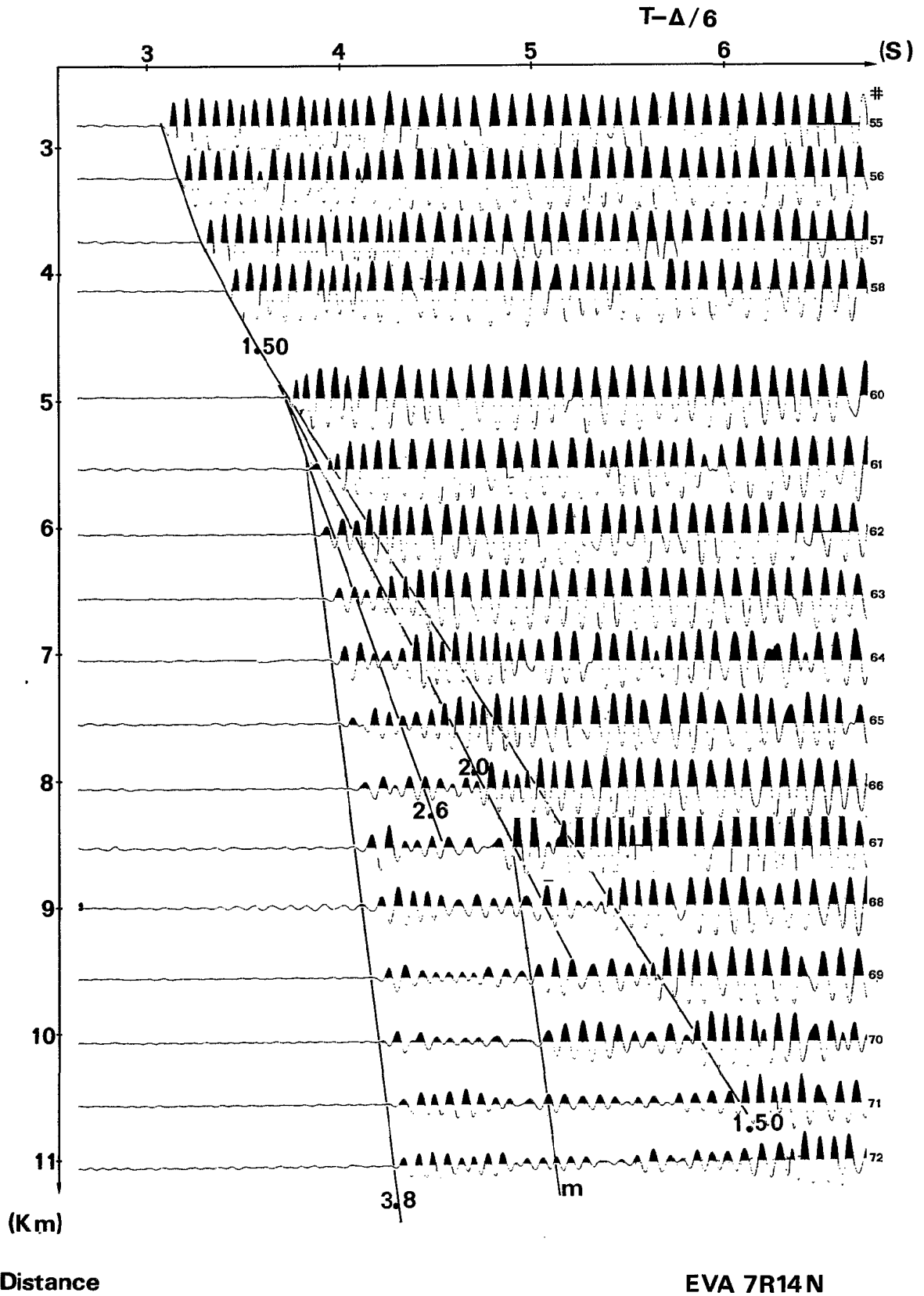


Fig. V-18 . Exemple de technique de dépouillement : ajustement par segments. Profil réfraction EVA 7 R 14 (branche nord).

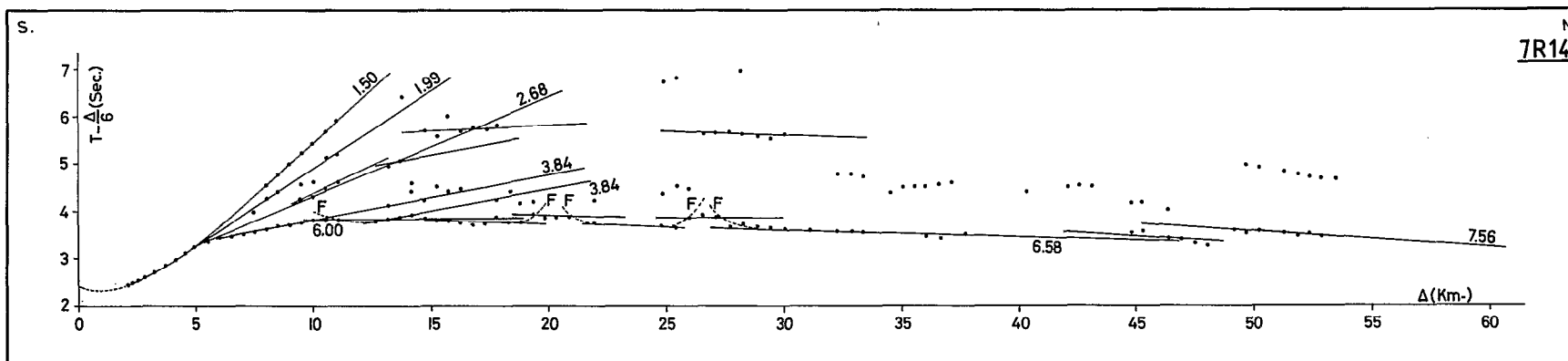
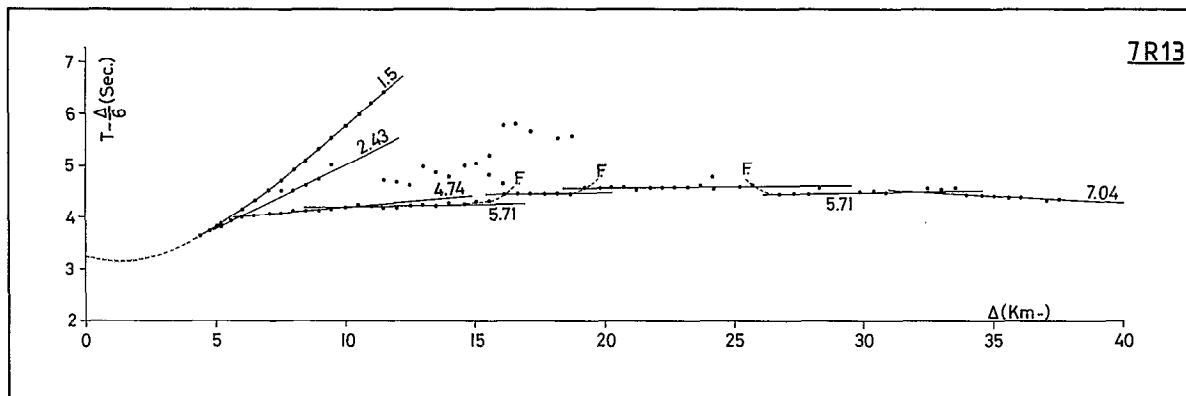
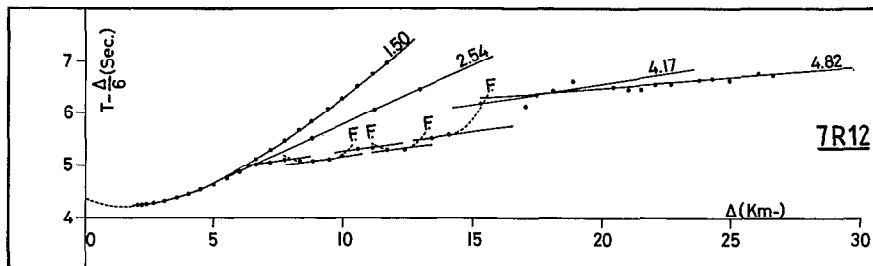


Fig. V-19 . Courbes de propagation du son ou hodochrones des profils 7 R. 12 à 7 R. 14.

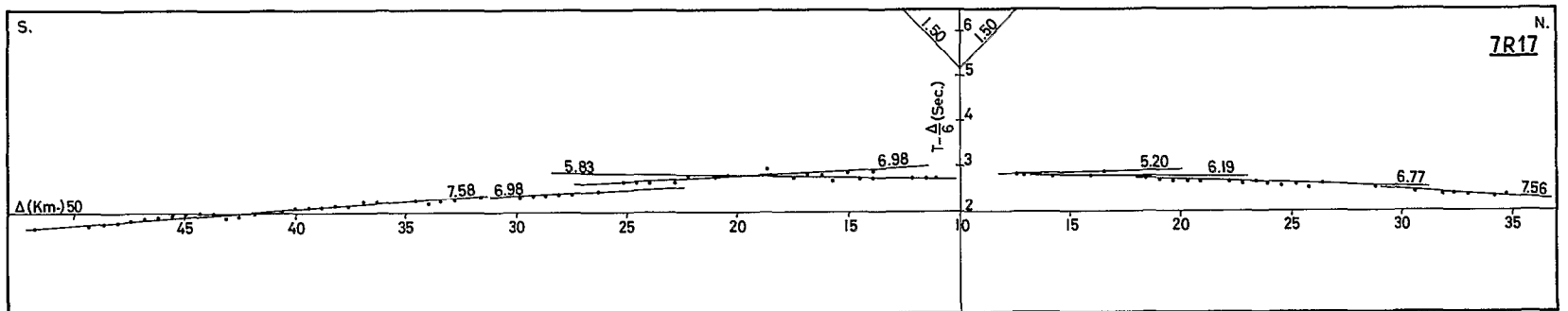
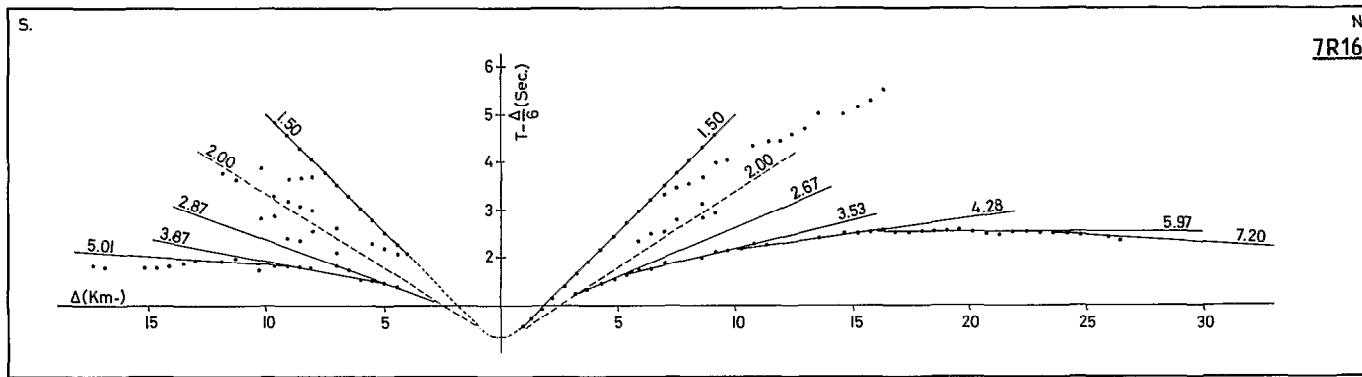
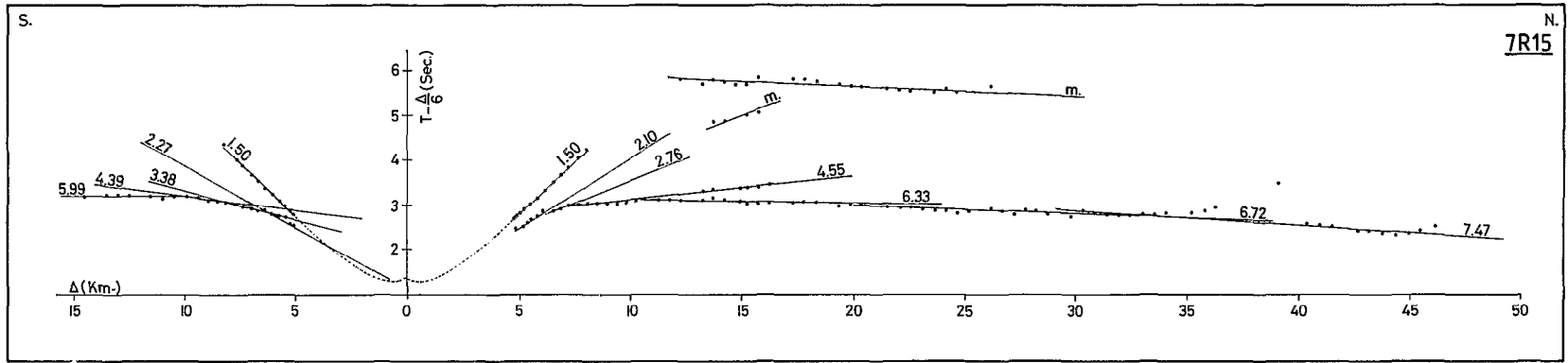


Fig. V-20 . Courbes de propagation du son ou hodochrones des profils 7 R 15 à 7 R 17.

	Position	Longueur maximale du profil Km	Hauteur d'eau Km	Sédiments			Socle			Croûte			Moho
				V Km/s	h Km	τ (s)	V Km/s	h Km	τ (s)	V Km/s	h Km	τ (s)	
9	19°57' S 172°33' W	90	6.1	2.50*	0.40		5.1*	0.6		6.5	4.5		8.1
10.11	20°30' S 173°20' W 20°02' S 173°07' W	140	9.2 8.9	2.15*	0.2		5.3	3.0		6.5 7.6*	8.2 6.5*		8.2
R 12	19°37'3 S 173°08'8 W	27	6.55	2.54	0.76	3.52	a 4.17 b 4.82	2.55	4.92 5.70				
R 13	19°35'9 S 173°21'0 W	38	4.91	2.43	0.91	2.56	a 4.74 b 5.71	1.30 4.02	3.75 4.20	7.04		5.26	
R 14	19°35'2 S 173°41'8 W	53	3.65	a 1.99 b 2.68 c 3.84	0.3 0.7 1.74	1.60 2.22 2.87	6.0	1.20	3.20	a 6.6. b 7.6	7.39	4.13 5.29	
R 15	19°27'8 S 173°54'9 W	15 (S)	2.01	a 2.27 b 3.38	1.25 0.99		a 4.39 b 5.99	1.28	2.58 3.20				
		46 (N)	2.01	a 2.10 b 2.76	0.72 1.23	0.90 1.57	a 4.55 b 6.33	1.51 0.88	1.58 3.21	a 6.72 b 7.5	2.84 -	3.35 3.84	
R 16	19°23'7 S 174°31'1 W	17 (S)	0.51	a 2* b 2.87 c 3.87	0.35 0.83 1.19	0.25 0.54 1.00	5.01	-	1.51				
		27 (N)	0.51	a 2* b 2.67 c 3.53	0.39 0.78 1.19	0.25 0.54 1.01	a 4.28 b 5.97	2.33 2.61	1.50 2.52	7.20	-	3.20	
8	19°37' S 174°54' W	110	1.74	2.15*	1.9	-	5.1	3.0	-	a 7.0 b 7.6	5.2	-	
R 17	19°25'5 S 175°12'9 W	50 (S)	2.19	2.15*	1.46		5.83	1.88	2.68	a 6.9 b 7.6	2.57	3.08 3.50	
		35 (N)	2.19	2.15*	1.24		5.20	1.73	2.45	6.2 6.8 7.6	1.04 1.20	2.86 3.08 3.37	

* Valeurs supposées par les auteurs

⊛ Interprétation de Talwani et al., 1961

Tableau V-4 . Données de sismique réfraction d'après RAITT *et al.* (1955) et EVA VII (1978).

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Pour simplifier l'exposé, reprenons une à une les unités structurales de l'arc des Tonga. La figure V-21 montre la coupe générale de l'arc des Tonga obtenue à partir des profils de sismique réfraction.

Plaque plongeante (localisation des profils C 9 et C 10-11 sur la figure V-17)

Reprenons les résultats de RAITT (réinterprétés par TALWANI *et al.*, 1961). La croûte de la plaque plongeante est constituée par :

- une couche sédimentaire peu épaisse. Bien que non observée directement par la réfraction, elle n'excède pas 400 m, ce qui est en bon accord avec la sismique réflexion. Cette faible épaisseur est due à l'éloignement de sources d'apports sédimentaires terrigènes ou volcaniques et à la profondeur d'eau qui est supérieure au niveau de compensation des carbonates ;

- une couche 2, de vitesse supposée 5.3 km/s qui est, elle aussi, anormalement fine sur la plaque plongeante. Sous la fosse, la couche 2 a une épaisseur de 3 km. En conservant la puissance de cette couche, il faudrait admettre que son pendage sous la fosse est déjà de 75°, valeur anormalement forte et improbable. Par contre pour expliquer cette épaisseur, on peut supposer que sous la fosse, on est déjà dans la zone d'accrétion ;

- une couche 3 qui a une épaisseur au-dessus de la normale sur la plaque plongeante. Le rapport des épaisseurs observées sur la lithosphère plongeante et au niveau de la fosse indique un pendage de 56° de cette couche 3 sous la fosse.

La couche 3 b de vitesse 7.6 km/s proposée par TALWANI *et al.* (1961) n'a pas, à notre sens, de signification dans la structure de la plaque plongeante ; elle n'a été introduite que pour satisfaire à la réponse d'un modèle de densités et seule la profondeur à laquelle elle est placée, et non sa position précise sur le profil C 10-11, a un sens.

Les valeurs 8.2 km/s et 8.1 km/s observées respectivement sur les profils C 10-11 et C 9 représentent des vitesses de manteau supérieur en-dessous de la discontinuité de Mohorovicic dans le sens usuel du terme.

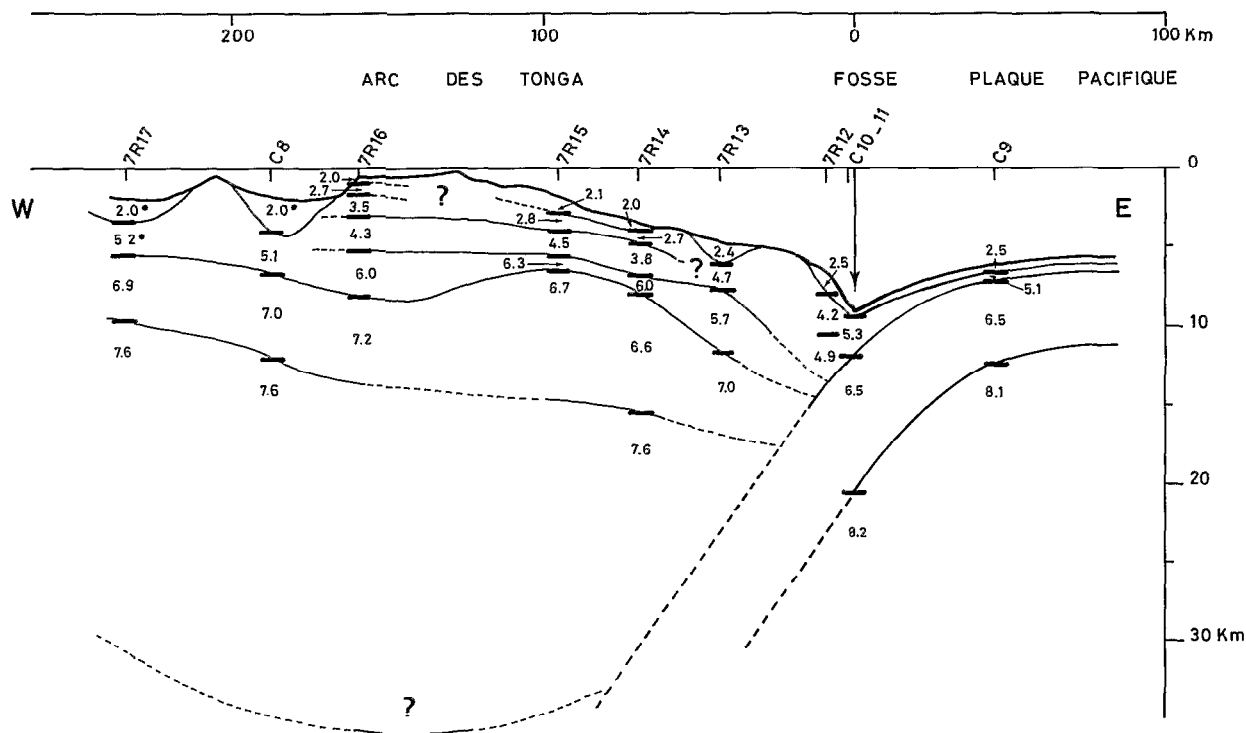


Fig. V-21 . Coupe des structures profondes de l'arc des Tonga par l'étude de la réfraction. Cette coupe est recalée sur le profil de sismique réflexion AUS 401 pour la morphologie et les premières couches sédimentaires. Les vitesses marquées d'un astérisque sont supposées.

Prisme d'accrétion (localisation des profils C 10-11, 7 R 12 et 7 R 14 sur la figure V-17)

Sans entrer dans le détail descriptif des différentes couches, on observe cinq faits majeurs dans cette structure :

- pas de sédiment en fond de fosse ou bien des épaisseurs inférieures ou égales à 200 m,
- une grande fracturation et donc un aspect tourmenté du prisme d'accrétion s'étendant jusqu'à au moins 60 km de la fosse,
- un dédoublement systématique de la couche 2 en 2 a ($v \simeq 4$ km/s) et 2 b ($v \simeq 6$ km/s),
- un dédoublement de la couche 3 en 3 a ($v \simeq 6.9$ km/s) et 3 b ($v \simeq 7.6$ km/s). Sur le profil 7 R 14, la couche à 7.6 km/s se situe vers 15 km de profondeur, ce qui est en très bon accord avec la couche introduite par TALWANI.

Arc proprement dit (localisation des profils 7 R 15 et 7 R 16 sur la figure V-17)

Ces profils précisent la structure de l'arc sans pour autant atteindre, dans les couches inférieures, des vitesses pouvant être assimilées à des vitesses de manteau supérieur normal. A noter l'épaississement des couches 2 et 3 en particulier sous le profil 7 R 14 et celui de la couche 3 au niveau du profil 7 R 16. Au niveau de l'arc, la gravimétrie doit pouvoir dire si les vitesses de 7.6 km/s observées sur les profils voisins (7 R 14, C 8 et 7 R 17) peuvent représenter des vitesses de manteau supérieur.

Arrière arc (localisation des profils C 8 et 7 R 17 sur la figure V-17)

Le profil C 8 se situe dans la dépression de Tofua, alors que le 7 R 17 se trouve en bordure du bassin de Lau. Sur ces deux profils, les vitesses des couches sédimentaires ne sont pas observées directement. Cependant, la vitesse supposée de 2 km/s est en bon accord avec la sismique réflexion qui indique une forte épaisseur de sédiment (3 s.t.d. pour Tofua).

Sur le profil 7 R 17, la couche 2 a été prise avec une vitesse de 5.2 km/s. On peut alors comparer les profils 7 R 17, C 8 et 7 R 16, trois faits ressortent de cette comparaison :

- Il n'y a aucune raison de penser que la dépression de Tofua puisse être un fossé d'effondrement, puisque la couche océanique de vitesse voisine de 7 km/s est plus profonde sous l'arc que sous la dépression. Cependant il est à noter que les caractères des couches sédimentaires diffèrent notablement entre les profils C 8 - 7 R 17 d'une part, 7 R 16 et 7 R 15 d'autre part. A l'ouest de l'arc nous trouvons une forte épaisseur de sédiment non consolidé donc relativement récent alors que sur l'arc nous avons au sommet une mince couche de sédiment récent non consolidé et en-dessous, des couches plus épaisses caractérisées par des vitesses variant de 2.7 à 3.5 km/s qui seraient constituées de sédiment plus ancien en voie de consolidation. Si la dépression de Tofua n'est pas un fossé d'effondrement il faut cependant remarquer que son bord oriental se situerait à la limite de deux structures.

- Il n'y a non plus aucune raison de penser que cette dépression soit l'annonce d'une future zone d'expansion puisque le profil 7 R 17, situé en bordure du bassin de Lau, zone d'expansion actuelle, présente des caractéristiques de croûte plus fine que sur le profil C 8, ayant lui-même une croûte moins épaisse que sous l'arc comme le montre le profil 7 R 16. Là encore on peut dire que le fossé de Tofua est peut-être la transition entre le bassin de Lau et l'arc des Tonga.

- Le profil 7 R 17 présente toutes les caractéristiques de croûte océanique relativement jeune, tout-à-fait comparable à ce que l'on peut trouver sur le plateau Nord-Fidjien en arrière des Nouvelles-Hébrides. La forte épaisseur des sédiments non consolidés trouvée ici est explicable par la présence de sources à proximité immédiate (île de l'arc et volcans de Tofua et Kao).